UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Ronan Cleber Contrera

TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS
EM SISTEMA DE REATORES ANAERÓBIO E AERÓBIO
OPERADOS EM BATELADA SEQUENCIAL

São Carlos-SP

2008

Ronan Cleber Contrera

**TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS
SANITÁRIOS EM SISTEMA DE REATORES
ANAERÓBIO E AERÓBIO OPERADOS EM BATELADA
SEQÜENCIAL**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Assoc. Valdir Schalch

São Carlos-SP

2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C764t Contrera, Ronan Cleber
Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operados em batelada seqüencial / Ronan Cleber Contrera ; orientador Valdir Schalch. -- São Carlos, 2008.

Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Aterros sanitários. 3. Lixiviados de aterros sanitários. 4. Tratamento biológico. 5. Reator anaeróbio em batelada seqüencial. 6. Lodos ativados em batelada seqüencial. 7. Filtro biológico anaeróbio. 8. Cinética de Monod. 9. Cinética de primeira ordem. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **RONAN CLEBER CONTRERA**

Tese defendida e julgada em 06/06/2008 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Associado **VALDIR SCHALCH (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **JOSÉ ALBERTO DOMINGUES RODRIGUES**
(Escola de Engenharia de Mauá/EEM)

APROVADO

Prof. Dr. **MARCUS CÉSAR AVEZUM ALVES DE CASTRO**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP – Campus de Rio Claro)

Aprovado

Prof. Dr. **REINALDO PISANI JUNIOR**
(Universidade de Ribeirão Preto/UNAERP)

Aprovado

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento)

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

*Dedico este trabalho à toda a minha família,
a meus pais João e Sylvia,
a meus irmãos Éden, Luciana e Flávio,
a meus tios, em especial à tia Maria e
a meus avós.*

*Dedico também a todos que, de alguma forma,
contribuíram e tornaram possível
a realização deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À **Deus** por tudo e pela vida;

À **FAPESP** pela bolsa de estudos (**Processo no. 03/04812-8R**) e pelo Auxílio-Pesquisa (**Processo no. 03/04602-3**) concedidos;

Ao Professor Valdir Schalch pela orientação deste trabalho e pela grande amizade e compreensão que sempre demonstrou;

Aos Professores Marcelo Zaiat, José Alberto Domingues Rodrigues e Eugênio Foresti, por toda ajuda e contribuição, com muitas idéias e sugestões importantes para viabilização deste trabalho;

À Prefeitura Municipal de São Carlos-SP, que através do Sr. Paulo Mancini, da “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia”, nos autorizou realizar este trabalho no aterro sanitário de São Carlos;

Ao senhor “Meca” da Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de São Carlos, que nos apoiou e viabilizou a instalação da rede elétrica no aterro sanitário.

À CPFL, que conseguiu incluir a eletrificação do local da pesquisa no “Programa Luz Para Todos”, o que tornou possível a montagem deste experimento no aterro sanitário de São Carlos.

À Vega Engenharia Ambiental, responsável pela coleta de resíduos e operação do aterro, e aos senhores Marcelo e Osmar por toda ajuda e apoio à pesquisa;

Aos senhores Miguel, Marcelo e Silvério, motoristas e operadores de máquinas do aterro, pela disposição demonstrada sempre que necessitei de ajuda;

À Katia, minha namorada, pela ajuda, paciência, amor, carinho e compreensão.

Aos meus grandes amigos: Luis Hamilton, Katt Regina, Jenny, Adriana, Arnaldo, Tânia, Alexandre, Gabriel, Glaucé e tantos outros que sempre me deram muita força.

Aos técnicos de laboratório: Paulo, Júlio, Juliana, Natália, Cidinha, Professora Beth, Janja, Eloísa e Wagner;

Ao Professor Jairo, Prefeito do Campus da USP de São Carlos pela porta e pelas janelas cedidas à pesquisa;

A todos os funcionários e professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento e da Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

¹⁹*Filho, realiza teus trabalhos com mansidão e serás amado mais do que um homem generoso.*

²⁰*Na medida em que fores grande, deverás praticar a humildade, e assim encontrarás graça diante do Senhor. Muitos são os altaneiros e ilustres, mas é aos humildes que ele revela seus mistérios.* ²¹*Pois é grande o poder do Senhor, mas ele é glorificado pelos humildes.*

³⁰*Para o mal do orgulhoso não existe remédio, pois uma planta de pecado está enraizada nele, e ele não compreende.*

³¹*O homem inteligente reflete sobre as palavras dos sábios e com ouvido atento deseja a Sabedoria.*

(Eclo 3,19-21.30-31)

¹²*A Sabedoria é resplandecente e sempre viçosa. Ela é facilmente contemplada por aqueles que a amam e é encontrada por aqueles que a procuram.*

¹³*Ela até se antecipa, dando-se a conhecer aos que a desejam.*

¹⁴*Quem por ela madruga não se cansará, pois a encontrará sentada à sua porta.*

¹⁵*Meditar sobre ela é a perfeição da prudência; e quem ficar acordado por causa dela, em breve há de viver despreocupado.*

¹⁶*Pois ela mesma sai à procura dos que a merecem, cheia de bondade, aparece-lhes nas estradas e vai ao seu encontro em todos os seus projetos.*

(Sb 6,12-16)

RESUMO

Contrera, R.C. (2008) **Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operados em batelada seqüencial**. São Carlos-SP, 2008, 731 p., Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho avaliou a tratabilidade dos lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP, utilizando-se reatores biológicos. O experimento foi conduzido à temperatura ambiente, em uma unidade piloto construída no aterro sanitário de São Carlos-SP. Inicialmente foram testados e comparados dois tipos de reatores anaeróbios, cada um com volume total de 1.200 L e ambos providos de agitação mecânica, diferenciando-se pelo tipo de imobilização da biomassa, sendo o primeiro com biomassa auto-imobilizada (ASBR) e o segundo com biomassa imobilizada em espuma de poliuretano (ASBBR). Um filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente de aproximadamente 120 L também foi avaliado. Além do pré-tratamento anaeróbio, foi avaliado também o pós-tratamento, que consistiu em um sistema de lodos ativados em batelada seqüencial de aproximadamente 180 L. O ASBR, inoculado com lodo granular de reator UASB, apresentou-se ineficiente, com problemas de desagregação e sedimentação da biomassa. O ASBBR, inoculado com lodo proveniente do fundo de uma lagoa de lixiviados, ao final de sua adaptação, apresentou eficiências superiores a 70%, em termos de remoção de DQO, utilizando-se lixiviado sem diluição, com DQO afluente da ordem de 11.000 mg.L⁻¹, relação AVT/DQO aproximadamente igual a 0,6 e tempo de reação igual a 7 dias. Verificou-se que a biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados está diretamente relacionada à relação AVT/DQO, e que para relações AVT/DQO_{Total} inferiores a 0,25, a biodegradabilidade é baixa, para relações entre 0,25 e 0,40 é média, e acima de 0,40 pode ser considerada elevada. Observou-se também que concentrações de N-amoniacal, da ordem de até 4.500 mg.L⁻¹, não impedem o tratamento anaeróbio, desde que a biomassa esteja devidamente adaptada. Aos perfis temporais de concentração, realizados no ASBBR, foi ajustado um modelo de primeira ordem para consumo de substrato, na forma de DQO_{Total}, obtendo valores de K₁ variando entre 3,18x10⁻⁵ e 5,82x10⁻⁵ (d.mg_{STV}.L⁻¹)⁻¹. O pós-tratamento dos efluentes do ASBBR foi avaliado em um sistema de lodos ativados em batelada seqüencial, que obteve eficiência máxima da ordem de 30% em termos de remoção de DQO, com DQO afluente da ordem de 5.000 mg.L⁻¹. Quanto ao filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente, obteve-se eficiências superiores a 70%, ao ser alimentado com uma mistura de lixiviado recalcitrante e etanol acidificado, com DQO afluente da ordem de 20.000 mg.L⁻¹.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Aterros sanitários, Lixiviados de aterros sanitários, Tratamento biológico, Reator anaeróbio em batelada seqüencial, Lodos ativados em batelada seqüencial, Filtro biológico anaeróbio, Cinética de Monod, Cinética de primeira ordem.

ABSTRACT

Contrera, R.C. (2008) **Landfill leachate treatment in sequence anaerobic and aerobic batch reactors systems**. São Carlos-SP, 2008, 731 p., Doctoral Thesis – Engineering School of São Carlos, University of São Paulo.

This work evaluated the tractability of landfill leachate from São Carlos-SP, utilizing biological reactors. The experiment was conducted at environmental temperature, in a pilot scale unity constructed into the São Carlos-SP landfill area. Initially, it was compared and tested two kinds of anaerobic reactors, each one with 1.200 L of total volume and both provided of mechanical agitation, differing by the kind of biomass immobilization, having the first (ASBR), self-immobilized biomass, and the second (ASBBR), immobilized biomass in polyurethane foam cubes. An approximately 120 L volume continuous up flow anaerobic biofilter was also evaluated. Additionally to the anaerobic treatment, it was also evaluated the post-treatment of landfill leachate in a sequence batch activated sludge system of 180 L. The ASBR, inoculated with a granular UASB sludge from a poultry wastewater treatment, was inefficient and presented sludge segregation and sedimentation problems. The ASBBR, inoculated using the sludge from the bottom of a landfill leachate reservoir, at the final of acclimation, presented efficiency over 70%, in terms of COD removal, utilizing landfill leachate without water dilution, with an inlet COD at the range of 11,000 mg.L⁻¹, a TVA/COD ratio of approximately 0.6 and reaction time equal to 7 days. It was realized that the landfill leachate anaerobic biodegradability has a directly relationship to the TVA/COD ratio, and for TVA/COD_{Total} ratio lower than 0.25, the biodegradability is low, for ratios between 0.25 and 0.40 is medium, and up to 0.40 may be considered high. It was also observed that NH₄⁺ concentrations at the range of 4,500 mg N.L⁻¹ has no significant interference in the anaerobic treatment, since the biomass has properly acclimated. At the temporal profiles of concentration performed in the ASBBR, it was adjusted a first order model for the substrate consumption, in terms of COD_{Total}, obtaining K₁ values ranging between 3.18x10⁻⁵ and 5.82x10⁻⁵ (d.mg_{STV}.L⁻¹)⁻¹. The post-treatment of the ASBBR effluents was evaluated in a sequence batch activated sludge system, which has obtained maximum efficiencies at the range of 30% in terms of COD removal, with an inlet COD at the range of 5,000 mg.L⁻¹. As regards of the continuous up flow anaerobic biofilter, it has obtained efficiencies superiors to 70% when fed by a mixing of recovery landfill leachate and acidified ethanol, with an inlet COD at the range of 20,000 mg.L⁻¹.

Key-words: Urban solid wastes, Landfill, Landfill leachate, Biological treatment, Anaerobic sequencing batch reactors, Sequence batch activated sludge system, Up flow anaerobic biofilter, Monod kinetics, First order kinetics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.1: Aterro Sanitário.	10
Figura 3.1.2: Distribuição percentual da quantidade diária de lixo coletado no Brasil, por unidade de destino final.	11
Figura 3.1.3: Distribuição percentual dos pontos de destinação final dos resíduos sólidos.	12
Figura 3.1.4: Variação de parâmetros selecionados, indicadores das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário.	14
Figura 3.2.3.4.1: Esquema típico adotado pelo programa HELP.	20
Figura 3.3.4.1: Possível relação entre AVT, DQO e biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados observada nos resultados de Contrera (2003).	30
Figura 3.3.5.1: Estrutura genérica de uma molécula de uma substância húmica.	31
Fonte: vanLoon & Duffy (2004).	31
Figura 3.3.7.1: Diagrama ilustrativo de capacidade tampão para as espécies tipicamente encontradas em reatores anaeróbios.	33
Fonte: Lahav e Morgan (2004).	33
Figura 3.4.1: Número de publicações envolvendo tratamento de lixiviados de aterros sanitários nos últimos dez anos disponíveis no site ‘Periódicos’ da Capes.	37
Figura 4.1.1: Imagem de satélite com a indicação do local do aterro sanitário de Carlos-SP.	49
Figura 4.1.2: Fotografia aérea do aterro sanitário de São Carlos-SP em dezembro de 2004, ainda sem a segunda ampliação.	50
Figura 4.1.3: Esquema das instalações do aterro sanitário de São Carlos-SP em 2005, com a indicação do local do experimento.	50
Figura 4.1.4: Galpão do experimento (a) vista frontal (b) vista dos fundos.	51
Figura 4.1.5: Fotografia aérea do aterro sanitário de São Carlos-SP em maio de 2005, com o início das obras da segunda ampliação.	51
Figura 4.1.6: Fotografia aérea do aterro sanitário de São Carlos-SP em agosto de 2007, com a segunda ampliação já praticamente esgotada.	52
Figura 4.2.1: Diagrama temporal com as etapas e fases de operação dos reatores.	55
Figura 4.2.2: Esquema básico das instalações montadas no aterro sanitário.	56
Figura 4.3.1: Caixa de passagem de onde eram coletados os lixiviados (a) vista externa das caixas (b) vista interna da caixa de derivação.	57
Figura 4.3.2: Reservatórios de lixiviados em polietileno (a) vista lateral dos dois reservatórios (b) vista interna do reservatório semi-enterrado.	57
Figura 4.3.3: (a) Crivos confeccionados em PVC (b) Instalação dos crivos dentro do reservatório de 2.000 L.	57
Figura 4.3.4: Instalação do tubo de polietileno (a) abertura da vala com uma retro-escavadeira (b) instalação do tubo no fundo da vala.	58
Figura 4.4.1: (a) Reatores construídos em fibra de vidro e (b) Uma das tampas dos reatores.	60
Figura 4.4.2: (a) Cesto de aço inox e (b) Cesto sendo inserido dentro do tanque de fibra de vidro.	60
Figura 4.4.3: (a) Detalhe da tampa do cesto de aço inox e da mangueira do amostrador passando pelo cesto, e (b) Fixação do cesto de aço inox no interior do tanque de fibra.	61
Figura 4.4.4: Espuma utilizada como meio suporte para biomassa, cortada em cubos.	61
Figura 4.4.5: (a) Computador que controla o sistema de automação e (b) Inversores de frequência para controle da velocidade de rotação dos impelidores.	62
Figura 4.4.6: (a) Painel de comando e proteção do sistema.	62
Figura 4.4.7: Eletrodo de controle de nível, (a) Mínimo, e (b) Máximo.	63
Figura 4.4.8: Sistema de agitação dos dois reatores anaeróbios; (a) ASBR (R1) e (b) ASBBR (R3).	63
Figura 4.4.9: Sistema de agitação no interior dos reatores anaeróbios (a) Motor ligado direto à haste e (b) Motor ligado à haste por sistemas de correia e polias.	64
Figura 4.4.10: (a) Bomba de enchimento dos reatores e (b) Montagem do sistema de enchimento dos reatores.	64

Figura 4.4.11: (a) Reservatórios intermediários de lixiviado e (b) Amostrador.....	65
Figura 4.4.12: (a) Timers utilizados no amostrador e (b) Válvulas solenóide ligadas ao ASBBR.	65
Figura 4.4.13: (a) Descarte vazio, com bola de isopor no fundo e (b) Descarte cheio, com bola de isopor fechando o circuito de líquido para o amostrador.	66
Figura 4.4.14: (a) Aquecedor a óleo de 1.500 W e (b) Termostato digital.....	67
Figura 4.5.1.1: Lodo granular drenado proveniente de um reator UASB de um abatedouro de aves. ...	68
Figura 4.5.1.2: (a) Inoculação de ASBR e (b) Lodo armazenado em galões para inoculação do ASBBR.	69
Figura 4.5.1.3: (a) Material utilizado para preparação do inóculo do ASBBR e (b) Volume de espuma utilizado como enchimento do ASBBR.....	70
Figura 4.5.1.4: (a) Lodo triturado sendo espalhado sobre a espuma e (b) Espuma saturada de lodo....	70
Figura 4.5.1.5: (a) Aspecto do lodo na espuma e (b) Travamento do cesto após a inoculação.....	70
Figura 4.6.1.1: Garrafas utilizadas como reatores durante a realização do Teste 1.....	71
Figura 4.6.2.1: (a) Reatores do Teste 2 e (b) Acondicionamento dos reatores em caixa de papelão. ...	73
Figura 4.6.2.2: (a) Material utilizado para enchimento dos reatores e (b) Reatores em repouso.	73
Figura 4.6.2.3: Drenagem do líquido por sifonamento.....	74
Figura 4.6.2.4: Esquema com a evolução do aumento da concentração de lixiviado nos reatores.	75
Figura 4.7.1.1: (a) Vista da lagoa de lixiviado e (b) Local da lagoa de onde se coletou o lodo.....	79
Figura 4.7.1.2: (a) Lodo da avícola sendo peneirado e (b) Lodo da lagoa sendo peneirado.	79
Figura 4.8.1: (a) Frente de aterramento e (b) Lagoa construída sobre o aterro.	81
Figura 4.8.2: Aspecto do lixiviado com elevada carga orgânica e formação de espuma.	82
Figura 4.9.1: (a) Um dos reatores aeróbios e (b) Sistema de enchimento entre os dois reatores aeróbios.	83
Figura 4.9.3: (a) Difusor de ar e (b) Difusor de ar instalado no fundo do reator aeróbio.....	84
Figura 4.9.3: (a) Descarte direto de R3 em R4 e (b) Novo sistema de aeração/agitação de R4.	85
Figura 4.9.4: (a) Válvulas solenóide e (b) Compressor de ar.	85
Figura 4.11.1.1: (a) Vista superior do distribuidor de fundo e (b) Vista inferior do distribuidor.....	88
Figura 4.11.1.2: (a) Reator pintado de preto para evitar entrada de luz e (b) Reator pintado novamente de branco para evitar aquecimento excessivo durante o dia.....	88
Figura 4.11.1.3: Filtro biológico instalado no suporte de madeira.	88
Figura 4.11.2.1: (a) Carvão sendo lavado com água sobre uma peneira, (b) Carvão limpo.....	89
Figura 4.11.2.2: (a) Carvão sendo secado ao sol sobre uma lona e (b) Rejeitos separados do carvão..	90
Figura 4.11.3.1: (a) Inóculo composto por dois lodos e (b) Carvão em contato com o lodo.	90
Figura 4.11.3.2: (a) Excesso de lodo sendo removido de carvão com peneira e (b) Vista do topo do reator depois de cheio.....	91
Figura 4.12.1: (a) Caixa d'água onde o lixiviado era armazenado e (b) Bomba Prominent tipo diafragma utilizada para bombeamento do lixiviado.....	92
Figura 5.1.1: Fotografias com aumento em contraste de fase com morfologias semelhantes a (a) <i>Methanosaetas</i> sp. e (b) <i>Methanosarcinas</i> sp.....	104
Figura 5.1.2: Fotografias com aumento em contraste de fase e fluorescência com morfologias semelhantes à (a) <i>Methanococos</i> sp. e (b) <i>Methanococos</i> sp. sob fluorescência.....	104
Figura 5.1.3: Fotografias com aumento em contraste de fase e fluorescência com morfologias semelhantes a (a) <i>Methanosarcina</i> sp. e (b) <i>Methanosarcina</i> sp. sob fluorescência.	104
Figura 5.1.4: (a) Bacilos e cocos e (b) Cocos e uma morfologia desconhecida.	105
Figura 5.1.5: (a) Morfologia semelhante à das bactérias redutoras de sulfato e (b) Bacilos em formação tétrade.	105
Figura 5.1.6: (a) Bacilos e (b) Cocos e Bacilos.	106
Figura 5.1.7: (a) <i>Euglena</i> e (b) Acima e à direita: bactéria vermelha possivelmente uma fototrófica anoxigênica.....	106
Figura 5.1.8: (a) DQO_{Total} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO_{Total}	107
Figura 5.1.9: (a) $DQO_{Filtr.}$ afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$	108
Figura 5.1.10: (a) pH e (b) Alcalinidade total afluente e efluente.	109
Figura 5.1.11: (a) Ácidos voláteis totais afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais.....	109
Figura 5.2.1.1: (a) Produção diária de gás (b) Produção acumulada de gás.....	114

Figura 5.2.1.2: (a) Concentrações de N-amoniaco e (b) Alcalinidade total afluente e efluente.....	114
Figura 5.2.1.3: (a) DQO _{Filtr.} afluente e efluente e (b) Eficiências de remoção de DQO _{Filtr.}	115
Figura 5.2.2.1: Concentrações de N-amoniaco afluente nos reatores que receberam lixiviado diluído e sem diluição.	117
Figura 5.2.2.1.1: (a) Temperatura do líquido e volume de gás gerado nos reatores 05, 06 e 17 e (b) Efeito da adição de Fósforo nos reatores 05 e 17 em relação ao reator 06.	118
Figura 5.2.2.1.2: (a) Temperatura do líquido e volume de gás gerado nos reatores 09, 10 e 18 e (b) Efeito da adição de Fósforo nos reatores 09 e 18 em relação ao reator 10.	118
Figura 5.2.2.2.1: (a) Comparação entre os resultados do reator (06) que recebeu lixiviado diluído em relação ao reator (10) que recebeu lixiviado sem diluição e (b) Efeito da não diluição em relação à diluição do lixiviado.....	119
Figura 5.2.2.2.2: Comparação entre os resultados do reator 15, que recebeu inicialmente lixiviado diluído com o reator 16, que recebeu lixiviados sem diluição.	120
Figura 5.2.2.3.1: Comparação entre os resultados da produção de gás dos reatores 06 e 08.....	121
Figura 5.2.2.4.1: Comparação entre os resultados da produção de gás dos reatores 01 e 06.....	122
Figura 5.2.2.5.1: Comparação entre os resultados da produção de gás dos reatores 01 e 15.....	123
Figura 5.2.2.5.2: (a) Methanosaetas e (b) Methanosarcina no inoculo da avícola; (c) Methanosaetas, cocos e bacilos no inoculo da lagoa de lixiviados; (d) Cocos e bacilos e (e) Methanosarcina, cocos e aglomerado de bacilos em amostra do reator 10; (f) Methanosarcinas em amostra do reator 01.	124
Figura 5.2.3.1: Volume diário de gás gerado por batelada.....	125
Figura 5.2.3.2: Volume de gás gerado, acumulado por batelada.	125
Figura 5.2.3.3: Efeito da redução da adição de etanol no substrato dos reatores e o volume de gás gerado por batelada.	125
Figura 5.2.3.4: Efeito do aumento da concentração de AVT no lixiviado em relação ao volume de gás gerado por batelada.	126
Figura 5.2.4.1: Resultados da produção diária de gás medida nos reatores no Teste 4.....	127
Figura 5.2.4.2: Resultados da produção acumulada de gás para cada batelada medida nos reatores no teste 4.	127
Figura 5.2.4.3: (a) Resultados médios da produção de gás das bateladas 2 e 3, e (b) Resultados médios da produção de gás das bateladas 4, 5, 6 e 7.	128
Figura 5.2.4.4: (a) Relação entre a produção de gás média dos controles, em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 2 e 3, e (b) Relação entre a produção de gás média dos controles em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 4, 5, 6 e 7.	129
Figura 5.2.4.5: (a) Resultados médios da produção acumulada de gás das bateladas 2 e 3, e (b) Resultados médios da produção acumulada de gás das bateladas 4, 5, 6 e 7.....	130
Figura 5.2.4.6: (a) Relação entre a produção de gás acumulada média dos controles, em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 2 e 3, e (b) Relação entre a produção de gás acumulada média dos controles, em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 4, 5, 6 e 7.	131
Figura 5.2.4.7: Diferença entre as relações de produção de gás média das bateladas 4, 5, 6 e 7, e a produção de gás média das bateladas 2 e 3.	131
Figura 5.4.1.1: (a) Temperatura média das bateladas e (b) pH afluente e efluente.....	134
Figura 5.4.1.2: (a) Ácidos voláteis totais afluente e efluente, e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais.....	135
Figura 5.4.1.3: (a) Alcalinidade total afluente e efluente e (b) Remoção ou geração de alcalinidade total.....	135
Figura 5.4.1.4: (a) N-amoniaco afluente e (b) DQO _{Total} , DQO _{Filtr.} e concentração de lixiviado no substrato de alimentação.	136
Figura 5.4.1.5: (a) DQO _{Total} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO _{Total}	136
Figura 5.4.1.6: (a) DQO _{Filtr.} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO _{Filtr.}	137
Figura 5.4.1.7: (a) Carga orgânica filtrada aplicada e removida e (b) Eficiência de remoção da carga orgânica aplicada.....	137
Figura 5.4.3.1: (a) Perfil de alcalinidade total e pH, e (b) Perfil de ácidos voláteis totais.	138
Figura 5.4.3.2: (a) Perfil de DQO e (b) Perfil de temperatura.....	139
Figura 5.4.4.1: (a) Perfil de alcalinidade total e pH, e (b) Perfil de ácidos voláteis totais.	140

Figura 5.4.4.2: (a) Perfil de DQO e (b) Perfil de temperatura.	140
Figura 5.5.1.1: (a) Temperatura média das bateladas e a faixa de variação e (b) pH afluente e efluente.	141
Figura 5.5.1.2: (a) AVT afluente e efluente, e (b) Eficiência de remoção de AVT.....	141
Figura 5.5.1.3: (a) Alcalinidade total afluente e efluente e (b) Remoção ou Geração de alcalinidade total.	142
Figura 5.5.1.4: (a) N-amoniaco afluente e N-amônia livre máxima na batelada, e (b) DQO total e filtrada e concentração de lixiviado no substrato de alimentação.	143
Figura 5.5.1.5: (a) DQO total afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO total.	143
Figura 5.5.1.6: (a) DQO filtrada afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO filtrada e a quantidade de etanol adicionado.....	144
Figura 5.5.1.7: (a) Carga orgânica filtrada aplicada e removida, considerando-se a adição de etanol e (b) Eficiência de remoção da carga orgânica filtrada aplicada.....	144
Figura 5.5.1.8: (a) Relações AVT/DQO _{Total} afluente, efluente e remoção de DQO _{Total} e (b) Relações AVT/DQO _{Filtr.} afluente, efluente e remoção de DQO _{Filtr.}	145
Figura 5.5.3.1: (a) Perfil de Alcalinidade Total e (b) Perfil de Ácidos Voláteis Totais.	146
Figura 5.5.3.2: (a) Perfil de Demanda Química de Oxigênio e (b) Perfil de Temperatura.....	147
Figura 5.5.4.1: (a) Perfil de Alcalinidade Total e (b) Perfil de Ácidos Voláteis Totais.	148
Figura 5.5.4.2: (a) Perfil de Demanda Química de Oxigênio e (b) Perfil de Temperatura.....	148
Figura 5.5.5.1: (a) Perfis de DQO _{Total} , DQO _{Filtr.} e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.	149
Figura 5.5.5.2: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais.....	149
Figura 5.5.5.3: (a) Perfis de concentração de nitrogênio total, amoniacal e orgânico, e (b) Perfil de concentração de amônia livre.	150
Figura 5.5.5.4: Perfis de concentração de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.....	150
Figura 5.5.5.5: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.....	151
Figura 5.5.5.6: (a) Perfis de concentração de Zinco, e (b) Perfis de concentração de Chumbo.	151
Figura 5.5.5.7: (a) Perfis de concentração de Cádmio, e (b) Perfis de concentração de Níquel.....	152
Figura 5.5.5.8: (a) Perfis de concentração de Ferro, e (b) Perfis de concentração de Manganês.....	152
Figura 5.5.5.9: (a) Perfis de concentração de Cobre, e (b) Perfis de concentração de Cromo.	152
Figura 5.5.6.1: (a) Perfis de DQO _{Total} , DQO _{Filtr.} e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.	153
Figura 5.5.6.2: (a) Perfil de concentração de ácidos voláteis totais, e (b) Perfil de concentração de carbono orgânico total.	154
Figura 5.5.6.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Perfis de concentração de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.	154
Figura 5.5.6.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.....	155
Figura 5.5.7.1: (a) Perfis de DQO _{Total} , DQO _{Filtr.} e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.	156
Figura 5.5.7.2: (a) Perfil de concentração de ácidos voláteis totais, e (b) Perfil de concentração de carbono orgânico total.	156
Figura 5.5.7.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.....	157
Figura 5.5.7.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.....	157
Figura 5.5.8.1: (a) Perfis de DQO _{Total} , DQO _{Filtr.} e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.	158
Figura 5.5.8.2: (a) Perfil de concentração de ácidos voláteis totais, e (b) Perfil de concentração de carbono orgânico total.	159

Figura 5.5.8.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.	159
Figura 5.5.8.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.	160
Figura 5.5.9.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.	160
Figura 5.5.9.2: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais.....	161
Figura 5.5.9.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.	161
Figura 5.5.9.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.	162
Figura 5.5.10.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.	163
Figura 5.5.10.2: (a) Perfil de concentração de ácidos voláteis totais, e (b) Perfil de concentração de carbono orgânico total.....	163
Figura 5.5.10.3: (a) Perfil de concentração de amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.	164
Figura 5.5.10.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.	164
Figura 5.5.11.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.	165
Figura 5.5.11.2: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais.....	165
Figura 5.5.11.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.	166
Figura 5.5.11.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.	166
Figura 5.5.12.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.	167
Figura 5.5.12.2: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais.....	168
Figura 5.5.12.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.	168
Figura 5.5.12.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.	169
Figura 5.5.13.1: Perfis 11, 12 e 13 de temperatura e a média dos perfis.....	169
Figura 5.5.13.2: (a) Perfis 11,12 e 13 de pH e a média dos perfis, e (b) Perfis 11, 12 e 13 de alcalinidade total e a média dos perfis.	170
Figura 5.5.13.3: (a) Perfis 11, 12 e 13 de DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 de eficiência de remoção de DQO_{Total} e a média dos perfis.	170
Figura 5.5.13.4: (a) Perfis 11, 12 e 13 de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 de eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.	171
Figura 5.5.13.5: (a) Perfis 11, 12 e 13 da relação AVT/DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 da relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.....	171
Figura 5.5.13.6: (a) Perfis 11, 12 e 13 de AVT por titulação e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 da eficiência de remoção de AVT e a média dos perfis.	172
Figura 5.5.13.7: (a) Perfis 11, 12 e 13 de ácido acético determinados por cromatografia, e (b) Perfis 11, 12 e 13 de N-amônia livre e a média dos perfis.	172
Figura 5.5.13.8: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 de sólidos totais fixos e a média dos perfis.....	173
Figura 5.5.13.9: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos totais voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 de sólidos suspensos totais e a média dos perfis.	173

Figura 5.5.13.10: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos suspensos fixos e a média dos perfis, e (b) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos suspensos voláteis e a média dos perfis.	174
Figura 5.5.13.11: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos dissolvidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos dissolvidos fixos e a média dos perfis.	174
Figura 5.5.13.12: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos dissolvidos voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 11, 12 e 13 da relação STV/ST e a média dos perfis.	175
Figura 5.5.14.1: Perfis 14, 15, 16 e 17 de temperatura e a média dos perfis.	175
Figura 5.5.14.2: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de pH e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de alcalinidade total e a média dos perfis.	176
Figura 5.5.14.3: (a) Média dos perfis 15, 16 e 17 para carbono orgânico total, carbono total e carbono inorgânico total, e (b) Perfis 15, 16 e 17 de carbono total e a média dos perfis.	177
Figura 5.5.14.4: (a) Perfis 15, 16 e 17 de carbono orgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a $DQO_{Filtr.}$ e $COT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 15, 16 e 17.	177
Figura 5.5.14.5: (a) Perfis 15, 16 e 17 de carbono inorgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a alcalinidade total e $CIT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 15, 16 e 17.	178
Figura 5.5.14.6: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de eficiência de remoção de DQO_{Total} e a média dos perfis.	178
Figura 5.5.14.7: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.	179
Figura 5.5.14.8: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 da relação AVT/DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 da relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.	179
Figura 5.5.14.9: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de AVT por titulação e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 da eficiência de remoção de AVT e a média dos perfis.	180
Figura 5.5.14.10: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido acético, determinados por cromatografia, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido propiônico, determinados por cromatografia.	180
Figura 5.5.14.11: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido isobutírico, determinados por cromatografia, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido butírico, determinados por cromatografia.	181
Figura 5.5.14.12: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido isovalérico, determinados por cromatografia, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido valérico, determinados por cromatografia.	181
Figura 5.5.14.13: Perfis 14, 15, 16 e 17 de N-amônia livre e a média dos perfis.	181
Figura 5.5.14.14: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos totais fixos e a média dos perfis.	182
Figura 5.5.14.15: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos totais voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos suspensos totais e a média dos perfis.	182
Figura 5.5.14.16: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos suspensos fixos e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos suspensos voláteis e a média dos perfis.	183
Figura 5.5.14.17: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos dissolvidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos dissolvidos fixos e a média dos perfis.	183
Figura 5.5.14.18: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos dissolvidos voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 da relação STV/ST e a média dos perfis.	184
Figura 5.5.14.19: (a) Perfis 14 e 16 de concentrações de Zinco, e a média dos perfis, e (b) Perfis 14 e 16 de concentrações de Chumbo, e a média dos perfis.	184
Figura 5.5.14.20: (a) Perfis 14 e 16 de concentrações de Cádmio, e a média dos perfis, e (b) Perfis 14 e 16 de concentrações de Níquel, e a média dos perfis.	185
Figura 5.5.14.21: (a) Perfis 14 e 16 de concentrações de Ferro, e a média dos perfis, e (b) Perfis 14 e 16 de concentrações de Manganês, e a média dos perfis.	185
Figura 5.5.14.22: (a) Perfis 14 e 16 de concentrações de Cobre, e a média dos perfis, e (b) Perfis 14 e 16 de concentrações de Cromo, e a média dos perfis.	185
Figura 5.5.15.1: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de temperatura e a média dos perfis.	186
Figura 5.5.15.2: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de pH e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de alcalinidade total e a média dos perfis.	187
Figura 5.5.15.3: (a) Média dos perfis 19, 20 e 21 para carbono orgânico total, carbono total e carbono inorgânico total, e (b) Perfis 19, 20 e 21 de carbono total e a média dos perfis.	187
Figura 5.5.15.4: (a) Perfis 19, 20 e 21 de carbono orgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a $DQO_{Filtr.}$ e $COT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 19, 20 e 21.	188

Figura 5.5.15.5: (a) Perfis 19, 20 e 21 de carbono inorgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a alcalinidade total e $CIT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 19, 20 e 21.	188
Figura 5.5.15.6: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de eficiência de remoção de DQO_{Total} e a média dos perfis.	189
Figura 5.5.15.7: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.	189
Figura 5.5.15.8: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 da relação AVT/DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 da relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.	190
Figura 5.5.15.9: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de AVT por titulação e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 da eficiência de remoção de AVT e a média dos perfis.	190
Figura 5.5.15.10: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de ácido acético, obtidos por cromatografia e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de ácido propiônico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis.	191
Figura 5.5.15.11: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de ácido isobutírico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de ácido butírico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis.	191
Figura 5.5.15.12: Perfis 18, 19, 20 e 21 de N-amônia livre e a média dos perfis.	192
Figura 5.5.15.13: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos totais fixos e a média dos perfis.	192
Figura 5.5.15.14: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos totais voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos suspensos totais e a média dos perfis.	193
Figura 5.5.15.15: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos suspensos fixos e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos suspensos voláteis e a média dos perfis.	193
Figura 5.5.15.16: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos dissolvidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos dissolvidos fixos e a média dos perfis.	194
Figura 5.5.15.17: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos dissolvidos voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 da relação STV/ST e a média dos perfis.	194
Figura 5.5.15.18: (a) Perfis 20 e 21 de concentrações de Zinco, e a média dos perfis, e (b) Perfis 20 e 21 de concentrações de Chumbo, e a média dos perfis.	195
Figura 5.5.15.19: (a) Perfis 20 e 21 de concentrações de Cádmio, e a média dos perfis, e (b) Perfis 20 e 21 de concentrações de Níquel, e a média dos perfis.	195
Figura 5.5.15.20: (a) Perfis 20 e 21 de concentrações de Ferro, e a média dos perfis, e (b) Perfis 20 e 21 de concentrações de Manganês, e a média dos perfis.	195
Figura 5.5.15.21: (a) Perfis 20 e 21 de concentrações de Cobre, e a média dos perfis, e (b) Perfis 20 e 21 de concentrações de Cromo, e a média dos perfis.	196
Figura 5.5.16.1: Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de temperatura e a média dos perfis.	196
Figura 5.5.16.2: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de pH e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de alcalinidade total e a média dos perfis.	197
Figura 5.5.16.3: (a) Média dos perfis 23, 25 e 26 para carbono orgânico total, carbono total e carbono inorgânico total, e (b) Perfis 23, 25 e 26 de carbono total e a média dos perfis.	198
Figura 5.5.16.4: (a) Perfis 23, 25 e 26 de carbono orgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a $DQO_{Filtr.}$ e $COT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 23, 25 e 26.	198
Figura 5.5.16.5: (a) Perfis 23, 25 e 26 de carbono inorgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a alcalinidade total e $CIT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 23, 25 e 26.	199
Figura 5.5.16.6: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de eficiência de remoção de DQO_{Total} e a média dos perfis.	199
Figura 5.5.16.7: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.	199
Figura 5.5.16.8: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 da relação AVT/DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 da relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.	200
Figura 5.5.16.9: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de AVT e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 da eficiência de remoção de AVT e a média dos perfis.	200
Figura 5.5.16.10: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de ácido acético, obtidos por cromatografia e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de ácido propiônico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis.	201

Figura 5.5.16.11: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de ácido isobutírico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de ácido butírico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis.	201
Figura 5.5.16.12: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de N-amoniaco e a média dos perfis e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de N-amônia livre e a média dos perfis.	202
Figura 5.5.16.13: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos totais fixos e a média dos perfis.	202
Figura 5.5.16.14: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos totais voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos suspensos totais e a média dos perfis.	203
Figura 5.5.16.15: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos suspensos fixos e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos suspensos voláteis e a média dos perfis.	203
Figura 5.5.16.16: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos dissolvidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos dissolvidos fixos e a média dos perfis.	204
Figura 5.5.16.17: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos dissolvidos voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 da relação STV/ST e a média dos perfis.	204
Figura 5.5.16.18: (a) Perfis 23 e 25 de concentrações de Zinco, e a média dos perfis, e (b) Perfis 23 e 25 de concentrações de Chumbo, e a média dos perfis.	205
Figura 5.5.16.19: (a) Perfis 23 e 25 de concentrações de Cádmio, e a média dos perfis, e (b) Perfis 23 e 25 de concentrações de Níquel, e a média dos perfis.	205
Figura 5.5.16.20: (a) Perfis 23 e 25 de concentrações de Ferro, e a média dos perfis, e (b) Perfis 23 e 25 de concentrações de Manganês, e a média dos perfis.	206
Figura 5.5.16.21: (a) Perfis 23 e 25 de concentrações de Cobre, e a média dos perfis, e (b) Perfis 23 e 25 de concentrações de Cromo, e a média dos perfis.	206
Figura 5.6.1: (a) Lodo floculento de R4 e (b) Cocos, bacilos e muito material inerte.	208
Figura 5.6.2: (a) Temperatura média e faixa de variação da temperatura durante as bateladas e (b) pH afluente e efluente.	208
Figura 5.6.3: (a) Ácidos voláteis totais afluente e efluente, e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais.	209
Figura 5.6.4: (a) Alcalinidade total afluente e efluente e (b) Remoção ou geração de alcalinidade total.	210
Figura 5.6.5: (a) N-amoniaco afluente, efluente e N-amônia livre máxima, e (b) Eficiência de remoção de N-amoniaco.	210
Figura 5.6.6: Carga orgânica filtrada aplicada e removida.	210
Figura 5.6.7: (a) DQO _{Total} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO _{Total}	211
Figura 5.6.8: (a) DQO _{Filtr.} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO _{Filtr.}	211
Figura 5.6.9: (a) Temperatura média e variação da temperatura ao longo dos dias e (b) pH médio e faixa de variação do pH ao longo dos dias nas bateladas.	212
Figura 5.6.10: Média e faixas de variação das concentrações estimadas de N-amônia livre ao longo das bateladas.	212
Figura 5.7.1.1: (a) Acompanhamento diário de vazão e temperatura e (b) pH afluente e efluente.	214
Figura 5.7.1.2: (a) Vazão e temperatura médias entre amostragens, e (b) Tempo de detenção hidráulica e velocidade ascensional médias entre amostragens.	215
Figura 5.7.1.3: (a) Alcalinidade total afluente e efluente e (b) Remoção ou geração de alcalinidade total.	215
Figura 5.7.1.4: (a) N-amoniaco afluente e N-amônia livre máxima, e (b) Ácidos voláteis totais.	216
Figura 5.7.1.5: (a) DQO _{Total} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO _{Total}	217
Figura 5.7.1.6: (a) DQO _{Filtr.} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO _{Filtr.}	217
Figura 5.7.1.7: (a) Carga orgânica total aplicada e removida, e (b) Carga orgânica filtrada aplicada e removida.	217
Figura 5.7.3.1: Variação da temperatura e temperatura média dos quatro dias que antecederam a realização do perfil longitudinal de concentração em R5.	218
Figura 5.7.3.2: (a) Temperatura do líquido e (b) pH.	219
Figura 5.7.3.3: (a) Alcalinidade total e (b) Concentração de N-amônia livre.	221
Figura 5.7.3.4: (a) Concentração de substrato como DQO total e filtrada e (b) Eficiência de remoção de DQO total e filtrada.	221

Figura 5.7.3.5: (a) Concentração de ácidos voláteis totais e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais.....	221
Figura 5.7.3.6: (a) Relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$ e (b) Concentração de carbono orgânico total.....	222
Figura 5.7.3.7: (a) Concentrações de sólidos totais e (b) Concentração de sólidos suspensos.	223
Figura 5.7.3.8: (a) Concentração de sólidos dissolvidos e (b) Relação STV/ST	223
Figura 5.7.4.1: (a) Variação da temperatura e temperatura média dos dois dias que antecederam a realização do perfil longitudinal em R5 e (b) Temperatura do líquido do reator às 18:00 horas.....	225
Figura 5.7.4.2: (a) pH, e (b) Alcalinidade total, nos afluentes e no perfil longitudinal.....	226
Figura 5.7.4.3: (a) Concentração de substrato como DQO total e filtrada e (b) Eficiência de remoção de DQO total e filtrada, nos afluentes e no perfil longitudinal.	226
Figura 5.7.4.4: (a) Concentração de ácidos voláteis totais e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais, nos afluentes e no perfil longitudinal.	227
Figura 5.7.4.5: (a) Relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$ e (b) Concentração de N-amônia livre, nos afluentes e no perfil longitudinal.....	228
Figura 5.7.4.6: (a) Concentrações de sólidos totais e (b) Concentração de sólidos suspensos, nos afluentes e no perfil longitudinal.....	229
Figura 5.7.4.7: (a) Concentração de sólidos dissolvidos e (b) Relação STV/ST , nos afluentes e no perfil longitudinal.....	229
Figura 5.8.2.1: (a) Relação entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST dos conjuntos de pontos dos perfis 3, 4, 6, 7 e 9, e (b) Relação entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST dos conjuntos de pontos dos perfis 3, 4, 6, 7 e 9, ajustando-se uma curva logarítmica.....	233
Figura 5.8.3.1: (a) Relações STV/ST dos lixiviados afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema, que podem ser entendidas como a sendo a biodegradabilidade do lixiviado, e (b) Distribuição de frequência da relação STV/ST dos efluentes do ASBBR.	234
Figura 5.8.3.2: (a) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado afluente, e (b) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado efluente.....	234
Figura 5.8.3.3: (a) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado afluente, e (b) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado efluente.....	235
Figura 5.8.6.1: (a) Relação entre a biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do conjunto de pontos dos perfis 3 a 10, e (b) Relação entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do conjunto de pontos dos perfis 3 a 10.	238
Figura 5.8.7.1: (a) Relações $AVT/DQO_{Filtr.}$ dos lixiviados afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema, ou biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado através da $DQO_{Filtr.}$, e (b) Correlação entre a biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do efluente.....	239
Figura 5.8.7.2: (a) Correlação entre biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do lixiviado afluente com ajuste linear, e (b) Correlação entre biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do lixiviado afluente com ajuste logarítmico.	240
Figura 5.8.7.3: (a) Relações AVT/DQO_{Total} dos lixiviados afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema, ou biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado através da DQO_{Total} , e (b) Correlação entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do efluente....	240
Figura 5.8.7.4: (a) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do lixiviado afluente com ajuste linear, e (b) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do lixiviado afluente com ajuste logarítmico.....	241
Figura 5.8.9.1: Correlação entre biodegradabilidade através da DQO e a relação AVT/DQO do lixiviado com adição de etanol, para média dos perfis 11, 12 e 13; (a) Para DQO_{Total} e (b) Para $DQO_{Filtr.}$	244
Figura 5.8.9.2: Correlação entre biodegradabilidade através da DQO e a relação AVT/DQO do lixiviado com adição de etanol, para média dos perfis 14, 15, 16 e 17; (a) Para DQO_{Total} e (b) Para $DQO_{Filtr.}$	244

Figura 5.8.9.3: Correlação entre biodegradabilidade através da DQO e a relação AVT/DQO do lixiviado com adição de etanol, para média dos perfis 18, 19, 20 e 21; (a) Para DQO_{Total} e (b) Para $DQO_{Filtr.}$	245
Figura 5.8.9.4: Correlação entre biodegradabilidade através da DQO e a relação AVT/DQO do lixiviado com adição de etanol, para média dos perfis 22, 23, 24, 25 e 26; (a) Para DQO_{Total} e (b) Para $DQO_{Filtr.}$	245
Figura 5.9.3.1: Correlação entre a biodegradabilidade e a relação AVT/DQO das soluções compostas por lixiviado recalcitrante e os ácidos acético, propiônico, butírico, valérico e caprótico separadamente.	250
Figura 5.10.1: Correlação entre as concentrações medidas e calculadas de AVT para determinação dos fatores de correção do método de DiLallo e Albertson (1961): (a) Perfil 11, (b) Perfil 12, (c) Perfil 13, (d) Média dos Perfis 11, 12 e 13, (e) Perfil 14, (f) Perfil 15, (g) Perfil 16, (h) Perfil 17 e (i) Média dos Perfis 14, 15, 16 e 17.	255
Figura 5.10.2: Correlação entre as concentrações medidas e calculadas de AVT para determinação dos fatores de correção do método de DiLallo e Albertson (1961): (a) Perfil 18, (b) Perfil 19, (c) Perfil 20, (d) Perfil 21, (e) Média dos Perfis 18, 19, 20 e 21, (f) Perfil 22, (g) Perfil 23, (h) Perfil 24, (i) Perfil 25, (j) Perfil 26, (k) Média dos Perfis 22, 23, 24, 25 e 26, e (l) Média dos Perfis 23, 25 e 26.	256
Figura 5.11.1.1: Variação da proporção [%] entre STF e STV em relação a ST no lodo aderido ao meio suporte.	258
Figura 5.11.1.2: Variação da massa total e da concentração de lodo como STV, ao longo das bateladas.	259
Figura 5.11.1.3: (a) Concentração de biomassa (C_X) obtida por amostragem e calculada através do modelo ajustado e (b) Perfil de Ácidos Voláteis Totais.	261
Figura 5.11.1.4: (a) Aspecto dos cubos de espuma contendo o lodo, no momento da amostragem, logo após a batelada 80.	261
Figura 5.11.1.5: Fotografia de microrganismos com morfologia semelhante à <i>methanosarcina</i> sp., na amostragem realizada no ASBBR (a) Em contraste de fase e (b) Com fluorescência.	262
Figura 5.11.3.1: (a) Variação dos parâmetros K_S , C_{SR} e da relação $K_S/r_{máx.}$ do Perfil 11 para DQO_{Total} ao longo das iterações e (b) Relação linear existente entre K_S e $r_{máx.}$ ao longo do caminho que leva à convergência.	266
Figura 5.11.3.2: (a) Variação dos parâmetros K_S , C_{SR} e da relação $K_S/r_{máx.}$ do Perfil 11 para $DQO_{Filtr.}$ ao longo das iterações e (b) Relação linear existente entre K_S e $r_{máx.}$ ao longo do caminho que leva à convergência.	267
Figura 5.11.3.3: Comparação entre as curvas de correlação obtidas entre K_S e $r_{máx.}$ para os ajustes obtidos tomando-se como substrato a DQO_{Total} e a $DQO_{Filtr.}$	267
Figura 5.11.4.1: Velocidades específicas de consumo de substrato (μ_S) em função das concentrações de substrato (C_S), como DQO_{Total} para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).	272
Figura 5.12.1: Variação da velocidade de consumo de substrato (DC_S/dt) para DQO_{Total} , (a) Em função do tempo e (b) Em função das concentrações de substrato.	279
Figura 5.12.2: Variação da velocidade de consumo de substrato (DC_S/dt) para $DQO_{Filtr.}$, (a) Em função do tempo e (b) Em função das concentrações de substrato.	280
Figura 5.12.3: Correlações obtidas entre as concentrações de N-amoniaco e os parâmetros cinéticos de primeira ordem, obtidos através dos perfis de (a) DQO_{Total} e (b) $DQO_{Filtr.}$	281
Figura 5.12.4: Relação entre as concentrações de N-amônia livre e os parâmetros cinéticos de primeira ordem, obtidos através dos perfis de (a) DQO_{Total} e (b) $DQO_{Filtr.}$	281
Figura 5.12.5: Correlações obtidas entre as concentrações de N-amônia livre e os parâmetros cinéticos de primeira ordem, obtidos através dos perfis de (a) DQO_{Total} e (b) $DQO_{Filtr.}$, depois de linearizados.	282
Figura 5.13.1: (a) Alcalinidade total e N-amoniaco afluentes no ASBBR, entre as bateladas 14 e 68, e (b) Relação linear existente entre Alcalinidade total e N-amoniaco.	283
Figura 5.13.2: (a) Distribuição de frequência da alcalinidade total entre as bateladas 14 e 68, e (b) Distribuição de frequência das concentrações de N-amoniaco.	284
Figura 5.13.3: Relação entre alcalinidade total e N-amoniaco para os lixiviados apresentados na Tabela 5.13.1.	285

Figura 5.13.4: Relação linear entre alcalinidade total e N-amoniaco para os lixiviados apresentados na Tabela 5.13.1 excluindo-se o ponto de São José do Rio Preto.....	285
Figura 5.13.5: Relação linear entre alcalinidade total e N-amoniaco para os lixiviados das referências apresentadas na Tabela 5.13.2.....	287
Figura D.1.1: Local escolhido para construção do galpão para abrigo do experimento.	329
Figura D.1.2: Traçado do duto que levou água até o local do experimento, representado através de uma linha vermelha.	330
Figura D.1.3: (a) Início da construção das fundações e (b) Finalização das paredes e início da construção da cobertura.....	330
Figura D.1.4: (a) Galpão do experimento depois de finalizado e (b) Caixa de passagem construída para coleta dos lixiviados.	331
Figura D.3.1: Reservatório de lixiviados, (a) Antes das mudanças e (b) Depois das mudanças.....	339
Figura D.3.2: Um dos tanques de fibra, apresentando mais um vazamento.	340
Figura D.3.3: (a) Marcas do alagamento no compartimento do compressor e (b) Passagem para água executada somente depois dos alagamentos.....	340
Figura D.3.4: (a) Flange que se soltou do ASBBR e (b) Flanges reforçadas com resina epóxi.....	342
Figura D.3.5: (a) Poste com o medidor de energia do galpão do experimento derrubado por acidente, (b) Mangueira de escoamento de lixiviados entupida com areia.	343
Figura D.3.6: (a) Ligação entre a saída dos extravasores e o esgoto do galpão antes das modificações e, (b) Ligação depois das modificações.	345
Figura D.3.7: (a) e (b) Colas dos flanges reforçadas com resina epóxi.....	346
Figura D.3.8: (a) e (b) Urubus que causaram danos na rede e paralisação do experimento.	348
Figura D.3.9: (a) e (b) Lodo do ASBR espalhado pelo piso do galpão.....	349
Figura D.3.10: (a) Vista lateral do tanque estourado e (b) Detalhe da parte interior.	349
Figura D.3.11: (a) ASBBR reforçado com cintas de aço e (b) Detalhe da cinta de aço.....	350
Figura D.3.12: (a) Vegetação alta ao redor do galpão do experimento, e (b) Cobra que o pesquisador matou ao lado de sua montagem.	351
Figura D.3.13: Interior do motor do compressor que queimou por excesso de aquecimento	352
Figura D.3.14: (a) Ventilador ligado de frente ao motor para resfriamento permanente, e (b) Ventilador ligado atrás do motor do sistema de agitação de R3 para resfriamento permanente.....	353
Figura D.3.15: (a) e (b) Novos problemas com alagamento na região do galpão do experimento.	355
Figura D.3.16: (a) e (b) Novos problemas com alagamento na região do galpão do experimento.	355
Figura E.2.1: (a) Termômetro de mercúrio de máximo e mínimo, fixado em R5, e (b) Termômetro digital.....	360
Figura E.3.1: (a) Teste de queima realizado em um dos reatores do Teste 4 e (b) Teste de queima realizado no gás gerado por R5.	361
Figura G.1.1: Metais afluente e efluente nos reatores (a) Zinco e (b) Chumbo.	375
Figura G.1.2: Metais afluente e efluente nos reatores (a) Cádmiio e (b) Níquel.....	376
Figura G.1.3: Metais afluente e efluente nos reatores (a) Ferro e (b) Manganês.	376
Figura G.1.4: Metais afluente e efluente nos reatores (a) Cobre e (b) Cromo.	377
Figura G.1.5: (a) Sólidos totais e (b) Remoção ou arraste de ST em R1 e R3.....	377
Figura G.1.6: (a) Sólidos totais fixos e (b) Remoção ou arraste de STF em R1 e R3.....	378
Figura G.1.7: (a) Sólidos totais voláteis e (b) Remoção ou arraste de STV em R1 e R3.....	378
Figura G.1.8: (a) Sólidos suspensos totais e (b) Remoção ou arraste de SST em R1 e R3.....	378
Figura G.1.9: (a) Sólidos suspensos fixos e (b) Remoção ou arraste de SSF em R1 e R3.....	379
Figura G.1.10: (a) Sólidos suspensos voláteis e (b) Remoção ou arraste de SSV em R1 e R3.....	379
Figura G.1.11: (a) Sólidos dissolvidos totais e (b) Remoção ou arraste de SDT em R1 e R3.	380
Figura G.1.12: (a) Sólidos dissolvidos fixos e (b) Remoção ou arraste de SDF fixos em R1 e R3.	380
Figura G.1.13: (a) Sólidos dissolvidos voláteis e (b) Remoção ou arraste de SDV em R1 e R3.	380
Figura G.1.14: (a) N-total afl. e efl. e (b) Namoniaco afl. e efl. em R1 e R3.....	381
Figura G.1.15: N-orgânico afluente e efluente em R1 e R3.....	381
Figura J.1.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluente e efluente.....	417
Figura J.1.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.	418
Figura J.1.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	418

Figura J.5.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluyente e efluente.	421
Figura J.5.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.	421
Figura J.5.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	421
Figura J.6.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluyente e efluente.	423
Figura J.6.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.	423
Figura J.6.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	423
Figura J.7.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	424
Figura J.8.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	425
Figura J.9.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	425
Figura J.10.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural afluyente e efluente.	427
Figura J.10.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.	427
Figura J.10.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	427
Figura J.15.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluyente e efluente.	430
Figura J.15.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.	430
Figura J.15.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	430
Figura J.16.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	431
Figura J.17.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluyente e efluente.	432
Figura J.17.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.	433
Figura J.17.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	433
Figura J.18.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.	434
Figura N.1.1: (a) Sólidos totais afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de ST.	455
Figura N.1.9: (a) Sólidos totais fixos afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STF.	455
Figura N.1.3: (a) Sólidos totais voláteis afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STV.	456
Figura N.1.4: (a) Sólidos suspensos totais afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SST.	456
Figura N.1.5: (a) Sólidos suspensos fixos afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSF.	457
Figura N.1.6: (a) Sólidos suspensos voláteis afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSV.	457
Figura N.1.7: (a) Sólidos dissolvidos totais afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDT.	458
Figura N.1.8: (a) Sólidos dissolvidos fixos afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDF.	458
Figura N.1.9: (a) Sólidos dissolvidos voláteis afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDV.	458
Figura N.1.10: (a) Zinco afluyente e efluente e (b) Chumbo afluyente e efluente.	459
Figura N.1.11: (a) Cádmio afluyente e efluente e (b) Níquel afluyente e efluente.	459
Figura N.1.12: (a) Ferro afluyente e efluente e (b) Manganês afluyente e efluente.	460
Figura N.1.13: (a) Cobre afluyente e efluente e (b) Cromo afluyente e efluente.	460
Figura Q.1.1: (a) Sólidos totais afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de ST.	489
Figura Q.1.2: (a) Sólidos totais fixos afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STF.	490
Figura Q.1.3: (a) Sólidos totais voláteis afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STV.	490
Figura Q.1.4: (a) Sólidos suspensos totais afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SST.	491
Figura Q.1.5: (a) Sólidos suspensos fixos afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSF.	491
Figura Q.1.6: (a) Sólidos suspensos voláteis afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSV.	491
Figura Q.1.7: (a) Sólidos dissolvidos totais afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDT.	492
Figura Q.1.8: (a) Sólidos dissolvidos fixos afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDF.	492
Figura Q.1.9: (a) Sólidos dissolvidos voláteis afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDV.	493
Figura Q.1.10: Relações STV/ST afluentes, efluentes e eficiência de remoção de DQO _{Total}	493
Figura Q.1.11: (a) Zinco afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Zinco.	494
Figura Q.1.12: (a) Chumbo afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Chumbo.	494
Figura Q.1.13: (a) Cádmio afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cádmio.	495
Figura Q.1.14: (a) Níquel afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Níquel.	495
Figura Q.1.15: (a) Ferro afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Ferro.	495
Figura Q.1.16: (a) Manganês afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Manganês.	496
Figura Q.1.17: (a) Cobre afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cobre.	496

Figura S.2.13: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 9, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 9.	542
Figura S.2.14: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 9, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 9.	542
Figura S.2.15: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 10, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 10.	543
Figura S.2.16: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 10, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 10.	543
Figura U.1.1.1: Interface da planilha elaborada pelo pesquisador para solução do modelo matemático na forma integral.....	551
Figura U.1.1.2: Interface da planilha elaborada pelo pesquisador para solução do modelo matemático na forma diferencial.....	554
Figura U.1: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	558
Figura U.2: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	559
Figura U.3: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	560
Figura U.4: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	561
Figura U.5: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	562
Figura U.6: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	563
Figura U.7: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	564
Figura U.8: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	565
Figura U.9: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	566
Figura U.10: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	567
Figura U.11: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	568
Figura U.12: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	569
Figura U.13: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	570
Figura U.14: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	571
Figura U.15: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	572
Figura U.16: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	573
Figura U.17: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	574
Figura U.18: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	575
Figura U.19: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	576

[illegible]

Figura U.101: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	658
Figura U.102: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	659
Figura U.103: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	660
Figura U.104: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	661
Figura U.105: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	662
Figura U.106: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	663
Figura U.107: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	664
Figura U.108: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	665
Figura U.109: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	666
Figura U.110: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	667
Figura U.111: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	668
Figura U.112: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic [®] no Excel [®] ; (a) ajuste g e (b) ajuste h.	669
Figura W.1.1: (a) Sólidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de ST.	681
Figura W.1.2: (a) Sólidos totais fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STF.	681
Figura W.1.3: (a) Sólidos totais voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STV.	682
Figura W.1.4: (a) Sólidos suspensos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SST.	682
Figura W.1.5: (a) Sólidos suspensos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSF.	683
Figura W.1.6: (a) Sólidos suspensos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSV.	683
Figura W.1.7: (a) Sólidos dissolvidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDT.	684
Figura W.1.8: (a) Sólidos dissolvidos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDF.	684
Figura W.1.9: (a) Sólidos dissolvidos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDV.	684
Figura W.1.10: (a) Zinco afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Zinco.	685
Figura W.1.11: (a) Chumbo afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Chumbo.	685
Figura W.1.12: (a) Cádmio afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cádmio.	686
Figura W.1.13: (a) Níquel afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Níquel.	686
Figura W.1.14: (a) Ferro afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Ferro.	687
Figura W.1.15: (a) Manganês afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Manganês.	687
Figura W.1.16: (a) Cobre afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cobre.	688
Figura W.1.17: (a) Cromo afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cromo.	688
Figura Z.1.1: (a) Sólidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de ST.	709
Figura Z.1.2: (a) Sólidos totais fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STF.	709
Figura Z.1.3: (a) Sólidos totais voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STV.	710
Figura Z.1.4: (a) Sólidos suspensos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SST.	711
Figura Z.1.5: (a) Sólidos suspensos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSF.	711
Figura Z.1.6: (a) Sólidos suspensos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSV.	712
Figura Z.1.7: (a) Sólidos dissolvidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDT.	712
Figura Z.1.8: (a) Sólidos dissolvidos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDF.	713
Figura Z.1.9: (a) Sólidos dissolvidos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDV.	713
Figura Z.1.10: (a) Zinco afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Zinco.	714
Figura Z.1.11: (a) Chumbo afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Chumbo.	714
Figura Z.1.12: (a) Cádmio afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cádmio.	715
Figura Z.1.13: (a) Níquel afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Níquel.	715

Figura Z.1.14: (a) Ferro afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Ferro.....	716
Figura Z.1.15: (a) Manganês afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Manganês.	716
Figura Z.1.16: (a) Cobre afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cobre.....	717
Figura Z.1.17: (a) Cromo afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cromo.	717

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.1: Composição física dos resíduos sólidos depositados e aterrados no aterro sanitário da cidade de São Carlos.	9
Tabela 3.1.2: Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões no ano 2.000.	11
Tabela 3.1.3: Número de distritos com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões no ano 2.000.	12
Tabela 3.2.4.1: Comparação da composição dos lixiviados com idades diferentes, de aterros sanitários situados no Canadá.	21
Tabela 3.2.4.2: Faixas de concentração dos principais parâmetros de percolados de aterros sanitários.	22
Tabela 3.3.4.1: Ácidos voláteis e algumas de suas características químicas e físicas.	25
Tabela 3.3.4.2: Composição dos AVT do lixiviado de Rio Claro-SP, segundo Contrera (2003).	26
Tabela 3.3.4.3: Possível relação entre AVT, DQO e biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados observada nos resultados de Contrera (2003).	29
Tabela 3.3.5.1: Composição elementar média para os ácidos húmicos e fúlvicos.	31
Tabela 3.3.8.1: Definição dos vários termos das espécies de nitrogênio.	34
Tabela 3.4.1: Sistemas de tratamento de lixiviados mais pesquisados na última década. (continua)	38
Tabela 3.4.1: Sistemas de tratamento de lixiviados mais pesquisados na última década. (continuação)	39
Tabela 4.4.1: Características dos reatores anaeróbios em batelada seqüencial.	59
Tabela 4.6.1.1: Testes realizados para avaliação da redução da inibição da biomassa.	72
Tabela 4.6.2.1: Combinações das variações de parâmetros pesquisados.	74
Tabela 4.6.3.1: Reatores operados durante o Teste 3.	76
Tabela 4.6.4.1: Variações de substratos testadas em cada um dos reatores a partir da batelada 4.	77
Tabela 4.9.1: Características dos reatores aeróbios em bateladas seqüenciais (R2 e R4).	84
Tabela 4.11.1.1: Características construtivas do filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente (R5).	87
Tabela 4.13.1: Síntese dos parâmetros analisados, bem como o tipo de amostra e a metodologia empregada.	93
Tabela 4.14.2.1: Combinação de ajustes testados para cada perfil experimental de concentração.	98
Tabela 5.1.1: Caracterização do lixiviado da primeira batelada, coletado no início da operação dos reatores na primeira etapa.	106
Tabela 5.1.2: Características dos lixiviados utilizados por Contrera (2003); características do lixiviado do aterro de São Carlos-SP, na caracterização feita em agosto de 2003 e as características do lixiviado no momento da partida desse experimento.	111
Tabela 5.2.1.1: Testes realizados para avaliação da redução da inibição da biomassa.	113
Tabela 5.2.1.2: Resultados adicionais da caracterização do lixiviado de São Carlos-SP.	115
Tabela 5.2.2.1: Combinações das variações de parâmetros pesquisados.	116
Tabela 5.2.4.1: Resultados médios da produção diária de gás no Teste 4.	128
Tabela 5.2.4.2: Resultados médios da produção acumulada de gás no Teste 4.	130
Tabela 5.3.1: Características e propriedades físicas dos lodos de inóculo utilizados.	134
Tabela 5.7.1: Características e propriedades físicas do lodo misto de inóculo utilizado no filtro biológico.	213
Tabela 5.7.1.1: Volume de líquido medido através dos amostradores ao esvaziar o filtro biológico (R5), depois de 120 dias de operação.	214
Tabela 5.8.2.1: Resultados dos ajustes entre biodegradabilidade e a relação STV/ST obtidos para os perfis 3 a 10.	232
Tabela 5.8.4.1: Diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações STV/ST.	236
Tabela 5.8.6.1: Resultados dos ajustes entre biodegradabilidade e a relação AVT/DQO _{Filtr.} obtidos para os perfis 3 a 10.	237

Tabela 5.8.6.2: Resultados dos ajustes entre biodegradabilidade e a relação AVT/DQO_{Total} obtidos para os perfis 3 a 10.....	237
Tabela 5.8.8.1: Diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações $AVT/DQO_{Filtr.}$	242
Tabela 5.8.8.2: Diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações AVT/DQO_{Total}	242
Tabela 5.9.1.1: Ácidos voláteis, os coeficientes das reações de oxidação completa, as massas molares e as respectivas DQOs teóricas.	247
Tabela 5.9.3.1: Composição percentual da mistura lixiviado-ácido acético e a sua biodegradabilidade.	249
Tabela 5.9.3.2: Composição (%) da mistura lixiviado-ácido propiônico e a sua biodegradabilidade.	250
Tabela 5.9.3.3: Ácidos voláteis, os coeficientes das reações de oxidação completa, as massas molares e as respectivas DQOs teóricas.	251
Tabela 5.10.1: Características químicas e físicas dos substratos utilizados.	253
Tabela 5.10.2: Concentrações medidas e calculadas de AVT, para determinação do fator de correção através de correlações lineares dos resultados dos perfis temporais de concentração do ASBBR (R3), considerando-se a existência de interferentes.....	254
Tabela 5.11.1.1: Características do lodo considerando distribuição uniforme entre os cubos de espuma, no início da segunda etapa de operação (Batelada 1).....	257
Tabela 5.11.1.2: Caracterização do lodo das espumas retiradas do cesto de aço inox do ASBBR entre as bateladas 15 e 16.	257
Tabela 5.11.1.3: Caracterização do lodo das espumas retiradas do cesto de aço inox do ASBBR entre as bateladas 30 e 31.	257
Tabela 5.11.1.4: Caracterização do lodo das espumas retiradas do cesto de aço inox do ASBBR depois da batelada 80.....	258
Tabela 5.11.1.5: Crescimento celular ao longo das bateladas de R3.....	259
Tabela 5.11.3.1: Resultados da análise do Perfil 11 considerando-se como substrato a DQO_{Total}	265
Tabela 5.11.3.2: Resultados da análise do Perfil 11 considerando-se como substrato a $DQO_{Filtr.}$	266
Tabela 5.11.4.1: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 03 a 10.....	268
Tabela 5.11.4.2: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 11 a 13 e da média dos perfis.	269
Tabela 5.11.4.3: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 14 a 17 e da média dos perfis.	269
Tabela 5.11.4.4: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 18 a 21 e da média dos perfis.	270
Tabela 5.11.4.5: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 22 a 26 e da média dos perfis 23, 25 e 26.	271
Tabela 5.11.4.6: Análise das velocidades específicas de consumo de substrato (μ_s) em função das concentrações de substrato (C_s), como DQO_{Total} , para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).....	272
Tabela 5.11.4.6: Valores das constantes cinéticas de Monod para culturas anaeróbias.	273
Tabela 5.11.5.1: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 03 a 10.	274
Tabela 5.11.5.2: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 11 a 13 e da média dos perfis.	275
Tabela 5.11.5.3: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 14 a 17 e da média dos perfis.	275
Tabela 5.11.5.4: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 18 a 21 e da média dos perfis.	276
Tabela 5.11.5.5: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 22 a 26 e da média dos perfis 23, 25 e 26.....	277
Tabela 5.12.1: Parâmetros utilizados para elaboração das curvas comparativas para verificação da influência da concentração de N-amoniaco na cinética de consumo dos substratos.	278
Tabela 5.12.2: Influência da concentração de N-amoniaco nas velocidades de consumo de substrato (dC_s/dt) em função do tempo (t) e das concentrações de substrato (C_s), como DQO_{Total} para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).....	278

Tabela 5.12.3: Influência da concentração de N-amoniaco nas velocidades de consumo de substrato (dC_s/dt) em função do tempo (t) e das concentrações de substrato (C_s), como $DQO_{Filtr.}$ para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).	279
Tabela 5.13.1: Resultados de pH, alcalinidade total e N-amoniaco de efluentes coletados em algumas cidades do interior do Estado de São Paulo.	284
Tabela 5.13.2: Referências dos últimos dez anos que apresentam caracterizações de efluentes com pelo menos as concentrações de N-amoniaco e alcalinidade total.	286
Tabela F.1: Resultados experimentais da Etapa 1 de Operação do ASBR (R1).	369
Tabela F.1: Resultados experimentais da Etapa 1 de Operação do ASBR (R1). (continuação)	370
Tabela F.2: Resultados experimentais da Etapa 1 de Operação do ASBBR (R3).	371
Tabela F.2: Resultados experimentais da Etapa 1 de Operação do ASBBR (R3). (continuação)	372
Tabela H.1: Resultados do acompanhamento da produção de gás nos reatores.	385
Tabela H.2: Produção acumulada de gás nos reatores.	385
Tabela H.3: Resultados dos testes de redução da inibição.	385
Tabela I.1: Produção de gás dos reatores. (continua)	389
Tabela I.1: Produção de gás dos reatores. (continuação 1)	389
Tabela I.1: Produção de gás dos reatores. (continuação 2)	389
Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continua)	390
Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continuação 1)	390
Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continuação 2)	391
Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continuação 3)	391
Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continuação 4)	392
Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05.	393
Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05. (continuação 1)	393
Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05. (continuação 2)	394
Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05. (continuação 3)	394
Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05. (continuação 4)	395
Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06.	396
Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06. (continuação 1)	396
Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06. (continuação 2)	397
Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06. (continuação 3)	397
Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06. (continuação 4)	398
Tabela I.5: Resultados do acompanhamento do reator 07.	399
Tabela I.5: Resultados do acompanhamento do reator 07. (continuação)	399
Tabela I.6: Resultados do acompanhamento do reator 08.	400
Tabela I.6: Resultados do acompanhamento do reator 08. (continuação)	400
Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09.	401
Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09. (continuação 1)	401
Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09. (continuação 2)	401
Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09. (continuação 3)	402
Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09. (continuação 4)	402
Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10.	403
Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10. (continuação 1)	403
Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10. (continuação 2)	404
Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10. (continuação 3)	404
Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10. (continuação 4)	405
Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15.	406
Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15. (continuação 1)	406
Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15. (continuação 2)	407
Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15. (continuação 3)	407
Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15. (continuação 4)	408
Tabela I.10: Resultados do acompanhamento do reator 16.	409
Tabela I.10: Resultados do acompanhamento do reator 16. (continuação)	409
Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17.	410
Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17. (continuação 1)	410

Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17. (continuação 2)	411
Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17. (continuação 3)	411
Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17. (continuação 4)	412
Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18.	413
Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18. (continuação 1)	413
Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18. (continuação 2)	413
Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18. (continuação 3)	414
Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18. (continuação 4)	414
Tabela K.1: Síntese dos resultados do Teste 3. (Continua)	437
Tabela K.1: Síntese dos resultados do Teste 3. (continuação)	437
Tabela K.2: Resultados do acompanhamento diário do Teste 3. (Continua)	438
Tabela K.2: Resultados do acompanhamento diário do Teste 3. (continuação)	439
Tabela L.1: Síntese dos resultados do Teste 4.	443
Tabela L.2: Resultados do acompanhamento diário do Teste 4.	444
Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1).	447
Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 1)	448
Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 2.1) ..	449
Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 2.2) ..	450
Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 3.1) ..	451
Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 3.2) ..	452
Tabela O.1: Resultados do primeiro perfil temporal de concentração realizado no ASBR (R1) na segunda etapa de operação (Batelada 07).	463
Tabela O.2: Resultados do segundo perfil temporal de concentração realizado no ASBR (R1) na segunda etapa de operação (Batelada 16).	463
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (Continua)	467
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 1)	468
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 2.1) ..	469
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 2.2) ..	470
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 3.1) ..	471
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 3.2) ..	472
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 4.1) ..	473
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 4.2) ..	474
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 5.1) ..	475
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 5.2) ..	476
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 6.1) ..	477
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 6.2) ..	478
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 7.1) ..	479
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 7.2) ..	480
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 8.1) ..	481
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 8.2) ..	482
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 9.1) ..	483
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 9.2) ..	484
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 10.1) ..	485
Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 10.2) ..	486
Tabela R.1: Resultados do primeiro perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 07).	501
Tabela R.2: Resultados do segundo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 16).	501
Tabela R.3: Resultados do terceiro perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 28).	502
Tabela R.4: Resultados do quarto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 29).	503
Tabela R.5: Resultados do quinto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 30).	504

Tabela R.6: Resultados do sexto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 31).....	505
Tabela R.7: Resultados do sétimo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 33).....	506
Tabela R.8: Resultados do oitavo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 34).....	507
Tabela R.9: Resultados do nono perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 35).....	508
Tabela R.10: Resultados do décimo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 37).....	509
Tabela R.11: Resultados do décimo primeiro perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 51).	510
Tabela R.12: Resultados do décimo segundo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 53).	511
Tabela R.13: Resultados do décimo terceiro perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 54).	512
Tabela R.14: Resultados do décimo quarto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 56).....	513
Tabela R.15: Resultados do décimo quinto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 57).....	514
Tabela R.16: Resultados do décimo sexto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 58).....	515
Tabela R.17: Resultados do décimo sétimo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 59).....	516
Tabela R.18: Resultados do décimo oitavo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 60).....	517
Tabela R.19: Resultados do décimo nono perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 61).....	518
Tabela R.20: Resultados do vigésimo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 62).....	519
Tabela R.21: Resultados do vigésimo primeiro perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 63).	520
Tabela R.22: Resultados do vigésimo segundo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 64).	521
Tabela R.23: Resultados do vigésimo terceiro perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 65).	522
Tabela R.24: Resultados do vigésimo quarto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 66).	523
Tabela R.25: Resultados do vigésimo quinto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 67).	524
Tabela R.26: Resultados do vigésimo sexto perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 68).....	525
Tabela R.27: Resultados perfis temporais 11, 12 e 13 de concentração de ácidos voláteis, analisados por cromatografia, realizados no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação.	526
Tabela R.28: Resultados perfis temporais 14, 15, 16 e 17 de concentração de ácidos voláteis, analisados por cromatografia, realizados no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação.....	527
Tabela R.29: Resultados perfis temporais 18, 19, 20 e 21 de concentração de ácidos voláteis, analisados por cromatografia, realizados no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação.....	528
Tabela R.30: Resultados perfis temporais 22, 23, 24, 25 e 26 de concentração de ácidos voláteis, analisados por cromatografia, realizados no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação.....	529
Tabela T.1: Resultados da modelagem matemática do crescimento celular do ASBBR (R3). (continua)	547
Tabela T.1: Resultados da modelagem matemática do crescimento celular do ASBBR (R3). (continuação).....	548

Tabela U.1: Resultados da modelagem matemática do terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	558
Tabela P.2: Resultados da modelagem matemática do terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	559
Tabela U.3: Resultados da modelagem matemática do terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	560
Tabela U.4: Resultados da modelagem matemática do terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	561
Tabela U.5: Resultados da modelagem matemática do quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	562
Tabela U.6: Resultados da modelagem matemática do quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	563
Tabela U.7: Resultados da modelagem matemática do quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	564
Tabela U.8: Resultados da modelagem matemática do quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	565
Tabela U.9: Resultados da modelagem matemática do quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	566
Tabela U.10: Resultados da modelagem matemática do quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	567
Tabela U.11: Resultados da modelagem matemática do quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	568
Tabela U.12: Resultados da modelagem matemática do quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	569
Tabela U.13: Resultados da modelagem matemática do sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	570
Tabela U.14: Resultados da modelagem matemática do sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	571
Tabela U.15: Resultados da modelagem matemática do sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	572
Tabela U.16: Resultados da modelagem matemática do sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	573
Tabela U.17: Resultados da modelagem matemática do sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	574
Tabela U.18: Resultados da modelagem matemática do sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	575

Tabela U.19: Resultados da modelagem matemática do sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	576
Tabela U.20: Resultados da modelagem matemática do sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	577
Tabela U.21: Resultados da modelagem matemática do oitavo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	578
Tabela U.22: Resultados da modelagem matemática do oitavo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	579
Tabela U.23: Resultados da modelagem matemática do oitavo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	580
Tabela U.24: Resultados da modelagem matemática do oitavo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	581
Tabela U.25: Resultados da modelagem matemática do nono perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	582
Tabela U.26: Resultados da modelagem matemática do nono perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	583
Tabela U.27: Resultados da modelagem matemática do nono perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	584
Tabela U.28: Resultados da modelagem matemática do nono perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	585
Tabela U.29: Resultados da modelagem matemática do décimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	586
Tabela U.30: Resultados da modelagem matemática do décimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	587
Tabela U.31: Resultados da modelagem matemática do décimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	588
Tabela U.32: Resultados da modelagem matemática do décimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	589
Tabela U.33: Resultados da modelagem matemática do décimo primeiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	590
Tabela U.34: Resultados da modelagem matemática do décimo primeiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	591
Tabela U.35: Resultados da modelagem matemática do décimo primeiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	592
Tabela U.36: Resultados da modelagem matemática do décimo primeiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	593

Tabela U.37: Resultados da modelagem matemática do décimo segundo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	594
Tabela U.38: Resultados da modelagem matemática do décimo segundo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	595
Tabela U.39: Resultados da modelagem matemática do décimo segundo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	596
Tabela U.40: Resultados da modelagem matemática do décimo segundo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	597
Tabela U.41: Resultados da modelagem matemática do décimo terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	598
Tabela U.42: Resultados da modelagem matemática do décimo terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	599
Tabela U.43: Resultados da modelagem matemática do décimo terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	600
Tabela U.44: Resultados da modelagem matemática do décimo terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	601
Tabela U.45: Resultados da modelagem matemática do décimo quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	602
Tabela U.46: Resultados da modelagem matemática do décimo quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	603
Tabela U.47: Resultados da modelagem matemática do décimo quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	604
Tabela U.48: Resultados da modelagem matemática do décimo quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	605
Tabela U.49: Resultados da modelagem matemática do décimo quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	606
Tabela U.50: Resultados da modelagem matemática do décimo quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	607
Tabela U.51: Resultados da modelagem matemática do décimo quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	608
Tabela U.52: Resultados da modelagem matemática do décimo quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	609
Tabela U.53: Resultados da modelagem matemática do décimo sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	610
Tabela U.54: Resultados da modelagem matemática do décimo sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	611

Tabela U.55: Resultados da modelagem matemática do décimo sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	612
Tabela U.56: Resultados da modelagem matemática do décimo sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	613
Tabela U.57: Resultados da modelagem matemática do décimo sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	614
Tabela U.58: Resultados da modelagem matemática do décimo sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	615
Tabela U.59: Resultados da modelagem matemática do décimo sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	616
Tabela U.60: Resultados da modelagem matemática do décimo sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	617
Tabela U.61: Resultados da modelagem matemática do décimo oitavo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	618
Tabela U.62: Resultados da modelagem matemática do décimo oitavo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	619
Tabela U.63: Resultados da modelagem matemática do décimo oitavo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	620
Tabela U.64: Resultados da modelagem matemática do décimo oitavo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	621
Tabela U.65: Resultados da modelagem matemática do décimo nono perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	622
Tabela U.66: Resultados da modelagem matemática do décimo nono perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	623
Tabela U.67: Resultados da modelagem matemática do décimo nono perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	624
Tabela U.68: Resultados da modelagem matemática do décimo nono perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	625
Tabela U.69: Resultados da modelagem matemática do vigésimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	626
Tabela U.70: Resultados da modelagem matemática do vigésimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	627
Tabela U.71: Resultados da modelagem matemática do vigésimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	628
Tabela U.72: Resultados da modelagem matemática do vigésimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	629

Tabela U.73: Resultados da modelagem matemática do vigésimo primeiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	630
Tabela U.74: Resultados da modelagem matemática do vigésimo primeiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	631
Tabela U.75: Resultados da modelagem matemática do vigésimo primeiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	632
Tabela U.76: Resultados da modelagem matemática do vigésimo primeiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	633
Tabela U.77: Resultados da modelagem matemática do vigésimo segundo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	634
Tabela U.78: Resultados da modelagem matemática do vigésimo segundo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	635
Tabela U.79: Resultados da modelagem matemática do vigésimo segundo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	636
Tabela U.80: Resultados da modelagem matemática do vigésimo segundo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	637
Tabela U.81: Resultados da modelagem matemática do vigésimo terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	638
Tabela U.82: Resultados da modelagem matemática do vigésimo terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	639
Tabela U.83: Resultados da modelagem matemática do vigésimo terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	640
Tabela U.84: Resultados da modelagem matemática do vigésimo terceiro perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	641
Tabela U.85: Resultados da modelagem matemática do vigésimo quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	642
Tabela U.86: Resultados da modelagem matemática do vigésimo quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	643
Tabela U.87: Resultados da modelagem matemática do vigésimo quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	644
Tabela U.88: Resultados da modelagem matemática do vigésimo quarto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	645
Tabela U.89: Resultados da modelagem matemática do vigésimo quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	646
Tabela U.90: Resultados da modelagem matemática do vigésimo quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	647

Tabela U.91: Resultados da modelagem matemática do vigésimo quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	648
Tabela U.92: Resultados da modelagem matemática do vigésimo quinto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	649
Tabela U.93: Resultados da modelagem matemática do vigésimo sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	650
Tabela U.94: Resultados da modelagem matemática do vigésimo sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	651
Tabela U.95: Resultados da modelagem matemática do vigésimo sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	652
Tabela U.96: Resultados da modelagem matemática do vigésimo sexto perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	653
Tabela U.97: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 11, 12 e 13 de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	654
Tabela U.98: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 11, 12 e 13 de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	655
Tabela U.99: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 11, 12 e 13 de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	656
Tabela U.100: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 11, 12 e 13 de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	657
Tabela U.101: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 14, 15, 16 e 17 de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	658
Tabela U.102: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 14, 15, 16 e 17 de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	659
Tabela U.103: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 14, 15, 16 e 17 de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	660
Tabela U.104: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 14, 15, 16 e 17 de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	661
Tabela U.105: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 18, 19, 20 e 21 de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	662
Tabela U.106: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 18, 19, 20 e 21 de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	663
Tabela U.107: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 18, 19, 20 e 21 de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.....	664
Tabela U.108: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 18, 19, 20 e 21 de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.....	665

Tabela U.109: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 23, 25 e 26 de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	666
Tabela U.110: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 23, 25 e 26 de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	667
Tabela U.111: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 23, 25 e 26 de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.	668
Tabela U.112: Resultados da modelagem matemática da média dos perfis temporais 23, 25 e 26 de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.	669
Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (Continua).....	673
Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (continuação 1).....	674
Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (Continuação 2.1).....	675
Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (continuação 2.2).....	676
Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (Continuação 3.1).....	677
Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (continuação 3.2).....	678
Tabela X.1: Resultados de medidas temporais de acompanhamento realizadas em R4.....	691
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (Continua).....	695
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 1).....	696
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 2.1).....	697
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 2.2).....	698
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 3.1).....	699
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 3.2).....	700
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 4.1).....	701
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 4.2).....	702
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 5.1).....	703
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 5.2).....	704
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 6.1).....	705
Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 6.2).....	706
Tabela AA.1: Medidas de temperatura nos quatro dias que antecederam o primeiro perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5).....	721
Tabela AA.2: Resultados da variação da concentração do afluente durante os quatro dias que antecederam o primeiro perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5).	722
Tabela AA.3: Resultados do primeiro perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5) (aos 168 dias de operação).	723
Tabela AA.4: Medidas de temperatura nos dois dias que antecederam o segundo perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5).....	724
Tabela AA.5: Resultados da variação da concentração do afluente e do efluente durante os dois dias que antecederam o segundo perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5).....	725
Tabela AA.6: Resultados do Segundo perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5) (aos 245 dias de operação).	726
Tabela AB.1: Resultados da caracterização dos lixiviados de Bauru-SP e Rio Claro-SP.	729
Tabela AB.2: Resultados da caracterização dos lixiviados de Araraquara-SP, Porto Alegre-RS, São José do Rio Preto-SP e São Carlos-SP.	730
Tabela AB.3: Resultados da caracterização dos lixiviados de São Carlos-SP em datas e locais distintos.	731

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAV	Alcalinidade a Ácido Voláteis
AB	Alcalinidade a Bicarbonato
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
ASBBR	<i>Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor</i>
ASBR	<i>Anaerobic Sequence Batch Reactor</i>
AVT	Ácidos Voláteis Totais
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CIT _{Filtr.}	Carbono Inorgânico Total da Amostra Filtrada
COT	Carbono Orgânico Total
COT _{Filtr.}	Carbono Orgânico Total da Amostra Filtrada
CT _{Filtr.}	Carbono Total da Amostra Filtrada
D	Diâmetro
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio Padrão
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DQO _{Filtr.}	Demanda Química de Oxigênio da Amostra Filtrada
DQO _{Total}	Demanda Química de Oxigênio da Amostra <i>in natura</i>
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EUA	Estados Unidos da América
L	Comprimento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
N _{org.}	Nitrogênio orgânico
N _{total}	Nitrogênio total
NAT	Nitrogênio Amoniacal Total
NBR	Norma Brasileira Registrada
ND	Não Detectado
NMP	Número Mais Provável
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
P _{Total}	Fósforo total
PVC	Policloreto de Vinila

RAHLF	Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo
SHS	Departamento de Hidráulica e Saneamento
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SDV	Sólidos Dissolvidos Voláteis
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
TVA	<i>Total Volatile Acids</i>
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i>
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

θ_h	Tempo de detenção hidráulica
As	Astato
Ca^{++}	Cálcio
CaCO_3	Carbonato de cálcio
Cd	Cádmio
CH_2O_2	Ácido metanóico (fórmico)
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	Ácido etanóico (acético)
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	Ácido propanóico (propiónico)
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	Ácido butanóico (butírico) ou isobutanóico (isobutírico)
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	Ácido pentanóico (valérico) ou isopentanóico (isovalérico)
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	Ácido hexanóico (capróico)
CH_4	Metano
Cl^-	Cloreto
CN^-	Cianeto
Co	Cobalto
CO_2	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
H_2	Gás hidrogênio
H_2S	Gás sulfídrico
Hg	Mercúrio
K^+	Potássio
Mg^{++}	Magnésio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
N_2	Gás nitrogênio
Na^+	Sódio
NaHCO_3	Hidrogenocarbonato de sódio (bicarbonato de sódio)
NH_3	Amônia

NH_4^+	Íon Amônio
NH_4HCO_3	Hidrogenocarbonato de amônio (bicarbonato de amônio)
Ni	Níquel
NO_3^-	Nitrato
NO_2^-	Nitrito
O_2	Gás oxigênio
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PO_4^{-3}	Fosfato
S	Enxofre
SO_4^{-2}	Sulfato
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - OBJETIVOS.....	7
2.1 – Objetivo Geral	7
2.2 – Objetivos Específicos	7
3 - REVISÃO DA LITERATURA	9
3.1 – Resíduos Sólidos Domiciliares e Aterros Sanitários.....	9
3.2 – Líquidos Percolados ou Lixiviados de Aterros Sanitários.....	14
3.2.1 – Definição	14
3.2.2 – Formação	14
3.2.3 – Volume de Lixiviados	15
3.2.3.1 – Método Suíço.....	15
3.2.3.2 – Método Racional.....	16
3.2.3.3 – Método do Balanço Hídrico	17
3.2.3.4 – Método ou Modelo HELP	19
3.2.4 – Composição dos Lixiviados.....	20
3.3 – Características de Alguns dos Principais Parâmetros e Componentes dos Lixiviados de Aterros Sanitários.....	22
3.3.1 – Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	23
3.3.2 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	23
3.3.3 – Carbono Orgânico Total (COT).....	24
3.3.4 – Ácidos Voláteis Totais (AVT)	25
3.3.5 – Ácidos Húmicos e Fúlvicos	30
3.3.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)	32
3.3.7 – Alcalinidade.....	32
3.3.8 – Nitrogênio (N)	33
3.3.9 – Fósforo (P)	35
3.3.10 – Metais.....	36
3.3.11 – Sólidos	36
3.4 – Algumas Formas de Tratamento de Lixiviados Encontradas na Literatura.....	37
3.5 – Sistemas de Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários Utilizados nesta Pesquisa	39
3.5.1 – Reatores em Bateladas Sequenciais	40
3.5.1.1 – Reator Anaeróbio em Batelada Sequencial.....	40
3.5.1.2 – Sistema de Lodos Ativados em Bateladas Sequenciais	43
3.5.2 – Reatores de Fluxo Contínuo	44
3.5.2.1 – Filtros Anaeróbios	44
3.6 - Considerações Finais.....	46
4 - MATERIAL E MÉTODOS	49
4.1 – Local da Montagem do Experimento.....	49
4.2 – Descrição do Experimento	52
4.3 – Captação de Lixiviados para Alimentação do Sistema	56
4.4 – Montagem e Descrição dos Reatores Anaeróbios em Bateladas Sequenciais	58
4.5 – Primeira Etapa de Operação – Tentativa de Adaptação da Biomassa Sem Uso de Aditivos.....	67
4.5.1 – Inóculo dos Reatores	68
4.6 – Testes de Biodegradabilidade Anaeróbia.....	71

4.6.1 – Teste 1 - Seleção da Estratégia de Redução de Inibição da Biomassa	71
4.6.2 – Teste 2 - Seleção e Adaptação da Biomassa por Meio do Uso de Aditivos e Diluição dos Lixiviados	72
4.6.3 – Teste 3 – Efeito da Redução da Adição de Etanol.....	75
4.6.4 – Teste 4 – Efeito da Redução da Concentração de N-amoniacal	76
4.7 – Segunda Etapa de Operação – Tentativa de Adaptação da Biomassa com Diluição Inicial do Lixiviado e Adição de Etanol	78
4.7.1 – Inóculo dos Reatores	78
4.8 – Operação dos Reatores	80
4.9 – Montagem e Descrição do Sistema de Lodos Ativados em Bateladas Sequenciais (R2 e R4)	83
4.10 – Partida, Adaptação e Operação do Reator Aeróbio em Bateladas Sequenciais	86
4.11 – Montagem e Descrição do Filtro Biológico Anaeróbio de Fluxo Ascendente (R5)	86
4.11.1 – Construção do Filtro Biológico	86
4.11.2 – Meio Suporte	89
4.11.3 – Preparo do Inóculo do Filtro Biológico (R5)	90
4.12 – Partida, Adaptação e Operação do Filtro Biológico Anaeróbio de Fluxo Ascendente (R5).....	91
4.13 – Análises Físico-Químicas e Exames Microbiológicos das Amostras	93
4.14 - Obtenção de Parâmetros Cinéticos	94
4.14.1 - Modelo Matemático	94
4.14.2 - Solução e Ajuste do Modelo Matemático.....	98
4.14.3 - Avaliação do Modelo Matemático	100
4.14.3.1 - Testes Estatísticos	100
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
5.1 – Primeira Etapa – Tentativa de Adaptação da Biomassa Sem Uso de Aditivos.	103
5.2 – Testes de Adaptação e Seleção da Nova Biomassa (Inóculo)	113
5.2.1 – Teste 1 - Seleção da Estratégia de Redução de Inibição da Biomassa	113
5.2.2 – Teste 2 - Seleção e Adaptação da Biomassa Através do Uso de Aditivos e Diluição dos Lixiviados.....	116
5.2.2.1 – Efeito da Adição de Fósforo	117
5.2.2.2 – Efeito da Diluição Inicial	119
5.2.2.3 – Efeito da Adição de Etanol.....	121
5.2.2.4 – Efeito do Tipo de Inóculo	122
5.2.2.5 – Efeito da Imobilização da Biomassa em Meio Suporte	122
5.2.3 – Teste 3 – Efeito da Redução da Adição de Etanol.....	124
5.2.4 – Teste 4 – Efeito da Redução da Concentração de N-amoniacal	126
5.2.5 – Síntese dos Testes Realizados.....	132
5.3 – Segunda Etapa – Tentativa de Adaptação da Biomassa com Diluição Inicial do Lixiviado e Adição de Etanol nos Reatores em Escala Piloto	133
5.4 – ASBR (R1)	134
5.4.1 – Resultados do Acompanhamento do ASBR (R1)	134
5.4.2 – Perfis Temporais de Concentração Realizados no ASBR (R1).....	138
5.4.3 – Perfil 1	138
5.4.4 – Perfil 2	139
5.5 – ASBBR (R3).....	140
5.5.1 – Resultados do Acompanhamento do ASBBR (R3)	140
5.5.2 – Perfis Temporais de Concentração Realizados no ASBBR (R3).....	145
5.5.3 – Perfil 1	146

5.5.4 – Perfil 2.....	147
5.5.5 – Perfil 3.....	148
5.5.6 – Perfil 4.....	153
5.5.7 – Perfil 5.....	155
5.5.8 – Perfil 6.....	158
5.5.9 – Perfil 7.....	160
5.5.10 – Perfil 8.....	162
5.5.11 – Perfil 9.....	164
5.5.12 – Perfil 10.....	167
5.5.13 – Perfis 11, 12 e 13	169
5.5.14 – Perfis 14, 15, 16 e 17	175
5.5.15 – Perfis 18, 19, 20 e 21	186
5.5.16 – Perfis 22, 23, 24, 25 e 26	196
5.5.17 – Síntese da Análise dos Perfis	206
5.6 – Lodos Ativados em Bateladas Sequenciais (R4)	207
5.7 – Filtro Biológico (R5)	212
5.7.1 – Resultados da Operação do Filtro Biológico (R5)	213
5.7.2 – Resultados dos Perfis Longitudinais de Concentração Realizados em R5.....	218
5.7.3 – Primeiro Perfil Longitudinal de Concentração Realizado em R5	218
5.7.4 – Segundo Perfil Longitudinal de Concentração Realizado em R5	224
5.8 – Biodegradabilidade Anaeróbia do Lixiviado de São Carlos-SP.....	229
5.8.1 – Relação STV/ST.....	231
5.8.2 – Análise da Relação STV/ST nos Perfis de Concentração	231
5.8.3 – Análise da Relação STV/ST no Acompanhamento do Reator	233
5.8.4 – Considerações Finais Sobre a Relação STV/ST.....	235
5.8.5 – Relação AVT/DQO	236
5.8.6 – Análise da Relação AVT/DQO nos Perfis de Concentração.....	236
5.8.7 – Análise da Relação AVT/DQO no Acompanhamento do Reator.....	239
5.8.8 – Considerações Finais Sobre a Relação AVT/DQO dos Lixiviados do Aterro Sanitário de São Carlos-SP	242
5.8.9 – Verificação da Relação AVT/DQO em Lixiviados do Aterro Sanitário como Indicador da Biodegradabilidade Anaeróbia, Através do Enriquecimento do Lixiviado do Aterro Sanitário de São Carlos com Adição de Etanol ou Ácidos Voláteis	243
5.9 – A Relação AVT/DQO como um Indicador da Biodegradabilidade Anaeróbia de Lixiviados de Aterros Sanitários: Aspectos Teóricos.....	246
5.9.1 – DQO Teórica dos Ácidos Voláteis.....	246
5.9.2 – Coeficiente Linear da Reta do Modelo de Correlação entre a Relação AVT/DQO e a Biodegradabilidade Anaeróbia dos Lixiviados.....	247
5.9.3 – Coeficiente Angular da Reta do Modelo de Correlação entre a Relação AVT/DQO e a Biodegradabilidade Anaeróbia dos Lixiviados.....	248
5.10 – Determinação do Fator de Correção para Determinação da Concentração de AVT em Lixiviados de Aterros Sanitários para o Método de DiLallo Modificado	252
5.11 – Ajuste do Modelo Matemático e Obtenção dos Parâmetros Cinéticos de Monod	257
5.11.1 – Crescimento Celular no ASBBR (R3).....	257
5.11.2 – Comparação entre Ajustes e Validação dos Modelos Matemáticos de Consumo de Substrato de Monod e de Primeira Ordem.....	262
5.11.3 – Características dos Resultados dos Ajustes do Modelo Matemático de Monod	264

5.11.4 – Resultados Obtidos pelo Modelo Cinético de Monod para Consumo de Substratos no Tratamento Anaeróbio de Lixiviados de Aterros Sanitários.....	268
5.11.5 – Resultados Obtidos pelo Modelo Cinético de Primeira Ordem para Consumo de Substratos no Tratamento Anaeróbio de Lixiviados de Aterros Sanitários.....	273
5.12 – Inibição da Cinética de Consumo de Substrato Devido ao Aumento da Concentração de N-amônia livre.	277
5.13 – Relação Entre Alcalinidade Total e Nitrogênio Amoniacal em Lixiviados de Aterros Sanitários	282
6 - CONCLUSÕES	289
6.1 – Conclusão dos Testes de Biodegradabilidade Anaeróbia em Escala Reduzida	289
6.2 – Conclusão sobre a Operação do ASBR (R1)	290
6.3 – Conclusão sobre a Operação do ASBBR (R3).....	290
6.4 – Conclusão sobre a Operação do Sistema de Lodos Ativado (R4)	291
6.5 – Conclusão sobre a Operação do Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente (R5) ..	291
6.6 – Conclusão Sobre a Tratabilidade Anaeróbia de Lixiviados de Aterros Sanitários	292
6.7 – Conclusão sobre a Obtenção de Parâmetros Cinéticos para o Tratamento Anaeróbio de Lixiviados de Aterros Sanitários	292
6.7.1 – Conclusão sobre a Aplicação do Modelo Cinético de Monod	292
6.7.2 – Conclusão sobre a Aplicação do Modelo Cinético de Primeira Ordem.....	293
6.8 – Conclusão sobre a Obtenção do Fator de Correção para Determinação das Concentrações de AVT em Lixiviados de Aterros Sanitários, para o Método de DiLallo e Albertson (1961).	293
6.9 – Conclusão sobre as Concentrações de N-Amoniacal em Lixiviados de Aterros e seus Efeitos Tóxicos ou Inibitórios	293
6.10 – Conclusão Geral	294
7 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	295
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	297
APÊNDICE A	311
APÊNDICE B.....	315
APÊNDICE C	319
APÊNDICE D	327
D.1 – Construção do Galpão para Abrigo do Experimento	329
D.2 – Eletrificação da Área	331
D.3 – Problemas Decorrentes da Montagem do Experimento.....	335
APÊNDICE E.....	357
E – Análises Físico-Químicas e Exames Microbiológicos das Amostras.....	359
E.1 – pH.....	359
E.2 – Temperatura	359
E.3 – Gases	360
E.4 – Alcalinidade Total (AT)	361
E.5 – Ácidos Voláteis Totais (AVT)	361
E.6 – Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	362
E.7 – Carbono Orgânico Total (COT)	363
E.8 – Sólidos.....	363
E.9 – N-amoniaco	363
E.10 – NTK	364
E.11 – Metais	364
E.12 – Sódio, Potássio, Cálcio e Magnésio	365
E.13 – Cloretos.....	365
E.14 – Fósforo	365

E.15 – Sulfato	365
E.16 – Microrganismos	366
APÊNDICE F	367
APÊNDICE G	373
G.1 - Resultados experimentais e discussão dos resultados da Etapa 1 de operação do ASBR e do ASBBR, para as análises de metais, sólidos e nitrogênio.	375
APÊNDICE H	383
APÊNDICE I	387
APÊNDICE J	415
J.1 – Reator 01	417
J.2 – Reator 02	419
J.3 – Reator 03	419
J.4 – Reator 04	419
J.5 – Reator 05	419
J.6 – Reator 06	422
J.7 – Reator 07	424
J.8 – Reator 08	424
J.9 – Reator 09	425
J.10 – Reator 10	426
J.11 – Reator 11	428
J.12 – Reator 12	428
J.13 – Reator 13	428
J.14 – Reator 14	428
J.15 – Reator 15	429
J.16 – Reator 16	431
J.17 – Reator 17	431
J.18 – Reator 18	433
APÊNDICE K	435
APÊNDICE L	441
APÊNDICE M	445
APÊNDICE N	453
N.1 - Resultados Gráficos e Discussão dos Resultados de Acompanhamento de Sólidos e Metais da Segunda Etapa de Operação do ASBR (R1).....	455
APÊNDICE O	461
APÊNDICE P	465
APÊNDICE Q	487
Q.1 - Resultados Gráficos e Discussão dos Resultados de Acompanhamento de Sólidos e Metais da Segunda Etapa de Operação do ASBBR (R3)	489
APÊNDICE R	499
APÊNDICE S	531
S.1 – Relação STV/ST.....	533
S.2 – Relação AVT/DQO.....	536
APÊNDICE T	545
APÊNDICE U	549
U.1 – Código Fonte dos Algoritmos de Solução dos Modelos Integral e Diferencial ..	551
U.1.1 – Código Fonte do Algoritmos da Solução do Modelo na Forma Integral.....	551
U.1.2 – Código Fonte do Algoritmos da Solução do Modelo na Forma Diferencial...	554
APÊNDICE V	671
APÊNDICE W	679
W.1 - Resultados Gráficos e Discussão dos Resultados de Acompanhamento de Sólidos e Metais da Segunda Etapa de Operação do Sistema de Lodos Ativados (R4)	681
APÊNDICE X	689

APÊNDICE Y	693
APÊNDICE Z.....	707
Z.1 - Resultados Gráficos e Discussão dos Resultados de Acompanhamento de Sólidos e Metais da Segunda Etapa de Operação do Filtro Biológico (R5)	709
APÊNDICE AA	719
APÊNDICE AB.....	727

1 - INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos gerados pela atividade humana vem, há muitos anos, se tornando um sério problema ambiental e de saúde pública, causando poluição e degradação do meio ambiente, contaminando o solo, os corpos hídricos, gerando maus odores e contribuindo para proliferação de vetores de várias doenças, além de gerar metano, que quando não é eficientemente aproveitado ou queimado, pode contribuir para o aquecimento global.

O aterro sanitário é uma técnica segura de disposição de resíduos no solo de forma a se minimizar os danos ao meio ambiente e à saúde pública. Mas mesmo assim, ainda são poucos os municípios brasileiros que possuem aterros sanitários para a disposição de seus resíduos sólidos urbanos. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2002), somente cerca de 36 % dos resíduos sólidos urbanos coletados nas cidades brasileiras tem o aterro sanitário como destino final. Assim, a maior parte dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil ainda são dispostos em aterros controlados e lixões, que são pontos de elevada poluição e contaminação do meio ambiente.

Quando um aterro sanitário é bem projetado, construído e operado, os lixiviados gerados a partir da decomposição e da lixiviação dos resíduos podem ser seguramente drenados para receber um tratamento, como prevê a NBR 8419/1992. A inadequada disposição desses líquidos pode trazer consequências gravíssimas ao meio ambiente, em especial aos corpos hídricos (águas superficiais e subterrâneas).

Um aterro sanitário para se manter estável, sem riscos de deslizamentos, precisa ser operado com compactação adequada e ter um sistema eficiente de drenagem de lixiviados e gases. Por outro lado, quanto mais efetivo for o sistema de drenagem, menor será o tempo de residência do lixiviado dentro do aterro e maior será a concentração de matéria orgânica e conseqüentemente a relação DBO/DQO do lixiviado, que é também um fator indicativo de sua tratabilidade biológica.

As características dos lixiviados variam de local para local, sazonalmente, e também ao longo da vida útil de um aterro, apresentando constantes mudanças no que se refere à vazão gerada, à composição química e à concentração. Diante de tais fatos pode-se concluir que um sistema para o tratamento de lixiviados de aterro sanitário deve apresentar uma grande flexibilidade de operação para permitir lidar com tais variações.

A biodegradabilidade de um lixiviado pode ser avaliada por meio da relação DBO/DQO e pela presença de Ácidos Voláteis Totais (AVT) em altas concentrações. Lixiviados de aterros sanitários considerados “jovens”, geralmente costumam possuir elevada relação DBO/DQO e elevadas concentrações de AVT podendo assim, serem tratados em reatores biológicos.

Alguns lixiviados de aterros sanitários possuem elevadas concentrações de nitrogênio na forma amoniacal e acredita-se que, em alguns casos, as concentrações de nitrogênio amoniacal são tão elevadas que poderiam ser tóxicas ou até mesmo inibir a biomassa em sistemas de tratamento, dificultando ou até impedindo a sua adaptação ao lixiviado. Porém, segundo Calli *et al.* (2005), Clément e Merlin (1995), a forma tóxica da amônia é a amônia livre, ou seja, no estado não dissociado. No caso dos lixiviados de aterros sanitários a concentração de amônia livre é, na maioria dos casos, inferior a 300 mg.L^{-1} . Calli *et al.* (2005), em seu experimento, notou inibição no consumo de ácidos em um de seus reatores anaeróbios, somente com concentrações superiores a 600 mg.L^{-1} de amônia livre, assim as concentrações de amônia não aparentam ser um problema no tratamento de lixiviados de aterros sanitários.

Os aterros sanitários, em muitos casos, podem ser considerados como biorreatores, pois favorecem a decomposição da matéria orgânica em seu interior. Porém, os aterros sanitários não são projetados como biorreatores, mas simplesmente como sistemas de disposição final de resíduos, e por isso eles não são sistemas otimizados para tratamento, o que faz com que os lixiviados gerados, em muitos casos, possuam elevadas concentrações de matéria orgânica de fácil biodegradabilidade, tais como os ácidos voláteis.

O tratamento de lixiviados de aterros sanitários no Brasil ainda é um grande problema devido à sua complexidade e ao elevado custo para poder atingir os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos, considerando que os órgãos municipais quase sempre dispõem de recursos escassos para essa finalidade. O que mais se observa em aterros sanitários é a construção de lagoas anaeróbias ou facultativas, que acabam trabalhando mais propriamente como tanques de contenção ou acúmulo, do que como sistemas de tratamento, visto que a eficiência das lagoas no tratamento de lixiviados é muito baixa, além dos elevados tempos de detenção hidráulica do sistema, que conduzem a lagoas de elevadas dimensões e volumes.

Uma solução muito interessante e viável, que também foi pesquisada por Castro (2001), é o tratamento dos lixiviados em conjunto com esgoto sanitário em sistemas de tratamento de esgoto municipal, quando o município dispõe de tal sistema, pois mesmo os lixiviados possuindo altas concentrações, as relações entre volume, de geração de lixiviados de aterros sanitários e de esgoto sanitário, podem não chegar a 1%. Entretanto, nem toda estação de tratamento de esgotos foi projetada prevendo-se o recebimento dos lixiviados, ou às vezes não possui capacidade ou folga para receber os lixiviados. Assim, um pré-tratamento desses líquidos no próprio aterro poderia reduzir bastante a carga orgânica desses líquidos antes de serem tratados em conjunto com o esgoto sanitário. Além disso, muitas vezes os órgãos que cuidam da disposição de resíduos são independentes dos órgãos que

cuidam do tratamento do esgoto sanitário municipal, podendo haver até cobrança, por parte de quem opera o sistema de tratamentos de esgoto, para se tratar os lixiviados. Quando existe este tipo de cobrança, ela geralmente se baseia na carga orgânica que vai receber, ou seja, depende tanto do volume de lixiviado a ser tratado, quanto da sua concentração em termos de DBO ou DQO.

Entretanto, sabe-se atualmente, que uma parcela considerável da matéria orgânica presente nos lixiviados é recalcitrante, ou seja, é resistente ao tratamento biológico, assim, ao se misturar lixiviados recalcitrantes com esgoto sanitário, para tratamento conjunto, o que ocorre é somente a diluição dos lixiviados no esgoto, e como, de acordo do o artigo 30 da resolução CONAMA 357/05, o tratamento de efluentes através de diluição é uma prática vedada, é possível que com o tempo, a mistura dos lixiviados com esgoto sanitário para tratamento conjunto, possa ser não recomendada, ou até proibida.

São muitos os sistemas de tratamento de lixiviados atualmente pesquisados e dentre estes sistemas pode-se destacar a recirculação no próprio aterro sanitário (DIAMADOPOULOS, 1994), tratamento por osmose reversa (CHIANESE *et al.*, 1998), tratamento por lodos ativados seguido por ultrafiltração e precipitação química ou ultrafiltração e osmose reversa (BOHDZIEWICS *et al.*, 2001), tratamentos físico-químicos (AMOKRANE *et al.*, 1997) e (SLETTEN *et al.*, 1995), tratamento enzimático (ZOUBOULIS, *et al.*, 2001), reator anaeróbio de leito fluidizado seguido de reator aeróbio de leito fluidizado (IMAI, *et al.*, 1993), tratamento em reator UASB (KETTUNEN & RINTALA, 1998), tratamento conjunto com esgoto sanitário em reator UASB (LIN, *et al.*, 2000), tratamento conjunto com esgoto sanitário em um sistema australiano de lagoas (CASTRO, 2001), tratamento em reator anaeróbio em batelada seqüencial (TIMUR & ÖZTURK, 1999; KENNEDY & LENTZ, 2000).

Atualmente o tratamento anaeróbio de efluentes tem ganhado grande interesse por parte dos pesquisadores e empresas de saneamento, principalmente em países de clima quente, devido a algumas vantagens com relação ao tratamento aeróbio tais como: baixo consumo de energia por ocorrer na ausência de oxigênio, o qual em processos aeróbios é fornecido por meio de equipamentos eletromecânicos; menor produção de lodo; alto grau de estabilização do excesso de lodo; menor requerimento de nutrientes; produção de gás metano, que é combustível; etc.

Biorreatores de leito fixo têm sido cada vez mais utilizados no tratamento anaeróbio de águas residuárias, devido ao seu bom desempenho, estabilidade e também em virtude do seu alto tempo de retenção celular. Há dois mecanismos que permitem que os microrganismos sejam retidos no reator. Um deles é o processo de auto-imobilização que conduz à formação de grânulos e o outro é a fixação de biomassa em suportes inertes.

Uma configuração de reator anaeróbio que vem sendo bastante pesquisada nos últimos anos e vem apresentando bons resultados no tratamento de efluentes é o reator anaeróbio em batelada seqüencial também conhecido pela sigla ASBR (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor*). Esses reatores apresentam muitas vantagens com relação a outras tecnologias e dentre elas pode-se destacar: operação de vários conjuntos de reatores em batelada em paralelo, para que um grupo fique em “stand-by”; eliminação de decantadores, pois nos reatores em batelada, o local de reação e de sedimentação é

o mesmo; poucos problemas hidrodinâmicos, bastante comuns nos reatores contínuos tal como caminhos preferenciais; maior controle operacional do processo; etc.

O ASBBR (*Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor*) é uma nova configuração proposta por Ratusznei *et al.* (2000), que pode eliminar a etapa final de sedimentação antes do descarte do efluente tratado, por possuir biomassa aderida a um meio suporte, que pode ser espuma de poliuretano, carvão mineral, carvão vegetal ou outros. Essa nova configuração já se encontra em pesquisa no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos-SP e na Escola de Engenharia Mauá em São Caetano do Sul-SP, tendo já sido testada no tratamento de diversas águas residuárias, tais como: esgoto sanitário por Sarti (2004) e Lapa (2006); soro de queijo por Bezerra Jr. *et al.* (2006); vinhaça por Ribas (2006); água residuária com compostos sulfurosos por Canto *et al.* (2006).

Um outro sistema contendo biomassa imobilizada, que apesar de muito simples, não é muito pesquisado é o filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente. Esse sistema apresenta baixíssima mecanização e poucos problemas operacionais, ao se tratar substratos com elevadas concentrações de matéria orgânica solubilizada, como é o caso dos lixiviados de aterros sanitários.

Um dos problemas de se colocar em operação um sistema de tratamento anaeróbio pode ser o tempo de partida do sistema, que pode ser demorado, devido ao baixo crescimento celular dos microrganismos anaeróbios. Uma saída para acelerar esse processo é a inoculação desses sistemas com lodo proveniente de outros sistemas de tratamento anaeróbio. Mas, como no caso dos lixiviados, é difícil encontrar outros sistemas biológicos próximos também tratando lixiviados, às vezes é necessário a utilização de inóculos provenientes de sistemas que tratam outros tipos de águas residuárias, mas que podem ser adaptados ao lixiviado.

A pesquisa aqui proposta pretende avaliar e comparar duas configurações de reatores anaeróbios em bateladas sequenciais, em escala piloto no tratamento de lixiviados de aterro sanitário. Uma delas é a configuração convencional, que utiliza lodo granular (ASBR) e a outra é a nova configuração, que utiliza espuma de poliuretano como suporte para imobilização da biomassa (ASBBR). Além das duas configurações de reatores anaeróbios em bateladas sequenciais, este trabalho também pretende avaliar a utilização de um filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente, no pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários.

Como os reatores anaeróbios, em geral, produzem efluentes com características impróprias para o lançamento 'in-natura' em corpos hídricos, será ainda avaliada a utilização de um sistema de lodos ativados em batelada sequencial, como pós-tratamento para os efluentes dos reatores anaeróbios em bateladas sequenciais.

Devido à existência de muito poucas informações sobre a cinética de degradação dos lixiviados de aterros sanitários, este trabalho também tentará fazer uma análise investigativa desses parâmetros, através de perfis temporais de concentração realizados nos reatores anaeróbios.

Por fim, este trabalho procurará contribuir na busca de uma forma de tratamento eficiente e economicamente viável para os lixiviados de aterro sanitário, dando continuidade ao trabalho iniciado pelo pesquisador em seu mestrado no tratamento desse tipo de líquido altamente poluidor, e também contribuir para o desenvolvimento dessa nova configuração de reator, o ASBBR, que já se encontra em pesquisa no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos e na Escola de Engenharia Mauá em São Caetano do Sul-SP.

2 - OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

- Avaliar a tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários através do emprego de reatores anaeróbios em bateladas sequenciais, seguidos de um sistema de lodos ativados em bateladas sequenciais, bem como, também do emprego um filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente.

2.2 – Objetivos Específicos

- Realizar testes de seleção e adaptação da biomassa para o tratamento de lixiviados, caso seja necessário;
- Comparar o desempenho de um reator anaeróbio em batelada sequencial convencional contendo lodo granular (ASBR), com um reator anaeróbio em batelada sequencial contendo biomassa imobilizada em espuma de poliuretano (ASBBR);
- Avaliar a efetividade do tratamento aeróbio dos efluentes dos reatores anaeróbios, em um sistema de lodos ativados em bateladas sequenciais;
- Avaliar o desempenho de um filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente, no tratamento de lixiviados de aterros sanitários;
- Estabelecer parâmetros ou relações que indiquem o potencial de tratabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários, através da correlação de parâmetros da sua composição química;
- Obter parâmetros cinéticos que contribuam, sobre bases racionais, como critérios para aumento de escala e projeto de reatores anaeróbios aplicados ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários;
- Avaliar o possível efeito tóxico ou inibitório das concentrações de N-amoniaco ou N-amônia livre na adaptação da biomassa e no tratamento anaeróbio de lixiviados de aterro sanitário.

3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 – Resíduos Sólidos Domiciliares e Aterros Sanitários

A composição dos resíduos sólidos domiciliares varia muito, principalmente em função dos hábitos culturais, sociais e da situação econômica de cada aglomerado populacional, quer seja representado por um núcleo de favelas, um povoado, um bairro, uma cidade ou uma grande metrópole. Pode-se dividir sua composição em qualitativa e quantitativa e, segundo Schalch (1984), essa divisão pode contribuir muito para o estudo do aproveitamento ou biodegradabilidade de alguns de seus componentes. Assim, antes de tudo, quando se deseja fazer qualquer estudo envolvendo resíduos sólidos e seu tratamento, deve-se primeiro partir da sua caracterização. A Tabela 3.1.1 apresenta as caracterizações dos resíduos que são **depositados e aterrados** no aterro sanitário de São Carlos-SP, realizadas por Gomes (1989) e Frésca (2007), destacando-se que a partir de 2002 deu-se início à coleta seletiva em alguns bairros de São Carlos-SP.

Tabela 3.1.1: Composição física dos resíduos sólidos depositados e aterrados no aterro sanitário da cidade de São Carlos.

COMPONENTE	Porcentagem Média em Massa (base úmida)	
	Gomes (1989)*	Frésca (2007)
Matéria Orgânica Putrescível	56,7	59,08
Papel e papelão	21,3	6,44
Plástico	8,5	10,47
Metal	5,4	1,31
Trapos	3,4	-
Madeira, couro, borracha	2,3	-
Vidro	1,4	1,67
Tetra Pak	-	0,94
Inertes	1,3	-
Rejeitos/outros	-	20,09
TOTAL	100	100

*Peso específico $\cong 136,40 \text{ kg/m}^3$ e Teor de umidade médio = 46,4%.

Observa-se, portanto, considerando-se essas caracterizações, que a maior parte da fração do lixo de São Carlos-SP é passível de degradação biológica, correspondentes à matéria orgânica putrescível e o papel e papelão, isto é, pelo menos 65% do total do lixo gerado. Assim, segundo Schalch (1992), a formação de lixiviado é praticamente inevitável, quando a maior parte dos resíduos depositados em um aterro sanitário é composta por matéria orgânica.

O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos (normalmente, recobrimdo com argila selecionada e compactada em níveis satisfatórios), evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. Esses critérios de engenharia mencionados materializam-se na impermeabilização prévia do solo e em projetos de sistemas de drenagem periférica e superficial para afastamento de águas de chuva, de drenagem de fundo para a coleta de lixiviado, de sistema de tratamento para o lixiviado drenado, de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A ABNT (1992) através da NBR 8419, define aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, como uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Método esse que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário como na Figura 3.1.1.

Figura 3.1.1: Aterro Sanitário.

Fonte: IPT/CEMPRE (2000).

No Brasil, ou por falta de recursos ou mesmo por desinteresse das autoridades municipais, ainda é minoria o número de municípios que dispõe adequadamente os seus resíduos em aterros sanitários. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2002), somente cerca de 36,2% dos resíduos sólidos gerados nas cidades brasileiras vão para aterros sanitários, ou seja, a maior parte dos resíduos sólidos urbanos (58,3%) vai para aterros controlados e lixões. As Tabelas 3.1.2 e 3.1.3 apresentam alguns dos resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada no ano 2.000. As Figuras 3.1.2 e 3.1.3 apresentam os resultados percentuais obtidos pela pesquisa.

Tabela 3.1.2: Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões no ano 2.000.

Unidade de destino final do lixo coletado	Quantidade diária de lixo coletado [t/dia]					Brasil [t/dia]
	Região					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul	Sudeste	
Vazadouro a céu aberto (lixão)	6 279,0	20 043,5	3 131,0	5 112,3	13 755,9	48 321,7
Vazadouro em áreas alagadas	56,3	45,0	8,0	36,7	86,6	232,6
Aterro controlado	3 133,9	6 071,9	4 684,4	4 833,9	65 851,4	84 575,5
Aterro sanitário	1 468,8	15 030,1	5 553,1	8 046,0	52 542,3	82 640,3
Estação de compostagem	5,0	74,0	685,6	347,2	5 437,9	6 549,7
Estação de triagem	-	92,5	77,0	832,6	1 262,9	2 265,0
Incineração	8,1	22,4	26,0	30,1	945,2	1 031,8
Locais não-fixos	95,6	128,4	104,9	119,9	781,4	1 230,2
Outra	20,4	50,0	26,5	516,1	953,2	1 566,2
TOTAL	11 067,1	41 557,8	14 296,5	19 874,8	141 616,8	228 413,0

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, IBGE (2002).

Figura 3.1.2: Distribuição percentual da quantidade diária de lixo coletado no Brasil, por unidade de destino final.

Tabela 3.1.3: Número de distritos com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões no ano 2.000.

Unidade de destino final do lixo coletado	Número de distritos com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo					
	Região					Brasil
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul	Sudeste	
Vazadouro a céu aberto (lixão)	488	2 538	406	848	1 713	5 993
Vazadouro em áreas alagadas	8	7	1	11	36	63
Aterro controlado	44	169	132	738	785	1 868
Aterro sanitário	32	134	125	478	683	1 452
Aterro de resíduos especiais	10	69	29	219	483	810
Usina de compostagem	1	19	6	117	117	260
Usina de reciclagem	-	28	19	351	198	596
Incineração	4	7	3	101	210	325
NÚMERO TOTAL DE DISTRITOS	512	2 714	563	1 746	2 846	8 381

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, IBGE (2002).

Figura 3.1.3: Distribuição percentual dos pontos de destinação final dos resíduos sólidos.

Apesar da disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários ser uma forma de disposição final mundialmente aceita, já existe também uma tendência mundial em se reduzir o volume de resíduos aterrados, devido à escassez cada vez maior de áreas seguras para implantação de aterros sanitários. Além do descontentamento dos proprietários das áreas vizinhas do aterro e ao risco de contaminação do meio ambiente, mesmo que seja pequeno. Para se reduzir o volume de resíduos aterrados, deve-se intensificar cada vez mais os programas de coleta seletiva, separando-se a maior parcela possível de resíduos que podem ser reciclados além da separação da matéria orgânica para compostagem, devendo-se aterrar somente aqueles resíduos considerados *resíduos últimos*, ou seja,

aqueles resíduos que tecnicamente não podem ser reciclados, ou ainda, aqueles resíduos que são rejeitos das técnicas de reciclagem ou compostagem. O ideal seria se nenhum resíduo fosse para o aterro sanitário, mas nem a coleta seletiva e nem as melhores técnicas de tratamento e reciclagem deixam de gerar rejeitos que acabam tendo que ser dispostos em aterros sanitários.

O estudo da biodegradabilidade dos resíduos e o monitoramento de alguns parâmetros em aterros sanitários levam à conclusão, que a estabilização da matéria orgânica passa por diversas fases no interior de um aterro sanitário, o que levou ao surgimento de vários modelos que representam este fato. Pohland e Gould (1986)¹ *apud* Schalth (1992) apresentaram um modelo com cinco fases de estabilização da matéria orgânica, como ilustrado na Figura 3.1.4.

As atividades em um aterro sanitário são iniciadas com a **fase 1 – de ajustamento**, na qual fica acumulada uma umidade suficiente que favorece a realização das reações que iniciam a produção de gás e lixiviados. Daí em diante, a ação microbiana estimula o prosseguimento da conversão dos resíduos e a estabilização com várias fases sucessivas, cada uma variando em intensidade e duração, de acordo com as condições operacionais predominantes.

A fase de adaptação inicial é seguida pela **fase 2 – de transição**, quando a capacidade de campo, que é o limite máximo que um resíduo pode reter umidade, é alcançada e a formação do gás e dos lixiviados refletem a passagem da condição aeróbia para a condição anóxica ou anaeróbia.

A **fase 3 – formação de ácidos**, define a predominância da formação de ácidos voláteis totais com um decréscimo nos valores do pH, elevação da concentração da DQO dos lixiviados e aumento da mobilidade das espécies iônicas.

A **fase 4 – fermentação metanogênica**, é acompanhada por uma produção adicional e conversão dos compostos intermediários em metano e excesso de dióxido de carbono, além da redução da intensidade de formação de lixiviados, aumento dos valores do pH, abaixamento do potencial de oxidação-redução e uma acelerada complexação e redução das espécies iônicas.

A **fase 5 – maturação final**, ocorre quando os nutrientes tornam-se escassos. Uma menor quantidade de substratos disponíveis são degradados, a produção de gás decresce e tanto os constituintes orgânicos como inorgânicos dos lixiviados apresentam condição de pós-estabilização.

¹ Pohland, F.G. e Gould, J.P. (1986) **Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills.** *Water Science Technology*, v.18, n.12, p.177-192.

Figura 3.1.4: Variação de parâmetros selecionados, indicadores das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário.

Fonte: Pohland e Gould (1986), *apud* Schalch (1992).

3.2 – Líquidos Percolados ou Lixiviados de Aterros Sanitários

3.2.1 – Definição

A ABNT (NBR 8419/1992) define percolato, como o líquido que passou através de um meio poroso e define *sumeiro* ou *chorume*, como o líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio). Esta mesma norma define *lixiviação* como o deslocamento ou arraste, por meio líquido, de certas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos.

Neste trabalho preferiu-se utilizar a denominação “lixiviados” de aterros sanitários ao invés de “líquidos percolados” ou somente “percolados” de aterros sanitários, por se acreditar que esta denominação define melhor este líquido e também para se padronizar com as definições internacionais, uma vez que em Portugal também se utiliza o termo *lixiviados*, nos países de língua espanhola também se utiliza o termo *lixiviados*, em francês se utiliza o termo *lixiviat*, em inglês se utiliza o termo *leachate*, e assim por diante.

3.2.2 – Formação

O chorume é formado pela digestão da matéria orgânica sólida, por ação de exo-enzimas produzidas pelas bactérias. A função dessas enzimas é solubilizar a matéria orgânica para que possa

ser assimilada pelas células bacterianas. A água das chuvas, que cai sobre o aterro, bem como de nascentes, percolam através do lixo, lixiviando o chorume, a matéria orgânica e inorgânica, dando origem aos *percolados* ou *lixiviados*, que se por deflúvio chegarem a atingir os corpos d'água superficiais ou subterrâneos, podem causar sérios problemas ambientais, comprometendo por tempo indefinido a qualidade do manancial (COSTA LEITE *et al.*, 1982², *apud* SCHALCH, 1984).

3.2.3 – Volume de Lixiviados

O volume e a intensidade com que os lixiviados são produzidos dependem das atividades físicas, químicas e biológicas do aterro que o gera. A produção é freqüentemente observada dentro de poucos meses, semanas, ou até dias após o início da operação do aterro, quando a capacidade de campo do aterro é excedida e o resíduo fica saturado com água. A taxa de saturação dependerá da presença ou ausência de cobertura, do material de cobertura, da composição do lixo, do grau de compactação, das condições climáticas e da umidade inicial do resíduo (MARIS *et al.*, 1987, SENIOR *et al.*, 1987³, *apud* CLARETO, 1997).

Para se estimar a vazão de lixiviados a ser drenada em aterros sanitários existem muitos métodos, mas basicamente os mais citados pela literatura são: o Método Suíço, o Método Racional, o Método do Balanço Hídrico e o Método ou Modelo HELP (*Hydrologic Evaluation of Leachate Production*). A seguir são apresentados as principais características desses métodos.

3.2.3.1 – Método Suíço

O Método Suíço já foi muito utilizado no passado devido á sua simplicidade, porém ele é o menos preciso dos métodos de quantificação de lixiviados, servindo apenas, para uma estimativa grosseira das vazões. De acordo com a CETESB (1997), ele admite que uma certa porcentagem das águas de chuva precipitadas sobre o aterro irá infiltrar-se, transformando-se em lixiviados. Essa porcentagem depende do grau de compactação dos resíduos, isto é, do seu peso específico aparente (γ). Assim, quanto mais compactado o aterro menor será a quantidade de líquidos gerados. Essa é apenas uma meia verdade, pois a qualidade e as características da camada de cobertura de terra são mais importantes que o grau de compactação dos resíduos.

Esse método também não considera que, o tipo de solo de cobertura, a declividade da superfície dessa camada e variações sazonais ao longo do ano (incidência de sol e evapotranspiração) também influem na geração dos lixiviados.

² Costa Leite *et al.*, (1982) **Avaliação da produção de percolado do lixo e da capacidade filtrante de aterros sanitários**. *Revista Engenharia Sanitária*, 21 (01), p.90-99.

³ Maris *et al.*, (1987) **Leachate treatment with particular reference to aerated lagoons**. *Water Pollution Controll*, p. 521-525.

Esse método ainda considera que a precipitação anual tem distribuição homogênea para todos os meses, fato que somente se verifica em algumas poucas regiões do nosso país.

A vazão a ser drenada, segundo o Método Suíço, pode ser avaliada pela Equação 3.2.3.1.1.

$$Q = \frac{1}{t} * P * A * K \quad (3.2.3.1.1)$$

Na qual:

Q = Vazão média de lixiviados [L/s];

P = Precipitação média anual [mm];

A = Área do aterro [m²];

t = Número de segundos de um ano [31.536.000 s];

K = Coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos.

Para γ variando entre 0,4 e 0,7 t.m⁻³ o valor de K varia entre 0,25 e 0,5. E para $\gamma > 0,7$ t.m⁻³ o valor de K varia entre 0,15 e 0,25.

De qualquer forma, esse método foi apresentado, porque para algumas regiões, mediante comprovação através de medições realizadas em campo, pode vir a ser útil, principalmente pela sua simplicidade.

3.2.3.2 – Método Racional

Segundo Castro (2001) a vazão de lixiviados pode ser também estimada através da adaptação do método racional, que é um método aplicado para prever o deflúvio superficial direto em áreas menores que 500 há, que geralmente é utilizado para o dimensionamento de sistemas de drenagem de águas pluviais. O método racional é adequado para se estimar a descarga de pico do deflúvio superficial direto em uma bacia.

O cálculo do deflúvio superficial (vazão escoada) pelo método racional é estimado pela seguinte expressão:

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (3.2.3.2.1)$$

Em que:

Q = Deflúvio superficial máximo [m³.s⁻¹];

C = Coeficiente de escoamento “runoff”;

i = Intensidade média da chuva [m.s⁻¹];

A = Área da bacia [m²].

Contudo, para estimativa das vazões de lixiviados, o que interessa é a previsão do volume infiltrado na área, que pode ser obtido pela diferença entre o volume precipitado e o volume do deflúvio para o mesmo intervalo de tempo. Do volume infiltrado desconta-se ainda o volume d'água evapotranspirado conforme apresentado na equação 3.2.3.2.2.

$$Q_{perc} = \left(\frac{(h - (h \cdot C)) - EP}{1000} \right) \cdot A / t \quad (3.2.3.2.2)$$

Em que:

Q_{perc} = Vazão percolada [$m^3 \cdot d^{-1}$];

h = Precipitação pluviométrica [mm];

EP = Evapotranspiração potencial [mm];

C = Coeficiente de escoamento “runoff”;

t = número de dias do mês [d].

O coeficiente de “runoff” C é uma variável do método racional pouco suscetível a determinações precisas e, portanto requer muito cuidado em sua seleção. A literatura apresenta valores que geralmente variam de 0,05 a 0,30 dependendo do tipo de solo, cobertura vegetal e inclinação do terreno.

No caso de aterros sanitários onde existem áreas com inclinações e coberturas diferentes (taludes e patamares), a aplicação desse método pode ser feito por partes através da quantificação dessas áreas para composição da vazão percolada.

Segundo Castro (2001), o método racional, apesar de não considerar determinadas variáveis (umidade dos resíduos, material de cobertura, grau de compactação, número de camadas), o método pode ser considerado confiável, uma vez que as parcelas desconsideradas são menos expressivas.

3.2.3.3 – Método do Balanço Hídrico

Segundo Marques (2001), o método do balanço hídrico foi inicialmente utilizado para estimar a produção de lixiviados em aterros sanitários pela US-EPA (*United States Environmental Protection Agency*). O método admite fluxo unidimensional, conservação de massas e transmissão de fluxos através dos resíduos e do solo, sendo normalmente utilizado em termos mensais. O balanço de massas pode ser expresso como na Equação 3.2.3.3.1.

$$PERC = P - \Delta ST - AET - R_0 \quad (3.2.3.3.1)$$

Em que:

$PERC$ = Percolação;

P = Precipitação;

AET = Evapotranspiração real;

R_0 = Escoamento superficial, determinado como uma parcela da precipitação (P), através da aplicação de um coeficiente empírico de escoamento (C);

ΔST = Variação do teor de umidade armazenado no solo.

No presente método, a evapotranspiração potencial (PET) é utilizada, tendo por base leituras de campo ou valores derivados da equação de Thornthwaite (OWEIS & KHERA, 1998⁴ *apud* MARQUES, 2001). A infiltração (I), por sua vez, representa a parcela da precipitação (P) que infiltra na camada de cobertura ($I = P - R_0$). No procedimento de cálculo, a diferença entre a infiltração e a evapotranspiração potencial ($I - PET$) é computada para determinar os períodos de excesso ou deficiência de umidade no solo de cobertura. Valores negativos para a referida diferença indicam falta no suprimento das necessidades de água para a vegetação existente, enquanto valores positivos correspondem a recarga das umidades armazenadas no solo e/ou percolação. Os valores negativos de ($I - PET$) são somados para determinação da perda de água potencial acumulada.

O valor inicial para a umidade armazenada na camada de cobertura (ST) é calculado como sendo o produto da profundidade do sistema radicular da vegetação existente pela quantidade de água disponível no solo na sua capacidade de campo (mm de água por metro de solo). Este valor inicial, por sua vez, é atribuído ao último mês com valor positivo para a diferença ($I - PET$). Para determinação da umidade retida no solo nos meses subseqüentes, são utilizadas tabelas normalizadas para distintas capacidades de retenção de água no solo, conforme propostas por Thornthwaite e Mather (1957)⁵ *apud* Fenn *et al.*, 1975. Após a determinação das umidades de armazenamento no solo para os meses com valores negativos de ($I - PET$), pode-se calcular a variação das quantidades de água armazenada no solo (ΔST) pela simples diferença entre o valor de ST no mês em questão e o valor de ST do mês anterior.

Para os meses onde a diferença ($I - PET$) é positiva, a taxa de evapotranspiração não está limitada a disponibilidade de umidade, sendo, portanto a evapotranspiração real (AET) igual a evapotranspiração potencial (PET). Nos meses onde a diferença ($I - PET$) é negativa, a taxa de evapotranspiração está limitada a disponibilidade de umidade no solo, sendo, portanto, $AET = PET + [(I - PET) - \Delta ST]$. A percolação pode, por fim, ser calculada tendo por base a equação de balanço de massas inicialmente apresentada (MARQUES, 2001).

⁴ Oweis, I.S.; Khera, R.P. (1998). *Geotechnology of waste management*. PWS Publishing Company, 2nd Edition.

⁵ Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. (1957). **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance**. In: Drexel Institute of Technology. *Publications in Climatology*. Centerton, NJ, v.10, n.3, p.185-311

3.2.3.4 – Método ou Modelo HELP

O Método o Modelo HELP (*Hydrologic Evaluation of Leachate Production* ou *Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*), devido à sua complexidade, já foi desenvolvido desde o início em forma de programa de computador, assim sendo também muitas vezes conhecido como Programa HELP.

Segundo Marques (2001) o programa HELP foi desenvolvido através de um acordo de cooperação entre a U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station e a U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) visando apoiar e fornecer subsídios para os programas de recuperação ambiental nos Estados Unidos. Trata-se de um modelo hidrológico quase-bidimensional para avaliação do movimento da água através de aterros sanitários e que leva em consideração parâmetros climatológicos, propriedades dos materiais envolvidos e as características de projeto do aterro. O programa utiliza soluções técnicas para ter em conta os efeitos de armazenamento de água na superfície, degelo, escoamento, infiltração, evapotranspiração, crescimento das espécies vegetais, drenagem lateral das camadas, recirculação dos lixiviados e infiltração pelas barreiras de fundo, entre outros.

O programa HELP modela o aterro sanitário através do uso e definição de 4 tipos distintos de camadas: camadas com percolação vertical, camadas com drenagem lateral, barreiras impermeáveis de solo, e geomembranas, as quais podem ser visualizadas no esquema básico apresentado na Figura 3.2.3.4.1. Dentre as principais características do programa podem-se destacar:

- O processamento de cálculo é realizado numa base diária, assumindo relevada importância aos dados climatológicos (temperaturas, radiação solar e precipitação). O programa fornece uma série de valores padronizados (*default parameters*), facilitando a utilização do mesmo;
- A quantidade de água que entra no sistema pela camada de cobertura (infiltração) leva em consideração a umidade armazenada, a densidade da vegetação e o potencial de escoamento e evaporativo da camada;
- A percolação vertical no solo é função do teor de umidade. Quando o solo está totalmente saturado, o fluxo respeita a lei de Darcy. Nas condições não saturadas, a condutividade hidráulica das camadas é calculada baseada numa função linear da umidade do solo. Quando o teor de umidade iguala a capacidade de campo o fluxo torna-se nulo;
- a drenagem lateral pelas camadas drenantes é computada analiticamente através da equação linearizada de Boussinesq.

Segundo Marques (2001), apesar de potente e versátil, preocupações com relação à precisão do modelo tem sido objeto de estudos e pesquisas e pôde-se identificar, por exemplo, que a densidade da vegetação presente e as declividades e distâncias de drenagem apresentam pequeno impacto na

quantidade estimada de lixiviados. Por outro lado, as características da camada de cobertura, principalmente em termos de sua espessura e materiais empregados, acabam tendo forte impacto na geração e drenagem de líquidos pelo corpo do aterro.

Figura 3.2.3.4.1: Esquema típico adotado pelo programa HELP.

Fonte: Schroeder *et al.* (1994)⁶ *apud* Marques (2001).

3.2.4 – Composição dos Lixiviados

A composição química dos lixiviados varia muito dependendo da idade do aterro sanitário. Análises de lixiviados, coletados durante a fase ácida da decomposição, mostram altos valores de DQO, DBO₅, nutrientes e metais pesados, e baixos valores de pH. Por outro lado, lixiviados coletados durante a fase de fermentação metanogênica, apresentam valores de pH que podem estar na faixa de

⁶ Schroeder, P.R.; Lloyd, C.M.; Zappi, P.A.; Aziz, N.M. (1994). *The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) Model: user's guide for version 3*. Washington-DC, U.S. Environmental Protection Agency (Report EPA/600/R-94/168a).

6,5 a 7,5 e valores de DQO, DBO₅, e nutrientes significativamente menores que os da fase ácida. Da mesma forma as concentrações de metais pesados também são bem menores, porque a maioria dos metais são menos solúveis em pH aproximadamente neutro. O pH dos lixiviados não depende somente da concentração dos ácidos presentes, mas também da pressão parcial do CO₂ do gás do aterro que está em contato com o lixiviado (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

A Tabela 3.2.4.1 compara a composição dos lixiviados gerados em aterros sanitários de diferentes idades no Canadá, porém em locais próximos e submetidos ao mesmo índice pluviométrico de 820 mm/ano, obtidos por Henry *et al.* (1987)⁷, *apud* Clareto (1997).

Tabela 3.2.4.1: Comparação da composição dos lixiviados com idades diferentes, de aterros sanitários situados no Canadá.

Parâmetros	Aterro Sanitário		
	Keele Valley	Brock North	Beare Road
Idade [anos]	1,5	8	18
pH	5,80	6,35	6,58
Alcalinidade [mg CaCO ₃ .L ⁻¹]	1.800	880	1.070
DQO	13.780	3.750	1.870
DBO ₅	9.660	1.100	-
Sólidos Totais	12.730	5.280	3.070
Sólidos Voláteis	6.300	1.350	1.300
Ácidos Voláteis	4.600	1.170	1.480
N-Orgânico	170	6	65
Fósforo Total	0,77	0,11	0,15
Ferro	1.070	500	36
Zinco	5,04	0,22	0,19
Cádmio	0,10	0,02	0,008
Cobre	0,19	0,11	0,05
Níquel	1,08	0,01	-

* Todos os valores expressos em mg.L⁻¹, exceto pH e quando indicado.

Fonte: Henry *et al.* (1987), *apud* Clareto (1997).

Andreotolla e Cannas (1.992) apresentam faixas de concentração para os principais parâmetros de lixiviados de aterros sanitários. A Tabela 3.2.4.2 apresenta essas faixas de concentração, que tiveram como base o estudo das características dos lixiviados de mais de 70 aterros sanitários situados na Europa e Estados Unidos. Nota-se pela tabela que o autor não menciona os sólidos, quando reúne as faixas de concentração dos principais parâmetros de lixiviados de aterros sanitários.

⁷ HENRY *et al.* (1987) **Removal of organics from leachates by anaerobic filter**. *Water Research*, v.21, n.11, p. 1395-1399.

Tabela 3.2.4.2: Faixas de concentração dos principais parâmetros de percolados de aterros sanitários.

Parâmetro	Unidade	Faixa (mín. – máx.)
DQO	mg.L ⁻¹	150 – 100.000
DBO ₅	mg.L ⁻¹	100 – 90.000
pH	-	5,3 – 8,5
Alcalinidade	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	300 – 11.500
Dureza	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	500 – 8.900
NH ₄	mg.L ⁻¹	1 – 1.500
N _{org}	mg.L ⁻¹	1 – 2.000
N _{tot}	mg.L ⁻¹	50 – 5.000
NO ₃	mg.L ⁻¹	0,1 – 50
NO ₂	mg.L ⁻¹	0 – 25
P _{tot}	mg.L ⁻¹	0,1 – 30
PO ₄	mg.L ⁻¹	0,3 – 25
Ca	mg.L ⁻¹	10 – 2.500
Mg	mg.L ⁻¹	50 – 1.150
Na	mg.L ⁻¹	50 – 4.000
K	mg.L ⁻¹	10 – 2.500
SO ₄	mg.L ⁻¹	10 – 1.200
Cl	mg.L ⁻¹	30 – 4.000
Fe	mg.L ⁻¹	0,4 – 2.200
Zn	mg.L ⁻¹	0,05 – 170
Mn	mg.L ⁻¹	0,4 – 50
CN	mg.L ⁻¹	0,04 – 90
Fenol	mg.L ⁻¹	0,04 – 44
As	µg.L ⁻¹	5 – 1.600
Cd	µg.L ⁻¹	0,5 – 140
Co	µg.L ⁻¹	4 – 950
Ni	µg.L ⁻¹	20 – 2.050
Pb	µg.L ⁻¹	8 – 1.020
Cr	µg.L ⁻¹	30 – 1.600
Cu	µg.L ⁻¹	4 – 1.400
Hg	µg.L ⁻¹	0,2 – 50

Fonte: Andreotolla e Cannas (1.992).

3.3 – Características de Alguns dos Principais Parâmetros e Componentes dos Lixiviados de Aterros Sanitários

A seguir são listados alguns dos principais parâmetros e componentes dos lixiviados de aterros sanitários, além de alguns problemas ambientais que determinados compostos podem causar em sistemas de tratamento biológicos e físico-químicos.

3.3.1 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO é, sem dúvida, um dos parâmetros mais importantes da caracterização dos lixiviados de aterros sanitários e é também o parâmetro mais utilizado para o acompanhamento da eficiência do tratamento dos lixiviados em reatores biológicos.

A DQO é uma medida da concentração de matéria orgânica em resíduos domésticos ou industriais. Esta análise permite a medida de um resíduo orgânico em termos da quantidade de oxigênio requerida para oxidação até dióxido de carbono e água. Ela baseia-se no fato de que toda matéria orgânica, com poucas exceções, pode ser oxidada através da ação de um forte agente oxidante sob condições ácidas. Os valores da DQO são quase sempre maiores que os valores de DBO e essa diferença tende a tornar-se cada vez maior quando se tem quantidades significativas de matéria orgânica resistente à oxidação biológica. Uma limitação da análise da DQO é a sua incapacidade de diferenciar entre a matéria orgânica biologicamente oxidável e a matéria orgânica inerte. A maior vantagem da análise de DQO é o curto período de tempo requerido para sua avaliação, pois enquanto para obtenção do valor da DBO são necessários pelo menos cinco dias, a DQO pode ser obtida em aproximadamente três horas (SAWYER *et al.*, 2003). Segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005), espécies inorgânicas reduzidas tais como íons ferrosos, manganosos, sulfetos, etc. também são oxidados na análise de DQO e amônia e seus derivados não são oxidados.

No caso dos lixiviados de aterros sanitários, segundo Andreotolla e Cannas (1.992), a DQO pode variar entre 150 mg.L⁻¹ e 100.000 mg.L⁻¹ e segundo Kjeldsen *et al.* (2002) a faixa pode ser um pouco mais ampla, variando entre 140 mg.L⁻¹ e 152.000 mg.L⁻¹. A DQO varia muito em função da idade de um aterro sanitário e é comum encontrar valores elevados de DQO em lixiviados de aterros sanitários “jovens”, ou na fase ácida, e valores bem reduzidos para lixiviados de aterros sanitários velhos ou já inativos.

3.3.2 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Segundo Metcalf & Eddy (2003) a DBO₅ é o parâmetro mais extensamente utilizado para medida de poluição orgânica tanto de águas residuárias quanto de águas superficiais. A determinação da DBO é baseada na medição do oxigênio dissolvido consumido por microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica. Apesar de ser extensamente utilizado o teste de DBO apresenta uma série de limitações que vão desde os preparativos iniciais, o tempo mínimo de cinco dias requerido, os possíveis interferentes, a preparação de um inóculo adequado, até a precisão do teste.

Nos lixiviados de aterros sanitários, segundo Andreotolla e Cannas (1.992), a DBO₅ pode variar entre 100 mg.L⁻¹ e 90.000 mg.L⁻¹ e segundo Kjeldsen *et al.* (2002) a pode variar entre 20 mg.L⁻¹ e 57.000 mg.L⁻¹.

Na literatura é muito comum a utilização da relação DBO/DQO como um indicativo da tratabilidade ou da biodegradabilidade aeróbia de águas residuárias. Metcalf & Eddy (2003) descreve que para águas residuárias municipais esta relação varia de 0,3 a 0,8, sendo que, se esta relação for igual ou superior a 0,5 a água residuária é considerada de fácil tratabilidade através de processos biológicos. Se a relação DBO/DQO for inferior a 0,3 é possível que a água residuária seja recalcitrante ao tratamento biológico, ou possua compostos tóxicos, ou ainda necessite de microrganismos adaptados para sua estabilização.

A biodegradabilidade dos lixiviados varia com a idade do aterro e essa mudança pode ser verificada através da relação DBO_5/DQO . Inicialmente, as razões são maiores ou iguais a 0,5, e razões na faixa de 0,4 a 0,6 são tomadas como um indicativo de que a matéria orgânica presente no lixiviado é facilmente biodegradável. Em aterros sanitários “velhos”, a razão DBO_5/DQO está frequentemente na faixa de 0,05 a 0,2. Essa razão cai, porque os lixiviados de aterros sanitários “velhos” contém tipicamente ácidos húmicos e fúlvicos, que não são facilmente biodegradáveis ao contrário dos ácidos voláteis (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

Porém, apesar de muito utilizada, existem dúvidas sobre se a relação DBO/DQO seria o melhor indicativo da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários, uma vez que a biodegradabilidade anaeróbia, em teoria, não depende da medida do consumo de oxigênio por microrganismos aeróbios. Dessa forma, acredita-se que a melhor forma de se avaliar a tratabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários, seria através da medida de parâmetros que efetivamente são afetados pelo tratamento anaeróbio, como é o caso do consumo dos AVT. No item 3.3.4 será discutido mais detalhadamente o possível uso da relação AVT/DQO como um possível indicador da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários.

3.3.3 – Carbono Orgânico Total (COT)

Segundo Metcalf & Eddy (2003) a análise de COT é um teste instrumental usado para determinar a concentração de carbono orgânico total em amostras aquosas. Os métodos de análise de COT utilizam calor, oxigênio, radiação ultravioleta, oxidantes químicos ou a combinação destes métodos para converter carbono orgânico em dióxido de carbono que pode ser quantificado por um analisador de infravermelho ou outros métodos. A concentração de COT em águas residuárias pode ser utilizada como uma medida do potencial de poluição desta água e em muitos casos pode ser possível se relacionar COT com os valores de DBO e DQO. Uma das vantagens da análise de COT é que ela consome cerca de 5 a 10 minutos para ser realizada, o que a coloca em vantagem com relação à DQO que demora cerca de três horas e com relação à DBO, que demora pelo menos cinco dias. Uma outra vantagem desta análise é que hoje em dia já existem analisadores *online* de COT, com precisão da ordem de ppb (partes por bilhão).

Um cuidado que se deve ter com relação à análise de COT é quanto à eliminação da interferência do CIT (carbono inorgânico total) presente na amostra, seja na forma de dióxido de carbono dissolvido, íons carbonato, bicarbonato, etc.. Uma forma de eliminar a interferência do CIT na análise de COT é através da acidificação da amostra até pH igual ou inferior a 2,0 com posterior borbulhamento com ar sintético por cerca de 10 minutos. Um dos únicos problemas que podem ocorrer com a acidificação das amostras até pH igual ou inferior a 2,0, é que algumas substâncias orgânicas costumam sedimentar próximo a esse pH como é o caso dos ácidos húmicos, o que levaria a medidas menores que as reais. As águas residuárias que podem apresentar maiores quantidades de CIT são as que apresentam maior alcalinidade a bicarbonato, como é o caso dos lixiviados de aterros sanitários.

Segundo Kjeldsen *et al.* (2002), as concentrações de COT em lixiviados de aterros sanitários podem variar entre 30 mg.L⁻¹ e 29.000 mg.L⁻¹.

3.3.4 – Ácidos Voláteis Totais (AVT)

Os Ácidos Voláteis (AV), ou Ácidos Graxos Voláteis (AGV) correspondem à fração dos ácidos graxos de cadeia curta e pequeno peso molecular, ou seja, com menos de seis carbonos em sua cadeia. A Tabela 3.3.4.1 apresenta os ácidos voláteis e algumas de suas características físicas e químicas. Segundo Sawyer *et al.* (2003), os ácidos voláteis recebem esta denominação porque eles podem ser destilados à pressão atmosférica.

Tabela 3.3.4.1: Ácidos voláteis e algumas de suas características químicas e físicas.

Ácido	Fórmula Química	Massa Molar [g.mol ⁻¹]	Densidade [g.cm ³]	Pressão de Vapor a 100°C [atm]	Ponto de Ebulição [°C]	pK _a	Solub. em água [g.L ⁻¹]
Metanóico (Fórmico)	CH ₂ O ₂	46,03	1,220 ^(20°C)	0,99	101	3,75 ^(25°C)	Muito solúvel
Etanóico (Acético)	C ₂ H ₄ O ₂	60,05	1,045 ^(25°C)	0,55	117,9	4,76 ^(25°C)	Muito solúvel
Propanóico (Propiônico)	C ₃ H ₆ O ₂	74,08	0,988 ^(25°C)	0,24	141,15	4,87 ^(25°C)	Muito solúvel
Butanóico (Butírico)	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	0,953 ^(25°C)	0,092	163,75	4,83 ^(25°C)	Muito solúvel
Isobutanóico (Isobutírico)	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	0,968 ^(20°C)	-	154,45	4,84 ^(20°C)	Muito solúvel
Pentanóico (Valérico)	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,13	0,934 ^(25°C)	0,037	186,1	4,83 ^(20°C)	25 ^(20°C)
Isopentanóico (Isovalérico)	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,13	0,931 ^(20°C)	-	176,5	4,77 ^(25°C)	43 ^(20°C)
Hexanóico (Capróico)	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,16	0,921 ^(25°C)	0,014	205,2	4,85 ^(25°C)	9,67 ^(20°C)

Fontes: Sawyer *et al.* (2003); *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (2007).

Os ácidos voláteis podem ser considerados como importantes componentes dos lixiviados de aterros sanitários. Esses ácidos são o produto final de processos fermentativos e hidrolíticos de gorduras, proteínas e carboidratos que constituíam a matéria orgânica. As concentrações de AVT nos lixiviados podem variar extensamente de acordo com a idade do aterro sanitário. Os lixiviados de aterros sanitários ditos “jovens”, ou mesmo das frações mais jovens de aterros velhos costumam apresentar elevadas concentrações de AVT, porém a concentração desses ácidos pode ser muito baixa ou mesmo até inexistir em lixiviados de aterros sanitários mais velhos.

Embora, talvez, este parâmetro seja um importantíssimo indicador da biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados de aterros sanitários, pouquíssimos autores de trabalhos científicos dão a devida importância às concentrações de AVT, quando tratam da composição dos lixiviados. Isso pode ser notado em Kjeldsen *et al.* (2002), Qasim e Chiang (1994) e Andreatolla e Cannas (1992), que sumarizaram e discutiram extensamente a grande maioria dos parâmetros e constituintes dos lixiviados de aterros sanitários, porém quase que ignorando os AVT.

Em digestores e reatores anaeróbios, dando continuidade aos processos de hidrólise, as bactérias acetogênicas e produtoras de hidrogênio convertem os ácidos mais complexos em ácido acético e hidrogênio, que são utilizados pelas arqueas metanogênicas na produção de metano e dióxido de carbono, assim, segundo DiLallo e Albertson (1961), o ácido acético geralmente é o ácido volátil predominante dentre os demais, compreendendo entre 50 e 90% do total de ácidos voláteis. Normalmente a concentração de AVT é apresentada como ácido acético. São poucos os trabalhos que apresentam a composição dos ácidos voláteis de aterros sanitários. Contrera (2003) apresenta a composição dos AVT do lixiviado de Rio Claro-SP, determinada por cromatografia gasosa, que é apresentado na Tabela 3.3.4.2 com as porcentagens de cada fração.

Tabela 3.3.4.2: Composição dos AVT do lixiviado de Rio Claro-SP, segundo Contrera (2003).

Ácido	Massa Molar [g.mol ⁻¹]	Concentração [mg.L ⁻¹]	Concentração [mM]	Concentração como Ácido Acético [mg.L ⁻¹]	Fração [%]
Metanóico (Fórmico)	46,03	ND	0	0	0
Etanóico (Acético)	60,05	1.028	17,12	1.028	52,4
Propanóico (Propiônico)	74,08	611	8,25	495	25,2
Butanóico (Butírico)	88,11	198	2,25	135	6,9
Isobutanóico (Isobutírico)	88,11	103	1,17	70	3,6
Pentanóico (Valérico)	102,13	169	1,65	99	5,0
Isopentanóico (Isovalérico)	102,13	71	0,70	42	2,1
Hexanóico (Capróico)	116,16	179	1,54	93	4,8
Total				1.962	100,0

OBS: ND = Não detectado.

A determinação e o acompanhamento das concentrações de ácidos voláteis são de extrema importância em processos de digestão ou tratamento anaeróbio, pois acúmulos de ácidos voláteis podem indicar um desequilíbrio do sistema. Além do que, podem acabar consumindo praticamente toda alcalinidade a bicarbonato do sistema, causando queda no valor do pH, que poderá até ficar fora da faixa ótima para os sistemas anaeróbios.

No caso de reatores anaeróbios tratando lixiviados de aterros sanitários, o risco de acontecer algo como descrito anteriormente é muito baixo, pois os processos de formações dos ácidos voláteis ocorrem quase que inteiramente no interior do aterro sanitário, além do fato de que os lixiviados costumam apresentar elevada alcalinidade a bicarbonato. Quando o pH do lixiviado é superior a 7,0 os ácidos podem estar na forma de sais de ácidos voláteis, tais como acetato de amônio, propionato de amônio, etc., e nessa forma não são voláteis.

A forma mais precisa para determinação e quantificação dos ácidos voláteis é através de cromatografia. Porém, para determinação dos ácidos voláteis em lixiviados de aterros sanitários este tipo de análise costuma ter um complicador, pois a injeção de amostras de lixiviados em colunas de cromatógrafos costumam reduzir em muito a vida útil desse equipamento. Para solução deste problema Moraes *et al.* (2000) desenvolveu uma metodologia para purificação das amostras, que consiste na destilação de pequenas frações da amostra utilizando-se um microdestilador. Assim depois de destiladas as amostras, os ácidos são extraídas em um solvente que pode ser injetado no cromatógrafo. Uma outra forma de se analisar amostras de lixiviados por cromatografia sem comprometer os equipamentos é através das análises de *headspace*, onde a amostra de lixiviado é acondicionada em um frasco com um septo de borracha, de onde com uma agulha se extrai uma amostra gasosa da atmosfera do frasco depois de ser aquecido até a temperatura adequada. Antes de se vedar o frasco deve-se preparar a amostra acidificando-a com H_2SO_4 até pH próximo de 1,0 e também supersaturando-se a amostra com NaCl para se forçar a transferência dos ácidos da solução para atmosfera do frasco vedado durante o aquecimento.

Segundo DiLallo e Albertson (1961) e Sawyer *et al.* (2003) uma outra forma de se determinar a concentração de AVT em uma água residuária consiste na acidificação (até pH abaixo de 1,0) e posterior destilação direta da amostra, cujo destilado é posteriormente titulado com hidróxido de sódio até pH neutro. Através do volume de hidróxido de sódio utilizado na titulação e da sua normalidade é possível se estimar a concentração de AVT presente na amostra. Segundo DiLallo e Albertson (1961) este método é considerado demorado, para ser utilizado como uma análise de controle diário, apesar de Sawyer *et al.* (2003) dizer que o método é relativamente rápido e suficientemente preciso em termos práticos, quando não se deseja saber a composição dos ácidos e se deseja obter uma precisão de $\pm 50 \text{ mg.L}^{-1}$. Este procedimento é baseado no fato de que todos os ácidos graxos de pequeno peso molecular, abaixo do ácido octanóico, tem significantes pressões de vapor a 100°C (Tabela 3.3.4.1), que é o ponto de ebulição da água, assim o destilado da amostra apresentará consideráveis quantidades desses ácidos. Um inconveniente deste método é o controle para se manter padronizadas as condições

de destilação e as perdas, quer seja na forma de vapor, ou na dificuldade de se destilar a totalidade dos ácidos presentes na amostra, pois mesmo com elevadas pressões de vapor a 100 °C, os ácidos fórmico, acético e propiônico são difíceis de serem separados por titulação em soluções aquosas diluídas, que não são ideais, podendo ocorrer associações entre as moléculas de água e ácidos, que variam para cada tipo de ácido.

Com a finalidade de se obter de forma mais rápida e não menos precisa a concentração de AVT, DiLallo e Albertson (1961) desenvolveram um método titulométrico para determinação de AVT, uma vez que quase nenhuma estação de tratamento teria condições de ter um cromatógrafo, ou realizar rotineiramente destilações para determinação desse parâmetro. O método consiste em se titular a amostra com um ácido forte até pH igual a 4,0 para se obter o valor da alcalinidade total. Em seguida prossegue-se a titulação até pH 3,3 e ferve-se a amostra por três minutos para remoção de todo ácido carbônico e dióxido de carbono remanescente na amostra. Depois que a amostra retornar à temperatura ambiente, titula-se com hidróxido de sódio até pH igual a 4,0. Em seguida zera-se a bureta e titula-se novamente até pH igual a 7,0, anotando-se o valor gasto de hidróxido de sódio para se determinar a alcalinidade a ácidos voláteis, e por conseguinte a concentração de ácidos voláteis, como ácido acético. DiLallo e Albertson (1961) recomendam que para concentrações de ácidos voláteis superiores a 180 mg.L⁻¹, deve-se utilizar um fator de correção, multiplicando-se por 1,5 o resultado obtido.

O método proposto por DiLallo e Albertson (1961) apresenta uma variante, que é o chamado método de DiLallo Modificado (DM), que é semelhante ao método de DiLallo e Albertson (1961) quanto ao procedimento, diferenciando-se pelo fato de que na titulação alcalimétrica, a alcalinidade a ácidos voláteis determinada corresponde a 85% dos AVT presentes (SOUZA, 1984⁸ *apud* CAVALCANTI e VAN HAANDEL, 2001). A concentração de AVT é determinada pelo método DM como:

$$AVT = \frac{AAV}{0,85 \cdot 0,833} = 1,412 \cdot AAV \quad (3.3.4.1)$$

Em que:

0,833 = Fator de conversão de mg CaCO₃.L⁻¹ para mg Ac.Acético.L⁻¹;

AAV = Alcalinidade a ácidos voláteis obtida pelo método de DiLallo e Albertson (1961) sem o fator de correção de 1,5.

Com a mesma intenção de se facilitar e tornar mais prática a estimativa da concentração dos AVT, surgiram ainda mais outros métodos titulométricos. Um deles é o método de Ripley *et al.* (1986), que estima a concentração dos AVT através de uma correlação, com o que o autor chama de

⁸ Souza, M.E., **Fatores que influenciam a digestão anaeróbia**. Revista DAE, v. 44, n. 37, 1984, p. 88-94.

alcalinidade intermediária. Segundo o autor, o método consiste em se determinar a alcalinidade total em dois estágios. No primeiro estágio titula-se a amostra com ácido forte até pH igual a 5,75. Em seguida, no segundo estágio, continua-se a titulação da mesma amostra até pH igual a 4,3. Com a leitura do volume de ácido gasto até pH igual a 5,75 calcula-se a alcalinidade parcial. Com o volume total de ácido gasto para titulação até pH igual a 4,30 calcula-se a alcalinidade total. A alcalinidade intermediária é calculada subtraindo-se do valor da alcalinidade total, o valor da alcalinidade parcial e com o valor da alcalinidade parcial, calcula-se a concentração de AVT, com a fórmula de correlação da Equação 3.3.4.2.

$$AVT = 1,84 \cdot AI - 1,98 \quad (3.3.4.2)$$

Em que:

AI = Valor da alcalinidade intermediária [$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$].

Neste item optou-se por dar uma atenção especial com relação à medida da concentração dos AVT porque a literatura existente, que trata das características dos lixiviados de aterros sanitários, dão muito pouca ou quase nenhuma atenção a este parâmetro, que pode possivelmente ser um dos melhores indicadores da biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados de aterros sanitários, sendo assim de suma importância a sua determinação em caracterizações e de seu acompanhamento em reatores anaeróbios que possivelmente venham a tratar os lixiviados.

Um indicativo de que existe uma possível relação entre AVT e DQO pode ser notada ao se analisar os resultados obtidos por Contrera (2003) nas últimas duas semanas de operação das três etapas de seu trabalho. A Tabela 3.3.4.3 sumariza os resultados obtidos pelo pesquisador e a Figura 3.3.4.1 apresenta uma possível relação que pode existir entre a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado e a relação AVT/DQO.

Tabela 3.3.4.3: Possível relação entre AVT, DQO e biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados observada nos resultados de Contrera (2003).

Etapas	Lixiviado	DQO filtr. Afl.* [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	AVT Afluente* [$\text{mg Ac.Acét.} \cdot \text{L}^{-1}$]	Eficiência* [%]	AVT/DQO
1	Bauru	7.800	554	3,1	0,071
2	Rio Claro / Coleta 1	1.390	138	25,5	0,099
3	Rio Claro / Coleta 2	4.340	1.420	79,7	0,327

* Média nas duas últimas semanas de operação de cada etapa.

Figura 3.3.4.1: Possível relação entre AVT, DQO e biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados observada nos resultados de Contrera (2003).

3.3.5 – Ácidos Húmicos e Fúlvicos

De acordo com vanLoon & Duffy (2004) os ácidos húmicos e fúlvicos tem como origem a matéria orgânica vegetal ou microbiana e compõem a fração do húmus que é solúvel em água. Os ácidos fúlvicos possuem coloração clara e compõem a fração da matéria orgânica solúvel em água, em todas as faixas de pH (alcalino a ácido), já os ácidos húmicos possuem coloração escura e são insolúveis em condições ácidas (pH = 2), mas muito solúveis em pH elevado. Os ácidos húmicos são os principais responsáveis por conferir aos lixiviados de aterros sanitários a sua coloração escura.

As substâncias húmicas são formadas através de uma complexa sequência de reações, onde somente uma pequena parte delas é atualmente compreendida. Uma série de hipóteses já foram propostas para descrever a síntese das substâncias húmicas na natureza.

Substâncias húmicas podem ser encontradas em ambientes aquáticos e terrestres em uma grande variedade de formas:

- Uma das formas é a forma **livre** solúvel ou insolúvel em água sem se ligar a outras substâncias;
- Uma outra forma é a **complexada**, ou seja, ligada quimicamente a metais, outras espécies inorgânicas, tal como fosfato, ou ainda, outras moléculas orgânicas; e
- A última forma é a **aderida** superficialmente por sólidos tais como partículas minerais de argila, ou óxidos de ferro e alumínio.

Apesar do nome “ácidos húmicos” indicar que o forma livre dessas substâncias possui características ácidas, a acidez característica está largamente associada com os seus grupos

carboxílicos e fenólicos. A formação possui valores de pK_a na faixa de 2,5 a 5,0 dependendo da proximidade dos átomos eletronegativos com os grupos carboxílicos, enquanto os hidrogênios fenólicos possuem valores de pK_a em torno de 9 ou 10. Os grupos carboxílicos são, entretanto, ácidos suficientemente fortes que permanecem substancialmente desprotonados quando dissolvidos em água a baixas concentrações. Assim, quando um corpo d'água possui uma capacidade tampão muito baixa devido à falta de outros aceptores de prótons como hidrogenocarbonatos, os ácidos húmicos dissolvidos irão acidificar a água a uma faixa de pH que varia tipicamente de 5,5 a 6,5. A Figura 3.3.5.1 apresenta a estrutura genérica de uma molécula de uma substância húmica.

Figura 3.3.5.1: Estrutura genérica de uma molécula de uma substância húmica.

Fonte: vanLoon & Duffy (2004).

Segundo Sparks (2003) os pesos moleculares médios das substâncias húmicas variam de 500 a 5.000 Da para os ácidos fúlvicos e de 3.000 a 1.000.000 Da para os ácidos húmicos. A Tabela 3.3.5.1 apresenta a composição elementar média para os ácidos húmicos e fúlvicos e baseado nesses dados pode chegar nas fórmulas médias de $C_{10}H_{12}O_5N$, para os ácidos húmicos e $C_{12}H_{12}O_9N$, para os ácidos fúlvicos.

Tabela 3.3.5.1: Composição elementar média para os ácidos húmicos e fúlvicos.

Elemento	Ácidos húmicos [%]	Ácidos fúlvicos [%]
Carbono	53,8 – 58,7	40,7 – 50,6
Hidrogênio	3,2 – 6,2	3,8 – 7,0
Oxigênio	32,8 – 38,3	39,7 – 49,8
Nitrogênio	0,8 – 4,3	0,9 – 3,3
Enxofre	0,1 – 1,5	0,1 – 3,6

Fonte: Sparks (2003).

Quanto às concentrações dos ácidos húmicos e fúlvicos em lixiviados de aterros sanitários, a literatura não apresenta as faixas de variação das concentrações desses ácidos, porém Qasim e Chiang (1994) relatam que proporções entre ácidos voláteis, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos podem ser um

fator indicativo da idade do aterro, pois em aterros jovens, aproximadamente 90% da matéria orgânica solúvel é composta por ácidos voláteis, que são ácidos de cadeia curta como apresentado no item anterior. Conforme o aterro sanitário vai ficando mais velho, os ácidos fúlvicos começam a predominar em relação aos ácidos voláteis de cadeia curta e em aterros muito velhos, os ácidos húmicos prevalecem em relação aos demais.

3.3.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo Andreotolla e Cannas (1992), os valores de pH em lixiviados de aterros sanitários podem variar de 5,3 a 8,5 e segundo Kjeldsen *et al.* (2002), podem variar de 4,5 a 9,0. Em lixiviados de aterros sanitários jovens, ou com elevadas concentrações de ácidos voláteis, os lixiviados costumam apresentar pH mais baixo devido justamente à elevada concentração desses ácidos que possuem pK_a em torno de 4,7 e consomem a alcalinidade do lixiviado. Em lixiviados de aterros velhos, ou com elevadas concentrações de N-amoniaco, o tamponamento devido à amônia, que possui pK em torno de 9,25, tende a aumentar os valores de pH para faixas alcalinas.

3.3.7 – Alcalinidade

Segundo Metcalf & Eddy (2003) a alcalinidade em águas residuárias é resultado da presença de hidróxidos $[OH^-]$, carbonatos $[CO_3^{2-}]$, e bicarbonatos $[HCO_3^-]$ de elementos como cálcio, magnésio, sódio, potássio e amônia. boratos, silicatos, fosfatos e ácidos fracos, com pK_a superiores a 4,3 também contribuem com a alcalinidade.

A alcalinidade total é obtida por titulação com ácido forte até pH igual a 4,3 e é considerada como sendo a soma das alcalinidades a bicarbonato e a ácidos voláteis. A alcalinidade a bicarbonato, em águas residuárias, ajuda a solução se manter resistente a mudanças no pH causada pela adição de ácidos.

Segundo Lahav e Morgan (2004) ácidos ou bases que sofrem somente dissociação parcial em solução são chamados de ‘fracos’. Os principais subsistemas ‘ácidos fracos’ comumente encontrados em reatores anaeróbios são: o carbonato, o amônio, o fosfato, os ácidos voláteis e os sulfetos. As várias espécies desses subsistemas podem ser representadas como função da concentração total da espécie de um subsistema ‘ácido fraco’ particular, em equilíbrio aparente constante, ajustado para temperatura e para o efeito Debye-Hückel. A contribuição de cada subsistema no tamponamento pode ser calculada através de um parâmetro chamado de capacidade tampão, definido como a inclinação da curva de titulação, quando se constrói um gráfico da massa acumulada do ácido ou base forte adicionada à amostra na titulação, contra a variação medida no valor do pH. Através de equações que descrevem as concentrações individuais dos ácidos fracos, pode se construir um diagrama ‘pH-log das espécies’ e ‘pH-índice de capacidade tampão’. A Figura 3.3.7.1 apresenta um diagrama ilustrativo

elaborado por Lahav e Morgan (2004), para as espécies tipicamente encontradas em reatores anaeróbios, considerando-se concentração de carbono inorgânico total (CIT) igual a 1000 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, AVT igual a 100 mg Ac. Acético. L^{-1} , fosfato igual a 50 mg P. L^{-1} , amônia igual a 50 mg $\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$ e sulfeto igual a 20 mg S. L^{-1} , à temperatura de 22 °C e com concentração de SDT igual a 3000 mg. L^{-1} .

Figura 3.3.7.1: Diagrama ilustrativo de capacidade tampão para as espécies tipicamente encontradas em reatores anaeróbios.

Fonte: Lahav e Morgan (2004).

Segundo Andreotolla e Cannas (1.992), os valores de alcalinidade total em lixiviados de aterros sanitários podem variar de 300 a 11.500 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, mas segundo Inanc *et al.* (2000), a alcalinidade pode superar os 15.000 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$.

No caso específico dos lixiviados de aterros sanitários, a alcalinidade total está intimamente ligada às concentrações de N-amoniacal, pois nos lixiviados a amônia aparece predominantemente na forma de bicarbonato de amônio.

3.3.8 – Nitrogênio (N)

Segundo Metcalf & Eddy (2003) as principais fontes dos compostos de nitrogênio são 1) os compostos nitrogenados de origem animal e vegetal, 2) nitrato de sódio de depósitos minerais, e 3) nitrogênio atmosférico.

De acordo com Sawyer *et al.* (2003) a química do nitrogênio é complexa devido aos diversos estados de oxidação que o nitrogênio pode assumir na natureza e pelo fato de que essas mudanças podem ser produzidas por microrganismos. Para complicar a situação, os estados de oxidação do

nitrogênio podem ser modificados positivamente ou negativamente por bactérias dependendo das condições ambientais que prevalecem, sejam elas, anaeróbias, aeróbias ou anóxicas. Os estados de oxidação do nitrogênio segundo Sawyer *et al.* (2003) são apresentados a seguir:

Estado de oxidação:	-III	0	I	II	III	IV	V
Forma:	NH ₃	N ₂	N ₂ O	NO	N ₂ O ₃	NO ₂	N ₂ O ₅

As formas mais comuns e importantes de nitrogênio em águas residuárias e seus correspondentes estados de oxidação no meio ambiente são: amônia (NH₃, -III), amônio (NH₄⁺, -IV), gás nitrogênio (N₂, 0), íon nitrito (NO₂⁻, +III) e íon nitrato (NO₃⁻, +V). O estado de oxidação do nitrogênio na maioria dos compostos orgânicos é -III.

O nitrogênio total, como sumarizado na Tabela 3.3.8.1 é composto por nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. A fração orgânica consiste de uma mistura complexa de compostos que incluem aminoácidos, aminoaçúcares e proteínas. O nitrogênio orgânico é obtido analiticamente utilizando-se o método Kjeldhal.

Tabela 3.3.8.1: Definição dos vários termos das espécies de nitrogênio.

Forma do Nitrogênio	Abreviatura	Definição
Gás amônia, ou amônia livre	NH ₃ ou NAL	NH ₃
Íon amônio	NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺
Nitrogênio amônia total	NAT ^a	NH ₃ + NH ₄ ⁺
Nitrito	NO ₂ ⁻	NO ₂ ⁻
Nitrato	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
Nitrogênio inorgânico total	NIT ^a	NH ₃ + NH ₄ ⁺ + NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻
Nitrogênio total Kjeldhal	NTK ^a	N-orgânico + NH ₃ + NH ₄ ⁺
Nitrogênio orgânico	N-orgânico ^a	NTK – (NH ₃ + NH ₄ ⁺)
Nitrogênio total	NT ^a	N-orgânico + NH ₃ + NH ₄ ⁺ + NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻

^a Todas espécies expressas como N.

Fonte: Metcalf & Eddy (2003).

Em lixiviados de aterros sanitários, na grande maioria dos casos, a forma predominante de nitrogênio é a do N-amoniacal ou NAT, na forma de bicarbonato de amônio e N-amônia livre. O bicarbonato de amônio se forma no interior do aterro em meio anaeróbio quando a amônia formada pela decomposição da matéria orgânica é neutralizada pelo ácido carbônico formado pela reação entre a unidade do lixo e o dióxido de carbono também resultante da decomposição da matéria orgânica. Segundo Andreotolla e Cannas (1.992), a concentração de N-amoniacal pode variar entre 1 mg.L⁻¹ e 1.500 mg.L⁻¹ e segundo Kjeldsen *et al.* (2002), pode variar entre 50 mg.L⁻¹ e 2.200 mg.L⁻¹.

As concentrações de N-orgânico, segundo Andreotolla e Cannas (1.992), podem variar entre 1 mg.L⁻¹ e 2.000 mg.L⁻¹ e segundo Kjeldsen *et al.* (2002), pode variar entre 14 mg.L⁻¹ e 2.500 mg.L⁻¹. E por fim, segundo Andreotolla e Cannas (1.992), a concentração de NT pode variar entre 50 mg.L⁻¹ e 5.000 mg.L⁻¹.

Com relação ao tratamento de águas residuárias contendo elevadas concentrações de N-amoniacal, segundo Calli *et al.* (2005), Clément e Merlin (1995) a forma tóxica da amônia é a amônia livre, ou seja, no estado não dissociado (NH₃). Segundo esses mesmos autores e Clegg e Whitfield (1995) a concentração de amônia livre pode ser calculada através das equações 3.3.8.1.1 e 3.3.8.1.2.

$$NAL = \frac{NAT}{1 + 10^{(pK_a - pH)}} \quad (3.3.8.1.1)$$

$$pK_a = 0,09018 + \frac{2729,92}{T + 273,15} \quad (3.3.8.1.2)$$

Em que:

NAL = Concentração de Nitrogênio Amoniacal Livre [mg NH₃-N.L⁻¹];

NAT = Concentração de Nitrogênio Amoniacal Total [mg NH₃-N.L⁻¹];

pK_a = Constante de dissociação do íon amônio; e

T = Temperatura [°C].

Calli *et al.* (2005) avaliou o desempenho de cinco reatores anaeróbios tratando águas residuárias com concentrações de NAT variando entre 1.000 e 6.000 mg.L⁻¹ e NAL chegando até 800 mg.L⁻¹ obtendo remoção de DQO na faixa de 78 a 95 % para todos os cinco reatores. O autor ainda cita que o reator que apresentou melhor desempenho foi aquele cujo lodo estava adaptado a lixiviados de aterros sanitários, porém relata que o processo de adaptação pode ser lento e que efeitos inibitório foram notados com concentrações de NAL da ordem de 200 mg.L⁻¹, intensificando-se bastante a partir de 600 mg.L⁻¹.

3.3.9 – Fósforo (P)

Lixiviados de aterros sanitários, em geral, costumam apresentar baixas concentrações de fósforo, que tem como origem a decomposição da matéria orgânica do lixo. Segundo Andreotolla e Cannas (1.992), as concentrações de fosfato podem variar de 0,3 mg.L⁻¹ a 25 mg.L⁻¹ e segundo Kjeldsen *et al.* (2002), as concentrações de fósforo total podem variar entre 0,1 mg.L⁻¹ e 23 mg.L⁻¹.

3.3.10 – Metais

Segundo Qasim e Chiang (1994) os movimentos de metais traço em ambientes aquáticos e terrestres são extremamente complexos. Os principais mecanismos que influenciam a mobilidade dos metais traço são: 1) precipitação/solubilização, 2) adsorção, 3) troca iônica, 4) complexação/quelação, e 5) diluição. Cada metal apresenta um comportamento específico em ambientes aquáticos e terrestres. Os fatores ambientais que governam influenciando a mobilidade dos metais são: o pH, o potencial redox, as atividades microbianas e a química do solo. A maioria dos metais são atenuados em solos argilosos.

Sempre existiu um mito de que lixiviados de aterros sanitários apresentavam sempre elevadas concentrações de metais dissolvidos. Em lixiviados com pH ácido, realmente podem ocorrer concentrações mais elevadas de alguns metais, mas nos lixiviados provenientes de aterros com mais de dois anos de operação não se costuma observar valores baixos de pH, principalmente por já estarem na fase metanogênica e por, geralmente, apresentarem elevadas concentrações de N-amoniaco, que faz com que o pH se eleve.

A Tabela 3.2.4.2 apresenta as faixas de concentração de alguns dos metais encontrados em lixiviados de aterros sanitários.

3.3.11 – Sólidos

Os sólidos nos lixiviados de aterros sanitários, podem ser divididos basicamente em três frações, ST, STF e STV, porque a maior parte das substâncias presentes nos lixiviados encontram quase que totalmente dissolvidas.

Elevadas concentrações de STF em lixiviados de aterros sanitários podem ser um indicativo da elevada salinidade do lixiviado, o que em concentrações muito elevadas pode até ter algum efeito inibitório para microrganismos. Por outro lado elevadas concentrações de STV é um indicativo de elevadas concentrações de matéria orgânica e também um possível indicador da tratabilidade biológica do lixiviado.

Segundo Kjeldsen *et al.* (2002), as concentrações de ST em lixiviados de aterros sanitários podem variar entre 2.000 mg.L⁻¹ e 60.000 mg.L⁻¹.

3.4 – Algumas Formas de Tratamento de Lixiviados Encontradas na Literatura

Como um resultado da variabilidade das características dos lixiviados, o projeto de sistemas de tratamento desses líquidos torna-se bastante complexo (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993). Assim, os sistemas para tratamento de lixiviados devem permitir alguma flexibilidade ou adaptação em função dessas variações com o tempo. Uma solução para este problema pode ser a separação dos lixiviados da fração “jovem” do aterro e dos lixiviados das frações mais velhas do aterro, dando para cada fração um tratamento adequado, de acordo com suas características físicas, químicas ou microbiológicas.

Atualmente existe uma infinidade de estudos sobre tratamentos de lixiviados gerados em aterros sanitários. Cada um deles procura sempre levar em conta os fatores que facilitam o tratamento, de acordo com os recursos, as circunstâncias, as técnicas existentes e as características dos locais e dos lixiviados.

A seguir são apresentados alguns dos trabalhos encontrados na literatura, que relatam o tratamento de lixiviados de aterros sanitários. A Tabela 3.4.1 apresenta os artigos, dos últimos dez anos, encontrados no portal “Periódicos” da CAPES, que apresentam o tratamento de lixiviados, com ênfase na remoção da carga orgânica, utilizando-se para busca, a palavra-chave “*landfill leachate treatment*”.

Nota-se, pela Tabela 3.4.1 e pela Figura 3.4.1, um aumento contínuo do número de pesquisas envolvendo o tratamento de lixiviados no decorrer do tempo, mostrando que a solução para o seu tratamento está longe de ser algo já estabelecido, e que pode variar muito, dependendo das características do lixiviado e das eficiências que se deseja obter em seu tratamento.

Figura 3.4.1: Número de publicações envolvendo tratamento de lixiviados de aterros sanitários nos últimos dez anos disponíveis no *site* ‘Periódicos’ da Capes.

Nota-se também pela Figura 3.4.1, que com o passar do tempo, parece existir uma tendência de predomínio dos tratamentos físico-químicos em relação aos demais.

Ao analisar essas publicações, nota-se que, de forma geral, nenhum dos tratamentos biológicos de lixiviados apresentados pela literatura foi capaz de atingir sozinho, concentrações baixas em termos de DQO, na saída dos sistemas, e que, na maioria dos casos, as eficiências foram significativamente maiores, onde se utilizaram sistemas mistos de tratamento, compostos por reatores biológicos e processos físico-químicos. Nota-se também que, de forma geral, os reatores biológicos são bons redutores de carga orgânica, quando os lixiviados apresentam altas cargas e não são recalcitrantes ao tratamento biológico.

Tabela 3.4.1: Sistemas de tratamento de lixiviados mais pesquisados na última década. (continua)

Nº	Referência	Tipo de Tratamento	Classif.	DQO _{af.} Máxima [mg.L ⁻¹]	Efic. [%]
01	Peters (1998)	Osmose reversa e nanofiltração	F-Q	17.000	95,9
02	Kettunen, e Rintala, (1998)	Reator UASB	Biol.	3.240	58,1
03	Chianese <i>et al.</i> (1999)	Osmose reversa	F-Q	1.749	98,1
04	Wenzel <i>et al.</i> (1999)	Oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂ e UV/O ₃)	F-Q	-	-
05	Lin <i>et al.</i> (1999)	Digestor anaeróbio CSTR	Biol.	11.556	52
06	Bae <i>et al.</i> (1999)	Lodos ativados e irradiação elétrica	Misto	3.130	69,3
07	Timur e Öztürk (1999)	Reator AnSBR	Biol.	15.940	64
08	Lin <i>et al.</i> (2000)	Reator UASB	Biol.	11.732	42,2
09	Kennedy e Lentz (2000)	Reator AnSBR e UASB	Biol.	9.840	92
10	Lin e Chang (2000)	Coagulação, oxidação Eletro-Fenton e SBR	Misto	1.941	85
11	Bohdziewicz <i>et al.</i> (2001)	Lodos ativados, ultra filtração e osmose rev.	Misto	1.780	96,9
12	Loukidou e Zouboulis (2001)	SBR aeróbio de leito fluidizado e carvão ativado	Misto	5.000	81
13	Trebouet <i>et al.</i> (2001)	Coagulação química e nanofiltração	F-Q	620	91,1
14	Zouboulis <i>et al.</i> (2001)	Tratamento enzimático e SBR aeróbio	Biol.	13.750	75
15	Martinen <i>et al.</i> (2002)	Ozonização e ultra filtração	F-Q	550	56
16	Méier <i>et al.</i> (2002)	Adsorção e nanofiltração	F-Q	1.450	95
17	Ahn <i>et al.</i> (2002)	Bioreator de membrana (MBR) e osmose reversa	Misto	1.500	97
18	Ushikoshi <i>et al.</i> (2002)	Osmose reversa	F-Q	747	98,1
19	Wang <i>et al.</i> (2002)	Coagulação química e foto-oxidação	F-Q	5.800	64
20	Heavey (2003)	Adsorção em turfa	F-Q	3.025	68,8
21	Oztürk <i>et al.</i> (2003)	Reator UASB e filtração por membranas	Misto	40.000	99
22	Gonze <i>et al.</i> (2003)	Pré-tratamento ou pós-tratamento por ultra-som	F-Q	1.943	78
23	Çeçen <i>et al.</i> (2003)	Lodos ativados e carvão ativado em pó	Misto	18.420	-
24	Kargi, e Pamukoglu (2003-a)	Adsorção em carvão ativ. em pó e lodos ativados	Misto	9.500	86
25	Kargi, e Pamukoglu (2003-b)	Coagulação e precipit. com cal e lodos ativados	Misto	7.000	76
26	Tatsi <i>et al.</i> (2003)	Coagulação-floculação	F-Q	115.000	80
27	Rivas <i>et al.</i> (2003)	Ozônio e carvão ativado	F-Q	5.470	90
28	Frescari <i>et al.</i> (2004)	Lagoa de estabilização	Biol.	8.000	40
29	Lopez <i>et al.</i> (2004)	Pré-tratamento Fenton	F-Q	10.540	60
30	Wu <i>et al.</i> (2004)	Oxidação avançada (O ₃ , O ₃ /H ₂ O ₂ , O ₃ /UV)	F-Q	6.500	-
31	Silva <i>et al.</i> (2004)	Coagulação-floculação e ozonização	F-Q	3.470	50
32	Kargi, e Pamukoglu (2004-a)	Coag.-floc., carvão ativado e lodos ativados	Misto	7.000	94
33	Uygur e Kargi (2004)	Coag.-floc. e tratamento biológico (SBR)	Misto	10.000	62
34	Rodríguez <i>et al.</i> (2004)	Recirculação e adsorção em carv. ativ. e resinas	Misto	5.108	96,1
35	Kargi, e Pamukoglu (2004-b)	Carvão ativado e zeólita em pó com SBR	Misto	7.000	87
36	Rivas <i>et al.</i> (2004)	Coagulação-floculação e oxidação Fenton	F-Q	8.800	90

OBS: F-Q = físico-químico; Biol. = biológico e Misto = biológico + físico-químico.

Tabela 3.4.1: Sistemas de tratamento de lixiviados mais pesquisados na última década. (continuação)

Nº	Referência	Tipo de Tratamento	Classif.	DQO _{af.} Máxima [mg.L ⁻¹]	Efic. [%]
37	Moraes e Bertazzoli (2005)	Oxidação eletroquímica	F-Q	2255	73
38	Bila <i>et al.</i> (2005)	Coagulação-floculação e ozonização	F-Q	3945	73
39	Ağdağ e Sponza (2005)	Reatores UASB seguidos de CSTR	Biol.	20.000	97
40	Morais e Zamora (2005)	Oxid. Fenton (Fe ²⁺ /H ₂ O ₂ /UV, H ₂ O ₂ /UV) e SBR	F-Q	5.200	90
41	Zhang <i>et al.</i> (2005)	Oxidação Fenton	F-Q	8.894	65,9
42	Neczaj <i>et al.</i> (2005)	Ultra-som e reator SBR	Misto	3.500	90
43	Klimiuk e Kulikowska (2006)	Reator SBR	Biol.	1.348	87,5
44	Ntampou <i>et al.</i> (2006)	Coagulação-floculação e ozonização	F-Q	1.000	72
45	Shu <i>et al.</i> (2006)	Oxidação fotoquímica (H ₂ O ₂ /UV)	F-Q	3.750	87
46	Calli <i>et al.</i> (2006)	Reatores anaeróbios UASB, Biofiltro e Híbrido	Biol.	47.800	85
47	Laitinen <i>et al.</i> (2006)	Biorreatores SBR e MBR	Biol.	2.430	84,5
48	Zhang <i>et al.</i> (2006-a)	Eletro-Fenton	F-Q	5.000	83,4
49	Bulc (2006)	Alagado construído	Biol.	770	50
50	Zhang <i>et al.</i> (2006-b)	Fenton	F-Q	8.894	94,3
51	Kurniawan <i>et al.</i> (2006)	Ozonização e carvão ativado granular	F-Q	8.000	86
52	Iaconi <i>et al.</i> (2006)	Biofiltro aerado, ozonização e Fenton	Misto	24.400	97,1
53	Luna <i>et al.</i> (2007)	Fuligem zeolitizada de carvão e coag. floc.	F-Q	52.310	49
54	Castillo <i>et al.</i> (2007)	UASB e Biodisco (RBC)	Biol.	3.273	82
55	Chan <i>et al.</i> (2007)	Sistema de membrana VSEPRO	F-Q	8.000	96
56	Neczaj <i>et al.</i> (2007)	Sonificação do lixiviado e SBR	Misto	3.500	92
57	Visvanathan <i>et al.</i> (2007)	Biorreator de membranas (MBR) termofílico	Biol.	13.000	71
58	Tizaoui <i>et al.</i> (2007)	Ozonização e peróxido de hidrogênio	F-Q	5.230	48
59	Lei <i>et al.</i> (2007)	Biorreator de resíduos estáveis e eletro-oxidação	Misto	16.271	98,5
60	Nivala <i>et al.</i> (2007)	Alagado construído aerado	Biol.	873	60
61	Deng (2007)	Fenton e coagulação	F-Q	1.300	61
62	Bilgili <i>et al.</i> (2008)	Reat. anaer. e aeróbios, simulando aterros sanit.	Biol.	98.000	75
63	Liang e Liu (2008)	Anammox e infiltração em solo	Misto	2.600	71
64	Bohdziewicz <i>et al.</i> (2008)	Reator anaeróbio de membranas	Biol.	5.000	90
65	Neczaj <i>et al.</i> (2008)	Tratamento conjunto em SBR	Biol.	4.250	98
66	Bohdziewicz e Kwarciak (2008)	UASB e osmose reversa	Misto	4.200	99
67	Salem <i>et al.</i> (2008)	Precipitação química	F-Q	3.552	11,4
68	Primo <i>et al.</i> (2008)	Foto-Fenton	F-Q	4.400	86
69	Lim <i>et al.</i> (2008)	Adsorção em carvão ativado	F-Q	1.460	50
70	Ilhan <i>et al.</i> (2008)	Eletro-coagulação	F-Q	12.860	59
71	Yang e Zhou (2008)	Reatores anaeróbios e aeróbios	Biol.	28.100	94
72	Altin (2008)	Foto-Eletro-Fenton	F-Q	2.350	94

OBS: F-Q = físico-químico; Biol. = biológico e Misto = biológico + físico-químico.

3.5 – Sistemas de Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários Utilizados nesta Pesquisa

Neste item será dada atenção especial aos sistemas de tratamento em bateladas sequenciais e aos filtros biológicos, que fazem parte do escopo deste trabalho.

3.5.1 – Reatores em Bateladas Seqüenciais

3.5.1.1 – Reator Anaeróbio em Batelada Seqüencial

A operação convencional do reator anaeróbio em batelada seqüencial – ASBR (*anaerobic sequencing batch reactor*) é constituída por quatro etapas: alimentação, reação, sedimentação e descarga. Na etapa de alimentação, um volume predeterminado de água residuária é misturado à biomassa, de modo a permitir o melhor contato possível, para que na fase seguinte, de reação, a matéria orgânica seja convertida a metano. Na etapa de sedimentação o reator funciona como um clarificador, permitindo a separação dos sólidos e do efluente líquido que será descarregado na etapa seguinte, depois de adequada sedimentação. Inicia-se então um novo ciclo e, dessa maneira, a frequência dos ciclos dependerá do tempo gasto em cada etapa (ZAIAT *et al.*, 2001).

Este tipo de reator pode ser indicado para o tratamento de águas residuárias em locais onde os padrões de lançamento sejam bastante restritos, ou onde haja substâncias tóxicas. O seu emprego parece ser bastante promissor em situações em que a geração da água residuária não seja contínua, sendo o descarte intermitente. Novos avanços no conhecimento deste reator, entretanto, podem ainda abrir mais opções para sua utilização e, principalmente, identificar seus limites e deficiências.

A operação intermitente resulta em altas concentrações de substrato no início da operação e, conseqüentemente, alta velocidade de conversão, acompanhada de elevada produção de biogás. Já no final do ciclo as concentrações são baixas e, conseqüentemente, a velocidade de conversão e a produção de gases diminuem, permitindo boa sedimentação da biomassa e sua conseqüente retenção no reator, o que garante a eficácia do sistema (ANGENENT & DAGUE, 1995).

A fase de reação é a mais importante do processo, pois é nela que a maior parte da matéria orgânica presente na água residuária é convertida a metano, representando muitas vezes 80 % ou mais do tempo total do ciclo (HOLLOPETER & DAGUE, 1994). O tempo gasto nesta etapa dependerá da composição da água residuária, da concentração de sólidos presentes, da carga orgânica, da concentração de biomassa, da temperatura e da qualidade exigida do efluente (SUNG & DAGUE, 1995). Segundo Angenent & Dague (1995), durante esta fase deve haver algum tipo de agitação para garantir o efetivo contato entre a água residuária e a biomassa (BRITO *et al.*, 1997).

Na etapa de sedimentação, embora ainda haja uma pequena conversão de matéria orgânica, a velocidade de produção de biogás é baixa, permitindo a separação dos sólidos. A duração desta etapa dependerá tanto da concentração como das características de sedimentação da biomassa, sendo estas características de fundamental importância no desempenho do sistema (HOLLOPETER & DAGUE, 1994). Assim, de acordo com Sung & Dague (1995), a biomassa deve apresentar-se na forma de grânulos, permitindo um desempenho melhor e mais estável do reator na remoção da matéria orgânica, sendo afetada pela relação entre a concentração de substrato e a concentração de biomassa (C_S/C_X) no reator (DAGUE *et al.*, 1992; REYES III & DAGUE, 1995).

A etapa de descarga deve ser iniciada após a adequada sedimentação da biomassa, e o volume descarregado é normalmente igual ao que foi alimentado. Porém, velocidades muito elevadas na descarga podem ocasionar a ressuspensão dos sólidos e seu conseqüente arraste.

A geometria do ASBR também tem influência significativa no desempenho do sistema, pois interfere na velocidade do processo e na sedimentação da biomassa. Reatores que apresentam valores relativamente altos da razão entre a altura L e o diâmetro D (L/D) apresentaram melhor desempenho na retenção de biomassa granulada, quando comparados a reatores com L/D relativamente baixos, apesar destes alcançarem maior concentração de biomassa (SUNG & DAGUE, 1995).

No intuito de verificar a aplicação da tecnologia ASBR ao tratamento de efluentes líquidos, vários trabalhos são encontrados na literatura (SUNG & DAGUE, 1995; ANGENENT & DAGUE, 1995; DROSTE & MASSÉ, 1995; TIMUR & ÖZTURK, 1999; HIRL & IRVINE, 1996), mostrando a potencialidade desta tecnologia.

Uma alternativa que vem sendo estudada para aprimorar a configuração dos reatores ASBR é a utilização de biomassa imobilizada em suporte inerte. Neste caso ocorre a formação de biofilme aderido à superfície do suporte, com predomínio deste sobre culturas livres em suspensão, havendo a criação de micro-ambientes especiais pela interação entre as espécies, favorecendo o conjunto como um todo e garantindo grande estabilidade das colônias. Além disso, a utilização de suportes inertes assegura a retenção da biomassa no reator, permitindo a eliminação da etapa de sedimentação.

Desta forma, uma alternativa na operação do ASBR é utilizar suportes inertes (espuma de poliuretano) para favorecer a formação de biofilme e usufruir suas vantagens metabólicas, além de garantir a retenção da biomassa no reator permitindo eliminar a fase de sedimentação e reduzindo o tempo de operação (COSTERTON *et al.*, 1995).

A análise dos trabalhos encontrados na literatura permite concluir que o ASBR não é aplicado em estações de tratamento em escala real por não ser uma tecnologia completamente dominada, apesar dos resultados animadores obtidos em muitas pesquisas, sendo que diversos tipos de águas residuárias já foram utilizadas nestes estudos: sintéticas e naturais, com alta e baixa concentração (em DQO), de fácil e difícil degradação e com alta e baixa concentração de sólidos suspensos.

Além disso, a possibilidade de variação das condições de operação no ASBR, como o tempo de cada etapa, assim como as vazões de alimentação ou a disponibilidade dos nutrientes permitem favorecer a seleção de um determinado consórcio de microrganismos mais apropriado. Desta forma, o emprego de uma estratégia de partida que favoreça determinados microrganismos capazes de utilizar uma fonte específica de energia disponível, permite a seleção da biomassa, sendo possível, então alterar as condições de operação para satisfazer a necessidade real de tratamento da água residuária utilizando o consórcio desenvolvido.

Finalmente, as altas eficiências na remoção de matéria orgânica, atingidas para diferentes tipos de efluentes potencializam a viabilidade do emprego do ASBR no tratamento de águas residuárias, faltando ainda a elucidação da influência de algumas variáveis operacionais sobre o desempenho e a

estabilidade deste sistema, no intuito de promover a sua otimização e estabelecer os limites de sua utilização para, então, haver a definitiva consolidação deste tipo de reator no tratamento anaeróbio de águas residuárias.

Já existem na literatura alguns trabalhos utilizando o ASBR no tratamento de lixiviados de aterros sanitários (TIMUR & ÖZTURK, 1999), (TIMUR *et al.*, 2000), (KENNEDY & LENTZ, 2000), dentre outros, onde relatam terem obtido bons resultados com essa configuração de reator. Assim essa pesquisa visará verificar a eficiência do ASBR no tratamento de lixiviados em uma situação real de campo, em escala piloto, observando-se os problemas encontrados e procurando soluções para adaptação dessa tecnologia às condições brasileiras.

As pesquisas com reatores anaeróbios em bateladas sequenciais encontram-se bem avançadas tanto na Escola de Engenharia Mauá em São Caetano do Sul-SP, quanto na Escola de Engenharia de São Carlos, aonde estes tipos de reatores já vêm sendo pesquisados em escala piloto há quase uma década.

Um exemplo do desenvolvimento prático destes sistemas é o trabalho que foi realizado por Sarti (2004). Em seu trabalho, o pesquisador operou quatro reatores anaeróbios em bateladas sequenciais, projetados em escala piloto, para tratamento de $7,8 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de esgotos sanitários, coletados da rede coletora que atravessava o Campus da USP de São Carlos. Cada sistema, com volume igual a $1,2 \text{ m}^3$, foi concebido para tratamento de $1,95 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de esgoto sanitário, com concepções geométricas (relação altura/diâmetro), mecânicas (agitação mecânica ou recirculação de líquido) e tipo de retenção de biomassa diferentes. Três unidades eram do tipo ASBR (*anaerobic sequencing batch reactor*) e uma do tipo ASBBR (*anaerobic sequencing batch biofilm reactor*) com leito fixo composto de matrizes cúbicas de espuma de poliuretano. Os ciclos operacionais tinham duração de oito horas perfazendo no total três ciclos por dia em cada sistema. O ensaio experimental foi dividido em duas etapas distintas, sendo que na primeira (227 dias), os reatores não receberam inóculo e na segunda (66 dias) houve a inoculação prévia de lodo anaeróbio granular. Em ambas etapas, os dois reatores ASBR, com mesmo tipo de agitação por recirculação de líquido, mas com diferente relação L/D não apresentaram desempenho satisfatório. Os valores médios de eficiência de remoção de DQO e de SST foram próximos de 40% e 60%, respectivamente. No efluente a concentração média foi de $300 \text{ mg}_{\text{DQO}}.\text{L}^{-1}$ e de $100 \text{ mg}_{\text{SST}}.\text{L}^{-1}$. Nos reatores, ASBR com agitação mecânica e, ASBBR com biomassa imobilizada, os resultados médios obtidos foram melhores. O reator ASBBR atingiu eficiência média de 65% e 75% em remoção de DQO e SST, enquanto no ASBR com agitação mecânica chegou-se a 60% e 85%, respectivamente. A concentração média no efluente dos reatores foi de $150 \text{ mg}_{\text{DQO}}.\text{L}^{-1}$ e $60 \text{ mg}_{\text{SST}}.\text{L}^{-1}$ no ASBBR e $220 \text{ mg}_{\text{DQO}}.\text{L}^{-1}$ e $50 \text{ mg}_{\text{SST}}.\text{L}^{-1}$ no ASBR com agitação mecânica.

Um outro exemplo de trabalho na mesma escala foi o trabalho realizado por Lapa (2006). A pesquisadora em seu trabalho utilizou também um ASBBR com volume igual a $1,2 \text{ m}^3$, com biomassa aderida em matrizes de poliuretano, porém com recirculação da fase líquida ao invés da agitação por

impelidores. O trabalho avaliou a influência da recirculação da fase líquida e do regime de alimentação do sistema no tratamento de esgotos sanitário.

3.5.1.2 – Sistema de Lodos Ativados em Bateladas Sequenciais

É quase consenso entre os pesquisadores de sistemas anaeróbios de tratamento, que os efluentes de reatores anaeróbios necessitam de algum pós-tratamento, para se atingir os limites de lançamento de efluentes. Uma alternativa quase sempre proposta é a utilização de um sistema aeróbio, como o sistema de lodos ativados proposto neste trabalho.

O sistema de lodos ativados é um sistema amplamente utilizado em todo o mundo para o tratamento de diversos tipos de águas residuárias. Esse sistema é geralmente utilizado em situações onde é necessária elevada qualidade do efluente, ou onde a disponibilidade de área é limitada. Mas o sistema de lodos ativados possui vários inconvenientes tais como: elevado índice de mecanização do sistema de tratamento, elevado consumo de energia para aeração e maior produção de lodo. Porém esses custos podem ser reduzidos bastante quando se utiliza um pré-tratamento anaeróbio.

Uma variante do sistema de lodos ativados convencional é o sistema com operação intermitente, ou seja, o sistema de lodos ativados em batelada sequencial. Esse sistema consiste na incorporação de todas as unidades, processos e operações (decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária) em um único tanque.

Nesse processo é utilizado apenas um reator, onde ocorrem todas as etapas de tratamento. Isso é conseguido por meio do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas. A massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos, eliminando, desta forma, a necessidade de decantadores separados. Os ciclos normais do tratamento são: Enchimento, Reação, Sedimentação, Descarte do efluente tratado e Repouso, com possíveis ajustes de ciclos e remoção de lodo excedente (CHERNICHARO, 2001). Nesta variante do sistema de lodos ativados os custos de implantação ficam bastante reduzidos, pois todo o sistema se resumirá em um único reator, podendo-se reduzir também os custos com equipamentos e simplificando-se a operação.

Loukidou & Zouboulis (2001) descrevem um sistema de lodos ativados operado em bateladas sequenciais no tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Os pesquisadores avaliaram também a aeração intermitente do sistema com alternância entre condições aeróbias e anóxicas com duração respectivamente de 6 e 1 hora. Os tempos de reação utilizados pelos pesquisadores ficaram entre 20 e 24 dias. O lixiviado utilizado possuía DQO da ordem de 5.000 mg.L⁻¹ e DBO da ordem de 1.000 mg.L⁻¹. Como meio suporte os pesquisadores utilizaram partículas de poliuretano em um caso e carvão ativado em um outro caso, misturadas inicialmente com um inóculo proveniente de um sistema de águas residuárias. Utilizando-se partículas de poliuretano como suporte, os pesquisadores conseguiram remoção de 55% da DQO e de 80% da DBO e utilizando carvão ativado conseguiram eficiências de remoção de 81% para DQO e 90% para DBO. Os pesquisadores relataram também que pode ter

ocorrido adsorção de matéria orgânica pelo carvão ativado adicionado. Com relação à remoção de N-amoniacal, os pesquisadores relataram a nitrificação quase que total do N-amoniacal que possuía concentração afluyente da ordem de 1.800 mg.L^{-1} .

3.5.2 – Reatores de Fluxo Contínuo

3.5.2.1 – Filtros Anaeróbios

Segundo Andrade Neto *et al.* (1999), os filtros anaeróbios mais comuns consistem em um tanque cheio de pedras britadas ou outro material inerte que serve de suporte para aderência e desenvolvimento de microrganismos, constituindo um leito com elevado grau de vazios. Podem ter fluxo ascendente, horizontal ou descendente. Nos filtros de fluxo ascendente, o líquido penetra pela base, distribuídos por um fundo falso ou tubos perfurados, flui através do material de enchimento e é descarregado pelo topo, coletado em canaletas ou tubos perfurados. Nos filtros de fluxo descendente, o caminho é inverso e o leito pode ser submerso (afogado) ou não.

Na superfície de cada peça do material de enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos na forma de biofilme e, nos filtros afogados, principalmente nos de fluxo ascendente, também agrupam-se microrganismos na forma de flocos ou grânulos nos interstícios do material de enchimento. Nesse sistema a água residuária percola nos interstícios do leito “filtrante”, em contato com o lodo ativo retido.

O principal objetivo dos reatores anaeróbios com fluxo através do lodo ativo é propiciar maior tempo de retenção celular para obter contato longo entre a biomassa ativa e a água residuária a ser tratada. O fluxo da água residuária por meio desse lodo ativo, retido, propicia maior eficiência na remoção do material dissolvido, do que nos reatores no qual o material não sedimentável sofre pouca ou nenhuma ação metabólica da massa bacteriana.

Dentre os reatores com fluxo através de lodo ativo, os filtros biológicos com biomassa aderida a um leito fixo são, logicamente, os menos susceptíveis à perda de sólidos biológicos e, além disso, são mais estáveis e menos dependentes das variações do afluyente. No entanto, o material de enchimento ocupa boa parte do volume do reator.

Quando forem empregados para receberem águas residuária sem tratamento anterior, devem prever tratamento preliminar (peneiras, etc.) para remoção de sólidos grosseiros.

O sentido do fluxo através do leito acarreta grandes diferenças funcionais para as várias configurações de filtros anaeróbios e, por conseguinte, diferentes indicações de aplicação em função das características do afluyente.

Os filtros com fluxo ascendente apresentam a maior retenção de lodo em excesso e os maiores riscos de entupimento dos interstícios, mas, devido aos lodos em sustentação hidráulica e ao bom tempo de contato, podem propiciar altas eficiências e baixa perda de sólidos que são arrastados no

efluente. São mais indicados para águas residuárias com baixas concentrações de sólidos suspensos, a não ser que se previna contra a colmatação das camadas inferiores do leito.

Os filtros de fluxo ascendente com leito afogado apresentam facilidades para remoção do lodo em excesso e menor risco de entupimento do leito, porque parte do lodo em excesso é gradativamente arrastado pelo efluente. Podem receber águas residuárias com maior concentração de sólidos suspensos, que os filtros de fluxo ascendente e, como a eficiência é bem distribuída em todo o leito, com participação tanto do biofilme quanto do lodo floculento e granulado, com velocidade de fluxo lenta ou rápida, são indicados tanto para altas, quanto para baixas cargas orgânicas.

Os filtros de fluxo horizontal têm funcionamento com características intermediárias entre o que ocorre nos de fluxo ascendente e nos de fluxo descendente afogado, com maior dificuldade na distribuição do fluxo e desempenho diferenciado ao longo do leito. Como a concentração de lodo em excesso é mal distribuída no leito a remoção é mais difícil. Esse sistema deve ser usado, preferencialmente, com baixas taxas de carregamento orgânico.

Os filtros de fluxo descendente com leito não afogado apresentam o menor risco de entupimento dos interstícios, mas, como retêm relativamente baixas concentrações de lodo ativo, e propiciam menor tempo de contato, têm, comparativamente, baixa eficiência. Pelas vantagens operacionais são indicados para águas residuárias com maior quantidade de sólidos suspensos.

De forma geral, os efluentes de filtros anaeróbios, são bastante clarificados e apresentam concentrações de matéria orgânica relativamente baixas, porém costumam serem ricos em sais minerais.

Com relação ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários em filtros anaeróbios, existem na literatura muito poucos trabalhos tratando deste tema, apesar das características dos lixiviados serem apropriadas para seu tratamento neste tipo de reator.

Timur e Öztürk (1997) ao utilizar um filtro anaeróbio de leito híbrido, no tratamento de lixiviados de aterros sanitários, conseguiram eficiências de 81,4% em termos de remoção de COT, com taxa de carregamento de com $1,2 \text{ kg COT.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ (aproximadamente $3,5 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$) e θ_h de 2,4 dias. Os lixiviados utilizados eram de um aterro “jovem” e apresentavam COT de 1250 a 4490 mg.L^{-1} . O reator foi confeccionado com um tubo cilíndrico de vidro com diâmetro interno de 11,5 cm e possuía volume total de 3,35 L, dividido em duas seções, sendo a primeira delas, de forma cônica, no fundo do reator com 0,5 L e o seguinte cilíndrica com 2,5 L, preenchida com anéis plásticos de 5/8”, com porosidade de leito de 90% e área superficial específica de $322 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$.

Timur *et al.* (2000), ao operarem o mesmo reator que Timur e Öztürk (1997), descrito anteriormente, com θ_h variando de 5,1 a 0,9 dias e com taxa de carregamento variando de $0,8 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ a $16,5 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$. As eficiências de remoção de DQO variaram de 87,0 a 59,3% conforme se aumentaram as concentrações afluentes de cerca de 3955 a 14950 mg.L^{-1} .

Inanc *et al.* (2000) operaram três reatores anaeróbios tratando os lixiviados de um aterro sanitário localizado na parte asiática de Istambul, que estava em operação há 3,5 anos. As

características dos lixiviados foram monitoradas por oito meses. As concentrações, em termos de DQO, variaram entre 18.800 e 47.800 mg.L⁻¹ enquanto a DBO₅ variou entre 6.820 e 38.500 mg/L. As concentrações de N-amoniaco variaram entre 1.660 e 2.690 mg NH₃-N.L⁻¹, sendo que as maiores concentrações foram observadas no período das chuvas, ocorrendo, portanto, um efeito contrário ao da diluição, e assim apresentado um comportamento oposto ao observado para DBO₅ e DQO. A relação DBO₅/DQO foi maior que 0,7 para maioria das amostras coletadas, indicando elevada biodegradabilidade e fase ácida de decomposição no aterro. Para se verificar a tratabilidade anaeróbia dos lixiviados foram utilizados três reatores diferentes com volume efetivo de 7,85 L cada um. Foram utilizados um reator UASB, um filtro biológico de fluxo ascendente e um reator de leito híbrido. Os reatores foram operados por mais de 230 dias e a carga orgânica foi aumentada gradualmente de 1,3 a 8,2 kgDQO.m⁻³.dia⁻¹ enquanto o θ_h foi reduzido de 2,4 para 2,0 dias. Os reatores foram mantidos à temperatura de 35 ± 2 °C e receberam suplementação de fósforo para se atingir uma relação DQO/N/P igual a 500/7/1, devido à deficiência de fósforo do lixiviado. Nos lixiviados foram observados pH relativamente altos (8,2), devido aos altos níveis de alcalinidade, que foram fortemente afetados pelas altas concentrações de amônia. Os valores de alcalinidade variaram entre 6.900 e 11.750 mg CaCO₃.L⁻¹. Observou-se que todas as vezes que os sistemas eram submetidos a altas concentrações de amônia, eles apresentavam diferentes níveis de inibição. Porém, os pesquisadores não relataram para quais níveis de concentração de amônia, os sistemas apresentaram inibição. Todos os sistemas tiveram desempenho similar com o aumento da carga orgânica aplicada, apresentando eficiências entre 80 e 90 % e os pesquisadores concluíram que lixiviados de aterros sanitários jovens podem ser tratados de forma anaeróbia obtendo-se até 90 % de eficiência, desde que os níveis de concentração de amônia sejam mantidos abaixo dos níveis que causam inibição aos sistemas anaeróbios. Verificou-se também que o filtro biológico e o reator de leito híbrido foram mais resistentes à inibição causada pela amônia que o reator UASB.

3.6 - Considerações Finais

O problema do tratamento de lixiviados não é só uma questão de encontrar uma tecnologia que seja eficiente, mas que seja também economicamente viável, uma vez que, em países em via de desenvolvimento, tais como o Brasil, ainda costuma-se dar muito pouca importância ao tratamento desses líquidos, principalmente se as soluções existentes forem muito onerosas.

Levando-se em consideração as tecnologias de tratamento existentes e a atual situação do saneamento no Brasil, talvez a melhor solução para o tratamento de lixiviados seja a adoção de um pré-tratamento anaeróbio no próprio aterro sanitário para redução da carga orgânica, como a apresentada nesta pesquisa, com posterior tratamento conjunto em sistemas de tratamento de esgotos municipais. Mas como esta prática, sob determinados pontos de vista, vai contra a determinação do o

artigo 30 da resolução CONAMA 357/05, para lixiviados recalcitrantes, pode ser que com o tempo, esta prática possa também não recomendada, ou até ser proibida, por se tratar de uma simples diluição, mas mesmo assim, não deixa de ser uma solução prática, relativamente barata e eficiente para alguns casos emergenciais.

A recirculação dos lixiviados na massa do próprio aterro, à primeira vista, também parece ser uma boa alternativa, por ser aparentemente econômica, mas em regiões onde as precipitações pluviométricas são muito intensas, ela não é recomendada em períodos chuvosos, pois se for realizada sem critérios, pode desestabilizar o maciço do aterro, provocando até acidentes ambientais de grandes proporções. A recirculação de lixiviados em aterros sanitários deve ser sempre, acompanhada previamente de um estudo hidrológico, em conjunto com um estudo geotécnico que ateste sobre a segurança da recirculação.

Como pôde ser verificado através dos trabalhos citados anteriormente, não existe nenhuma solução pronta ou padrão para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários. A complexidade deste líquido fez com que, ao longo do tempo, fossem realizadas uma infinidade de pesquisas, que na grande maioria das vezes só apresentaram soluções parciais e isoladas para o problema do tratamento de lixiviados.

Uma verificação que se faz, ao observar a maioria dos trabalhos apresentados na literatura, é que eles apresentam sempre todas as características das montagens com muitos resultados de operação, mas muito raramente apresentam modelos matemáticos que representem o sistema pesquisado, o que de forma geral leva a uma grande ausência, na literatura, de parâmetros cinéticos, principalmente para processos biológicos e mais especificamente para tratamentos anaeróbios. E o pior, é que essa ausência de parâmetros cinéticos ocorre mesmo no caso dos trabalhos onde são apresentados tratamentos eficientes de lixiviados.

De forma geral, as pesquisas encontradas na literatura são, na maioria das vezes, realizadas em escala reduzida e com condições ambientais totalmente controladas, o que faz com que os resultados obtidos em laboratório, sejam muitas vezes, distantes dos encontrados na prática, ou em unidades piloto instaladas ao lado do ponto gerador dessa água residuária, assim esta pesquisa, de certa forma procurará também fechar esta lacuna, quando apresenta os resultados e todos os problemas encontrados na pesquisa de campo, o que possivelmente, deixa este trabalho mais próximo da realidade.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 – Local da Montagem do Experimento

O experimento foi montado na área do aterro sanitário de São Carlos-SP conforme a imagem de satélite apresentada na Figura 4.1.1. A Figura 4.1.2 apresenta uma fotografia aérea da área do aterro com uma vista geral de dezembro de 2004, onde é possível se localizar o galpão do experimento próximo às três lagoas de lixiviados. A Figura 4.1.3 apresenta um esquema das instalações do aterro em 2005 e a Figura 4.1.4 apresenta duas vistas do galpão do experimento.

Figura 4.1.1: Imagem de satélite com a indicação do local do aterro sanitário de Carlos-SP.

Fonte: Google Earth (2005)

Figura 4.1.2: Fotografia aérea do aterro sanitário de São Carlos-SP em dezembro de 2004, ainda sem a segunda ampliação.

Fonte: Prefeitura Municipal de São Carlos-SP.

Figura 4.1.3: Esquema das instalações do aterro sanitário de São Carlos-SP em 2005, com a indicação do local do experimento.

Para se acompanhar a dinâmica do aterro sanitário de São Carlos, no decorrer do tempo desta pesquisa, são apresentadas também mais duas figuras. A Figura 4.1.5 apresenta o início das obras da segunda ampliação do aterro em maio de 2005 e a Figura 4.1.6 apresenta a segunda ampliação já praticamente esgotada em agosto de 2007 e uma nova lagoa de lixiviados que fora construída em 2006.

(a)

(b)

Figura 4.1.4: Galpão do experimento (a) vista frontal (b) vista dos fundos.

Figura 4.1.5: Fotografia aérea do aterro sanitário de São Carlos-SP em maio de 2005, com o início das obras da segunda ampliação.

Fonte: Vega Engenharia Ambiental.

Figura 4.1.6: Fotografia aérea do aterro sanitário de São Carlos-SP em agosto de 2007, com a segunda ampliação já praticamente esgotada.

Fonte: Vega Engenharia Ambiental.

4.2 – Descrição do Experimento

O experimento foi realizado à temperatura ambiente no interior e nas imediações do galpão apresentado na Figura 4.1.4.

Ao todo, foi previsto inicialmente, para este experimento, a operação de quatro reatores, em bateladas sequenciais, sendo dois anaeróbios: um ASBR (R1) e um ASBBR (R3) e mais dois sistemas de lodos ativados em bateladas sequenciais (R2 e R4), em série, respectivamente, com R1 e R3. Devido a problemas, que resultaram na paralisação de R1, em sua segunda etapa de operação, não foi possível a operação de R2, que faria o pós-tratamento de seus efluentes. Com a perda de R1 e a impossibilidade de se operar R2, decidiu-se pela substituição desses reatores por um filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente, chamado de R5, por ser um sistema simples, robusto e de fácil operação.

O **APÊNDICE A** apresenta o esquema inicial previsto para esta pesquisa com as duas linhas de tratamento e pós-tratamento de lixiviados, com todos os reservatórios e reatores envolvidos, bem como os comandos e as válvulas.

No **APÊNDICE B** é apresentado um *layout* das instalações montadas dentro do galpão que abrigou o experimento no aterro sanitário de São Carlos-SP.

E por fim, uma descrição mais detalhada de todos os problemas operacionais e da montagem desta pesquisa pode ser encontrada no **APÊNDICE D**, que relata com detalhes todos os problemas

que foram omitidos ao longo deste capítulo, justamente porque relatar problemas não é o objetivo deste capítulo de material e métodos.

Na sequência é feita uma descrição bem sucinta da operação dos reatores, que será apresentada com mais detalhes nos itens específicos de cada reator.

Quanto à operação dos reatores anaeróbios em bateladas sequenciais, esse experimento foi realizado em **duas etapas**, com alguns testes intermediários em escala reduzida.

A **Primeira Etapa** consistiu na partida dos reatores anaeróbios, sendo um deles um ASBR e o outro, um ASBBR. O experimento foi iniciado com tempo total de ciclo de 24 horas, baseado nos resultados obtidos por Contrera (2003). Nesta primeira etapa adotou-se uma velocidade de agitação igual a 120 rpm para os impelidores de ambos os reatores.

Nessa primeira etapa utilizou-se lodo anaeróbio proveniente de um abatedouro de aves para se inocular os reatores e pretendia-se fazer a adaptação da biomassa dentro dos próprios reatores. Porém devido a problemas mecânicos, ambos os reatores tiveram a sua operação interrompida depois de 29 bateladas e, portanto, não foi possível verificar a adaptação da biomassa ao lixiviado.

Depois da paralisação de R1 e R3 foram realizados alguns **Testes Intermediários de Biodegradabilidade Anaeróbia** com o objetivo de se redirecionar a pesquisa, uma vez que, o lixiviado do aterro sanitário de São Carlos apresentou-se muito mais recalcitrante do que se havia previsto na caracterização preliminar, realizada em agosto de 2003. Estes testes também serviram para se selecionar a biomassa que melhor se adaptaria ao lixiviado, e também na adoção de uma estratégia de adaptação da biomassa para partida do sistema em escala piloto. No total foram realizados quatro testes que deram subsídio para adoção de estratégias de inoculação, partida e operação dos reatores anaeróbios em escala piloto.

A **Segunda Etapa** de operação de R1 e R3 consistiu em se reiniciar o experimento, corrigindo-se as falhas operacionais encontradas na Primeira Etapa e adotando-se novas estratégias baseadas nos resultados obtidos nos testes intermediários. Na Segunda Etapa os dois reatores foram inoculados com inóculos diferentes, sendo que o ASBR recebeu novamente o lodo do abatedouro de aves e o ASBBR recebeu lodo proveniente do fundo de uma das lagoas de lixiviados do aterro sanitário de São Carlos. Nesta etapa, ambos os reatores foram inicialmente operados com tempos de reação iguais a sete dias e frequência de agitação dos impelidores iguais a 30 rpm. O ASBR foi operado somente por 19 bateladas e sua operação foi interrompida devido a um acidente, que inviabilizou definitivamente a sua operação. No entanto, o ASBBR foi operado por 80 bateladas, sendo que seu acompanhamento foi realizado até a batelada 68, mas mantido em operação para amostragem da biomassa após a batelada 80. Essa segunda etapa de operação pode ser dividida basicamente em cinco fases:

- Na **Primeira Fase**, o ASBBR foi operado recebendo lixiviado inicialmente diluído a aproximadamente 50 % e adição de etanol como substrato complementar até a sétima batelada. Da oitava à décima terceira batelada realizou-se um aumento gradual da concentração de lixiviado até se

atingir 100% na décima quarta batelada. Nesta primeira fase foram realizados dois perfis de concentração tanto no ASBR, quanto no ASBBR com a finalidade de se verificar a adaptação dos microrganismos ao lixiviado. Na vigésima batelada dessa primeira etapa ocorreu um acidente que tirou o ASBR (R1) de operação. Da décima quarta até a vigésima sexta batelada, procedeu-se com um aumento da carga orgânica no ASBBR, com aumento da concentração de etanol adicionado ao sistema para se finalizar a sua adaptação.

- Na **Segunda Fase**, que compreende o período da vigésima sétima até a trigésima sétima batelada o ASBBR não recebeu nenhum substrato complementar, tendo sido tratado durante esta fase o lixiviado 100% puro, pois durante este período o lixiviado apresentava-se menos recalcitrante e, portanto passível de tratamento biológico anaeróbio. Nesta segunda fase, aproveitando-se as condições favoráveis de operação e tratamento, foram feitos oito perfis temporais de concentração com a finalidade de se avaliar a cinética de degradação da matéria orgânica em lixiviados de aterros sanitários.

- Na **Terceira Fase**, que compreende o período da trigésima oitava até a quinquagésima batelada, adicionou-se novamente etanol ao lixiviado afluente do ASBBR, que voltou a ser extremamente recalcitrante ao tratamento biológico anaeróbio. Porém, a adição de etanol nesta fase foi de forma gradual de forma a se adaptar novamente o sistema a altas cargas orgânicas.

- Na **Quarta Fase**, que compreende o período da quinquagésima primeira até a sexagésima oitava batelada, foram realizados alguns testes no sistema com o objetivo de se avaliar o seu comportamento quanto à cinética da degradação de ácidos voláteis. Nesta fase foram realizados dezesseis perfis temporais de concentração, sendo que nos três primeiros se avaliou a acidificação do etanol e a remoção de ácidos, nos quatro seguintes, se avaliou a degradação de ácidos voláteis adicionados ao lixiviado, nos outros quatro, se avaliou a degradação dos ácidos adicionados no lixiviado diluído a aproximadamente 54% da concentração inicial, com adição de bicarbonato de sódio e bicarbonato de amônio e por fim nos últimos cinco perfis se avaliou a degradação dos ácidos adicionados no lixiviado sem diluição, porém com uma carga adicional de N-amoniaco, adicionado na forma de bicarbonato de amônio.

- Na **Quinta Fase**, que compreende o período da sexagésima nona até a octogésima batelada, não se realizou o acompanhamento de R3, porém o reator foi mantido em operação com adição de etanol no início de cada batelada, para realização de uma amostragem final da biomassa após a batelada 80.

Quanto ao pós-tratamento dos efluentes do ASBBR em um sistema de lodos ativados em bateladas sequenciais, devido a vários problemas operacionais, a sua operação só foi possível a partir do tratamento dos efluentes da trigésima oitava batelada do ASBBR. Devido a novos problemas, a operação deste sistema só foi possível por quinze bateladas, e daí em diante não foi possível se continuar a sua operação.

Devido ao acidente ocorrido com o ASBR na sua vigésima batelada, inviabilizando a sua operação definitivamente, resolveu-se substituir a operação deste reator pela construção e operação de um filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente. Este novo reator foi construído e instalado fora do galpão do experimento, porém ao seu lado. Esse reator possuía leito de carvão e alimentação contínua com uma mistura de lixiviado e etanol. O objetivo da operação deste sistema foi o de verificar a sua capacidade de remoção de altas cargas orgânicas presentes no lixiviado.

A Figura 4.2.1 apresenta um diagrama temporal com todas as etapas e fases de operação dos reatores.

Figura 4.2.1: Diagrama temporal com as etapas e fases de operação dos reatores.

Depois de tratados, os lixiviados eram descartados na lagoa 2, que é uma das lagoas que fazem atualmente a contenção dos lixiviados no aterro de São Carlos-SP. A Figura 4.2.2 apresenta um esquema básico das instalações montadas no aterro sanitário.

Figura 4.2.2: Esquema básico das instalações montadas no aterro sanitário.

4.3 – Captação de Lixiviados para Alimentação do Sistema

A alimentação do sistema era feita por meio da captação de lixiviados que saíam do aterro e passavam por uma caixa que foi construída próximo ao aterro, em um local onde se interceptou somente o dreno de lixiviados das duas ampliações mais recentes do aterro. A Figura 4.3.1 apresenta a caixa de passagem construída, de onde foram captados os lixiviados e a caixa de onde foi feita a derivação para o experimento. No interior dessa caixa foi instalada uma peneira para eliminação de sólidos grosseiros que possivelmente poderiam cair na primeira caixa e entupir as tubulações. Dessa segunda caixa o lixiviado seguia por gravidade até uma caixa de polietileno de 1.000 L, semi-enterrada, que foi instalada em frente ao galpão do experimento, de onde era bombeado para uma outra caixa de polietileno de 2.000 L, semi-elevada, para se manter as bombas de enchimento dos reatores afogadas, como apresentado na Figura 4.3.2 e assim se eliminar a necessidade de se instalar válvulas de retenção.

As bombas, que ficavam dentro do galpão do experimento, captavam os lixiviados do reservatório semi-elevado de 2.000 L para o enchimento dos reatores anaeróbios. Para evitar que algum objeto adentrasse a tubulação e danificasse as bombas, foram instalados crivos de PVC no interior do reservatório de 2.000 L. A Figura 4.3.3 (a) apresenta os crivos confeccionados em PVC e a Figura 4.3.3 (b) apresenta a instalação desses crivos no interior do reservatório.

A interligação entre a caixa de passagem de lixiviado e os dois reservatórios de polietileno foi feita por um tubo de polietileno de 1,5". A instalação desse tubo foi feita escavando-se a vala com uma máquina retro-escavadeira. A Figura 4.3.4 apresenta como foi feita a instalação do tubo de polietileno.

(a)

(b)

Figura 4.3.1: Caixa de passagem de onde eram coletados os lixiviados (a) vista externa das caixas (b) vista interna da caixa de derivação.

(a)

(b)

Figura 4.3.2: Reservatórios de lixiviados em polietileno (a) vista lateral dos dois reservatórios (b) vista interna do reservatório semi-enterrado.

(a)

(b)

Figura 4.3.3: (a) Crivos confeccionados em PVC (b) Instalação dos crivos dentro do reservatório de 2.000 L.

Figura 4.3.4: Instalação do tubo de polietileno (a) abertura da vala com uma retro-escavadeira (b) instalação do tubo no fundo da vala.

4.4 – Montagem e Descrição dos Reatores Anaeróbios em Bateladas Sequenciais

Neste trabalho foram utilizadas duas configurações de reatores anaeróbios em bateladas sequenciais, sendo uma deles um ASBR (R1) e a outra um ASBBR (R3). O ASBR foi concebido com compartimento para sedimentação da biomassa, como nos sistemas convencionais encontrados na literatura, tendo sido inoculado com lodo granular. O ASBBR foi construído baseado na configuração proposta por Ratusznei *et al.* (2000) e utilizada por Sarti (2004) em escala piloto. Um esquema dos reatores pode se observado no **APÊNDICE C**, que apresenta o projeto dos tanques de fibra, suportes metálicos, cesto de aço inox e sistema de agitação com impelidores em forma de turbinas confeccionadas em PVC.

Os tanques de ambos os reatores eram idênticos e foram confeccionados em fibra de vidro, com forma cilíndrica, altura de 1,65 m e diâmetro de 1,00 m.

Um dos reatores, o ASBBR, foi preenchido com um meio suporte inerte para permitir a retenção da biomassa anaeróbia no reator. Nessa configuração de reator, também provida de agitação mecânica, a biomassa ficava aderida a um meio suporte confinado em um “cesto” cilíndrico, porém vazado internamente, confeccionado em tela “moeda” de aço inox com aberturas de 1”, alocado ao redor da barra de agitação. O cesto possuía diâmetro externo de 90 cm, vazado internamente com uma abertura de 60 cm de diâmetro. O cesto também possuía 1,20 m de altura útil, e entre a sua parede

externa e o tanque de fibra foi deixado um espaçamento de 5 cm para circulação do líquido. Utilizou-se como suporte de imobilização da biomassa, cubos de espuma de poliuretano (4 cm de lado) com densidade de 23 kg.m^{-3} (porosidade de leito de 40 %).

Cada um dos reatores possuía capacidade de tratamento de aproximadamente 750 L de lixiviado (volume líquido) por ciclo. A Tabela 4.4.1 apresenta as principais características construtivas dos dois reatores operados em bateladas sequenciais.

Tabela 4.4.1: Características dos reatores anaeróbios em batelada sequencial.

Características	Reator Sem Suporte ASBR (R1)	Reator Com Suporte ASBBR (R3)
Material	Fibra de vidro	Fibra de vidro
Volume Total (V_T)	$1,30 \text{ m}^3$	$1,30 \text{ m}^3$
Volume Útil (V_U)	$1,139 \text{ m}^3$	$1,139 \text{ m}^3$
Volume para Agitação (V_A)	$1,139 \text{ m}^3$	$0,410 \text{ m}^3$
Volume para Suporte (V_S)	-	$0,424 \text{ m}^3$
Volume de Gás (V_G)	$0,079 \text{ m}^3$	$0,079 \text{ m}^3$
Volume de Descarte (V_D)	-	$0,079 \text{ m}^3$
Volume para Lodo Sedimentado (V_L)	$0,373 \text{ m}^3$	-
Volume de Líquido Tratado (V_{LT})	$0,766 \text{ m}^3$	$0,746 \text{ m}^3$
Altura (L)	1,65 m	1,65 m
Diâmetro (D)	1,00 m	1,00 m
L/D	1,65	1,65
Sistema de Agitação	Mecânica (30 a 120 rpm)	Mecânica (30 a 120 rpm)

A Figura 4.4.1 (a) apresenta os tanques construídos em de fibra de vidro para confecção dos dois reatores dentro do galpão onde se montou o experimento, e a Figura 4.4.1 (b) apresenta uma das tampas dos reatores que inicialmente deveriam trabalhar vedadas para medição do volume de gás gerado e da composição desses gases, mas como a vedação completa não foi possível, decidiu-se por não utilizar as tampas dos reatores a partir da Segunda Etapa de operação.

Na Figura 4.4.2 (a) é apresentado o cesto de aço inox onde ficou confinado o inóculo do ASBBR (R3) e a Figura 4.4.2 (b) apresenta o cesto de aço inox sendo inserido dentro do tanque de fibra.

A Figura 4.4.3 (a) apresenta um detalhe da tampa do cesto de aço inox e a mangueira do amostrador externo atravessando o cesto para se coletar o líquido do interior do reator. A Figura 4.4.3 (b) apresenta a fixação do cesto de aço inox dentro do tanque de fibra, com duas barras feitas com tubos de PVC para que o cesto com espuma não flutuasse durante o enchimento do reator, pois nesta etapa do ciclo, além da biomassa em seu interior, as espumas continham ar, que era eliminado lentamente conforme se enchia o tanque, e com isso se aumentava a força de empuxo do cesto, que tendia a fazê-lo flutuar no líquido até que a espuma estivesse completamente saturada.

A Figura 4.4.4 apresenta a espuma que foi utilizada como meio suporte para biomassa no ASBBR (R3). Estima-se que o cesto foi preenchido com aproximadamente 6.080 cubos de espuma com 4 cm de arestas.

(a)

(b)

Figura 4.4.1: (a) Reatores construídos em fibra de vidro e (b) Uma das tampas dos reatores.

(a)

(b)

Figura 4.4.2: (a) Cesto de aço inox e (b) Cesto sendo inserido dentro do tanque de fibra de vidro.

Figura 4.4.3: (a) Detalhe da tampa do cesto de aço inox e da mangueira do amostrador passando pelo cesto, e (b) Fixação do cesto de aço inox no interior do tanque de fibra.

Figura 4.4.4: Espuma utilizada como meio suporte para biomassa, cortada em cubos.

As operações sequenciais de cada ciclo, tais como: enchimento, reação (agitação), descarga e repouso, foram feitas, inicialmente, por meio de controle temporal, através de um computador e um sistema de automação, que envolvia controle de abertura e fechamento de válvulas na alimentação e no descarte do efluente, acionamento e desligamento de bombas, agitadores e aeradores. A Figura 4.4.5 (a) apresenta o computador que controlava o sistema de automação e a Figura 4.4.5 (b) apresenta os inversores de frequência que foram instalados para controle e redução das velocidades de agitação dos impelidores na Segunda Etapa do experimento. Para manter pelo menos o computador funcionando em caso de falta de energia foi também instalado um *no-break* com duas baterias externas, como apresentado na Figura 4.4.5 (a). Na Figura 4.4.6 é apresentado o painel de comando do sistema, que controlava os níveis dos reservatórios, e o acionamento de bombas e agitadores, através de contactores magnéticos. Os três primeiros dispositivos do painel de comando eram relês de controle de nível superior para os reatores, para se evitar transbordamentos e os outros quatro no meio do painel, eram relês de nível inferior dos reservatórios, para se evitar que as bombas se ligassem quando

os reservatórios estivessem com nível abaixo do mínimo. O nível dos reatores e dos reservatórios eram controlados por condutividade elétrica e cada reator ou reservatório possuíam dois eletrodos de aço inox, sendo um deles no nível mínimo e o outro no nível máximo. No caso dos reatores, quando o líquido tocava o eletrodo no nível máximo, ele fechava o circuito e o controlador desligava a bomba de enchimento. A Figura 4.4.7 apresenta em (a) um eletrodo de nível mínimo instalado na parede de um dos reatores e em (b) um eletrodo de nível máximo instalado na tubulação do extravasor.

(a)

(b)

Figura 4.4.5: (a) Computador que controla o sistema de automação e (b) Inversores de frequência para controle da velocidade de rotação dos impelidores.

Figura 4.4.6: (a) Painel de comando e proteção do sistema.

O sistema de agitação dos reatores anaeróbios era composto por um motor de $\frac{1}{4}$ de HP com motorreductor e um eixo com dois impelidores tipo turbina. As características geométricas dos

impelidores tipo turbina, de seis pás, foram projetados conforme Metcalf & Eddy (2003). As Figuras 4.4.8 (a) e (b) apresentam os sistemas de agitação instalados no interior dos dois reatores anaeróbios.

(a)

(b)

Figura 4.4.7: Eletrodo de controle de nível, (a) Mínimo, e (b) Máximo.

(a)

(b)

Figura 4.4.8: Sistema de agitação dos dois reatores anaeróbios; (a) ASBR (R1) e (b) ASBBR (R3).

Na Figura 4.4.9 (a) é apresentado o sistema de agitação fixado ao motor como utilizado na Primeira Etapa desta pesquisa e a Figura 4.4.9 (b) apresenta a fixação do sistema de agitação com algumas modificações tal como utilizado na Segunda Etapa de operação dos reatores, com o objetivo de se eliminar alguns problemas, como descrito no **APÊNDICE D**.

A Figura 4.4.10 (a) apresenta a montagem parcial das instalações hidráulicas com a ligação das bombas com rotores e carcaças de plástico. A Figura 4.4.10 (b) apresenta uma das oito válvulas pneumáticas que eram responsáveis pela abertura ou fechamento do fluxo de líquidos entre os reatores. Essas válvulas pneumáticas eram acionadas por válvulas solenóide, que eram controladas pelo computador.

(a)

(b)

Figura 4.4.9: Sistema de agitação no interior dos reatores anaeróbios (a) Motor ligado direto à haste e (b) Motor ligado à haste por sistemas de correia e polias.

(a)

(b)

Figura 4.4.10: (a) Bomba de enchimento dos reatores e (b) Montagem do sistema de enchimento dos reatores.

Depois do tratamento anaeróbio, os efluentes dos dois reatores eram descartados dentro de duas caixas d'água de polietileno independentes, de 1.000 L cada uma. Nessas caixas os lixiviados eram armazenados para alimentar os dois reatores aeróbios em bateladas sequenciais. A Figura 4.4.11 (a) apresenta um desses reservatórios e a Figura 4.4.11 (b) apresenta o detalhe de um dos amostradores, construído com garrafas de refrigerantes, que existia na entrada desses reservatórios, para se coletar os efluentes tratados pelos reatores anaeróbios.

Na montagem dos reatores e de todos os reservatórios foram também instalados extravasores para se evitar transbordamentos, caso o sistema eletrônico de controle de nível viesse a falhar.

(a)

(b)

Figura 4.4.11: (a) Reservatórios intermediários de lixiviado e (b) Amostrador.

Antes da quinta fase na Segunda Etapa de operação do ASBBR, foram feitas algumas adaptações no reator com a finalidade de se poder fazer amostragens do líquido em horários programados. Para isso foi elaborado um mecanismo de coleta programada e automatizada de amostras. O mecanismo era composto por dois *timers* em conjunto com duas válvulas solenóide de máquinas de lavar roupas. Em horários programados os *timers* acionavam as válvulas solenóide que se abriam permitindo o escoamento da amostra para uma garrafa plástica que ficava dentro de uma caixa de isopor que continha gelo. Como os tubos do amostrador sempre possuíam, inicialmente, certo volume de líquido interno, o primeiro timer se ligava um pouco antes do horário da coleta para se fazer o descarte deste volume residual e em seguida o outro timer acionava a outra válvula para se fazer a amostragem. A Figura 4.4.12 (a) apresenta os dois *timers* utilizados no amostrador e a Figura 4.4.12 (b) apresenta as duas válvulas solenóides ligadas ao ASBBR.

Com o mecanismo de amostragem apresentado na Figura 4.4.12 foram realizadas as coletas de amostras às 6:00 da manhã para os perfis 11, 12 e 13, além das coletas diárias que eram realizadas manualmente às 18:00 horas.

(a)

(b)

Figura 4.4.12: (a) *Timers* utilizados no amostrador e (b) Válvulas solenóide ligadas ao ASBBR.

A partir do décimo quarto perfil temporal de concentração foi realizada uma modificação no sistema de amostragem automática para que se pudesse coletar não somente uma, mas duas amostras sem se aumentar o número de *timers* ou válvulas solenóides. A solução encontrada foi a instalação de uma garrafa com uma bolinha de isopor em seu interior, em série com a garrafa que armazenaria a amostra dentro da caixa de isopor. Dessa forma, quando o timer acionava a válvula solenóide e ela se abria, o líquido que inicialmente deveria ser descartado se acumulava no fundo da primeira garrafa que continha a bolinha de isopor. Com o enchimento da garrafa, a bolinha subia e fechava o circuito entre o líquido que vinha do reator e a segunda garrafa contida na caixa de isopor, podendo-se desta forma se fazer um descarte seguro antes da coleta das amostras. Dessa forma, os dois *timers* podiam ser programados para fazerem coletas em horários diferentes, dobrando-se assim a capacidade de amostragem. Com essa nova configuração do amostrador foi possível se fazer coletas de amostras à meia noite e às 6:00 horas da manhã além das coletas diárias que eram realizadas manualmente às 18:00 horas. A Figura 4.4.13 (a) apresenta a garrafa vazia com a bolinha de isopor em seu fundo e a Figura 4.4.13 (b) apresenta a garrafa cheia, com a bolinha de isopor fechando o circuito direto para garrafa dentro da caixa de isopor. Para permitir que o ar das garrafas dentro da caixa de isopor saísse para entrada do líquido, foram instalados respiros nas tampas destas garrafas, que se estendiam até uma altura superior à altura do líquido do ASBBR.

(a)

(b)

Figura 4.4.13: (a) Descarte vazio, com bola de isopor no fundo e (b) Descarte cheio, com bola de isopor fechando o circuito de líquido para o amostrador.

Como no mês em que foram feitos os perfis temporais de concentração, as temperaturas estavam muito baixas, foram instalados dois aquecedores a óleo de 1.500 W cada um, para aquecer o interior do galpão do experimento, a fim de se obter temperaturas próximas a 25 °C e assim, obter perfis parecidos com os perfis obtidos na Terceira Fase da Segunda Etapa de operação do ASBBR.

Para se homogeneizar a temperatura dentro do galpão também foi instalado em seu interior um ventilador para circulação do ar. Para evitar que o galpão se aquecesse excessivamente, um dos aquecedores foi ligado a um termostato digital, que desligava o aquecedor quando a temperatura do galpão atingia o seu limite máximo. A Figura 4.4.14 apresenta em (a) um dos aquecedores a óleo utilizado, e em (b) o termostato digital.

(a)

(b)

Figura 4.4.14: (a) Aquecedor a óleo de 1.500 W e (b) Termostato digital.

Graças ao uso dos aquecedores a óleo, foi possível se manter a temperatura do líquido do reator R3 dentro do galpão a aproximadamente 25 °C para realização dos perfis.

Devido a problemas mecânicos e de adaptação da biomassa, a operação dos reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais foi dividida em **duas etapas**. Na Primeira Etapa ambos os reatores apresentaram problemas operacionais e dificuldade na adaptação da biomassa. Depois desta primeira etapa foram realizados alguns Testes Intermediários em reatores em escala menor, para se tentar entender melhor os problemas ocorridos e também para se adotar uma nova estratégia de operação e adaptação da biomassa.

4.5 – Primeira Etapa de Operação – Tentativa de Adaptação da Biomassa Sem Uso de Aditivos

Nesta primeira etapa os dois reatores anaeróbios foram operados por 29 dias com tempos de ciclo iguais a 24 h. Durante esta etapa utilizou-se o lixiviado tal como vinha do aterro sanitário, ou seja, sem diluição e sem uso de qualquer aditivo que favorecesse a adaptação da biomassa.

Durante esta etapa os dois reatores apresentaram inibição da biomassa e dificuldades de adaptação ao lixiviado. Porém antes que se fizesse uma intervenção no processo, que estava prevista para depois de trinta dias de operação, o sistema de agitação de um dos reatores queimou e assim decidiu-se paralisar o experimento para tentar solucionar todos os problemas de uma só vez.

4.5.1 – Inóculo dos Reatores

Na primeira etapa desse experimento inoculou-se os dois reatores anaeróbios com lodo proveniente de um reator UASB de um abatedouro de aves da cidade de Tietê-SP. Os grânulos do lodo apresentavam diâmetros da ordem de três milímetros e eram bastante regulares, como pode ser observado na Figura 4.5.1.1. O lodo foi transportado para o local do experimento em um caminhão do tipo utilizado para limpeza de fossas. A Figura 4.5.1.2 (a) apresenta o caminhão descarregando o lodo dentro do ASBR (R1) que está dentro do galpão do experimento. A outra parte do lodo foi descarregada dentro de uma caixa d'água de 1.000 L e de quatro tambores de 200 L localizados em frente ao galpão do experimento, como apresentado na Figura 4.5.1.2 (b).

Optou-se por coletar lodo em excesso, pois se caso houvesse algum problema no sistema durante o início do experimento, ter-se-ia lodo suficiente para uma reinoculação.

Para inoculação do ASBBR (R3) o lodo teve que ser triturado antes de ser misturado com a espuma. Para trituração do lodo utilizou-se um liquidificador semi-industrial de 10 L de capacidade, e para mistura do lodo com a espuma utilizou-se uma caixa d'água de 310 L. A Figura 4.5.1.3 (a) apresenta os materiais utilizados para preparação do inóculo do ASBBR e a Figura 4.5.1.3 (b) apresenta o volume de espuma utilizada.

Figura 4.5.1.1: Lodo granular drenado proveniente de um reator UASB de um abatedouro de aves.

Figura 4.5.1.2: (a) Inoculação de ASBR e (b) Lodo armazenado em galões para inoculação do ASBBR.

Para ser triturado, o lodo era sempre misturado com cerca de mais $\frac{1}{4}$ de volume de água para facilitar a trituração e a mistura com a espuma. Foram triturados cerca de 300 L de lodo que foram misturados com cerca de 400 L de espumas na caixa d'água onde a mistura permaneceu por cerca de 24 horas antes de ser transferida para o ASBBR por meio de baldes. A Figura 4.5.1.4 apresenta o lodo triturado sendo misturado com a espuma. Para o enchimento total do cesto foram necessárias duas caixas d'água com material de enchimento, pois a espuma se comprimia ao ser acondicionada no cesto. A Figura 4.5.1.5 apresenta o aspecto do lodo aderido na espuma no interior do cesto dentro de ASBBR (R3) e também o travamento do cesto após a inoculação.

Depois de se encher o cesto com o lodo, o reator foi preenchido com água para se conservar a biomassa até o momento do início da operação. Devido a problemas ocorridos no local do experimento, o início da operação dos reatores só foi iniciado cerca de um mês após a inoculação. O **APÊNDICE D** apresenta uma descrição da maioria dos problemas relevantes que ocorreram durante a montagem deste experimento.

Depois do insucesso, esta etapa do experimento foi encerrada após 29 dias de operação, com a paralisação dos reatores, para se adotar uma nova estratégia viável para adaptação da biomassa. Como o tempo disponível para pesquisa estava se esgotando decidiu-se realizar alguns testes em escala menor para se adotar uma nova estratégia de partida, enquanto eram feitos os devidos reparos nos reatores em escala piloto.

(a)

(b)

Figura 4.5.1.3: (a) Material utilizado para preparação do inóculo do ASBBR e (b) Volume de espuma utilizado como enchimento do ASBBR.

(a)

(b)

Figura 4.5.1.4: (a) Lodo triturado sendo espalhado sobre a espuma e (b) Espuma saturada de lodo.

(a)

(b)

Figura 4.5.1.5: (a) Aspecto do lodo na espuma e (b) Travamento do cesto após a inoculação.

4.6 – Testes de Biodegradabilidade Anaeróbia

Com base nos problemas encontrados anteriormente foram realizados quatro testes de adaptação da biomassa ao lixiviado, que estão descritos nos itens 4.6.1 a 4.6.4.

4.6.1 – Teste 1 - Seleção da Estratégia de Redução de Inibição da Biomassa

Para este teste inicial foi montado um experimento utilizando-se garrafas PET de 2 L simulando ASBRs e variando-se algumas estratégias para se avaliar a redução da inibição da biomassa. O experimento foi mantido à temperatura ambiente sem agitação e as bateladas tiveram duração de seis dias cada. Em cada reator foi adicionado 400 mL de lodo granular da avícola drenado e 1,0 L de lixiviado. Para medida do desempenho de cada reator, foi escolhido como parâmetro a produção de biogás. A Figura 4.6.1.1 apresenta as garrafas utilizadas como reatores nesse experimento. Todos os dias o *headspace* de todas as garrafas eram medidos e eliminados sucessivamente. O gás gerado e presente no *headspace* era medido utilizando-se uma escala que foi calibrada com água e uma proveta sobre uma garrafa igual às utilizadas neste teste. Todos os reatores eram agitados manualmente uma vez por dia logo após a medida do gás gerado.

Figura 4.6.1.1: Garrafas utilizadas como reatores durante a realização do Teste 1.

Neste teste foram preparados seis reatores idênticos, com volumes iguais a 2 L. Destes seis reatores, um serviu como controle e nos outros cinco foram realizados testes para se avaliar possíveis estratégias de redução da inibição da biomassa.

A Tabela 4.6.1.1 apresenta as estratégias testadas. No reator de controle (A), utilizou-se o lixiviado tal como coletado na caixa de passagem do aterro, sem alterar suas características naturais. Para se fazer o *stripping* da amônia, para o reator B, foram coletados cerca de 2 L de lixiviado e o pH foi elevado até 13,17 com NaOH em escamas. Foram adicionados cerca de 10 g por litro. Depois o

lixiviado foi submetido a uma aeração intensa por cerca de 1 h, e após a aeração o pH foi baixado para 7,29, utilizando-se cerca de 13 mL por litro de ácido fosfórico concentrado (85%). Para oxidação com H_2O_2 (**C**), foram também coletados 2 L de lixiviado e adicionado 25 mL de H_2O_2 por litro. O tempo de contato foi de 1h na sombra, e mais 2 h ao sol para se decompor o H_2O_2 , com agitação no final, até se eliminar todo o oxigênio. Para o reator **D**, o lixiviado foi diluído a 50% da concentração inicial, com água da torneira. Para o reator **E**, o lixiviado foi diluído a 25% da concentração inicial, com água da torneira. Por fim para o reator **F** também foram coletados 2 L de lixiviados, que ficaram em contato com carvão ativado em pó por 24 h e depois desse tempo, 1 L do sobrenadante foi separado para realização do experimento.

Tabela 4.6.1.1: Testes realizados para avaliação da redução da inibição da biomassa.

Teste	Estratégia de Redução da Inibição da Biomassa	Inóculo	Volume de Lix. (mL)	Substrato adicionado
A	Controle	400 mL de lodo da avícola	1000	2 mL de etanol*
B	<i>Stripping</i> da amônia	400 mL de lodo da avícola	1000	2 mL de etanol
C	Oxidação com H_2O_2	400 mL de lodo da avícola	1000	2 mL de etanol
D	Diluição do lixiviado a 50%	400 mL de lodo da avícola	1000	2 mL de etanol
E	Diluição do lixiviado a 25%	400 mL de lodo da avícola	1000	2 mL de etanol
F	Uso de carvão ativado em pó	400 mL de lodo da avícola	1000	2 mL de etanol

* Etanol combustível utilizado em veículos (92,8 INPM).

Este teste inicial foi realizado em uma única batelada, mas já serviu como indicador de uma direção a ser tomada, que foi investigada mais amplamente no Teste 2.

4.6.2 – Teste 2 - Seleção e Adaptação da Biomassa por Meio do Uso de Aditivos e Diluição dos Lixiviados

Tomando-se por base os resultados do Teste 1, foi montado este novo teste, utilizando-se novamente garrafas de 2 L simulando ASBRs e variando-se alguns parâmetros tais como: lodo de inóculo; adição ou não de etanol; diluição ou não do lixiviado; adição ou não de Fósforo, na forma de um sal ou detergente e uso ou não de meio suporte. Para medida do desempenho de cada reator, foi escolhido como parâmetro a produção de biogás e também a análise de DQO, mas somente para os reatores que apresentaram os melhores desempenhos. O experimento foi mantido à temperatura ambiente sem agitação mecânica e as bateladas tiveram duração de três dias cada, com agitação manual uma vez por dia. Em cada reator foi adicionado 500 mL de lodo e 1,0 L de lixiviado.

Optou-se por manter o sistema à temperatura ambiente por se tratar apenas de um teste simples e que cujos resultados dependiam mais da comparação dos diferentes comportamentos dos reatores entre si, do que das variações térmicas, apesar de às vezes elas também interferirem no resultados.

A Figura 4.6.2.1 (a) apresenta as garrafas utilizadas como reatores para realização do Teste 2. Essas garrafas ficavam acondicionadas em caixas de papelão fechadas como apresentado na Figura 4.6.2.1 (b).

(a)

(b)

Figura 4.6.2.1: (a) Reatores do Teste 2 e (b) Acondicionamento dos reatores em caixa de papelão.

Para preparo do substrato, um volume de lixiviado era medido e diluído dentro de um galão de 10 L. Depois, cada reator recebia 1 L do substrato, medido com balão volumétrico, e os demais aditivos, medidos com proveta ou pipeta. A Figura 4.6.2.2 (a) apresenta o material utilizado para preparo dos substratos e enchimento das garrafas. Depois de enchidas, as garrafas eram agitadas e tinham o seu *headspace* eliminado. Elas eram colocadas dentro da caixa de papelão onde permaneciam por 24 h até a mediada do *headspace* formado. Depois de medido o volume de gás media-se a temperatura das garrafas e repetia-se o processo durante os três dias de cada batelada.

(a)

(b)

Figura 4.6.2.2: (a) Material utilizado para enchimento dos reatores e (b) Reatores em repouso.

No último dia, depois das leituras, as garrafas eram deixadas em repouso sobre uma mesa por alguns minutos para sedimentação do lodo como apresentado na Figura 4.6.2.2 (b). Depois do repouso o líquido das garrafas era substituído, eliminando-se o líquido da batelada anterior por sifonamento, utilizando-se uma mangueira fina, como apresentado na Figura 4.6.2.3. Para evitar que se perdesse lodo, o líquido era drenado sobre uma peneira que retia o lodo, que depois era devolvido para a sua respectiva garrafa.

A Tabela 4.6.2.1 apresenta todas as variações de parâmetros pesquisadas neste teste.

Figura 4.6.2.3: Drenagem do líquido por sifonamento.

Tabela 4.6.2.1: Combinações das variações de parâmetros pesquisados.

No.	Inóculo	Suporte	Proporção Inicial de Lix.	Nutriente	Substrato adicionado
01	Lodo da lagoa de lixiviados	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
02	Lodo da caixa de passagem	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
03	Estrume bovino	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
04	Estrume bovino	-	100%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
05	Lodo da avícola	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
06	Lodo da avícola	-	50%	-	4 mL de etanol*
07	Lodo da avícola	-	50%	1 gota deterg.	-
08	Lodo da avícola	-	50%	-	-
09	Lodo da avícola	-	100%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
10	Lodo da avícola	-	100%	-	4 mL de etanol*
11	Lodo da avícola	-	100%	1 gota deterg.	-
12	Lodo da avícola	-	100%	-	-
13	-	-	água pura	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
14	-	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
15	Lodo da lagoa de lixiviados	espuma	50%	1 g K ₂ HPO ₄	4 mL de etanol*
16	Lodo da lagoa de lixiviados	espuma	100%	2 g K ₂ HPO ₄	4 mL de etanol*
17	Lodo da avícola	-	50%	1 g K ₂ HPO ₄	4 mL de etanol*
18	Lodo da avícola	-	100%	2 g K ₂ HPO ₄	4 mL de etanol*

* Etanol comercial de limpeza (43° INPM), vendido em supermercados.

Esse teste teve duração total de 90 dias totalizando-se 30 bateladas de três dias cada. Os reatores em que se iniciou a operação com diluição de 1:2 ou 50 % de lixiviado, foram operados nesta proporção até a oitava batelada. Da nona até a décima primeira batelada esses reatores receberam 60 % de lixiviado. Da décima segunda batelada até a décima sétima o efluente era composto por 70 % de lixiviado. Da décima oitava até a vigésima batelada, 80 % e da vigésima primeira até a vigésima terceira batelada 90 % de lixiviado. A partir da vigésima quarta batelada todos os reatores foram operados com 100 % de lixiviado na composição do substrato. A Figura 4.6.2.4 apresenta um esquema com a evolução do aumento da concentração de lixiviado nos reatores.

Figura 4.6.2.4: Esquema com a evolução do aumento da concentração de lixiviado nos reatores.

4.6.3 – Teste 3 – Efeito da Redução da Adição de Etanol

O Teste 3 foi praticamente uma continuação do Teste 2. Neste teste foram utilizados somente os reatores que apresentaram bons resultados no Teste 2, porém sem fazer mais qualquer adição de Fósforo, na forma de sal ou detergente.

No Teste 2, apesar dos cuidados para não se perder biomassa, alguns reatores perderam mais biomassa que outros, devido à desagregação dos grânulos, assim, antes de se iniciar esse novo teste o volume de lodo de todos os reatores foi normalizado para 300 mL para se tentar reduzir discrepâncias devido às diferenças de concentração de biomassa.

Neste teste foram realizadas mais 15 bateladas para se avaliar o efeito da redução da quantidade de etanol adicionada aos reatores. Os tempos de reação foram mantidos em três dias como no teste anterior.

A Tabela 4.6.3.1 apresenta os reatores que foram operados durante este teste. Além dos reatores que apresentaram os melhores desempenhos no teste anterior, foi adicionado mais um reator, com inóculo não adaptado ao lixiviado que serviu como controle.

Tabela 4.6.3.1: Reatores operados durante o Teste 3.

No.	Inóculo	Suporte	Nutriente	Substrato adicionado
Contr.	Lodo da lagoa de lixiviados	-	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero
01	Lodo da lagoa de lixiviados	-	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero
05	Lodo da avícola	-	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero
06	Lodo da avícola	-	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero
09	Lodo da avícola	-	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero
10	Lodo da avícola	-	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero
15	Lodo da lagoa de lixiviados	espuma	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero
17	Lodo da avícola	-	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero
18	Lodo da avícola	-	-	4 mL de etanol* reduzindo-se até zero

* Etanol comercial de limpeza (46° INPM), vendido em supermercados.

4.6.4 – Teste 4 – Efeito da Redução da Concentração de N-amoniaco

Este quarto teste foi realizado com o objetivo de se observar, se era possível estimular ou acelerar a produção de gás em reatores ASBR, em escala de bancada, adotando-se estratégias de redução das concentrações de N-amoniaco.

Para realização deste quarto teste, foram preparados nove reatores ASBR, tal como os reatores preparados para os testes anteriores. Este teste foi realizado em sete bateladas, sendo que na primeira batelada, utilizou-se como inóculo o lodo granular do abatedouro de aves, por ser de mais fácil manipulação. Porém, como os resultados desta primeira batelada foram insatisfatórios, devido à baixa atividade metanogênica do lodo, decidiu-se por substituir o lodo dos reatores, por um lodo de descarte do filtro biológico (R5), também utilizado nesta pesquisa. Este lodo, apesar de muito fluido, já estava totalmente adaptado ao lixiviado, pois o reator R5 já estava em operação a 120 dias quando foi feito o seu descarte de lodo. Como o lodo era muito fluido, ele foi coletado e armazenado em garrafas plásticas de 2 L, por aproximadamente duas semanas, para que se sedimentasse bem. Depois deste tempo, os sobrenadantes das garrafas foram descartados com a finalidade de se obter um lodo mais denso, e depois disso, o conteúdo de todas as garrafas foi despejado em um balde para homogeneização, através da mistura utilizando-se um bastão. Após a homogeneização, adicionou-se em cada um dos nove reatores um volume de 500 mL de lodo medido com um balão volumétrico.

Depois da adição do lodo, iniciou-se a batelada, com a adição de 1,0 L de lixiviado e 1,5 mL de etanol em todos os reatores. Nas bateladas 2 e 3 todos os reatores receberam lixiviado sem diluição e sem nenhuma outra adição, além do etanol. A segunda e a terceira bateladas tiveram como objetivo servir de parâmetro, ou “branco” em relação às possíveis variações que poderiam ocorrer a partir das bateladas seguintes, depois da substituição dos substratos. Somente a partir da quarta batelada é que os reatores começaram a serem operados com substratos distintos, com exceção dos reatores R1 e R2,

que continuaram recebendo o lixiviado sem diluição e sem nenhuma modificação. A Tabela 4.6.4.1 apresenta as variações de substratos testadas em cada um dos reatores a partir da batelada 4.

Tabela 4.6.4.1: Variações de substratos testadas em cada um dos reatores a partir da batelada 4.

Reator	Teste	Lixiviado [%]	Adições				
			Etanol*	NaHCO ₃	NH ₄ HCO ₃	NaOH	H ₃ PO ₄
R1	Controle	100	1,5 mL.L ⁻¹	-	-	-	-
R2	Controle	100	1,5 mL.L ⁻¹	-	-	-	-
R3	Diluição	25	1,5 mL.L ⁻¹	-	-	-	-
R4	Diluição	50	1,5 mL.L ⁻¹	-	-	-	-
R5	Diluição + Adic.	50	1,5 mL.L ⁻¹	4,10 g.L ⁻¹	-	-	-
R6	Diluição + Adic.	50	1,5 mL.L ⁻¹	-	8,00 g.L ⁻¹	-	-
R7	Diluição + Adic.	50	1,5 mL.L ⁻¹	4,10 g.L ⁻¹	8,00 g.L ⁻¹	-	-
R8	<i>Stripping</i> (Ar)	100	1,5 mL.L ⁻¹	-	-	2,27 g.L ⁻¹	3,00 g.L ⁻¹
R9	<i>Stripping</i> (Ferv.)	100	1,5 mL.L ⁻¹	-	-	-	2,50 g.L ⁻¹

* Etanol combustível (92,8° INPM).

Para preparação do lixiviado que serviu de substrato, foi coletado inicialmente 40 L de Lixiviado que foram utilizados ao longo de todo o experimento para garantir que qualquer variação não seria resultado da variação das características do lixiviado, caso tivessem sido feitas várias coletas. Como o lixiviado coletado era extremamente recalcitrante, optou-se por mantê-lo à temperatura ambiente, ou seja, sem refrigeração. Para os reatores R1 e R2, utilizou-se sempre o lixiviado homogeneizado, proveniente dos 40 L inicialmente coletados. Para o reator R3, utilizava-se o mesmo lixiviado porém diluído a 25% da concentração inicial. No reator R4, o lixiviado era diluído a 50% da concentração inicial. Para o reator R5, o lixiviado era também diluído a 50% da concentração inicial, porém, fazia-se a reposição do sódio até a concentração inicial através da adição de NaHCO₃. Em R6 também se utilizou o lixiviado diluído a 50%, porém, fazia-se a reposição do N-amoniacal, através da adição de NH₄HCO₃, até a concentração inicial. Para o reator R7, também se utilizou o lixiviado diluído a 50%, porém neste caso com a reposição do Sódio e do N-amoniacal, até as concentrações iniciais do lixiviado sem diluição. No reator R8 utilizou-se o lixiviado sem diluição, porém, optou-se por se fazer o *Stripping* da amônia, através da elevação do pH seguida de aeração. Para preparação do lixiviado utilizado no reator R8 retirou-se cerca de 5,0 L de lixiviado do galão de 40 L, que foram colocados dentro de um outro galão de 20 L de capacidade. A esse lixiviado com pH inicial igual a 8,10, adicionou-se NaOH até pH igual a 9,0 e depois disso iniciou-se a aeração utilizando-se dois aeradores de aquário e duas pedras porosas como difusores de ar. O lixiviado foi mantido em aeração por aproximadamente cinco dias e optou-se por fazer a aeração dentro de um galão de 20 L porque o lixiviado formava muita espuma ao ser aerado. Depois de cinco dias de aeração o pH do lixiviado variou de 9,0 para 9,54 e adicionou-se cerca de 3,00 g de H₃PO₄ para cada litro de lixiviado. Para o reator R9 utilizou-se também o lixiviado sem diluição, porém, optou-se por se fazer o *Stripping* da amônia, através da ebulição do lixiviado, colocando-o para ferver por cerca de 20 minutos em um béquer de vidro de 1,0 L. Depois de 20 minutos em ebulição o béquer de lixiviado era retirado da

chapa aquecedora e colocado sobre a mesa de pedra para resfriar. A fervura fazia com que o lixiviado reduzisse seu volume inicial de 1,0 L para cerca de 0,9 L. Depois de resfriado, o lixiviado, que fora inicialmente medido com um balão volumétrico de 1,0 L era devolvido ao balão, onde se completava novamente o volume com água deionizada até o volume inicial de 1,0 L. Como cada fervura foi realizada com um volume de 1,0 L, depois da quinta fervura, os conteúdos das cinco fervuras foram misturados em um galão de 10 L para homogeneização. Depois da homogeneização notou-se que o pH do lixiviado variou de 8,1 antes da fervura, para 9,58 depois da fervura, e assim decidiu-se adicionar cerca de 2,50 g de H_3PO_4 para cada litro de lixiviado para fazer com que o pH voltasse para um valor próximo de 8.

Dessa forma, a partir da quarta batelada cada reator recebeu seu substrato de acordo com o apresentado na Tabela 4.6.4.1 até a sétima batelada, em que se decidiu finalizar o Teste 4, com base nas pequenas variações de produção de gás apresentadas pelos reatores.

Tanto o armazenamento dos reatores em uma caixa de papelão à temperatura ambiente, quanto à sua manipulação e agitação diária, foram feitas como nos testes anteriores, com a diferença de que, por o lodo ser muito parecido com uma lama fina, no penúltimo dia da batelada, a medida da produção de gás, era feita sem agitar as garrafas, com a finalidade de se melhorar a sedimentação e se evitar perda de biomassa no dia seguinte ao se descartar o líquido para sua substituição.

4.7 – Segunda Etapa de Operação – Tentativa de Adaptação da Biomassa com Diluição Inicial do Lixiviado e Adição de Etanol

Depois de sanados todos os problemas dos dois reatores anaeróbios em escala piloto (ASBR e ASBBR) e com base nos resultados dos testes anteriormente descritos, optou-se nessa etapa pela diluição inicial do lixiviado e pela adição de etanol como substrato adicional, devido à baixa concentração de ácidos voláteis encontrada nos lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP.

4.7.1 – Inóculo dos Reatores

De acordo com o Teste 2, pôde-se concluir que os dois melhores inóculos eram o lodo granular proveniente da avícola e o lodo coletado no fundo de uma das lagoas de lixiviados que havia sido recém esvaziada.

Assim optou-se por inocular os dois reatores com esses dois lodos, inoculando-se o ASBR (R1) novamente com o lodo granular da avícola que estava armazenado em tambores e o ASBBR (R3) com o lodo da lagoa, pois esse lodo possuía consistência bastante fluida, muito parecido com uma

lama escura e fina, de difícil sedimentação exigindo-se assim um meio suporte, tal como as espumas do ASBBR. A Figura 4.7.1.1 apresenta uma vista da lagoa e do local de onde foi retirado o lodo.

Antes de se inocular os reatores, os dois lodos foram peneirados para se eliminar sujeira, pois na primeira etapa desse experimento as válvulas se entupiram várias vezes com sujeiras do lodo da avícola. A Figura 4.7.1.2 apresenta os dois lodos sendo peneirados para eliminação de detritos.

(a)

(b)

Figura 4.7.1.1: (a) Vista da lagoa de lixiviado e (b) Local da lagoa de onde se coletou o lodo.

(a)

(b)

Figura 4.7.1.2: (a) Lodo da avícola sendo peneirado e (b) Lodo da lagoa sendo peneirado.

Antes da inoculação dos reatores, foram retiradas amostras dos dois lodos para realização da análise de sólidos totais, fixos e voláteis.

Para inoculação, nesta segunda etapa, foram adicionados cerca de 250 L de lodo da avícola no ASBR (R1) e cerca de 110 L de lodo da lagoa de lixiviado no ASBBR (R3). Como o cesto de aço inox com espuma do ASBBR não foi removido, o lodo da lagoa foi despejado com balde sobre as espumas do cesto, pois a substituição dessa espuma seria impraticável. Não foi possível a adição de mais lodo

no ASBBR porque o lodo de excesso escorria sobre as espumas e depositava no fundo do tanque. Depois da adição do lodo os dois reatores foram enchidos e o sistema de agitação foi ligado a 30 rpm.

4.8 – Operação dos Reatores

Nessa **Primeira Fase** da Segunda Etapa optou-se por iniciar a operação dos reatores com tempos de ciclo iguais a uma semana, para se minimizar as perdas de biomassa durante o processo de adaptação.

Inicialmente os dois reatores (R1 e R3) foram operados com lixiviados diluídos com água a aproximadamente 50 % da concentração inicial. Os dois reatores foram operados com lixiviado diluído a 50% até a sétima batelada. Na oitava e na nona bateladas, ambos os reatores foram operados com concentração teórica de lixiviado igual a 60 %. Na décima e na décima primeira semana o ASBBR foi operado com concentração teórica de lixiviado igual a 70 % e o ASBR com 80 %. Na décima segunda e na décima terceira batelada o ASBBR foi operado com concentração teórica de lixiviado igual a 80 %, e a partir da décima segunda batelada, o ASBR já passou a ser operado com o lixiviado puro. O ASBBR passou a ser operado com lixiviado puro somente a partir da décima quarta batelada. Na sétima batelada, que foi a última batelada com lixiviado diluído a 50%, foram realizados perfis temporais de concentração em R1 e R3 para avaliação e comparações de seus desempenhos.

Nesta Segunda Etapa, adotou-se frequência de agitação dos impelidores igual 30 rpm, para se minimizar a desagregação dos grânulos do ASBR e minimizar a perda de biomassa no leito de espuma do ASBBR. Para redução da velocidade de agitação, da Primeira para a Segunda Etapa, foi necessário a instalação de um sistema com polias e correias em cada reator, além de dois inversores de frequência.

Com o final da diluição do lixiviado na décima quarta batelada, optou-se por não eliminar a adição de etanol, pois devido às baixas concentrações de ácidos voláteis dos lixiviados do aterro, ambos os reatores poderiam sofrer com déficit de alimento durante as bateladas seguintes. Depois do fim da utilização de lixiviado diluído, foram realizados novamente perfis temporais de concentração em R1 e R3, para se avaliar e comparar as condições dos dois reatores.

Nessa etapa o ASBR (R1) foi operado por somente 19 bateladas, pois durante a vigésima batelada, o tanque de fibra estourou, possivelmente por fadiga provocada pela vibração do agitador, e a biomassa se perdeu, espalhando-se pelo piso do galpão do experimento e também indo embora pelo ralo do galpão. Dessa forma, daí em diante prosseguiu-se somente com a operação do ASBBR.

A adição de etanol foi mantida no sistema até o final da primeira fase de operação na batelada 26 e resolveu-se interrompê-la a partir daí, devido a mudanças nas características do lixiviado que alimentava o sistema.

A **Segunda Fase** de operação se estendeu da vigésima sétima à trigésima sétima batelada, onde o ASBBR foi alimentado com lixiviado puro, ou seja, sem nenhuma adição. A partir da trigésima segunda batelada, o sistema passou a ser operado com tempos de ciclo iguais a cinco dias. Nesta Segunda Fase, foram realizados oito perfis de concentração, com a finalidade de se avaliar a cinética de degradação da matéria orgânica existente nos lixiviados do aterro de São Carlos.

Devido às fortes e constantes chuvas que ocorreram no início do ano de 2007, a operação do aterro foi bastante dificultada nesta época, pois a geração de lixiviados era tão grande que eles afloravam na frente de aterramento. Para se viabilizar a operação do aterro, foram construídos sobre o aterro, drenos para os lixiviados e uma pequena lagoa, de onde eles eram escoados até uma caixa de passagem a montante da caixa de captação de lixiviados do experimento. A Figura 4.8.1 apresenta em (a) a frente de aterramento do aterro e em (b) a lagoa de lixiviados construída sobre o aterro.

A partir desse ponto, os lixiviados que alimentavam o sistema deixaram de ser totalmente recalcitrantes e passaram a apresentar uma parcela biodegradável ao tratamento anaeróbio. Uma característica bastante interessante desse lixiviado é que quando a carga orgânica era muito alta o lixiviado formava muita espuma ao ser agitado, como apresentado na Figura 4.8.2. Assim, com o “novo” lixiviado o sistema foi operado sem necessidade de adição de etanol até a trigésima sétima batelada.

Figura 4.8.1: (a) Frente de aterramento e (b) Lagoa construída sobre o aterro.

A **Terceira Fase** de operação se estendeu da trigésima oitava até a quinquagésima batelada, pois durante este período voltou-se a adicionar etanol gradualmente ao lixiviado, no início de toda batelada, com a intenção de se readaptar o ASBBR a altas cargas novamente.

Na quinquagésima batelada iniciou-se a **Quarta Fase** de operação, como a realização de uma série de testes e realizações de perfis temporais de concentração.

Figura 4.8.2: Aspecto do lixiviado com elevada carga orgânica e formação de espuma.

Da batelada 51 a 54 foram realizados três perfis temporais de concentração utilizando-se 3,0 L de etanol como substrato complementar, adicionado no início de cada batelada, com a finalidade de se avaliar a sua acidificação e a remoção da matéria orgânica na forma de ácidos.

Da batelada 55 a 59 foram realizados mais quatro perfis temporais de concentração, utilizando-se como substrato complementar, uma mistura de 3,0 L de ácido acético concentrado, 1,0 L de ácido propiônico concentrado e 0,25 L de ácido butírico concentrado, adicionados ao lixiviado no início de cada batelada, com a finalidade de se avaliar a remoção da matéria orgânica na forma de ácidos.

Da batelada 60 a 63 foram realizados mais quatro perfis temporais de concentração, utilizando-se o lixiviado inicialmente diluído a aproximadamente 54% de sua concentração inicial, com adição de 3,70 kg de NaHCO_3 para recomposição da sua concentração inicial de sódio e adição de 4,75 kg de NH_4HCO_3 para recomposição da sua concentração inicial de N-amoniacal. Como substrato complementar foi também adicionado ao lixiviado, uma mistura de 3,0 L de ácido acético concentrado, 1,0 L de ácido propiônico concentrado e 0,25 L de ácido butírico concentrado, com a finalidade de se avaliar a remoção da matéria orgânica na forma de ácidos e verificar também possíveis variações na cinética de degradação da matéria orgânica, devido à diluição.

Da batelada 64 a 68 foram realizados mais cinco perfis temporais de concentração, utilizando-se o lixiviado sem diluição, porém, com adição de 8,00 kg de NH_4HCO_3 com a intenção de se provocar uma sobrecarga de N-amoniacal no sistema. Como substrato complementar foi também adicionado ao lixiviado, uma mistura de 3,0 L de ácido acético concentrado, 1,0 L de ácido propiônico concentrado e 0,25 L de ácido butírico concentrado, com a finalidade de se avaliar a remoção da matéria orgânica na forma de ácidos e verificar também possíveis variações na cinética de degradação da matéria orgânica, com a sobrecarga de N-amoniacal.

A **Quinta Fase** de operação se estendeu da sexagésima nona até a octogésima batelada. Nesta fase não foram realizadas análises de acompanhamento do reator, mas no início de cada batelada

foram adicionados 2 L de etanol combustível, para manutenção da biomassa em atividade até a realização da amostragem final da biomassa depois da batelada 80.

4.9 – Montagem e Descrição do Sistema de Lodos Ativados em Bateladas Sequenciais (R2 e R4)

O sistema de lodos ativados era constituído por dois tambores de polietileno com 200 L de capacidade cada um e com sistema de aeração. A Figura 4.9.1 (a) apresenta um dos reatores aeróbios utilizados no experimento e a Figura 4.9.1 (b) apresenta os dois reatores aeróbios instalados entre os dois reatores anaeróbios.

(a)

(b)

Figura 4.9.1: (a) Um dos reatores aeróbios e (b) Sistema de enchimento entre os dois reatores aeróbios.

Ambos os reatores aeróbios possuíam um volume para sedimentação de aproximadamente 60 L e um volume tratável de aproximadamente 120 L, sendo que o volume restante servia como folga para os extravasores.

O sistema de aeração desses reatores era composto por difusores de ar comprimidos no fundo dos tanques. Esses difusores eram responsáveis também pela agitação do líquido e suspensão da biomassa. A Figura 4.9.2 (a) apresenta um desses difusores e a Figura 4.9.2 (b) apresenta o difusor de ar instalado no fundo de um dos reatores aeróbios.

Figura 4.9.3: (a) Difusor de ar e (b) Difusor de ar instalado no fundo do reator aeróbio.

A Tabela 4.9.1 apresenta as principais características construtivas dos reatores aeróbios R2 e R4.

Tabela 4.9.1: Características dos reatores aeróbios em bateladas sequenciais (R2 e R4).

Características	Reator Aeróbio (R2 e R4)
Material	Polietileno
Volume total (V_T)	200 L
Volume útil (V_U)	180 L
Volume para Agitação (V_A)	180 L
Volume para lodo sedimentado (V_L)	60 L
Volume de líquido tratado (V_{LT})	120 L
Altura (L)	1,0 m
Diâmetro no meio do tanque (D)	0,5 m
L/D	2
Sistema de aeração	Por ar difuso
Sistema de agitação	Por ar difuso

Devido a problemas operacionais, que estão descritos no **APÊNDICE D**, somente um dos reatores foi colocado em operação. Esse reator, chamado de R4, fez o pós-tratamento dos efluentes do ASBBR (R3) durante quinze bateladas, mas infelizmente depois disso teve sua operação paralisada devido a problemas no compressor de ar.

Inicialmente previa-se fazer a alimentação de R4 a partir do reservatório intermediário entre R3 e R4, porém, como foi adotado o mesmo tempo de ciclo para os dois reatores, decidiu-se por fazer uma adaptação na saída do ASBBR (R3) para que seus efluentes fossem descartados diretamente em R4. A Figura 4.9.3 (a) apresenta a adaptação feita na saída de R3 para se descartar parte de seus efluentes, diretamente em R4.

Como verificou-se que o sistema de agitação, da forma como havia sido instalado, formava uma zona morta, com sedimentação de lodo, ao lado do difusor de ar, decidiu-se por modificar esse

sistema a partir da nona batelada, para uma nova configuração, como a apresentada na Figura 4.9.3 (b). Nessa nova configuração foram instalados dois difusores de ar, sendo que um deles apresentava a sua face de difusão voltada para o fundo do reator, a uma distância de 5 cm do fundo, com a finalidade de se minimizar a formação de zonas mortas ao lado do difusor, e o outro deles com uma face voltada para cima.

A Figura 4.9.4 (a) apresenta as válvulas solenóides que atuavam na abertura e fechamento da passagem de ar pela tubulação e a Figura 4.9.4 (b) apresenta o compressor que foi utilizado para fornecimento de ar para os difusores do reator e para acionamento das válvulas pneumáticas.

(a)

(b)

Figura 4.9.3: (a) Descarte direto de R3 em R4 e (b) Novo sistema de aeração/agitação de R4.

(a)

(b)

Figura 4.9.4: (a) Válvulas solenóide e (b) Compressor de ar.

Depois do pós-tratamento aeróbio, os lixiviados eram descartados no ralo do galpão do experimento, que descarregava esses efluentes na lagoa 2 de lixiviados.

4.10 – Partida, Adaptação e Operação do Reator Aeróbio em Bateladas Sequenciais

Este sistema iniciou a sua operação fazendo-se o pós-tratamento dos efluentes da trigésima oitava batelada do ASBBR (R3) e foi operado somente por quinze bateladas, devido a problemas ocorridos com o compressor que fornecia ar para o sistema.

Como inóculo para o para o sistema de lodos ativados decidiu-se utilizar o mesmo inóculo previamente preparado para inoculação do filtro biológico (R5), que era composto por 60% de lodo da lagoa de lixiviado e 40% de lodo do aviário triturado em um liquidificador semi-industrial. O lodo do aviário utilizado foi uma parte do lodo que foi recolhido do piso do galpão após o acidente com o ASBR (R1).

4.11 – Montagem e Descrição do Filtro Biológico Anaeróbio de Fluxo Ascendente (R5)

Depois que o ASBR (R1) estourou na Segunda Etapa de sua operação, optou-se por construir um outro reator anaeróbio aproveitando-se a experiência de todos os problemas ocorridos durante a montagem e operação dos sistemas em batelada.

Como o sistema de automação apresentou-se bastante problemático em locais onde a energia elétrica apresenta muita oscilação e contínuas interrupções, optou-se por um sistema mais simples e contínuo, onde uma única bomba alimentava o sistema continuamente.

Como o ASBBR (R3) apresentou resultados melhores que o ASBR (R1), optou-se por um reator de leito fixo. Aproveitando-se a experiência do pesquisador em seu mestrado ao operar um outro reator anaeróbio de leito fixo, porém horizontal e com leito de espuma (CONTRERA, 2003), optou-se por um reator com leito rígido para se evitar o problema de compressão da espuma e também por um sistema que fosse operado na vertical, com fluxo ascendente, o que favorece a liberação dos gases que caminham no mesmo sentido do fluxo dos líquidos, evitando-se assim os problemas hidrodinâmicos encontrados por Contrera (2003).

Com base no que foi exposto anteriormente, a operação de um filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente parecia bastante vantajosa em relação aos sistemas em bateladas sequenciais, principalmente no que diz respeito à facilidade de operação, por praticamente não exigir mecanização.

4.11.1 – Construção do Filtro Biológico

A Tabela 4.11.1.1 apresenta as características construtivas do filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente (R5).

Para construção do filtro biológico foi utilizado um tubo de PVC com diâmetro interno igual a 245 mm (diâmetro nominal igual a 250 mm) e comprimento igual a 2,5 m perfazendo uma relação comprimento por diâmetro aproximadamente igual a 10 e volume aproximadamente igual a 118 L. Para fechamento das extremidades foram utilizadas CAPs de PVC, coladas com poliuretano na base e silicone na parte superior.

Na base do filtro biológico foi construído um distribuidor com um CAP de 200 mm que foi todo perfurado com uma furadeira. Como o leito do filtro poderia ser pesado demais para ser suportado pelo CAP perfurado, foram feitos reforços na parte interior do CAP para suportar o peso. A Figura 4.11.1.1 apresenta o CAP utilizado como distribuidor no fundo do filtro biológico. O CAP de 200 mm utilizado como distribuidor de fundo foi fixado com cola de PVC no CAP de 250 mm que fechava o fundo do filtro biológico.

Depois de colado o CAP do fundo do reator e os flanges para fixação dos amostradores intermediários, o reator foi pintado de preto para evitar a entrada de luz. Depois o reator foi pintado novamente de branco, pois a cor preta faz com que o reator aqueça demais durante o dia (até 60 °C) podendo prejudicar a biomassa e aumentando demais as diferenças de temperatura entre os dias e as noites. A Figura 4.11.1.2 apresenta o reator recebendo as pinturas.

Após receber as pinturas o filtro biológico foi colocado em um suporte de madeira, onde começou a ser montado. A Figura 4.11.1.3 apresenta o filtro biológico no suporte de madeira, que mantinha o filtro a 0,50 m do solo.

O reator possuía ainda nove amostradores intermediários, distanciados 25,0 cm entre si, como pode ser observado na Figura 4.11.1.3.

Tabela 4.11.1.1: Características construtivas do filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente (R5).

Características	Filtro Biológico Anaeróbio (R5)
Material	PVC
Volume total (V_T)	117,9 L
Meio Suporte	Carvão mineral tipo coque para forjaria
Volume do meio suporte, sem vazios (V_{MS})	47,4 L
Umidade do meio suporte	3,0 %
Volume de lodo inoculado (V_L)	27,5 L
Umidade do lodo de inóculo	83,3 %
Volume de líquido para enchimento (V_{LE})	43,0 L
Volume total de líquidos (V_{TL})	68,1 L
Porosidade inicial	57,8 %
Porosidade final estimada*	59,4 %
Volume total final de líquidos estimado (V_{TFLE})*	70,0 L
Altura (L)	2500 mm
Diâmetro do reator (D)	250 mm
L/D	10
Distância entre mostradores intermediários	250 mm
Alimentação	Contínua, por bomba peristáltica

* Valores finais estimados, considerados para efeito de cálculos.

(a)

(b)

Figura 4.11.1.1: (a) Vista superior do distribuidor de fundo e (b) Vista inferior do distribuidor.

(a)

(b)

Figura 4.11.1.2: (a) Reator pintado de preto para evitar entrada de luz e (b) Reator pintado novamente de branco para evitar aquecimento excessivo durante o dia.

Figura 4.11.1.3: Filtro biológico instalado no suporte de madeira.

4.11.2 – Meio Suporte

Como meio suporte para biomassa do filtro biológico, utilizou-se carvão mineral tipo coque para forjaria, com dimensões nominais entre 20 e 40 mm. Escolheu-se esse carvão devido à sua baixa massa específica e elevada rugosidade e porosidade da superfície.

Para montagem do experimento foram comprados 100 kg de carvão. O volume desse carvão foi medido utilizando-se um balde graduado e os 100 kg apresentaram volume aproximadamente igual a 160 L. Como o carvão possuía muito material fino aderido à sua superfície ele teve que ser lavado antes que fosse inoculado com a biomassa.

Depois de lavado, foi separado do carvão um total de aproximadamente 14 kg de rejeitos, ou seja, aproximadamente 4 kg de pedras e aproximadamente 10 kg de carvão em pó.

A Figura 4.11.2.1 (a) apresenta o carvão sendo lavado com água sobre uma peneira para eliminação do pó e a Figura 4.11.2.1 (b) apresenta o carvão depois de limpo.

(a)

(b)

Figura 4.11.2.1: (a) Carvão sendo lavado com água sobre uma peneira, (b) Carvão limpo.

Depois de lavado, o carvão foi secado ao sol sobre uma lona preta estendida na estrada. A Figura 4.11.2.2 (a) apresenta o carvão secando sobre uma lona e a Figura 4.11.2.2 (b) apresenta os rejeitos separados.

Figura 4.11.2.2: (a) Carvão sendo secado ao sol sobre uma lona e (b) Rejeitos separados do carvão.

4.11.3 – Preparo do Inóculo do Filtro Biológico (R5)

Como inóculo para o filtro biológico decidiu-se utilizar 50L de um inóculo misto, composto por dois tipos de lodo. Esse inóculo foi composto por 30 L de lodo da lagoa de lixiviado e mais 20 L de lodo do aviário triturado em um liquidificador semi-industrial. O lodo do aviário utilizado foi uma parte do lodo que foi recolhido do piso do galpão após o acidente com o ASBR (R1).

A Figura 4.11.3.1 (a) apresenta o tambor de 100 L onde foram misturados os dois lodos de inóculo. A Figura 4.11.3.1 (b) apresenta o carvão no interior de uma caixa d'água em contato com o lodo, onde permaneceu por 5 dias. Após 5 dias em contato com o lodo o carvão foi retirado aos poucos da caixa d'água e o excesso de lodo era removido por agitação sobre uma peneira antes de se introduzir o carvão com o lodo no interior do filtro biológico.

Figura 4.11.3.1: (a) Inóculo composto por dois lodos e (b) Carvão em contato com o lodo.

A Figura 4.11.3.2 (a) apresenta o excesso de lodo sendo removido do carvão e a Figura 4.11.3.2 (b) apresenta o topo do filtro biológico após estar completamente cheio.

Depois de se remover o excesso de lodo, esse excesso foi medido e descontado do volume total para se estimar o volume de lodo no reator. O volume estimado de lodo que ficou aderido ao carvão foi de aproximadamente 27,5 L.

Figura 4.11.3.2: (a) Excesso de lodo sendo removido de carvão com peneira e (b) Vista do topo do reator depois de cheio.

4.12 – Partida, Adaptação e Operação do Filtro Biológico Anaeróbico de Fluxo Ascendente (R5)

Este sistema de tratamento foi operado durante 259 dias e durante esse período foram realizados dois perfis longitudinais de concentração.

Depois de ser enchido completamente com o meio suporte e biomassa, o filtro biológico foi tampado com um CAP, preparado com uma saída lateral para o líquido e outra no topo para o gás. Para fixação desse CAP de fechamento, utilizou-se cola de silicone, pois essa cola permitiria futuras remoções para inspeção.

Depois de vedado o filtro foi enchido com lixiviado. Para se completar o filtro com líquido, foram necessários aproximadamente mais 43,0 L de lixiviado. Como a umidade do lodo era de 83,3 %, estima-se que o lodo possuía 22,9 L de água. A umidade do carvão era de aproximadamente 3 % em massa, o que resulta em 2,2 L de água, o que totaliza um volume de aproximadamente 68,1 L.

Considerando-se que o volume total do reator era de 117,9 L, e o volume total ocupado pelos líquidos no momento do início da operação era de 68,1 L, então o reator possuía porosidade de meio aproximadamente igual a 57,8 %.

Como depois do início da operação foi necessário descartar cerca de 10 L de lodo, que se desprende do meio suporte, para efeito de cálculos, o volume líquido considerado do reator foi de 70,0 L, com porosidade de leito igual a 59,4 %.

O tempo de detenção hidráulica (θ_h) escolhido inicialmente para esse reator foi de aproximadamente um dia em relação ao volume líquido, baseado nos resultados de Contrera (2003), porém esse tempo foi aumentado para aproximadamente dois dias depois de 60 dias de operação e para 5 dias depois de 120 dias de operação, mas verificou-se que quanto maior era o θ_h , mais difícil ficava a regulação da bomba para se manter este tempo estável.

O lixiviado utilizado na operação desse reator era mantido dentro de uma caixa de 310 L onde era misturado com 1,0 L ou mais de etanol quando se enchia a caixa. A adição de etanol foi mantida durante toda a etapa de operação do sistema. Dessa caixa o lixiviado era bombeado para o reator utilizando-se uma bomba Prominent tipo diafragma que, por segurança, foi instalada dentro do galpão do experimento. O reator foi mantido à temperatura ambiente ao lado do galpão e a DQO afluente era de aproximadamente 10.000 mg.L⁻¹, até os 168 dias de operação, sendo que aproximadamente 5.000 mg.L⁻¹ eram devido ao etanol e os outros 5.000 mg.L⁻¹ eram devido ao lixiviado, que era muito recalcitrante ao tratamento anaeróbio.

A amostragem para análise do sistema era realizada uma vez por semana. A Figura 4.12.1 (a) apresenta a caixa onde o lixiviado ficava armazenado até os 120 dias de operação. Depois dos 120 dias optou-se por utilizar um dos reservatórios de 1.000 L que estavam ociosos dentro do galpão do experimento. A Figura 4.12.1 (b) apresenta a bomba utilizada para bombeamento do lixiviado.

(a)

(b)

Figura 4.12.1: (a) Caixa d'água onde o lixiviado era armazenado e (b) Bomba Prominent tipo diafragma utilizada para bombeamento do lixiviado.

Aos 168 dias de operação foi realizado o primeiro perfil espacial no sistema e verificou-se, com base neste perfil que o sistema estava ocioso e que tanto a concentração do lixiviado deveria ser aumentada, quanto o θ_h , deveria ser reduzido.

Depois do primeiro perfil reduziu-se novamente o θ_h para dois dias e triplicou-se a adição de etanol ao lixiviado com a finalidade de se conseguir concentrações da ordem de 20.000 mg.L⁻¹.

Aos 245 dias de operação foi realizado o segundo perfil espacial de concentração em R5, e verificou-se novamente que o reator ainda parecia ocioso, porém depois disso não foi realizado mais nenhum aumento de carga em R5.

4.13 – Análises Físico-Químicas e Exames Microbiológicos das Amostras

As análises e os exames descritos a seguir foram realizados nos Laboratórios de Saneamento e de Processos Biológicos da EESC-USP.

Com exceção da determinação de ácidos voláteis por titulometria, todas as demais análises serão feitas segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* APHA, AWWA, WPCF (2005), com algumas adaptações e ajustes, quando necessário.

A determinação de ácidos voláteis foi feita de acordo com a metodologia de DiLallo e Albertson (1961).

A Tabela 4.13.1 apresenta uma síntese dos parâmetros analisados, bem como o tipo de amostra e a metodologia empregada. A descrição das metodologias, bem como suas adaptações e modificações, quando necessárias, para se adaptarem aos lixiviados de aterros sanitários, são apresentadas no **APÊNDICE E**.

Tabela 4.13.1: Síntese dos parâmetros analisados, bem como o tipo de amostra e a metodologia empregada.

PARÂMETRO	TIPO DE AMOSTRA	METODOLOGIA
pH	Líquida	Potenciometria
Temperatura	Líquida	Termômetro de mercúrio e digital
Alcalinidade total	Líquida	Titulação
Ácidos voláteis	Líquida	Cromatografia gasosa e titulometria
DQO Total e Filtrada	Líquida	Digestão e Espectrofotometria
Sólidos	Líquida	Filtração e Gravimetria
Metais (Zn, Pb, Cd, Ni, Fe, Mn, Cu e Cr)	Líquida	Espectrofotometria
Metais solúveis (Na, K, Ca, Mg)	Líquida	Espectrofotometria
COT	Líquida	Analizador de carbono
NH ₃	Líquida	Destilação e titulometria
NTK	Líquida	Digestão, destilação e titulometria
Nitrito/Nitrato	Líquida	Espectrofotometria
PO ₄ ³⁻	Líquida	Espectrofotometria
SO ₄ ²⁻	Líquida	Espectrofotometria
Cl ⁻	Líquida	Espectrofotometria
Microrganismos	Líquida/Sólida	Microscopia Ótica

4.14 - Obtenção de Parâmetros Cinéticos

Como um dos objetivos desse trabalho é estabelecer, sobre bases racionais, critérios para aumento de escala e projeto do reator em batelada sequencial aplicado ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários, para isso é necessário se determinar os parâmetros cinéticos que regem esse processo biológico. Os parâmetros cinéticos descrevem as velocidades com que as reações bioquímicas ocorrem no interior do sistema de tratamento. Para se determinar esses parâmetros cinéticos deve-se antes de tudo se desenvolver um modelo matemático que descreva através de equações o comportamento do sistema.

4.14.1 - Modelo Matemático

De acordo com Schmidell *et al.* (2001), a modelagem matemática de processos fermentativos pode ser definida como a tentativa de representar, através de equações matemáticas, os balanços de massa para cada componente no biorreator, associados às complexas transformações bioquímicas que ocorrem no processo e às velocidades com que essas transformações se processam.

O objetivo da modelagem matemática é organizar informações desconexas a respeito dos fenômenos biológicos de forma coerente; pensar e calcular logicamente a respeito de quais componentes e interações são importantes num sistema complexo; descobrir novas estratégias para explicar o comportamento das células submetidas a determinados ambientes; corrigir falhas eventualmente existentes no entendimento convencional de determinados fenômenos e, finalmente, entender as características qualitativamente essenciais de determinados processos (Bailey, 1998).

Utilizando essa valiosa ferramenta no desenvolvimento tecnológico de processos anaeróbios, é possível prever o comportamento dinâmico e estacionário do processo, inclusive em condições não testadas empiricamente, possibilitando a determinação das condições operacionais economicamente ótimas do sistema, auxiliando no projeto e ajuste de algoritmos de controle, no qual o modelo matemático formulado passa a ser parte integrante do mesmo (Heinzle & Saner, 1991).

Balanco Material

Os seguintes modelos foram formulados através de balanços materiais, considerando-se um reator isotérmico e perfeitamente agitado, assumindo-se a ocorrência de uma única reação biológica.

$$(Entrada + Formação) - (Saída + Consumo) = Acúmulo \quad (4.14.1.1)$$

Balanço Material para Biomassa

Realizando-se o balanço material para a biomassa, desconsiderando-se entrada e arraste obtém-se:

$$(0 + r_X \cdot V) - (0 + 0) = \frac{d(C_X \cdot V)}{dt} \quad (4.14.1.2)$$

$$\frac{dC_X}{dt} = r_X = \mu_X \cdot C_X \quad (4.14.1.3)$$

Em que:

V = volume do reator [L];

r_X = velocidade de crescimento celular [$\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$];

μ_X = velocidade específica de crescimento da biomassa [$\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ou d^{-1}];

C_X = concentração de biomassa [$\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$] e

Balanço Material para Substrato

Realizando-se o balanço material para o substrato obtém-se:

$$(0 + 0) - (0 + r_S \cdot V) = \frac{d(C_S \cdot V)}{dt} \quad (4.14.1.4)$$

$$\frac{dC_S}{dt} = -r_S = -\mu_S \cdot C_X \quad (4.14.1.5)$$

$$\frac{dC_S}{dt} = -\mu_S \cdot C_X = -\frac{1}{Y_{X/S}} \cdot \mu_X \cdot C_X \quad (4.14.1.6)$$

Em que:

r_S = velocidade de consumo de substrato [$\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$];

μ_S = velocidade específica de consumo de substrato [$\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ou d^{-1}];

C_S = concentração de substrato limitante [$\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$];

$Y_{X/S}$ = fator de conversão de substrato à biomassa [$\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$].

Considerando-se o Modelo Cinético de Monod

Admitindo como válido o modelo de crescimento celular proposto por Monod:

$$\mu_X = \mu_{\max} \cdot \frac{C_S}{K_S + C_S} \quad (4.14.1.7)$$

Em que:

$\mu_{\max}$ = velocidade específica máxima de crescimento [d^{-1}] e

K_S = constante cinética [$g.L^{-1}$].

Substituindo-se a equação (4.14.1.7) na equação (4.14.1.6) obtém-se:

$$\frac{dC_S}{dt} = - \left(\frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}} \cdot \frac{C_S}{K_S + C_S} \right) \cdot C_X \quad (4.14.1.8)$$

$$\frac{K_S + C_S}{C_S} \cdot \frac{dC_S}{dt} = - \frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}} \cdot C_X \quad (4.14.1.9)$$

Considerando-se um residual de substrato C_{SR} , que não pode ser efetivamente consumido, o modelo assume a seguinte forma diferencial:

$$\frac{K_S + (C_S - C_{SR})}{(C_S - C_{SR})} \cdot \frac{dC_S}{dt} = - \frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}} \cdot C_X \quad (4.14.1.10)$$

Integrando-se a equação (4.14.1.9) e considerando-se que a concentração de biomassa é aproximadamente constante, ou seja, não varia ao longo de uma batelada, obtém-se a equação do modelo na forma integral:

$$\int_{C_{S0}}^{C_S} \frac{K_S + C_S}{C_S} dC_S = - \frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}} \cdot C_X \int_0^t dt \quad (4.14.1.11)$$

$$K_S \cdot \ln \left(\frac{C_S}{C_{S0}} \right) + (C_S - C_{S0}) = - \frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}} \cdot C_X \cdot t \quad (4.14.1.12)$$

Considerando-se novamente um residual de substrato C_{SR} , que não pode ser efetivamente consumido, o modelo assume a seguinte forma integral:

$$K_S \cdot \ln \left(\frac{(C_S - C_{SR})}{(C_{S0} - C_{SR})} \right) + (C_S - C_{S0}) = -\frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}} \cdot C_X \cdot t \quad (4.14.1.13)$$

Considerando-se o Modelo Cinético de Primeira Ordem

Admitindo como válido o modelo cinético de primeira ordem:

$$\mu_S = k_1 \cdot C_S \quad (4.14.1.14)$$

Em que:

k_1 = constante cinética de primeira ordem $[(d.mg_{STV} \cdot L^{-1})^{-1}]$.

Substituindo-se a equação (4.14.1.14) na equação (4.14.1.5) obtém-se:

$$\frac{dC_S}{dt} = -k_1 \cdot C_S \cdot C_X \quad (4.14.1.15)$$

Considerando-se um residual de substrato C_{SR} , que não pode ser efetivamente consumido, o modelo assume a seguinte forma diferencial:

$$\frac{dC_S}{dt} = -k_1 \cdot C_X \cdot (C_S - C_{SR}) \quad (4.14.1.16)$$

Integrando-se a equação (4.14.1.15) e considerando-se que a concentração de biomassa é aproximadamente constante, ou seja, não varia ao longo de uma batelada, obtém-se a equação do modelo na forma integral:

$$\int_{C_{S0}}^{C_S} \frac{1}{C_S} dC_S = -k_1 \cdot C_X \int_0^t dt \quad (4.14.1.17)$$

$$\ln \left(\frac{C_S}{C_{S0}} \right) = -k_1 \cdot C_X \cdot t \quad (4.14.1.18)$$

Considerando-se novamente um residual de substrato C_{SR} , que não pode ser efetivamente consumido, o modelo assume a seguinte forma integral:

$$\ln\left(\frac{(C_S - C_{SR})}{(C_{S0} - C_{SR})}\right) = -k_1 \cdot C_X \cdot t \quad (4.14.1.19)$$

E tomando-se a exponencial dos dois termos da equação anterior chega-se à seguinte forma integral não linear.

$$C_S = (C_{S0} - C_{SR}) \cdot e^{-k_1 \cdot C_X \cdot t} + C_{SR} \quad (4.14.1.20)$$

4.14.2 - Solução e Ajuste do Modelo Matemático

Para cada perfil de concentração de substrato foram realizados oito ajustes matemáticos, considerando-se o modelo cinético de Monod e mais oito ajustes matemáticos, considerando-se o modelo cinético de primeira ordem, conforme a Tabela 4.14.2.1 que resume todas as combinações testadas, para cada um dos modelos cinéticos.

Tabela 4.14.2.1: Combinação de ajustes testados para cada perfil experimental de concentração.

Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Forma do modelo	Integral	Integral	Integral	Integral	Integral	Integral	Diferencial	Diferencial
Tipo de ajuste	Não linear	Não linear	Linearizado	Linearizado	Não linear	Não linear	Não linear	Não linear
C_{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software utilizado	Origin® 7.5	Origin® 7.5	Excel®	Excel®	VBA Excel®	VBA Excel®	VBA Excel®	VBA Excel®

OBS: VBA = Visual Basic®

Para ajustes de modelos matemáticos existem muitos algoritmos de otimização de parâmetros, que utilizam ferramentas derivativas ou não. Um destes algoritmos derivativos é o algoritmo de *Marquardt* que é utilizado no Origin® 7.5. Uma forma de algoritmo não derivativo é o algoritmo desenvolvido pelo pesquisador, que foi programado em Visual Basic® em uma “macro” do aplicativo MS-Excel®, cuja planilha de interface e os códigos fontes são apresentados no início do **APÊNDICE U**, tanto para solução do modelo matemático na forma integral, quanto para solução na forma diferencial.

Para solução do modelo matemático com cinética de Monod, na forma integral (equação 4.14.1.13) foi necessário a utilização do “Método de Newton-Raphson”, pois para cada iteração do

ajuste, era necessário o cálculo do valor da concentração de substrato (C_S), que apresenta-se implícito, no logaritmo da equação, e também fora do logaritmo da equação do modelo.

Uma outra forma de se fazer o ajuste na forma integral sem ter que utilizar o “Método de Newton-Raphson” é através da linearização da equação 4.14.1.13, que dividida por $(C_S - C_{S0}) \cdot K_S$ em ambos os membros, assume a seguinte forma:

$$\frac{1}{(C_S - C_{S0})} \cdot \ln \left(\frac{(C_S - C_{SR})}{(C_{S0} - C_{SR})} \right) + \frac{1}{K_S} = -\frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}} \cdot \frac{C_X \cdot t}{K_S \cdot (C_S - C_{S0})} \quad (4.14.2.1)$$

Construindo-se um gráfico com os termos:

$$x = \frac{C_X \cdot t}{(C_S - C_{S0})} \quad (4.14.2.2)$$

e

$$y = \frac{1}{(C_S - C_{S0})} \cdot \ln \left(\frac{(C_S - C_{SR})}{(C_{S0} - C_{SR})} \right) \quad (4.14.2.3)$$

Obtém-se uma reta cujo:

$$\text{Coefic. linear} = -\frac{1}{K_S} \quad (4.14.2.4)$$

e o

$$\text{Coefic. angular} = -\frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}} \cdot \frac{1}{K_S} \quad (4.14.2.5)$$

Para solução do modelo matemático com cinética de primeira ordem, na forma integral (equação 4.14.1.20) não foi necessário a utilização de nenhum método numérico, pois a concentração de substrato está explícita na equação.

Uma outra forma de se fazer o ajuste na forma integral (equação 4.14.1.20) é através da sua forma linearizada, como na equação 4.14.1.19, construindo-se um gráfico com os termos:

$$x = C_X \cdot t \quad (4.14.2.6)$$

e

$$y = \ln \left(\frac{(C_S - C_{SR})}{(C_{S0} - C_{SR})} \right) \quad (4.14.2.7)$$

Obtém-se uma reta cujo:

$$\text{Coefic. linear} = 0 \quad (4.14.2.8)$$

e o

$$\text{Coefic. angular} = -k_1 \quad (4.14.2.9)$$

Na solução dos modelos matemáticos nas formas diferenciais (equações 4.14.1.10 e 4.14.1.16), foi utilizado o “Método de Runge-Kutta” de quarta ordem, por ser um dos métodos mais conhecidos, simples e de melhor precisão.

Como critério para ajuste de modelos matemáticos adotou-se a minimização do somatório dos resíduos ao quadrado, dos valores do modelo em relação aos valores experimentais.

$$S_{CC} = \sum_{i=1}^n (C_{Si} - C_S)^2 \quad (4.14.2.10)$$

Em que:

S_{CC} = Somatório dos resíduos das concentrações ao quadrado;

C_{Si} = Concentrações de substratos dos pontos experimentais [mg.L⁻¹];

C_S = Concentrações de substratos calculadas pelo modelo matemático ajustado [mg.L⁻¹].

4.14.3 - Avaliação do Modelo Matemático

Segundo Schimidell *et al.* (2001), a última etapa do processo de formulação e ajuste matemático fenomenológico consiste na realização de uma análise estatística que visa validar o modelo, seguida da identificação da necessidade ou não de realizar novos experimentos.

4.14.3.1 - Testes Estatísticos

Como critério de comparação e validação de modelos e de métodos de ajuste podem ser utilizados o coeficiente de correlação ao quadrado (r^2), o teste F e o teste de *Randomicidade*.

O coeficiente de correlação ao quadrado (r^2) é o momento do produto de Pearson através dos pontos de dados em valores conhecidos ‘y’ e valores conhecidos ‘x’, podendo ser interpretado como a proporção da variância em ‘y’ que pode ser atribuída à variância em ‘x’, dado pela equação (4.14.3.1.1) apresentada a seguir, na qual x_i são os valores da variável, calculados pelo modelo, $\bar{x}$ é a média dos valores da variável, calculados pelo modelo, y_i são os valores experimentais da variável e $\bar{y}$ é a média dos valores experimentais da variável.

$$r^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.14.3.1.1)$$

Segundo Schmidell *et al.* (2001), o teste F é utilizado para se verificar se os modelos representam satisfatoriamente o conjunto de ensaios ajustados e se baseia na obtenção do chamado ‘erro experimental’ obtido a partir de uma série de repetições do mesmo ensaio (ensaio padrão) em pelo menos uma condição experimental. Assim, a formulação do teste F é definida (F_{Calc}) como a relação entre o erro obtido pela falta de ajuste e a estimativa do erro experimental, utilizando as equações apresentadas a seguir, nas quais s_E^2 é a estimativa da variância do erro experimental, s_C^2 é a estimativa da variância do erro do modelo, n é o número de pontos por variável, v é o número de variáveis dependentes (concentrações, por exemplo), $(nv)_C$ é o número de pontos ajustados (para todos os ensaios e variáveis), $(nv)_E$ é o número de pontos experimentais (para todos os ensaios repetidos e variáveis), p é o número de parâmetros do modelo, $\tilde{y}_{ij}$ é o valor da variável calculado pelo modelo, y_{ij} é o valor experimental da variável e $\bar{y}_i$ é a média da variável para os ensaios repetidos.

$$F_{Calc} = \frac{s_C^2}{s_E^2} \quad (4.14.3.1.2)$$

$$s_C^2 = \frac{\sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^n (\tilde{y}_{ij} - y_{ij})^2}{(nv)_C - p} \quad (4.14.3.1.3)$$

$$s_E^2 = \frac{\sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{(nv)_E - v} \quad (4.14.3.1.4)$$

Como o valor da distribuição F , $F_{Tab} [\alpha, (nv)_C - p, (nv)_E - v] \approx 1$ (quando $\alpha = 5\%$, $(nv)_C \rightarrow \infty$ e $(nv)_E \rightarrow \infty$) uma vez que $(nv)_C$ e $(nv)_E$ são, normalmente elevados, então para que o modelo represente adequadamente os resultados experimentais ajustados (ou, em outras palavras, não apresente falta de ajuste), é necessário que:

$$F_{Calc} < 1 \quad \text{ou} \quad s_C^2 < s_E^2$$

Segundo Schimidell *et al.* (2001), o teste de *randomicidade* é útil na verificação de eventuais tendências no ajuste de um modelo matemático a um conjunto de resultados experimentais. Os resíduos verificados entre os resultados experimentais e os resultados dos modelos podem ser positivos ou negativos, mas se eles são verdadeiramente aleatórios, o sinal dos mesmos deve mudar de maneira randômica. Essa *randomicidade*, ou ausência da mesma pode ser detectada visualmente pelo gráfico dos resíduos em função da variável independente (tempo) ou em função das variáveis dependentes (variáveis de estado), ou ainda pelo gráfico dos resultados experimentais em função dos resultados do modelo, obtendo assim uma tendência de distribuição ao longo de uma reta com inclinação de 45 graus (coeficiente angular unitário e linear zero).

A *randomicidade* dos resíduos entre os valores das variáveis calculadas, utilizando o modelo ajustado, e os valores experimentais, é quantificada, medida e testada a partir do seguinte procedimento: sendo N_1 o número de resíduos positivos, N_2 o número de resíduos negativos e R o número de vezes que a seqüência de resíduos muda de sinal, a distribuição de R é então aproximada pela distribuição normal. A média e o desvio padrão desta distribuição são calculados através das equações apresentadas a seguir, nas quais $\bar{R}$ é a média da distribuição da variável R e σ_R é o desvio padrão da distribuição, sendo 'Z' a forma padronizada da variável 'R'.

Na prática costuma-se adotar um nível de significância de 0,05 para o teste de *randomicidade*. Assim chama-se de região crítica o conjunto de valores de Z exteriores ao intervalo de **-1,96 a 1,96** e chama-se de região de aceitação ao conjunto de valores interiores a esse mesmo intervalo.

$$\bar{R} = \frac{2 \cdot N_1 \cdot N_2}{N_1 + N_2} + 1 \quad (4.14.3.1.5)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{2 \cdot N_1 \cdot N_2 (2 \cdot N_1 \cdot N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)^2 \cdot (N_1 + N_2 - 1)}} \quad (4.14.3.1.6)$$

A forma padronizada Z da Variável R é dada pela equação (4.14.3.1.7) sendo distribuída com média igual a 0 e desvio padrão igual a 1.

$$Z = \frac{R - \bar{R}}{\sigma_R} \quad (4.14.3.1.7)$$

Para testar a hipótese de que os desvios são randômicos, Z é comparada com a distribuição normal padrão. Se o valor de Z é muito baixo, o modelo é inadequado; por outro lado, se o valor de Z é muito alto, os resultados experimentais contém oscilações que precisam ser consideradas pelo modelo. Se o valor de Z cair na região de aceitação, então a hipótese de *randomicidade* pode ser aceita.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho foi realizado em duas etapas como descrito anteriormente no capítulo 4. A primeira etapa desse trabalho foi composta por uma única fase de operação do ASBR (R1) e do ASBBR (R3). A segunda etapa deste trabalho pode ser dividida em cinco fases de operação: 1) Adaptação com adição de substrato e aumento de carga, 2) tratamento sem adição de substrato, 3) aumento de carga com nova adição de substrato, 4) testes finais com adição de substratos e aditivos e 5) conservação da biomassa com adição de substrato. A operação do sistema de lodos ativados em bateladas sequenciais (R4) teve início somente depois que o R3 se estabilizou. Devido à perda do ASBR (R1), causada por um acidente, a operação desse reator foi substituída pela operação de um filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente (R5).

5.1 – Primeira Etapa – Tentativa de Adaptação da Biomassa Sem Uso de Aditivos

A primeira etapa, que consistiu basicamente na tentativa de adaptação dos dois reatores anaeróbios, teve início somente um mês depois da inoculação dos reatores devido a problemas e acidentes ocorridos na área do experimento, que impediram que fosse dada partida nos reatores tão logo eles fossem inoculados.

Antes de se iniciar a operação dos dois reatores anaeróbios, drenou-se a água que enchia os reatores para conservação do lodo. Para se evitar o efeito da diluição do lixiviado na água do inoculo, os reatores foram enchidos com lixiviado e descarregados três vezes, evitando-se assim que os resultados iniciais ficassem mascarados pela diluição.

Para se ter uma idéia inicial dos tipos de microrganismos utilizados para inoculação dos reatores, foi realizado um exame microbiológico do lodo, coletando-se uma mostra do lodo de inóculo que foi utilizada para se fazer microscopia ótica. A Figura 5.1.1 apresenta as fotografias da microscopia realizada nas amostras do lodo da avícola, utilizado como inóculo nos reatores anaeróbios.

O exame da amostra de lodo revelou basicamente a predominância de duas morfologias de arqueas metanogênicas: semelhantes a *metanosaetas sp.* e semelhantes a *methanosarcinas sp.*.

Quando foi feita a limpeza de uma das caixas de passagem de onde se derivava uma parcela do lixiviado até o experimento, foi feita a coleta de uma amostra de lodo para se examinar quais seriam os microrganismos já adaptados naturalmente ao lixiviado do aterro sanitário de São Carlos-SP. As fotografias da microscopia ótica são apresentadas nas Figuras 5.1.2 e 5.1.3.

Figura 5.1.1: Fotografias com aumento em contraste de fase com morfologias semelhantes a (a) *Methanosaetas sp.* e (b) *Methanosarcinas sp.*.

Figura 5.1.2: Fotografias com aumento em contraste de fase e fluorescência com morfologias semelhantes à (a) *Methanococos sp.* e (b) *Methanococos sp.* sob fluorescência.

Figura 5.1.3: Fotografias com aumento em contraste de fase e fluorescência com morfologias semelhantes a (a) *Methanosarcina sp.* e (b) *Methanosarcina sp.* sob fluorescência.

O exame da amostra de lodo sedimentado nas caixas de passagem de lixiviados apresentou uma grande predominância da morfologia semelhante à *methanococos sp.*, sendo raramente era encontrada uma morfologia semelhante à *mathanosarcina sp.*.

Tentando-se ter uma idéia mais ampla sobre os possíveis microrganismos que poderiam se adaptar ao lixiviado, foi realizada também uma amostragem nas duas primeiras lagoas de lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP. As Figuras 5.1.4 e 5.1.5 apresentam os exames da amostra coletada na lagoa 1 e as Figuras 5.1.6 e 5.1.7 apresentam os exames da amostra coletada na lagoa 2.

Figura 5.1.4: (a) Bacilos e cocos e (b) Cocos e uma morfologia desconhecida.

Figura 5.1.5: (a) Morfologia semelhante à das bactérias redutoras de sulfato e (b) Bacilos em formação tétrade.

Observa-se que nas duas lagoas há predominância das morfologias de bacilos, cocos e euglenas, surgindo esporadicamente outras morfologias em menor escala.

No início da operação dos reatores foi feita também uma caracterização mais detalhada do lixiviado utilizado no experimento. A Tabela 5.1.1 apresenta a caracterização do lixiviado da primeira batelada coletado no início da operação do experimento.

(a)

(b)

Figura 5.1.6: (a) Bacilos e (b) Cocos e Bacilos.

(a)

(b)

Figura 5.1.7: (a) Euglena e (b) Acima e à direita: bactéria vermelha possivelmente uma fototrófica anoxigênica.

Tabela 5.1.1: Caracterização do lixiviado da primeira batelada, coletado no início da operação dos reatores na primeira etapa.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
DQO	4.025	Nitrogênio	
COT	1.200	Total	2.257
pH	8,21	Orgânico	102
AVT (titulação)	524	Amoniacal	2.155
Alcalinidade Total	9.538	Metais	
Sólidos		Zinco	0,54
Sólidos totais	11.261	Chumbo	0,09
Sólidos totais fixos	8.329	Cádmio	0,02
Sólidos totais voláteis	2.932	Níquel	0,52
Sólidos suspensos totais	236	Ferro	4,60
Sólidos suspensos fixos	54	Manganês	0,12
Sólidos suspensos voláteis	182	Cobre	ND
Sólidos dissolvidos totais	11.025	Cromo	ND
Sólidos dissolvidos fixos	8.275	P-Fosfato	16,0
Sólidos dissolvidos voláteis	2.750	Coliformes	
Sulfato	ND	Fecais	$3,0 \times 10^2$
		Totais	$8,0 \times 10^3$

OBS: Unidades em mg.L^{-1} , exceto pH e coliformes $[\text{NMP.100 mL}^{-1}]$. ND = Não detectado.

Observa-se por essa caracterização que o lixiviado apresenta DQO, e AVT abaixo dos valores esperados, por se tratar de um lixiviado da área mais nova do aterro. Nota-se também que os valores de Nitrogênio total e amoniacal são bastante elevados e podem possivelmente ser tóxicos para o sistema.

Os resultados da operação dos dois reatores anaeróbios dessa primeira etapa são apresentados nas tabelas do **APÊNDICE F**, nas Figuras 5.1.8 a 5.1.11 a seguir, e nas Figuras G.1.1 a G.1.15 do **APÊNDICE G**.

A Figura 5.1.8 (a) apresenta os resultados de DQO_{Total} do afluente e dos efluentes do ASBR (R1) e do ASBBR (R3). Nota-se que durante toda esta etapa a DQO_{Total} do efluente do ASBBR foi ligeiramente menor que a do afluente, enquanto que no ASBR ela foi sempre um pouco maior, possivelmente devido a um maior arraste de sólidos no efluente deste reator. A Figura 5.1.8 (b) apresenta as eficiências de remoção de DQO_{Total} para ambos os reatores e nota-se que para o ASBR a eficiência foi sempre igual a zero e para o ASBBR, sempre maior que zero, porém muito baixa e talvez até desprezível.

A Figura 5.1.9 (a) apresenta os resultados de $DQO_{Filtr.}$ do afluente e dos efluentes do ASBR (R1) e do ASBBR (R3). Nota-se novamente que, praticamente não há diferença entre os valores da $DQO_{Filtr.}$ do afluente e dos efluentes nos dois reatores. A Figura 5.1.9 (b) apresenta as eficiências de remoção de $DQO_{Filtr.}$ para ambos os reatores e nota-se que novamente o desempenho dos dois reatores foi praticamente desprezível, porém pode-se notar um pequeno sobressalto observado na batelada quinze, onde para ambos os reatores a eficiência foi superior a 3%.

Figura 5.1.8: (a) DQO_{Total} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO_{Total} .

Na Figura 5.1.10 (a) é apresentado o acompanhamento do pH de ambos os reatores. Observa-se que o pH do afluente sempre se manteve praticamente acima de 8,2 e que o pH dos efluentes sempre foram um pouco mais elevados, estando sempre entre 8,2 e 8,5.

A Figura 5.1.10 (b) apresenta os resultados do acompanhamento da alcalinidade total do afluente e dos efluentes de ambos os reatores. Nota-se por essa figura, que praticamente não houve diferença entre a alcalinidade afluente e efluente dos reatores, a não ser nas duas primeiras bateladas, mas mesmo assim, ainda muito pequena e justificada por uma provável diluição provocada pela água contida no inóculo.

Figura 5.1.9: (a) $DQO_{Filtr.}$ afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$.

As concentrações de AVT, do afluente e dos efluentes dos reatores são apresentadas na Figura 5.1.11 (a). Nota-se por essa figura que as concentrações de ácidos voláteis totais foram relativamente baixas no lixiviado afluente que vem do aterro. A Figura 5.1.11 (b) apresenta as eficiências de remoção para os ácidos voláteis totais. Como as concentrações afluentes foram baixas, as remoções também foram baixas, com exceção da batelada 15 onde, para ambos os reatores, a eficiência de remoção foi superior a 30%. Com certeza a eficiência na remoção de ácidos foi maior que a apresentada, pelo fato de que o Método de DiLallo Modificado, empregado na determinação das concentrações costuma apresentar valores maiores que o real no caso dos lixiviados. Isso se deve ao fato de que, na segunda titulação, de pH igual a 4,0 até pH igual a 7,0 com hidróxido de sódio, acaba ocorrendo a neutralização de outros ácidos fracos, além dos ácidos voláteis, que acabam sendo computados como ácidos voláteis totais. Isso também explica porque sempre existe um falso residual de ácidos voláteis totais nos efluentes de reatores anaeróbios tratando lixiviados, quando se utiliza o método de DiLallo e Albertson (1961), ou DiLallo Modificado, e que não são detectados por cromatografia, como pode ser também observado em Contrera (2003).

Comparando-se as Figuras 5.1.11 (b) e 5.1.9 (b), observa-se que na mesma batelada onde se observou um pico de concentração de ácidos, também se observou uma maior remoção desses ácidos e também a melhor eficiência do sistema nessa etapa, mesmo que ainda muito pequena. Tal fato, sugere que o sistema pode remover ácidos, se a concentração destes for elevada no afluente, e a baixa concentração de ácidos pode ser justamente a principal causa do insucesso desta primeira etapa, pois

como os ácidos voláteis são de fácil consumo pelos microrganismos e as suas concentrações são muito baixas, os microrganismos podem estar sofrendo por falta de um substrato de fácil assimilação, o que poderia até dificultar a adaptação dos microrganismos ao lixiviado, como foi justamente observado nesta etapa.

Figura 5.1.10: (a) pH e (b) Alcalinidade total afluente e efluente.

Figura 5.1.11: (a) Ácidos voláteis totais afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais.

Depois da vigésima nona batelada os reatores foram paralisados, pois o motor do sistema de agitação do ASBBR (R3) travou e teve que ser removido para ser reparado. Como os resultados até aquele momento não eram bons em nenhum aspecto e nem se visualizou nenhuma tendência de melhora, resolveu-se paralisar o experimento para se reiniciar novamente depois que fossem feitos os reparos nos equipamentos e as possíveis modificações na operação dos reatores.

Nesta primeira etapa, pretendia-se inicialmente, operar o sistema por um mês, nas condições descritas acima, para se avaliar os resultados e começar a intervir no processo, tentando se identificar as falhas, para que estas fossem corrigidas durante a operação, mas infelizmente o sistema apresentou

falhas mecânicas que comprometeram a operação, e os reatores tiveram que ser paralisados justamente no momento em que se iria começar a intervenção no sentido de se promover a adaptação da biomassa.

Imaginando-se que o problema não foi a carga orgânica aplicada, sobram as seguintes alternativas para se investigar essa falha inicial:

- Condição operacional desfavorável para biomassa, pois o lodo granular era de um reator UASB (grânulos praticamente estáticos) e nesse experimento estava trabalhando em batelada com agitação mecânica;
- Excesso de compostos recalcitrantes e falta de matéria orgânica ou substrato de fácil degradação e assimilação, como fonte de energia e carbono para biomassa;
- Falta de nutrientes, ou relação entre nutrientes desbalanceadas (por exemplo, a relação N:P);
- Inibição por amônia, por compostos xenobióticos ou por salinidade elevada.

Iniciando-se pela análise da condição operacional, esse mesmo lodo tem sido usado como inóculo em outros trabalhos científicos, em reatores praticamente idênticos aos desse trabalho no que diz respeito às dimensões e aos materiais suporte utilizados. Talvez o maior erro, nessa tentativa inicial, foi ter se iniciado o experimento com uma frequência de agitação elevada (120 rpm), pois além de desagregar os grânulos, em um dos reatores, ainda se removeu o lodo da espuma do outro reator, que ainda não tinha criado mecanismos que permitissem uma maior fixação e crescimento na espuma.

Quanto ao excesso de compostos recalcitrantes e falta de matéria orgânica ou substrato de fácil assimilação como fonte de energia para biomassa, sabe-se que os lixiviados, como sendo subproduto de uma digestão biológica, são realmente a sobra daquilo que não pôde ser degradado no próprio aterro, assim é natural que existam em sua composição muitos compostos recalcitrantes. Mas por outro lado, sendo um aterro sanitário, um sistema não otimizado em que nem toda matéria orgânica biodegradável foi consumida em seu interior, é natural que os lixiviados também apresentem concentrações elevadas de muitas substâncias de fácil degradação biológica, como é o caso dos ácidos voláteis totais. A Tabela 5.1.2 apresenta as características dos lixiviados utilizados por Contrera (2003), as características do lixiviado do aterro de São Carlos-SP na caracterização feita em agosto de 2003 e as características do lixiviado no momento da partida desse experimento em maio de 2006.

Segundo Contrera (2003) ao tentar se tratar o lixiviado de Bauru-SP em um reator anaeróbio, não houve adaptação da biomassa e ocorreu a falência do sistema. Ao tentar se tratar o lixiviado da primeira coleta realizada em Rio Claro-SP o sistema se estabilizou com baixa eficiência (25 %) e ao se tentar tratar o lixiviado da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP, o sistema atingiu 80 % de eficiência em termos de remoção de DQO. Observando-se esses três lixiviados, do ponto de vista da existência de matéria orgânica de fácil degradação, pode-se notar uma grande diferença em dois parâmetros do lixiviado da segunda coleta de Rio Claro-SP, que o difere em muito dos outros

lixiviados. Esses parâmetros são, a concentração de ácidos voláteis totais (AVT) e de sólidos dissolvidos voláteis (SDV). Nota-se que a concentração desses dois componentes é bem maior nesse último lixiviado que nos demais.

Tabela 5.1.2: Características dos lixiviados utilizados por Contrera (2003); características do lixiviado do aterro de São Carlos-SP, na caracterização feita em agosto de 2003 e as características do lixiviado no momento da partida desse experimento.

Parâmetro	Bauru *	Rio Claro 1ª Coleta *	Rio Claro 2ª Coleta *	São Carlos (Caract.)	São Carlos (Partida)
DQO Total	5.340	1.450	4.800	6.396	4.025
pH	8,10	8,20	7,65	8,00	8,21
AVT (titulação)	586	198	1844	2.142	371
Alcalinidade Total	7.640	3.130	2.780	11.726	9.538
Nitrogênio					
Total	1.722	577	382	2.133	2.257
Orgânico	92	266	51	203	102
Amoniacal	1.630	311	331	1.930	2.155
Metais					
Zinco	0,18	0,20	0,29	0,137	0,54
Chumbo	0,18	0,12	0,08	0,069	0,09
Cádmio	0,02	ND	ND	0,004	0,02
Níquel	0,42	0,10	0,07	0,080	0,52
Ferro	18,0	8,50	30,45	1,676	4,60
Manganês	1,37	0,06	1,52	0,022	0,12
Cobre	0,06	ND	0,03	ND	ND
Cromo	ND	ND	ND	0,225	ND
Sólidos					
Sólidos totais	9.067	5.337	6.716	15.167	11.261
Sólidos totais fixos	7.133	4.035	3.471	10.631	8.329
Sólidos totais voláteis	1.933	1.303	3.245	4.536	2.932
Sólidos suspensos totais	118	207	228	404	236
Sólidos suspensos fixos	48	138	98	71	54
Sólidos suspensos voláteis	70	69	130	333	182
Sólidos dissolvidos totais	8.949	5.130	6.488	14.763	11.025
Sólidos dissolvidos fixos	7.085	3.897	3.373	10.559	8.275
Sólidos dissolvidos voláteis	1.863	1.233	3.115	4.203	2.750

OBS: Unidades em mg.L⁻¹, exceto pH; ND = Não detectado.

* Fonte: Contrera (2003).

Ao se comparar as concentrações de AVT e SDV do lixiviado da segunda coleta de Rio Claro-SP, com o lixiviado da caracterização realizada em agosto de 2003, pode-se notar que as concentrações desses dois parâmetros eram realmente bem próximas para esses lixiviados, reforçando-se assim a idéia, de que o lixiviado do aterro sanitário de São Carlos-SP seria passível de tratamento biológico anaeróbio. Porém, quando se iniciou a operação dos reatores em maio de 2006 e se realizou uma nova caracterização, notou-se uma mudança significativa desses dois parâmetros, o que certamente contribuiu para o insucesso na partida dos reatores.

Assim uma possível solução para esse problema, pelo menos durante a fase de adaptação, seria a introdução de um substrato adicional, de fácil degradação em conjunto com o lixiviado, tal como a adição de etanol, que é facilmente acidificável.

Quanto a uma possível falta de nutrientes pensou-se na adição de Fósforo, pois a relação N:P de 5:1 recomendada pela literatura para o tratamento de algumas águas residuárias é sempre muito desequilibrada no caso dos lixiviados. A relação N:P para o lixiviado de São Carlos-SP é aproximadamente igual a 141:1. A adição de metais traço foi descartada, pois os lixiviados, em geral, são bastante ricos nesses componentes, incluindo-se o de São Carlos-SP, como pode se notar pela Tabela 5.1.2.

Quanto à existência de compostos xenobióticos que poderiam estar inibindo os processos biológicos, é muito difícil a identificação de todos esses compostos nos lixiviados, pois podem existir dezenas desses compostos nas mais variadas concentrações e seria portanto muito difícil identificar quais são os principais e qual a melhor forma de removê-los. No caso de compostos orgânicos, uma saída seria possivelmente tentar se eliminar esses compostos do lixiviados através de adsorção em carvão ativado.

Quanto a uma possível inibição por amônia, a hipótese também não é totalmente descartada, mas segundo Calli *et al.* (2005) é possível se tratar efluentes com elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal em reatores anaeróbios.

Segundo Calli *et al.* (2005), Clément e Merlin (1995) a forma tóxica da amônia é a amônia livre, ou seja, no estado não dissociado. Segundo esses mesmos autores e Clegg e Whitfield (1995) a concentração de amônia livre pode ser calculada através das equações apresentadas no item 3.3.8.

Calli *et al.* (2005) avaliou o desempenho de cinco reatores anaeróbios tratando águas residuárias com concentrações de NAT variando entre 1.000 e 6.000 mg.L⁻¹ e NAL chegando até 800 mg.L⁻¹ obtendo remoção de DQO na faixa de 78 a 95 % para todos os cinco reatores. O autor ainda cita que o reator que apresentou melhor desempenho foi aquele cujo lodo estava adaptado a lixiviados de aterros sanitários, porém relata que o processo de adaptação pode ser lento.

Analisando-se os resultados da tentativa de adaptação da etapa inicial desse trabalho nota-se que o valor de NAL nas condições do experimento foi igual a 275,3 mg.L⁻¹ para uma temperatura máxima do líquido igual a 24 °C, pH igual a 8,40 e NAT igual a 2.350 mg.L⁻¹. Assim novamente não foi nenhum erro tentar se partir o experimento mesmo com as concentrações de nitrogênio amoniacal encontradas no lixiviado do aterro de São Carlos-SP. Mas mesmo assim, uma tentativa em se fazer o *stripping* da amônia poderia nos fornecer resultados mais concretos, apesar de todos os inconvenientes desse processo.

Um componente dos lixiviados, não muito explorado pela literatura e que pode ter contribuído para inibição da biomassa, pode ter sido a elevada salinidade do lixiviado de São Carlos-SP. Observando-se os resultados da Tabela 5.1.2 pode se notar que a concentração de sólidos dissolvidos fixos (SDF) no lixiviado de São Carlos é cerca de 2,5 vezes maior que a do lixiviado de Rio Claro-SP,

em que Contrera (2003), obteve sucesso no tratamento biológico anaeróbio. Infelizmente a remoção de sais de meios líquidos não é fácil, ainda mais no caso dos lixiviados, onde também coexiste muita matéria orgânica dissolvida, o que é um problema no caso da remoção por membranas.

5.2 – Testes de Adaptação e Seleção da Nova Biomassa (Inóculo)

5.2.1 – Teste 1 - Seleção da Estratégia de Redução de Inibição da Biomassa

Baseado nas observações e hipóteses levantadas anteriormente, foi montado um experimento utilizando-se garrafas de 2 L como ASBRs e variando-se algumas estratégias para se avaliar a redução da inibição da biomassa. A Tabela 5.2.1.1 apresenta as estratégias testadas nesse experimento cujos resultados estão nas Tabelas H.1 e H.2 do **APÊNDICE H**.

Tabela 5.2.1.1: Testes realizados para avaliação da redução da inibição da biomassa.

Teste	Estratégia de Redução da Inibição da Biomassa	Inóculo	Volume de Lix. [mL]	Substrato adicionado
A	Controle	400 mL de lodo da avícola	1000	2,0 mL de etanol*
B	<i>Stripping</i> da amônia	400 mL de lodo da avícola	1000	2,0 mL de etanol*
C	Oxidação com H ₂ O ₂	400 mL de lodo da avícola	1000	2,0 mL de etanol*
D	Diluição do lixiviado a 50%	400 mL de lodo da avícola	1000	2,0 mL de etanol*
E	Diluição do lixiviado a 25%	400 mL de lodo da avícola	1000	2,0 mL de etanol*
F	Uso de carvão ativado em pó	400 mL de lodo da avícola	1000	2,0 mL de etanol*

* Etanol combustível utilizado em veículos (92,8° INPM).

A Figura 5.2.1.1 (a) apresenta a produção diária de gás nos reatores ao longo dos seis dias do experimento. A Figura 5.2.1.1 (b) apresenta a produção de gás acumulada durante o experimento. Por estas duas figuras, pode-se notar que os dois reatores que obtiveram os melhores resultados foram os reatores onde se utilizou o lixiviado diluído, sendo que, no reator onde se diluiu mais (lixiviado diluído a 25%), a inibição da biomassa foi menor, assim o sistema teve uma resposta mais rápida, com relação à produção de gás.

Pode-se notar que, no terceiro dia a produção de gás no reator **E** foi mais que o dobro da produção do reator **D**. No final dos seis dias de experimento o volume de gás gerado por esses dois reatores foi da ordem de 3,6 vezes o volume gerado pelo controle **A**. Depois desses dois reatores, o reator que obteve o melhor resultado foi o reator **E**, em que se utilizou carvão ativado previamente como adsorvente, mas mesmo assim o resultado não foi satisfatório, pois esse reator gerou um volume apenas 1,3 vezes maior que o gerado pelo controle. Por esse resultado, pode-se notar que o carvão ativado pode até ter adsorvido algum composto que inibe o tratamento, mas talvez não foi o suficiente, ou talvez os compostos que estão inibindo o sistema, podem não ser realmente compostos orgânicos.

O outro reator que, na seqüência, apresentou ainda resultado superior ao do controle foi o reator **C**, onde se utilizou H_2O_2 , como possível oxidante para os elementos tóxicos, mas infelizmente os resultados também não foram satisfatórios, pois a geração de gás nesse reator foi somente cerca de 10 % maior que a do controle. Novamente, por esse resultado, nota-se que o problema da inibição não é causado pelos compostos recalcitrantes, ou o peróxido de hidrogênio não foi capaz de agir sobre estes compostos. E por fim, ao se analisar o resultado do *stripping* da amônia (**B**), nota-se que, esse caso foi o que apresentou o pior resultado, sendo inclusive pior que o próprio controle. Observando-se os resultados da Tabela C.3, nota-se que o *stripping* não foi muito efetivo, pois removeu somente cerca de 31 % da amônia, mas se a amônia fosse realmente o grande agente inibidor, o resultado desse teste teria que ter sido pelo menos intermediário aos resultados dos reatores **A** de controle e **D** com diluição a 50%. Assim, por outro lado, pode-se supor que, o que contribuiu ainda mais para inibição da biomassa, mesmo depois do *stripping*, foi o aumento da salinidade do lixiviado devido à introdução de mais produtos químicos além daquilo que já está dissolvido no lixiviado.

Figura 5.2.1.1: (a) Produção diária de gás (b) Produção acumulada de gás.

Figura 5.2.1.2: (a) Concentrações de N-amoniacal e (b) Alcalinidade total afluyente e efluente.

A Tabela H.3 do **APÊNDICE H** e as Figuras 5.2.1.2 e 5.2.1.3 apresentam uma síntese dos principais resultados deste teste, onde é possível verificar que, os testes que apresentaram melhores eficiências de remoção de DQO foram também aqueles onde a produção de gás foi maior, seguindo também a mesma sequência.

Figura 5.2.1.3: (a) DQO_{Filtr.} afluyente e efluente e (b) Eficiências de remoção de DQO_{Filtr.}.

Procurando-se investigar o efeito da salinidade do lixiviado de São Carlos-SP foram feitas algumas análises de Na, Ca, K, Mg, Cl e condutividade. A Tabela 5.2.1.2 apresenta as concentrações desses elementos no lixiviado de São Carlos.

Tabela 5.2.1.2: Resultados adicionais da caracterização do lixiviado de São Carlos-SP.

Parâmetro	Unidade	Valor
Condutividade	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	47.600
Na ⁺	mg.L^{-1}	3.084
K ⁺	mg.L^{-1}	2.107
Ca ⁺⁺	mg.L^{-1}	310
Mg ⁺⁺	mg.L^{-1}	80
Cl ⁻	mg.L^{-1}	2.425
Sólidos dissolvidos fixos	mg.L^{-1}	8.450

Segundo Olmo *et al.* (2005), ao avaliar o efeito antagônico do sódio sobre o tratamento de água residuária de “charqueada” com elevada salinidade em reator UASB inoculado com lodo de mesma procedência do lodo utilizado neste teste, a pesquisadora relata que notou inibição do tratamento com concentrações de sódio da ordem de 3.600 mg.L⁻¹. Considerando que neste teste o lodo de inóculo não foi gradualmente adaptado ao sódio como no trabalho supra citado, e que as concentrações de sódio do lixiviados não foram muito inferiores que as aplicadas por Olmo *et al.* (2005), é bem provável que a elevada concentração de sódio tenha contribuído para inibição do consumo de substrato, mesmo para o lixiviado em seu estado natural. Com relação ao *stripping* realizado neste teste, parece não restar dúvidas de que a elevada concentração de sódio, devido à

adição de NaOH, foi a grande responsável pela inibição do consumo do substrato, com conseqüente baixa geração de gás.

5.2.2 – Teste 2 - Seleção e Adaptação da Biomassa Através do Uso de Aditivos e Diluição dos Lixiviados

Tomando-se por base o teste anterior e as observações e hipótese levantadas no item 5.1, foi montado um experimento, utilizando-se novamente garrafas de 2 L como ASBRs e variando-se alguns parâmetros tais como: lodo de inóculo; adição ou não de etanol; diluição ou não do lixiviado; adição ou não de Fósforo, na forma de um sal ou detergente e uso ou não de meio suporte. Para medida do desempenho de cada reator, foi escolhido como parâmetro a produção de biogás e também as análises de DQO, AVT e AT, mas somente para os reatores que apresentaram os melhores desempenhos. O experimento foi mantido à temperatura ambiente sem agitação mecânica e as bateladas tiveram duração de 3 dias cada, com agitação manual uma vez por dia. Em cada reator foi adicionado 500 mL de lodo e 1,0 L de lixiviado.

Tabela 5.2.2.1: Combinações das variações de parâmetros pesquisados.

No.	Inóculo	Suporte	Proporção Inicial de Lix.	Nutriente	Substrato adicionado
01	Lodo da lagoa de lixiviados	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
02	Lodo da caixa de passagem	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
03	Estrume bovino	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
04	Estrume bovino	-	100%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
05	Lodo da avícola	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
06	Lodo da avícola	-	50%	-	4 mL de etanol*
07	Lodo da avícola	-	50%	1 gota deterg.	-
08	Lodo da avícola	-	50%	-	-
09	Lodo da avícola	-	100%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
10	Lodo da avícola	-	100%	-	4 mL de etanol*
11	Lodo da avícola	-	100%	1 gota deterg.	-
12	Lodo da avícola	-	100%	-	-
13	-	-	água pura	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
14	-	-	50%	1 gota deterg.	4 mL de etanol*
15	Lodo da lagoa de lixiviados	espuma	50%	1 g K ₂ HPO ₄	4 mL de etanol*
16	Lodo da lagoa de lixiviados	espuma	100%	2 g K ₂ HPO ₄	4 mL de etanol*
17	Lodo da avícola	-	50%	1 g K ₂ HPO ₄	4 mL de etanol*
18	Lodo da avícola	-	100%	2 g K ₂ HPO ₄	4 mL de etanol*

* Etanol comercial de limpeza (46° INPM), vendido em supermercados.

A concentração de nitrogênio amoniacal afluyente dos reatores também foi analisada, para se saber a que nível de concentrações de amônia os reatores foram submetidos. A Figura 5.2.2.1 apresenta as concentrações de N-amoniacal afluyente nos reatores que receberam lixiviado diluído e

sem diluição. Nota-se por essa figura, que as concentrações de N-amoniacal do lixiviado sem diluição variaram muito pouco durante o período de tempo do experimento.

A Tabela 5.2.2.1 apresenta todas as variações pesquisadas e as tabelas com os resultados deste teste estão apresentadas no **APÊNDICE I**.

Figura 5.2.2.1: Concentrações de N-amoniacal afluyente nos reatores que receberam lixiviado diluído e sem diluição.

Além das tabelas com os resultados de todos os reatores, o **APÊNDICE J** também apresenta os gráficos e as discussões dos resultados para cada um dos reatores utilizados neste segundo teste.

Como o objetivo geral deste segundo teste foi a avaliação do efeito de cada uma das estratégias de redução da inibição da biomassa, além de sua seleção, a seguir são apresentados cada um dos efeitos estudados nesta avaliação e seleção.

5.2.2.1 – Efeito da Adição de Fósforo

As Figuras 5.2.2.1.1 a 5.2.2.1.4 apresentam os resultados da produção de gás dos reatores 05, 06, 09, 10, 17 e 18 agrupados em dois grupos para se avaliar o efeito da adição de Fósforo com relação à geração de gás nos reatores. As Figuras 5.2.2.1.1 (a) e (b) avaliam o efeito nos reatores que receberam substrato contendo inicialmente o lixiviado diluído. As Figuras 5.2.2.1.2 (a) e (b) avaliam o efeito nos reatores que receberam como substrato o lixiviado sem diluição alguma durante todo o experimento.

No primeiro caso tomou-se como parâmetro de controle os resultados do reator 06, que não recebeu nenhuma adição de fósforo. Esse reator foi comparado com o reator 05 que recebeu detergente e com o reator 17 que recebeu K_2HPO_4 .

Pode-se dizer que até a décima quarta batelada não havia nenhuma diferença considerável entre os resultados dos reatores 06 e 17, que tiveram desempenho um pouco melhor que o do reator 05. Da décima quarta até a vigésima quinta batelada o reator 17 se sobressaiu quanto à produção de

gás, mas a partir daí até o final apresentou uma queda contínua de produção de gás, sendo superado até pelo reator 05, que até então produzira os piores resultados.

Figura 5.2.2.1.1: (a) Temperatura do líquido e volume de gás gerado nos reatores 05, 06 e 17 e (b) Efeito da adição de Fósforo nos reatores 05 e 17 em relação ao reator 06.

Apesar dessas variações não dá para se concluir se o efeito da adição de Fósforo foi maléfico ou benéfico aos sistemas, pois a diferença de resultados foi muito pequena, o que pode levar à conclusão de que a adição de Fósforo não surtiu praticamente efeito algum, ou que o efeito foi praticamente desprezível.

Com relação aos reatores 09, 10 e 18, que receberam como substrato o lixiviado sem diluição, as diferenças de comportamento foram ainda menores. Nesse caso tomou-se como parâmetro de controle os resultados de produção de gás apresentados pelo reator 10, em relação ao reator 09 que recebeu detergente como fonte de Fósforo e o reator 18 que recebeu K_2HPO_4 .

Figura 5.2.2.1.2: (a) Temperatura do líquido e volume de gás gerado nos reatores 09, 10 e 18 e (b) Efeito da adição de Fósforo nos reatores 09 e 18 em relação ao reator 10.

Novamente as diferenças das variações ocorridas na produção de gás desses reatores foram muito pequenas e praticamente randômicas entre si, assim pode-se concluir novamente e que a adição de Fósforo não surtiu praticamente efeito algum, ou que o efeito foi praticamente desprezível.

Observa-se nesses dois casos analisados, que independente da diluição ou não do lixiviado a adição de Fósforo não melhorou e nem piorou sensivelmente o desempenho dos reatores analisados.

5.2.2.2 – Efeito da Diluição Inicial

Como no caso anterior se verificou que a adição de Fósforo não surtiu nenhum efeito considerável na produção de gás, assim para análise do efeito da diluição foram considerados somente dois dos seis reatores com mesmo inóculo, um deles (06), que recebeu inicialmente o lixiviado diluído, e o outro (10), que recebeu o lixiviado sem diluição durante todo o período. A Figura 5.2.2.2.1 (a) apresenta uma comparação entre a média dos resultados dos reatores que receberam inicialmente o lixiviado diluído (05, 06 e 17) e a média dos resultados dos reatores que receberam o lixiviado sem diluição (09, 10 e 18).

Figura 5.2.2.2.1: (a) Comparação entre os resultados do reator (06) que recebeu lixiviado diluído em relação ao reator (10) que recebeu lixiviado sem diluição e (b) Efeito da não diluição em relação à diluição do lixiviado.

A Figura 5.2.2.2.1 (b) apresenta o efeito da não diluição em relação à diluição do lixiviado. Nota-se por esta figura, que inicialmente o efeito da diluição do lixiviado foi bastante benéfico para atividade da biomassa. Porém, verificou-se que utilizando o lixiviado puro, a adaptação da biomassa ocorreu mais rápida, pois quando se aumenta a proporção de lixiviado no substrato dos reatores que receberam inicialmente o lixiviado diluído, esses reatores sentiram esse aumento e reduziram a sua produção de gás, enquanto que os reatores que receberam somente o lixiviado sem diluição

conseguiram partir na décima segunda batelada e em seguida também melhoram sensivelmente a produção de gás, superando a partir da décima oitava batelada os reatores que receberam o lixiviado inicialmente diluído.

Os resultados apresentados anteriormente mostram que a diluição inicial do lixiviado pode levar a bons resultados iniciais, porém a não diluição pode fazer com que a biomassa apresente uma partida bem definida e esteja possivelmente mais bem adaptada ao lixiviado logo após a partida do sistema.

É importante notar que os resultados apresentados anteriormente foram para o lodo proveniente da avícola e que, para outros lodos, em outras circunstâncias, os resultados podem ser bem diferentes, como os resultados apresentados a seguir, para o lodo proveniente da lagoa de lixiviados.

A Figura 5.2.2.2.2 apresenta os resultados da produção de gás do reator 15, que recebeu inicialmente lixiviado diluído, e o reator 16 que recebeu lixiviados sem diluição. Ambos os reatores foram inoculados com lodo proveniente de uma lagoa de lixiviados e era de se esperar que, para esse lodo, o efeito da diluição fosse menos benéfico que para o lodo da avícola, mas surpreendentemente o reator 16, que recebeu somente lixiviados sem diluição, praticamente parou de gerar gás a partir da décima primeira batelada. Uma possível explicação para isso, é que esse lodo foi retirado da Lagoa 3, ou seja, da lagoa que continha o lixiviado menos concentrado, e esse lodo possivelmente não estava totalmente adaptado ao lixiviado mais concentrado que vinha direto do aterro.

Figura 5.2.2.2.2: Comparação entre os resultados do reator 15, que recebeu inicialmente lixiviado diluído com o reator 16, que recebeu lixiviados sem diluição.

Nesse último caso pode-se concluir que, para o lodo proveniente da lagoa de lixiviados, a diluição inicial do lixiviado foi essencial para redução da inibição provocada pelo lixiviado e contribuiu para adaptação da biomassa.

5.2.2.3 – Efeito da Adição de Etanol

Quanto ao efeito da adição de Etanol como complemento ao substrato, comparou-se os resultados dos reatores 06 e 08. Esses dois reatores continham o mesmo tipo de inóculo e foram submetidos às mesmas condições de operação, com a exceção de que, o reator 08 não recebeu adição de etanol ao seu substrato.

A Figura 5.2.2.3.1 apresenta uma comparação entre os resultados da produção de gás dos reatores 06 e 08. Por essa figura pode-se notar que foi realmente muito grande a diferença na produção de gás entre os dois reatores e que a adição de Etanol foi realmente benéfica, pois a partir da sétima batelada, o reator 08 praticamente não produziu gás, e certamente faliu por falta de substrato de fácil assimilação.

Nota-se, portanto, que em algumas circunstâncias, o lixiviado mesmo que diluído não pode ser degradado pelos microrganismos. A redução da atividade da biomassa no reator 08 até a produção de gás igual a zero, não pode ter sido causada por inibição, pois o reator 06, nas mesmas condições, porém recebendo etanol, apresentou desempenho satisfatório e muito melhor que o do reator 08.

Assim, pode-se concluir que, o lixiviado utilizado neste teste possuía uma parcela muito elevada de matéria recalcitrante ou inerte, ou seja, de difícil degradação biológica anaeróbia e que mesmo a parcela não recalcitrante, não foi suficiente para manter a biomassa ativa por muito tempo. Portanto, isso serviu como um indicativo de que a adição de Etanol pode ser necessária, mesmo que em pequenas concentrações e por algum período de tempo, para se manter a biomassa ativa quando o sistema de tratamento estiver recebendo, momentaneamente talvez, uma elevada carga de matéria recalcitrante.

Figura 5.2.2.3.1: Comparação entre os resultados da produção de gás dos reatores 06 e 08.

5.2.2.4 – Efeito do Tipo de Inóculo

Com relação ao efeito do tipo de inóculo, o estrume bovino e o lodo da caixa de passagem não tiveram bons resultados e foram descartados logo no início deste teste. Como o lodo da avícola e o lodo da lagoa de lixiviados foram os inóculos que apresentaram os melhores resultados, foram mantidos até o fim deste teste somente os reatores que continham esse tipo de inóculo.

Como comparação entre esses dois inóculos a Figura 5.2.2.4.1 apresenta os resultados da produção de gás dos reatores 01 e 06. O reator 01 recebeu como inóculo o lodo proveniente da lagoa de lixiviados e o reator 06, o lodo da avícola.

Figura 5.2.2.4.1: Comparação entre os resultados da produção de gás dos reatores 01 e 06.

Nota-se pela Figura 5.2.2.4.1, que até a vigésima primeira batelada o reator 06 apresentou resultados melhores que os resultados do reator 01, porém a partir da vigésima segunda batelada a produção de gás do reator 01 superou a do reator 06. Como essa inversão de desempenhos ocorreu muito próxima do início da utilização do lixiviado sem diluição como substrato, pode-se concluir que o lodo da lagoa se adaptou melhor ao lixiviado sem diluição, que o lodo da avícola, após o aumento de carga.

5.2.2.5 – Efeito da Imobilização da Biomassa em Meio Suporte

Ambos os reatores 01 e 15 foram inoculados com lodo proveniente da lagoa de lixiviados, porém no reator 15 o lodo foi imobilizado em pedaços de espuma de poliuretano.

A Figura 5.2.2.5.1 apresenta uma comparação entre os resultados da produção de gás dos reatores 01 e 15. Apesar dos resultados do reator 01 terem sido melhores ao longo de praticamente todo este teste, a estratégia de imobilização desse lodo é necessária para esse lodo, pois ele é muito fino e de difícil sedimentação. Ambos os reatores perderam muito lodo ao longo do experimento. O

reator 15 provavelmente perdeu mais lodo, pois para se separar o gás da espuma era necessário se agitar fortemente este reator, o que acabava desprendendo também o lodo da espuma, que era carregado junto com o efluente do reator. Mas em uma situação onde a espuma estiver estática a imobilização desse lodo parece ser uma alternativa bastante viável, em relação à sua utilização sem meio suporte, pois seriam necessários tempos muito elevados para sedimentação.

Figura 5.2.2.5.1: Comparação entre os resultados da produção de gás dos reatores 01 e 15.

Por fim, foram feitos exames de algumas amostras dos reatores utilizados neste teste, através de microscopia ótica. As Figuras 5.2.2.5.2 (a) e (b) apresentam o resultado da microscopia do lodo da avícola antes do teste, onde se observou uma predominância da morfologia *methanosaeta* (a), em relação à morfologia *methanosarcina* (b), em quantidade muito menor. A Figura 5.2.2.5.2 (c) apresenta o resultado da microscopia do lodo da lagoa de lixiviados antes do teste, onde se observou também uma predominância da morfologia *methanosaeta*, seguida por cocos e bacilos. Na Figura 5.2.2.5.2 (e) são apresentadas algumas das morfologias encontradas no exame de uma amostra retirada do reator 10 no final do Teste 2, que recebeu, inicialmente como inoculo, o lodo da avícola. Notou-se nesse lodo que a morfologia *methanosaeta* praticamente desapareceu e ocorreu uma maior predominância de bacilos, seguidos por *methanosarcinas* e cocos. A Figura 5.2.2.5.2 (f) apresenta o exame de uma amostra retirada do reator 01 no final do Teste 2, que recebeu inicialmente como inoculo, o lodo da lagoa de lixiviados. Notou-se também nesse lodo, a predominância quase que total da morfologia *methanosarcina* e a inexistência da morfologia *methanosaeta*.

Assim, de forma geral, nota-se que a morfologia *methanosaeta* tende a desaparecer em reatores tratando lixiviados, enquanto a morfologia *methanosarcina* parece se adaptar melhor e se desenvolver muito bem nesse tipo de ambiente.

Figura 5.2.2.5.2: (a) *Methanosaetas* e (b) *Methanosarcina* no inoculo da avícola; (c) *Methanosaetas*, cacos e bacilos no inóculo da lagoa de lixiviados; (d) Cocos e bacilos e (e) *Methanosarcina*, cacos e aglomerado de bacilos em amostra do reator 10; (f) *Methanosarcinas* em amostra do reator 01.

5.2.3 – Teste 3 – Efeito da Redução da Adição de Etanol

Neste teste pretendeu-se avaliar o efeito da redução da adição de etanol no substrato dos reatores. Para esse teste foram utilizados alguns dos reatores do teste anterior, porém sem adição de sais de Fósforo e detergente que não mostraram serem significativos na melhora do desempenho dos reatores. Para efeito de comparação entre os reatores e verificação da adaptação, adotou-se também um reator de controle que foi inoculado com biomassa (lodo granular) não adaptada.

Como, antes desse teste os reatores estiveram parados por aproximadamente 15 dias, foram realizadas inicialmente cinco bateladas com o lixiviado recebendo 4,0 mL de etanol 46° INPM, com duração de uma semana cada batelada, para se “reativar” a biomassa. Depois dessas cinco bateladas procedeu-se com a redução da adição de etanol até zero nas últimas bateladas, porém, a partir da décima terceira batelada, o lixiviado proveniente do aterro sanitário passou a apresentar uma concentração bem maior de AVT, o que acabou estimulando novamente a produção de gás nos reatores, apesar da redução da quantidade de etanol adicionada. Todos os resultados deste teste encontram-se tabelados no **APÊNDICE K**.

A Figura 5.2.3.1 apresenta o volume diário de gás gerado por batelada. A Figura 5.2.3.2 apresenta o volume de gás gerado acumulado por batelada. A Figura 5.2.3.3 apresenta o efeito da redução da adição de etanol no substrato dos reatores 01, 05, 06, 09, 10, 15, 17, 18 e do controle e a

Figura 5.2.3.4 apresenta o efeito do aumento da concentração de AVT no lixiviado afluente dos reatores.

Figura 5.2.3.1: Volume diário de gás gerado por batelada.

Figura 5.2.3.2: Volume de gás gerado, acumulado por batelada.

Figura 5.2.3.3: Efeito da redução da adição de etanol no substrato dos reatores e o volume de gás gerado por batelada.

Figura 5.2.3.4: Efeito do aumento da concentração de AVT no lixiviado em relação ao volume de gás gerado por batelada.

Como se pode notar na Figura 5.2.3.1 o comportamento de todos os reatores foi muito parecido, com exceção do controle. Depois da quinta batelada, todos os reatores apresentaram uma queda considerável na produção de gás, devido à redução da adição de etanol, porém a partir da batelada 13, mesmo sem adição de etanol, os reatores começaram a produzir muito mais gás, devido à mudança das características do lixiviado, que vinha do aterro e que passou a apresentar elevadas concentrações de ácidos voláteis totais.

Assim, o que se notou neste teste foi que se o lixiviado possui baixas concentrações de ácidos, só ocorre geração considerável de gás com adição de etanol, mas se o lixiviado possui elevadas concentrações de ácidos, ocorre naturalmente uma produção elevada de gás.

5.2.4 – Teste 4 – Efeito da Redução da Concentração de N-amoniacal

Este quarto teste foi realizado com o objetivo de se observar, se era possível estimular ou acelerar a produção de gás em reatores ASBR, em escala de bancada, adotando-se estratégias de redução das concentrações de N-amoniacal. Os resultados deste quarto teste encontram-se no **APÊNDICE L**, na Tabela L.1, que apresenta as características do lixiviado junto com a produção total de gás em cada batelada e na Tabela L.2, que apresenta o resultado do acompanhamento da geração diária de gás nos reatores. A Figura 5.2.4.1 apresenta a produção diária de gás medida nos reatores e a Figura 5.2.4.2 apresenta os resultados da produção acumulada para cada batelada de 5 dias.

Observa-se pelas Figuras 5.2.4.1 e 5.2.4.2 que a produção de gás na primeira batelada foi bem menor em relação às demais, devido ao fato de que na primeira batelada, se utilizou o lodo granular proveniente do reator UASB do aviário. Depois da primeira batelada, o lodo foi substituído por um lodo de descarte do filtro biológico (R5), que estava no final de sua etapa de adaptação. Este filtro

biológico também fez parte desta pesquisa e seus resultados serão apresentados em itens seguintes. Dessa forma, esse novo inóculo já estava totalmente adaptado ao lixiviado.

Nas duas bateladas seguintes, todos os reatores foram operados em condições idênticas e somente a partir da quarta batelada é que foram variadas as composições dos líquidos introduzidos em cada reator.

Figura 5.2.4.1: Resultados da produção diária de gás medida nos reatores no Teste 4.

Figura 5.2.4.2: Resultados da produção acumulada de gás para cada batelada medida nos reatores no teste 4.

A Tabela 5.2.4.1 apresenta os resultados médios da produção diária de gás dos reatores para as bateladas 2 e 3 e para as bateladas 4, 5, 6 e 7.

A Figura 5.2.4.3 (a) apresenta os resultados médios da produção diária de gás nas bateladas 2 e 3, e a Figura 5.2.4.3 (b) apresenta os resultados médios da produção diária de gás nas bateladas 4, 5, 6 e 7. Nestas figuras pode-se observar basicamente que suas formas são diferentes e que na Figura 5.2.4.3 (b) os resultados estão mais dispersos que os da Figura 5.2.4.3 (a), que apresenta seus resultados mais agrupados, o que também pode ser observado através dos desvios padrões da Tabela

5.2.4.1. A primeira observação pode ser explicada pelo fato de que, entre o descarte do lodo no filtro biológico e a sua utilização no teste 4 o lodo permaneceu armazenado por cerca de duas semanas em garrafas plásticas, sem alimentação e portanto pode ter entrado em estado de latência. Ao se observar a Figura 5.2.4.1 pode-se observar mais claramente a mudança no comportamento das curvas ao longo das bateladas e notar como o lodo se reativou novamente. Quanto à segunda observação, acredita-se que se deve ao fato de uma pequena variação no comportamento dos reatores devido à mudança nas características dos líquidos de cada reator. Nota-se também que apesar de promover uma dispersão nos resultados, a mudança nas características dos líquidos de cada reator apresentou variações muito pouco significativas.

Tabela 5.2.4.1: Resultados médios da produção diária de gás no Teste 4.

Batelada:	Média das Bateladas 2 e 3					Média das Bateladas 4, 5, 6 e 7				
Dia:	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Temp. [°C]:	22,4	24,0	23,9	24,2	24,4	24,4	24,0	24,1	22,5	22,9
Reator	Volume [mL.dia ⁻¹]					Volume [mL.dia ⁻¹]				
R1	220	295	175	115	90	275	231	141	94	59
R2	203	283	168	120	93	281	226	129	110	86
R3	215	325	188	120	93	274	235	153	123	71
R4	225	285	183	113	95	296	234	141	95	64
R5	220	315	180	115	93	278	230	139	95	60
R6	225	315	173	115	93	313	269	130	80	53
R7	218	288	168	115	93	301	259	128	79	56
R8	223	313	178	120	90	303	258	179	111	73
R9	223	305	173	115	93	321	264	161	108	69
Média	219	303	176	116	92	293	245	144	99	66
Desv. Padr.	7	15	6	3	1	16	16	16	14	10

(a)

(b)

Figura 5.2.4.3: (a) Resultados médios da produção de gás das bateladas 2 e 3, e (b) Resultados médios da produção de gás das bateladas 4, 5, 6 e 7.

A Figura 5.2.4.4 (a) apresenta a relação entre a produção de gás média dos reatores de controle 1 e 2 em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 2 e 3. Observa-se por essa figura, que a produção de gás de praticamente todos os demais reatores, foi um pouco superior à

média da produção de gás dos dois controles, porém a máxima diferença observada na produção diária não chegou aos 15%, ficando ainda menor no final da batelada. A Figura 5.2.4.4 (b) apresenta a relação entre a produção de gás média dos reatores de controle 1 e 2, em relação aos demais reatores para os resultados médios das bateladas 4, 5, 6 e 7. Observa-se por essa figura, que a produção de gás de praticamente todos os demais reatores foi um pouco superior à média da produção de gás dos dois controles, superando até os 30%, porém, caindo ao final da batelada para valores inferiores ao do controle. Entretanto o que realmente diferencia o comportamento de cada reator é a produção acumulada de gás.

Figura 5.2.4.4: (a) Relação entre a produção de gás média dos controles, em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 2 e 3, e (b) Relação entre a produção de gás média dos controles em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 4, 5, 6 e 7.

A Tabela 5.2.4.2 apresenta os resultados médios da produção acumulada de gás dos reatores para as bateladas 2 e 3 e para as bateladas 4, 5, 6 e 7.

A Figura 5.2.4.5 (a) apresenta os resultados médios da produção acumulada de gás nas bateladas 2 e 3, e a Figura 5.2.4.5 (b) apresenta os resultados médios da produção acumulada de gás nas bateladas 4, 5, 6 e 7. Tal como observado anteriormente, pode-se notar também nestas figuras, que os resultados da Figura 5.2.4.5 (b) estão mais dispersos que os da Figura 5.2.4.5 (a), que apresenta seus resultados mais agrupados. Isso novamente se deve ao fato de uma pequena variação no comportamento dos reatores, devido à mudança nas características dos líquidos de cada reator. Nota-se também, que apesar de promover uma dispersão nos resultados, a mudança nas características dos líquidos de cada reator, apresentou variações muito pouco significativas. Esse fato também pode ser notado na Tabela 5.2.4.2, ao se observar o aumento dos desvios padrão, entre as condições iniciais (bateladas 2 e 3) e finais (bateladas 4, 5, 6 e 7). Nota-se também pela Tabela 5.2.4.2 e pelas Figuras 5.2.4.5 (a) e (b), que ocorreu uma pequena redução na média geral da produção acumulada de gás nos reatores. Uma possível causa para essa queda na geração de gás pode ter sido a perda de biomassa que

ocorria toda vez em que se substituí o líquido dos reatores, pois o inóculo era muito parecido com uma lama de granulometria muito fina e de difícil sedimentação. A tendência de queda na produção de gás observada na Figura 5.2.4.2 também contribuiu para confirmar a perda contínua de biomassa que era visível nos efluentes. Porém, ao se observar a Figura 5.2.4.5 (b), nota-se que nos reatores 8 e 9, praticamente não ocorreu queda na produção de gás, talvez por um estímulo da biomassa, que compensou inclusive a sua perda ao longo das bateladas.

Tabela 5.2.4.2: Resultados médios da produção acumulada de gás no Teste 4.

Batelada:	Média das Bateladas 2 e 3						Média das Bateladas 4, 5, 6 e 7					
Dia:	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Temp. [°C]:	-	22,4	24,0	23,9	24,2	24,4	-	24,4	24,0	24,1	22,5	22,9
Reator	Volume [mL.dia ⁻¹]						Volume [mL.dia ⁻¹]					
R1	0	220	515	690	805	895	0	275	506	648	741	800
R2	0	203	485	653	773	865	0	281	508	636	746	833
R3	0	215	540	728	848	940	0	274	509	661	784	855
R4	0	225	510	693	805	900	0	296	530	671	766	830
R5	0	220	535	715	830	923	0	278	508	646	741	801
R6	0	225	540	713	828	920	0	313	581	711	791	844
R7	0	218	505	673	788	880	0	301	560	688	766	823
R8	0	223	535	713	833	923	0	303	560	739	850	923
R9	0	223	528	700	815	908	0	321	585	746	854	923
Média	0	219	521	697	814	906	0	293	538	683	782	848
Desv. Padr.	0	7	18	22	22	22	0	16	31	38	41	43

(a)

(b)

Figura 5.2.4.5: (a) Resultados médios da produção acumulada de gás das bateladas 2 e 3, e (b) Resultados médios da produção acumulada de gás das bateladas 4, 5, 6 e 7.

A Figura 5.2.4.6 (a) apresenta a relação entre a produção de gás média dos reatores de controle 1 e 2, em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 2 e 3. Observa-se por essa figura, que a produção de gás de todos os demais reatores foi um pouco superior à média da produção de gás dos dois controles, porém, a máxima diferença observada na produção diária superou

em pouco os 8%. A Figura 5.2.4.6 (b) apresenta a relação entre a produção de gás média dos reatores de controle 1 e 2, em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 4, 5, 6 e 7. Observa-se por essa figura, que a produção de gás de praticamente todos os demais reatores, foi um pouco superior à média da produção de gás dos dois controles, superando os 15%, porém, caindo um pouco ao final da batelada.

Figura 5.2.4.6: (a) Relação entre a produção de gás acumulada média dos controles, em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 2 e 3, e (b) Relação entre a produção de gás acumulada média dos controles, em relação aos demais reatores, para os resultados médios das bateladas 4, 5, 6 e 7.

Para se notar se houve ou não estímulo da produção de gás em um dos reatores, deve-se comparar o seu resultado relativo antes e depois da mudança do substrato, em relação aos controles. A Figura 5.2.4.7 apresenta a diferença entre as relações de produção de gás média das bateladas 4, 5, 6 e 7, e a produção de gás média das bateladas 2 e 3.

Figura 5.2.4.7: Diferença entre as relações de produção de gás média das bateladas 4, 5, 6 e 7, e a produção de gás média das bateladas 2 e 3.

Como as diferenças notadas antes e depois da substituição dos substratos foi muito pequena, é realmente muito difícil afirmar com certeza se houve ou não estímulo na geração de gás dos reatores. Mas, ao se observar o reator R3, por exemplo, nota-se uma pequena queda na geração de gás em relação ao controle, da condição inicial (lixiviado sem diluição), para condição final (lixiviado diluído a 25%), como pode ser notado na Figura 5.2.4.7. Ao se observar o reator R4, nota-se que não houve variação considerável depois que se iniciou a utilização do lixiviado diluído a 50%. Com relação a R5, nota-se uma queda relativa em torno de 5% em relação ao controle, depois que se diluiu o lixiviado a 50% e se fez a reposição do sódio com NaHCO_3 . O comportamento de R6 também não apresentou variação considerável depois que se diluiu o lixiviado a 50% e se fez a reposição de N-amoniacal através da adição de NH_4HCO_3 , principalmente no final da batelada. Com relação a R7, a diluição do lixiviado a 50%, com reposição do sódio e do N-amoniacal, parece que produziu um pequeno estímulo da produção de gás no início da batelada, em relação à utilização do lixiviado sem diluição, mas no final da batelada, produziu em média o mesmo efeito. Ao se observar os resultados de R8, nota-se que no início da batelada o *stripping* da amônia não teve efeito significativo, mas no final da batelada parece que contribuiu para um incremento na produção total de gás em aproximadamente 8%. Com relação a R9, pode-se notar que a fervura do lixiviado para eliminação de N-amoniacal, parece que estimulou ligeiramente a produção de gás ao longo de toda a batelada, com um incremento de aproximadamente 10% na produção de gás.

De maneira geral, parece que a redução da concentração de N-amoniacal não estimulou a produção de gás nos reatores, nem quando se diluiu o lixiviado a 50% ou a 25%, e nem quando se fez o *stripping* através da fervura, ou através da elevação do pH seguida por aeração. Talvez, o fato do lodo já estar pré-adaptado ao lixiviado, fez com que a redução nas concentrações de N-amoniacal não fossem relevantes para os microrganismos.

De qualquer forma, nos dois reatores onde ocorreu um pequeno estímulo da produção de gás, foi onde se promoveu o *stripping*, através da aeração ou da ebulição do lixiviado. É possível que a aeração ou a fervura possa ter eliminado, mesmo que parcialmente, algum componente tóxico do lixiviado e assim tenha contribuído para esse ligeiro incremento na produção de gás. Em comum, esses dois reatores também tiveram a adição de H_3PO_4 , mas como foi verificado no Teste 2 a adição de fósforo também não teve efeito considerável em relação à melhora do desempenho dos sistemas anaeróbios ao tratar lixiviados de aterros sanitários. Mas, mesmo assim, como as variações foram muito pequenas, fica difícil tirar qualquer conclusão mais forte deste Teste 4.

5.2.5 – Síntese dos Testes Realizados

De forma geral e resumida os testes realizados indicaram que para este estudo em particular:

- 1) A adição de fósforo como nutriente não favoreceu e nem melhorou a adaptação da biomassa ao lixiviado no sistema estudado;
- 2) A diluição do lixiviado favoreceu a adaptação inicial da biomassa, mas não promoveu a melhora da sua biodegradabilidade;
- 3) A adição de etanol é essencial para adaptação da biomassa ao lixiviado quando ele for extremamente recalcitrante;
- 4) Se o lixiviado possuir concentrações elevadas de AVT, pode não ser necessário a adição de etanol para adaptação da biomassa;
- 5) É possível a adaptação de biomassa a lixiviados de aterros sanitários com concentração de nitrogênio amoniacal da ordem de 2.500 mg.L^{-1} ;
- 6) Não é necessário a realização do *stripping* da amônia para adaptação da biomassa aos lixiviados;
- 7) Lodos provenientes de lagoas de acúmulo de lixiviados de aterros sanitários podem ser inóculos melhores que os provenientes de outros tipos de tratamento biológico e
- 8) A utilização de espuma como meio suporte pode ser uma boa alternativa para fixação de biomassa não granular, como a do lodo coletado no fundo da lagoa de lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP.

5.3 – Segunda Etapa – Tentativa de Adaptação da Biomassa com Diluição Inicial do Lixiviado e Adição de Etanol nos Reatores em Escala Piloto

Baseado nos testes realizados e nas observações feitas nos item 5.1, a nova estratégia de partida teve como base, a diluição inicial do lixiviado em 50 % e adição de etanol como substrato complementar para biomassa. Para se evitar perda de biomassa, na fase de adaptação, foram realizadas bateladas com uma semana de duração.

Os inóculos utilizados nos dois reatores foram selecionados com base nos resultados do Teste 2. Assim, o ASBR (R1) foi inoculado novamente com o lodo granular proveniente da avícola e o ASBBR (R3) foi inoculado com o lodo proveniente de uma lagoa de lixiviados que estava sendo esvaziada. A Tabela 5.3.1 apresenta algumas características e propriedades físicas dos lodos utilizados como inóculo.

Os resultados da operação dos reatores ASBR e ASBBR são apresentados nos itens a seguir. Os resultados numéricos da operação do ASBR (R1) estão apresentados nos **APÊNDICES M e O** e os resultados numéricos da operação do ASBBR (R3) estão apresentados nos **APÊNDICES P e R**.

Tabela 5.3.1: Características e propriedades físicas dos lodos de inóculo utilizados.

Parâmetro	Lodo da Avícola	Lodo da Lagoa de Lixiviados
Densidade	1,014 kg.L ⁻¹ *	1,155 kg.L ⁻¹ **
Teor de umidade	94,75 % *	74,43 % **
Sólidos totais	53,27 g.L ⁻¹	255,74 g.L ⁻¹
Sólidos totais fixos	0,73 g.L ⁻¹	190,59 g.L ⁻¹
Sólidos totais voláteis	52,54 g.L ⁻¹	65,15 g.L ⁻¹

OBS: * Com os vazios entre grânulos saturados de água; ** Na umidade natural média.

5.4 – ASBR (R1)

5.4.1 – Resultados do Acompanhamento do ASBR (R1)

Os resultados da operação do ASBR (R1) estão apresentados no **APÊNDICE M**, nas Figuras 5.4.1.1 a 5.4.1.7 e nas Figuras N.1.1 a N.1.13 do **APÊNDICE N**. A Figura 5.4.1.1 (a) apresenta as temperaturas médias em cada batelada e observa-se que, na média, as temperaturas estiveram sempre entre 17 e 27 °C. Na Figura 5.4.1.1 (b) é apresentado o acompanhamento do pH afluente e efluente de R1. Nota-se, por essa figura, que o pH do afluente foi quase sempre superior a 8,0 e que o pH do efluente sempre foi mais baixo que o do afluente devido, certamente, à acidificação do etanol adicionado, que não era totalmente consumido na batelada.

Figura 5.4.1.1: (a) Temperatura média das bateladas e (b) pH afluente e efluente.

A Figura 5.4.1.2 (a) apresenta os resultados de ácidos voláteis totais e a Figura 5.4.1.2 (a) a eficiência de remoção dos AVT. Nota-se, pelas figuras, que a concentração de AVT no efluente, foi

quase sempre maior que a do afluente, com pequena remoção somente nas bateladas 4, 9 e 16. Tal fato, também confirma a observação feita anteriormente para o pH do efluente, em relação ao afluente.

Figura 5.4.1.2: (a) Ácidos voláteis totais afluente e efluente, e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais.

Na Figura 5.4.1.3 (a) são apresentadas as alcalinidades totais do afluente e do efluente de R1, e na Figura 5.4.1.3 (b), a sua remoção ou geração. Observa-se que, durante quase todo o período o sistema removeu, ou consumiu alcalinidade devido, certamente, à acidificação do etanol, que não era totalmente consumido na batelada.

Figura 5.4.1.3: (a) Alcalinidade total afluente e efluente e (b) Remoção ou geração de alcalinidade total.

As concentrações de N-amoniaco no afluente são apresentadas na Figura 5.4.1.4 (a), onde é possível notar que foram aumentando conforme se diminuía a diluição do lixiviados, mas foram sempre inferiores a 2.500 mg NH₃-N.L⁻¹.

A Figura 5.4.1.4 (b) apresenta a DQO_{Total} e a $DQO_{Filtr.}$ do lixiviado antes da diluição, e apresenta também a porcentagem de lixiviado, em termos da $DQO_{Filtr.}$, depois da diluição do lixiviado em R1.

Figura 5.4.1.4: (a) N-amoniaco afluente e (b) DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e concentração de lixiviado no substrato de alimentação.

A Figura 5.4.1.5 (a) apresenta os resultados de DQO_{Total} afluente e efluente de R1 e a Figura 5.4.1.5 (b) apresenta a eficiência de remoção de DQO_{Total} . Nota-se, por essas figuras, que a DQO_{Total} do efluente foi quase sempre maior que a do afluente, com exceção das bateladas 4 e 5, onde as eficiências de remoção foram da ordem de 10%.

Figura 5.4.1.5: (a) DQO_{Total} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO_{Total} .

A Figura 5.4.1.6 (a) apresenta os resultados de $DQO_{Filtr.}$ afluente e efluente de R1 e a Figura 5.4.1.6 (b) apresenta a eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a quantidade de etanol adicionada por batelada. Nota-se, por essas figuras, que a $DQO_{Filtr.}$ do efluente foi também, na maior parte das

bateladas, maior que a do afluente, com exceção das bateladas 4, 12, 14, 15 e 16, onde as eficiências de remoção foram inferiores a 10%.

Figura 5.4.1.6: (a) DQO_{Filtr.} afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO_{Filtr.}.

Na Figura 5.4.1.7 (a) são apresentadas as cargas orgânicas aplicadas e removidas pelo reator, como DQO_{Filtr.}, **levando-se em consideração também a carga do etanol adicionado**, e é justamente por esse motivo que apesar de praticamente não haver remoção de DQO, ocorreu remoção de carga orgânica. Observa-se que as cargas máximas aplicadas foram da ordem de 10 kg DQO_{Filtr.}.Bat.⁻¹ e as removidas foram da ordem de 6 kg DQO_{Filtr.}.Bat.⁻¹ principalmente depois da batelada 12, onde se iniciou a operação com lixiviado sem diluição. De acordo com a Figura 5.4.1.7 (b) a máxima eficiência observada foi superior a 75%.

Figura 5.4.1.7: (a) Carga orgânica filtrada aplicada e removida e (b) Eficiência de remoção da carga orgânica aplicada.

Como os resultados do acompanhamento, tanto de sólidos como de metais, possuem um papel secundário neste trabalho, eles estão apresentados nas Figuras N.1.1 a N.1.13 do **APÊNDICE N**.

Por fim, mesmo essa nova estratégia de adaptação da biomassa, com diluição do lixiviado e adição do etanol, parece que não foi suficiente para que este sistema apresentasse bons resultados. O maior problema observado foi a flotação e a desagregação dos grânulos, que independentemente de acidente ocorrido, acabariam por inviabilizar a operação deste sistema nas bateladas seguintes.

5.4.2 – Perfis Temporais de Concentração Realizados no ASBR (R1)

Os resultados numéricos dos perfis temporais de concentração realizados no ASBR (R1) são apresentados no **APÊNDICE O**.

5.4.3 – Perfil 1

Da Figura 5.4.3.1 (a) até a 5.4.3.2 (b) são apresentados os resultados do primeiro perfil temporal de concentração e temperatura realizado em R1. Esse perfil foi realizado durante a batelada 7, com diluição do lixiviado em 50% e adição de 2 L de etanol no início da batelada.

Na Figura 5.4.3.1 (a) são apresentados os perfis temporais de alcalinidade total e pH. Nota-se, por essa figura, que tanto o pH quanto a alcalinidade caíram no início da batelada devido à adição do etanol, que foi acidificado e consumido ao longo do tempo. O efeito da acidificação do etanol pode ser notado também na Figura 5.4.3.1 (b), que apresenta as concentrações de AVT ao longo do tempo. Nota-se, por essa figura, que o pico de concentração foi medido depois de um dia de operação, mas é provável, que o pico tenha sido maior, e tenha ocorrido entre o início da batelada e o final do primeiro dia de operação. Observa-se também, que depois de três dias de operação, os ácidos já haviam sido totalmente consumidos. A concentração de AVT residual e inicial, da ordem de 300 mg Ac. Acético.L⁻¹, é um erro do Método de DiLallo & Albertson (1961), que sempre apresenta valores maiores que o real para lixiviados de aterro sanitários, como já discutido anteriormente.

Figura 5.4.3.1: (a) Perfil de alcalinidade total e pH, e (b) Perfil de ácidos voláteis totais.

A Figura 5.4.3.2 (a) apresenta as concentrações iniciais de DQO do lixiviado diluído e sem diluição e as concentrações de $DQO_{Filtr.}$ ao longo do tempo na batelada. Nota-se, por essa figura, um decréscimo quase que linear da DQO ao longo do tempo desde o início até o terceiro dia da batelada, com estabilização nos dias seguintes.

Com relação à temperatura, como apresentado na Figura 5.4.3.2 (b), ela manteve-se praticamente constante ao longo do tempo na batelada, ficando em torno de 25 °C.

Figura 5.4.3.2: (a) Perfil de DQO e (b) Perfil de temperatura.

5.4.4 – Perfil 2

Da Figura 5.4.4.1 (a) até a 5.4.4.2 (b) são apresentados os resultados do primeiro perfil temporal de concentração e temperatura realizado em R1. Esse perfil foi realizado durante a batelada 16, com lixiviado sem diluição e adição de 2 L de etanol no início da batelada e mais 2 L de etanol no final do terceiro dia da batelada.

Na Figura 5.4.4.1 (a) são apresentados os perfis temporais de alcalinidade total e pH. Nota-se, por essa figura, que tanto o pH quanto a alcalinidade caíram no início da batelada devido à adição do etanol, que foi acidificado e consumido ao longo do tempo, e o mesmo ocorreu depois da segunda adição de etanol. O efeito da acidificação do etanol pode ser notado também pela Figura 5.4.4.1 (b), que apresenta as concentrações de AVT ao longo do tempo. Nota-se, novamente por essa figura, que o primeiro pico de concentração foi medido depois de um dia de operação, mas é provável, que o pico tenha sido maior e tenha ocorrido entre o início da batelada e o final do primeiro dia de operação, e o mesmo vale para o segundo pico que deve ter ocorrido entre o terceiro e o quarto dia da batelada. Observa-se também que, no final da batelada, depois de sete dias de operação, os ácidos já haviam sido totalmente consumidos. A concentração de AVT residual e inicial, da ordem de 800 mg Ac. Acético.L⁻¹, é um erro do método de DiLallo, que sempre apresenta valores maiores que o real para lixiviados de aterro sanitários, como já discutido anteriormente.

A Figura 5.4.4.2 (a) apresenta as concentrações iniciais de DQO do lixiviado antes da adição de etanol e as concentrações de $DQO_{Filtr.}$ ao longo do tempo na batelada. Nota-se, por essa figura, um decréscimo quase que linear da DQO ao longo do tempo, desde o início até o terceiro dia da batelada, e do terceiro dia até o sétimo dia da batelada. Com relação à temperatura, como apresentado na Figura 5.4.4.2 (b), ela apresentou pouca variação ao longo do tempo na batelada, ficando sempre um pouco acima de 25 °C, mas abaixo de 27 °C.

Figura 5.4.4.1: (a) Perfil de alcalinidade total e pH, e (b) Perfil de ácidos voláteis totais.

Figura 5.4.4.2: (a) Perfil de DQO e (b) Perfil de temperatura.

5.5 – ASBBR (R3)

5.5.1 – Resultados do Acompanhamento do ASBBR (R3)

Os resultados da operação do ASBBR (R3) estão apresentados em forma de tabelas no **APÊNDICE P**, nas Figuras 5.5.1.1 a 5.5.1.8 e nas Figuras Q.1.1 a Q.1.18 do **APÊNDICE Q**.

A Figura 5.5.1.1 (a) apresenta as temperaturas médias, máximas e mínimas em cada batelada e observa-se que na média, as temperaturas estiveram sempre entre 15 e 29 °C. Na Figura 5.5.1.1 (b) é apresentado o acompanhamento do pH afluente e efluente de R3. Nota-se, por essa figura, que o pH do afluente foi quase sempre superior ao do efluente até a batelada 24, devido à acidificação do etanol e ao consumo incompleto dos ácidos formados, mas depois da batelada 24 a situação se inverteu.

Figura 5.5.1.1: (a) Temperatura média das bateladas e a faixa de variação e (b) pH afluente e efluente.

A Figura 5.5.1.2 (a) apresenta os resultados de ácidos voláteis totais e a Figura 5.5.1.2 (b) a eficiência de remoção dos AVT. Nota-se, pelas figuras, que a concentração de AVT no efluente foi sempre maior que a do afluente até a batelada 11, e a partir desse ponto o reator seguiu removendo ácidos continuamente até a batelada 38, onde se reiniciou a adição de etanol para se manter a biomassa ativa e adaptada a altas cargas orgânicas. Nota-se, pelas figuras, que depois da batelada 25, ocorreram naturalmente vários picos de AVT e que esses foram quase que totalmente removidos até a batelada 37, lembrando-se que, a concentração residual de AVT, sempre acusada em lixiviados de aterros sanitários, ocorre devido à interferentes do método de DiLallo e Albertson (1961).

Figura 5.5.1.2: (a) AVT afluente e efluente, e (b) Eficiência de remoção de AVT.

Na Figura 5.5.1.3 (a) são apresentadas as alcalinidades totais do afluente e do efluente de R3 e na Figura 5.5.1.3 (b) a sua remoção indicada como (+) ou geração indicada como (-). Observa-se que até a batelada 18, ocorreu somente remoção, ou consumo da alcalinidade, devido à acidificação do etanol. Depois da batelada 18, tanto a remoção ou geração de alcalinidade ficaram sempre dentro da faixa de $\pm 10\%$ em R3, até a batelada 59. Depois da batelada 59, iniciou-se a adição de bicarbonato de sódio e bicarbonato de amônio, que aumentaram a alcalinidade do lixiviado, além da diluição do lixiviado entre as bateladas 60 e 63.

Figura 5.5.1.3: (a) Alcalinidade total afluente e efluente e (b) Remoção ou Geração de alcalinidade total.

As concentrações de N-amoniaco no afluente são apresentadas na Figura 5.5.1.4 (a), onde é possível notar que, foram aumentando conforme se diminuía a diluição do lixiviado até a batelada 14, porém, logo depois caiu, devido à diluição provocada pelas chuvas do início do ano, mas depois voltou a subir novamente, chegando a um patamar de aproximadamente $2.500 \text{ mg NH}_3\text{-N} \cdot \text{L}^{-1}$ até a batelada 43, de onde saltou para um patamar de aproximadamente $3.000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ no afluente. As concentrações de N-amoniaco apresentadas na figura são a do lixiviado natural e, portanto não consideram a diluição e nem a adição de bicarbonato de amônio nas ultimas bateladas. A Figura 5.5.1.4 (a) apresenta também as concentrações máximas de amônia livre no decorrer das bateladas.

A Figura 5.5.1.4 (b) apresenta a $\text{DQO}_{\text{Total}}$ e a $\text{DQO}_{\text{Filtr.}}$ do lixiviado antes da diluição e apresenta também a porcentagem de lixiviado, em termos da $\text{DQO}_{\text{Filtr.}}$, depois da diluição do lixiviado em R3.

A Figura 5.5.1.5 (a) apresenta os resultados de $\text{DQO}_{\text{Total}}$ afluente e efluente de R3 e a Figura 5.5.1.5 (b) apresenta a eficiência de remoção de $\text{DQO}_{\text{Total}}$. Nota-se, por essas figuras, que a $\text{DQO}_{\text{Total}}$ do efluente foi sempre maior que a do afluente até a batelada 11, depois o sistema começou a mostrar sinais de adaptação. A partir da batelada 27, com a mudança das características do lixiviado, tornado-se mais biodegradável, foi interrompida a adição de etanol e o sistema mostrou-se bem adaptado,

obtendo-se eficiências de até 70% tratando lixiviado puro, ou seja, sem diluição e sem adição de etanol. Porém, como as características do lixiviado voltaram a mudar, a eficiência do sistema voltou a cair, porque o lixiviado voltou a ser recalcitrante a partir da batelada 38. A falsa eficiência notada entre as bateladas 60 e 63, ocorreram devido à diluição do lixiviado para realização de testes e perfis temporais de concentração.

Figura 5.5.1.4: (a) N-amoniacoal influente e N-amônia livre máxima na batelada, e (b) DQO total e filtrada e concentração de lixiviado no substrato de alimentação.

Figura 5.5.1.5: (a) DQO total afluyente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO total.

A Figura 5.5.1.6 (a) apresenta os resultados de DQO_{Filtr.} afluyente e efluente de R3 e a Figura 5.5.1.6 (b) apresenta a eficiência de remoção de DQO_{Filtr.} e a quantidade de etanol adicionada por batelada. Nota-se, por essas figuras, que a partir da batelada 11, o sistema apresentou eficiências de remoção de DQO_{Filtr.} quase sempre maiores que zero. Nota-se aqui novamente, uma falsa eficiência entre as bateladas 60 e 63, que ocorreu devido à diluição do lixiviado para realização de testes e perfis temporais de concentração.

Na Figura 5.5.1.7 (a) são apresentadas as cargas orgânicas aplicadas e removidas pelo reator, como $DQO_{Filtr.}$, levando-se em consideração também a carga do etanol adicionado ou dos ácidos voláteis adicionados. Observa-se que as cargas máximas aplicadas foram da ordem de $14 \text{ kg } DQO_{Filtr.} \cdot \text{Bat.}^{-1}$ e as máximas removidas foram da ordem de $12 \text{ kg } DQO_{Filtr.} \cdot \text{Bat.}^{-1}$ principalmente depois da batelada 14, onde se iniciou a operação com lixiviado sem diluição. De acordo com a Figura 5.5.1.7 (b), a máxima eficiência observada foi superior a 85%. No final do período, a carga aplicada caiu devido à interrupção na adição de etanol, na batelada 27. Como o lixiviado também se tornou mais recalcitrante, nas ultimas bateladas do período, as cargas removidas também caíram bastante, mas voltaram a subir com o reinício da adição de etanol e também de ácidos depois da batelada 38.

Figura 5.5.1.6: (a) DQO filtrada afluente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO filtrada e a quantidade de etanol adicionado.

Figura 5.5.1.7: (a) Carga orgânica filtrada aplicada e removida, considerando-se a adição de etanol e (b) Eficiência de remoção da carga orgânica filtrada aplicada.

O comportamento das relações AVT/DQO_{Total} do afluente e do efluente é apresentada na Figura 5.5.1.8 (a) e o comportamento das relações $AVT/DQO_{Filtr.}$ do afluente e do efluente é

apresentada na Figura 5.5.1.8 (b). Nota-se, pelas figuras, que em ambos os casos, quando a relação AVT/DQO do afluente aumentava, a eficiência de remoção de DQO também apresentava um aumento. Nota-se também que, depois da adaptação inicial do sistema, a relação AVT/DQO do efluente apresentou-se praticamente constante, demonstrando que essa relação tende a se estabilizar em um patamar baixo quando o lixiviado apresenta baixa tratabilidade anaeróbia.

Figura 5.5.1.8: (a) Relações AVT/DQO_{Total} afluente, efluente e remoção de DQO_{Total} e (b) Relações $AVT/DQO_{Filtr.}$ afluente, efluente e remoção de $DQO_{Filtr.}$.

Como os resultados do acompanhamento, tanto de sólidos como de metais, possuem um papel secundário neste trabalho, eles estão apresentados nas Figuras Q.1.1 a Q.1.19 do **APÊNDICE Q**.

5.5.2 – Perfis Temporais de Concentração Realizados no ASBBR (R3)

A seguir são apresentados os perfis temporais de concentração realizados em R3. Como os perfis 1 e 2 foram realizados ainda na fase de adaptação do sistema, nesses perfis foi feita a adição de etanol ao substrato. Porém do perfil 3 ao 10 não foi feita nenhuma adição de etanol e o único substrato analisado foi o próprio lixiviado, que era proveniente do aterro sanitário. Nos perfis 11 a 13 foi feita adição de etanol para se verificar a sua acidificação e o consumo do ácido acético gerado. Do perfil 14 ao 26, foram feitas adições de ácidos acético, propiônico e butírico. Os resultados numéricos destes perfis estão apresentados no **APÊNDICE R**.

5.5.3 – Perfil 1

Da Figura 5.5.3.1 (a) até a 5.5.3.2 (b) são apresentados os resultados do primeiro perfil temporal de concentração e temperatura realizado em R3. Esse perfil foi realizado durante a batelada 7, com diluição do lixiviado em 50% e adição de 2 L de etanol no início da batelada.

Na Figura 5.5.3.1 (a) são apresentados os perfis temporais de alcalinidade total e pH. Nota-se, por essa figura, que tanto o pH quanto a alcalinidade caem no início da batelada devido à adição do etanol, que foi acidificado e consumido ao longo do tempo. O efeito da acidificação do etanol pode ser notado também pela Figura 5.5.3.1 (b), que apresenta as concentrações de AVT ao longo do tempo. Nota-se, por essa figura, que o pico de concentração foi medido depois de um dia de operação, mas é provável, que o pico tenha sido maior e tenha ocorrido entre o início da batelada e o final do primeiro dia de operação. Observa-se também, que os ácidos só foram quase que totalmente consumidos, somente no final do sétimo dia. A concentração de AVT residual e inicial, da ordem de 500 mg Ac. Acético.L⁻¹, é um erro do método de DiLallo e Albertson (1961), que sempre apresenta valores maiores que o real para lixiviados de aterro sanitários, como já discutido anteriormente.

Figura 5.5.3.1: (a) Perfil de Alcalinidade Total e (b) Perfil de Ácidos Voláteis Totais.

A Figura 5.5.3.2 (a) apresenta as concentrações iniciais de DQO do lixiviado diluído e sem diluição e as concentrações de DQO_{Filtr.} ao longo do tempo na batelada. Nota-se, por essa figura, um decréscimo da DQO um pouco mais acentuado até o terceiro dia da batelada, e depois um pouco menos acentuado, porém quase que linear até o sétimo dia.

Com relação à temperatura, como apresentado na Figura 5.5.3.2 (b), ela manteve-se praticamente constante ao longo do tempo na batelada, ficando em torno de 25 °C.

Figura 5.5.3.2: (a) Perfil de Demanda Química de Oxigênio e (b) Perfil de Temperatura.

5.5.4 – Perfil 2

Da Figura 5.5.4.1 (a) até a 5.5.4.2 (b) são apresentados os resultados do segundo perfil temporal de concentração e temperatura realizado em R3. Esse perfil foi realizado durante a batelada 16, com lixiviado sem diluição e adição de 2 L de etanol no início da batelada e mais 2 L de etanol no final do terceiro dia da batelada.

Na Figura 5.5.4.1 (a) são apresentados os perfis temporais de alcalinidade total e pH. Nota-se, por essa figura, que tanto o pH quanto a alcalinidade caíram no início da batelada devido à adição do etanol, que foi acidificado e consumido ao longo do tempo, e o mesmo ocorreu depois da segunda adição de etanol. O efeito da acidificação do etanol pode ser notado também pela Figura 5.5.4.1 (b), que apresenta as concentrações de AVT ao longo do tempo. Nota-se novamente, por essa figura, que o primeiro pico de concentração foi medido depois de um dia de operação, mas é provável, que o pico tenha sido maior e tenha ocorrido entre o início da batelada e o final do primeiro dia da batelada e o mesmo vale para o segundo pico, que deve ter ocorrido entre o terceiro e o quarto dia da batelada. Observa-se também que no final da batelada, depois de sete dias de operação, os ácidos já haviam sido totalmente consumidos. A concentração de ácidos voláteis totais residual e inicial, da ordem de 700 mg Ac. Acético.L⁻¹, é um erro do método de DiLallo, que sempre apresenta valores maiores que o real para lixiviados de aterro sanitários, como já discutido anteriormente.

A Figura 5.5.4.2 (a) apresenta as concentrações iniciais de DQO do lixiviado antes da adição de etanol e as concentrações de DQO_{Filtr.} ao longo do tempo na batelada. Nota-se, por essa figura, um decremento quase que linear da DQO ao longo do tempo desde o início até o terceiro dia da batelada, e do terceiro dia até o sétimo dia da batelada. Com relação à temperatura, como apresentado na Figura 5.5.4.2 (b), ela apresentou pouca variação ao longo do tempo na batelada, ficando sempre um pouco acima de 25 °C, mas abaixo de 27 °C.

Figura 5.5.4.1: (a) Perfil de Alcalinidade Total e (b) Perfil de Ácidos Voláteis Totais.

Figura 5.5.4.2: (a) Perfil de Demanda Química de Oxigênio e (b) Perfil de Temperatura.

5.5.5 – Perfil 3

Da Figura 5.5.5.1 (a) até a 5.5.5.9 (b) são apresentados os resultados do terceiro perfil temporal de concentração realizado em R3. O perfil 3 foi realizado durante a batelada 28 e nesta batelada o lixiviado não foi diluído e nem acrescido de nenhum substrato adicional.

A Figura 5.5.5.1 (a) apresenta os perfis de concentração de substrato como $\text{DQO}_{\text{Total}}$ e $\text{DQO}_{\text{Filtr.}}$, e também a variação da temperatura no decorrer da realização do perfil temporal. Nota-se, por essa figura, que a temperatura permaneceu na faixa de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, e que o sistema apresentou um bom desempenho até o quarto dia da batelada, atingindo um patamar de concentração residual de substrato a partir deste dia. Nota-se, portanto, que existe uma concentração de substrato da ordem de pouco mais de $3.500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ que é aparentemente recalcitrante ao tratamento anaeróbico. A Figura 5.5.5.1 (b) apresenta os perfis de pH e alcalinidade total e nota-se, que apesar da alcalinidade

permanecer praticamente constante, ocorreu um ligeiro aumento do pH no decorrer da batelada, certamente, devido ao consumo dos AVT presentes no lixiviado.

Figura 5.5.5.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.

A Figura 5.5.5.2 apresenta o perfil de concentração de AVT ao longo do tempo, medido por titulometria, o que explica o falso residual apresentado no patamar do perfil, que é um erro do método utilizado.

Figura 5.5.5.2: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais.

A Figura 5.5.5.3 (a) apresenta as concentrações de nitrogênio total orgânico e amoniacal neste perfil e pode-se notar, que elas permaneceram praticamente constantes ao longo de todo o tempo. Na Figura 5.5.5.3 (b) são apresentadas as concentrações de N-amônia livre no decorrer da batelada e a variação das concentrações ocorreram devido às variações do pH e da temperatura do líquido no decorrer da batelada. Nota-se que a máxima concentração observada, que foi da ordem de 120 mg NH₃-N.L⁻¹, está muito abaixo das concentrações que Calli *et al.* (2005) consideram como potencialmente tóxicas, que são acima de 600 mg NH₃-N.L⁻¹.

Figura 5.5.5.3: (a) Perfis de concentração de nitrogênio total, amoniacal e orgânico, e (b) Perfil de concentração de amônia livre.

Na Figura 5.5.5.4 são apresentadas as concentrações de sólidos totais do perfil 3. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de STF permaneceram praticamente constantes ao longo do perfil e que as variações das concentrações de ST ocorreram devido às variações das concentrações de STV, que foram, em parte, consumidos até o quarto dia, estabilizando-se em torno de um residual.

Figura 5.5.5.4: Perfis de concentração de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

A Figura 5.5.5.5 (a) apresenta os perfis de concentração de sólidos suspensos. Nota-se, que no início da batelada ocorreu um ligeiro aumento da concentração de sólidos suspensos, com um pico no primeiro dia, mas ao longo da batelada as concentrações foram se reduzindo, obtendo seu valor mínimo no sexto dia, com um aumento no sétimo dia, certamente, devido ao efeito de arraste ocorrido durante o esvaziamento do reator. Na Figura 5.5.5.4 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos do perfil 3. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de sólidos dissolvidos seguiram praticamente a mesma tendência observada com relação às frações dos sólidos totais.

Figura 5.5.5.5: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.

As Figuras 5.5.5.6 (a) a 5.5.5.9 (b) apresentam os perfis 3 e 5 de concentração de metais no decorrer da batelada. Esses dois perfis foram intencionalmente agrupados para poder se comparar os seus resultados, e observar se algumas tendências se repetem em perfis distintos. Observando-se essas figuras, nota-se que existem praticamente dois grupos de perfis de metais, um primeiro onde as concentrações são praticamente constantes no decorrer da batelada, e um segundo, onde ocorreram concentrações inicialmente maiores, mas que foram se reduzindo ao longo do tempo, com um aumento de concentração no último ponto, devido a arrastes provocados pelo esvaziamento do reator. Aparentemente, no grupo onde não pareceu haver tendências de variações de concentração, pode-se incluir o Chumbo, o Cádmio e o Níquel. No grupo onde ocorreram variações de concentração, pode-se incluir o Zinco, o Ferro, o Manganês, e possivelmente o Cobre e o Cromo.

De forma geral, com exceção do Manganês, o sistema não pareceu remover metais.

Figura 5.5.5.6: (a) Perfis de concentração de Zinco, e (b) Perfis de concentração de Chumbo.

(a)

(b)

Figura 5.5.5.7: (a) Perfis de concentração de Cádmio, e (b) Perfis de concentração de Níquel.

(a)

(b)

Figura 5.5.5.8: (a) Perfis de concentração de Ferro, e (b) Perfis de concentração de Manganês.

(a)

(b)

Figura 5.5.5.9: (a) Perfis de concentração de Cobre, e (b) Perfis de concentração de Cromo.

5.5.6 – Perfil 4

Da Figura 5.5.6.1 (a) até a 5.5.6.4 (b) são apresentados os resultados do quarto perfil temporal de concentração realizado em R3, durante a batelada 29.

A Figura 5.5.6.1 (a) apresenta os perfis de concentração de substrato como DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$ e também a variação da temperatura no decorrer da realização do perfil temporal. Nota-se, por essa figura, que a temperatura permaneceu na faixa de 24 ± 2 °C, e que o sistema apresentou remoção contínua de DQO até o sexto dia da batelada, estabilizando-se a partir deste dia. Nota-se, portanto, que existe uma concentração de substrato da ordem de pouco mais de 3.500 mg.L^{-1} que foi aparentemente recalcitrante (inerte) ao tratamento anaeróbio nesta batelada. A Figura 5.5.6.1 (b) apresenta os perfis de pH e alcalinidade total, e nota-se que, apesar da alcalinidade permanecer praticamente constante, ocorreu um ligeiro aumento do pH no decorrer da batelada, certamente, devido ao consumo dos AVT presentes no lixiviado.

Figura 5.5.6.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.

A Figura 5.5.6.2 (a) apresenta o perfil de concentração de AVT ao longo do tempo, medido por titulometria, o que explica o falso residual de aproximadamente 500 mg.L^{-1} apresentado no patamar do perfil, que é um erro do método utilizado. Na Figura 5.5.6.2 (b) é apresentado o perfil de concentração de carbono orgânico total e nota-se que ele apresenta o mesmo comportamento observado para DQO e para AVT.

A Figura 5.5.6.3 (a) apresenta o perfil de concentrações de N-amônia livre, estimadas no decorrer da batelada, porém, como as variações do pH e da temperatura do líquido foram muito pequenas no decorrer da batelada, as variações de concentração de N-amônia livre também variaram pouco permanecendo abaixo de $250 \text{ mg NH}_3\text{-N.L}^{-1}$ que é um valor ainda abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas, que são acima de $600 \text{ mg NH}_3\text{-N.L}^{-1}$ para lodos bem adaptados.

Figura 5.5.6.2: (a) Perfil de concentração de ácidos voláteis totais, e (b) Perfil de concentração de carbono orgânico total.

Na Figura 5.5.6.3 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos totais do perfil 4. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de STF permaneceram praticamente constantes ao longo do perfil, e que as variações das concentrações de ST, ocorreram devido às variações das concentrações de STV, que foram, em parte, consumidos até o quarto dia estabilizando-se em torno de um residual de aproximadamente 3.000 mg.L⁻¹.

Figura 5.5.6.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Perfis de concentração de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

A Figura 5.5.6.4 (a) apresenta os perfis de concentração de sólidos suspensos. Nota-se, que no início da batelada ocorreu um ligeiro aumento da concentração de sólidos suspensos, com um pico no primeiro dia, mas ao longo da batelada, as concentrações foram se reduzindo obtendo seu valor mínimo no sexto dia, com um aumento no sétimo dia, certamente, devido ao efeito de arraste ocorrido durante o esvaziamento do reator. Na Figura 5.5.6.4 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos

dissolvidos do perfil 4. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de sólidos dissolvidos seguiram praticamente a mesma tendência observada com relação às frações dos sólidos totais.

Figura 5.5.6.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.

5.5.7 – Perfil 5

Da Figura 5.5.7.1 (a) até a 5.5.7.4 (b) são apresentados os resultados do quinto perfil temporal de concentração realizado em R3, durante a batelada 30.

A Figura 5.5.7.1 (a) apresenta os perfis de concentração de substrato como $\text{DQO}_{\text{Total}}$ e $\text{DQO}_{\text{Filtr.}}$ e também a variação da temperatura no decorrer da realização do perfil temporal. Nota-se, por essa figura, que a temperatura permaneceu praticamente constante, ao redor de 27°C , e que o sistema apresentou remoção contínua de DQO até aproximadamente o quarto dia da batelada, estabilizando-se a partir deste dia. Nota-se, portanto, que existe uma concentração de substrato da ordem de pouco mais de 3.000 mg.L^{-1} que foi aparentemente recalcitrante ao tratamento anaeróbico. A Figura 5.5.7.1 (b) apresenta os perfis de pH e alcalinidade total e nota-se, que apesar da alcalinidade permanecer praticamente constante, ocorreu um ligeiro aumento do pH no decorrer da batelada, certamente, devido ao consumo dos AVT presentes no lixiviado.

Figura 5.5.7.1: (a) Perfs de DQO_{Total}, DQO_{Filtr.} e temperatura, e (b) Perfs de pH e alcalinidade total.

A Figura 5.5.7.2 (a) apresenta o perfil de concentração de AVT ao longo do tempo, medido por titulometria, o que explica o falso residual de aproximadamente 430 mg.L⁻¹ apresentado no patamar do perfil, que é um erro do método utilizado. Na Figura 5.5.7.2 (b) é apresentado o perfil de concentração de carbono orgânico total, e nota-se que ele apresenta o mesmo comportamento notado para DQO e para AVT, porém com maiores oscilações.

Figura 5.5.7.2: (a) Perfil de concentração de ácidos voláteis totais, e (b) Perfil de concentração de carbono orgânico total.

A Figura 5.5.7.3 (a) apresenta o perfil de concentrações de N-amônia livre, estimadas no decorrer da batelada, porém, como as variações do pH e da temperatura do líquido foram muito pequenas no decorrer da batelada, as variações de concentração de N-amônia livre também variaram pouco permanecendo abaixo de 250 mg NH₃-N.L⁻¹ que ainda está muito abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas, que são acima de 600 mg NH₃-N.L⁻¹.

Na Figura 5.5.7.3 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos totais do perfil 5. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de ST, STF e STV permaneceram praticamente constantes ao longo do perfil, com um ligeiro aumento no sexto dia da batelada.

Figura 5.5.7.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

A Figura 5.5.7.4 (a) apresenta os perfis de concentração de sólidos suspensos. Nota-se, que no início da batelada, ocorreu um ligeiro aumento da concentração de sólidos suspensos, com um pico no primeiro dia, mas ao longo da batelada as concentrações foram se reduzindo, obtendo seu valor mínimo no sexto dia, com um aumento no sétimo dia, certamente, devido ao efeito de arraste ocorrido durante o esvaziamento do reator. Na Figura 5.5.7.4 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos do perfil 5. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de sólidos dissolvidos seguiram praticamente a mesma tendência, com relação às frações dos sólidos totais.

Figura 5.5.7.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.

5.5.8 – Perfil 6

Da Figura 5.5.8.1 (a) até a 5.5.8.4 (b) são apresentados os resultados do sexto perfil temporal de concentração realizado em R3, durante a batelada 31.

A Figura 5.5.8.1 (a) apresenta os perfis de concentração de substrato como DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$ e também a variação da temperatura no decorrer da realização do perfil temporal. Nota-se, por essa figura, que a temperatura permaneceu dentro da faixa de 25 ± 3 °C, e que o sistema apresentou remoção contínua de DQO até o quarto dia da batelada, estabilizando-se a partir deste dia. Nota-se, portanto que existe uma concentração de substrato da ordem de pouco mais de 4.000 mg.L^{-1} que foi aparentemente recalcitrante ao tratamento anaeróbico nesta batelada. A Figura 5.5.8.1 (b) apresenta os perfis de pH e alcalinidade total e nota-se, que apesar da alcalinidade permanecer praticamente constante, ocorreu um ligeiro aumento do pH, principalmente nos últimos três dias da batelada, certamente, devido ao consumo dos AVT presentes no lixiviado.

Figura 5.5.8.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.

A Figura 5.5.8.2 (a) apresenta o perfil de concentração de AVT ao longo do tempo, medido por titulometria, o que explica o falso residual de aproximadamente 400 mg.L^{-1} apresentado no patamar do perfil, que é um erro do método utilizado. Na Figura 5.5.8.2 (b) é apresentado o perfil de concentração de carbono orgânico total, e nota-se que ele apresenta o mesmo comportamento notado para DQO e AVT.

A Figura 5.5.8.3 (a) apresenta o perfil de concentrações de N-amônia livre, estimadas no decorrer da batelada, nota-se neste perfil que as variações de concentração, ocorreram principalmente devido às variações do pH, em especial nos últimos três dias da batelada. Mesmo assim, as concentrações de N-amônia livre permaneceram abaixo de $200 \text{ mg NH}_3\text{-N.L}^{-1}$, que ainda está bem abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas.

Figura 5.5.8.2: (a) Perfil de concentração de ácidos voláteis totais, e (b) Perfil de concentração de carbono orgânico total.

Na Figura 5.5.8.3 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos totais do perfil 6. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de STF permaneceram praticamente constantes ao longo do perfil e que as variações das concentrações de ST ocorreram devido às variações das concentrações de STV, que foram, em parte, consumidos até o quarto dia, estabilizando-se em torno de um residual.

Figura 5.5.8.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

A Figura 5.5.8.4 (a) apresenta os perfis de concentração de sólidos suspensos. Nota-se que, diferenciando-se dos perfis anteriores, ocorreu uma redução contínua de sólidos suspensos no decorrer da batelada, com um aumento no sétimo dia, certamente, devido ao efeito de arraste ocorrido durante o esvaziamento do reator. Na Figura 5.5.8.4 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos do perfil 6. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de sólidos dissolvidos seguiram praticamente a mesma tendência observada com relação às frações dos sólidos totais.

Figura 5.5.8.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.

5.5.9 – Perfil 7

Da Figura 5.5.9.1 (a) até a 5.5.9.4 (b) são apresentados os resultados do sétimo perfil temporal de concentração realizado em R3, realizado durante a batelada 33. A partir da batelada 32 o tempo de ciclo foi reduzido para cinco dias, baseado nos resultados dos perfis anteriores.

A Figura 5.5.9.1 (a) apresenta os perfis de concentração de substrato, como $\text{DQO}_{\text{Total}}$ e $\text{DQO}_{\text{Filtr.}}$, e também a variação da temperatura no decorrer da realização do perfil temporal. Nota-se, por essa figura, que a temperatura permaneceu dentro da faixa de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, e que o sistema apresentou remoção contínua de DQO até o quinto e último dia da batelada. A Figura 5.5.9.1 (b) apresenta os perfis de pH e alcalinidade total e nota-se, que apesar da alcalinidade permanecer praticamente constante, ocorreu um ligeiro aumento do pH no decorrer da batelada, certamente, devido ao consumo dos AVT.

Figura 5.5.9.1: (a) Perfis de $\text{DQO}_{\text{Total}}$, $\text{DQO}_{\text{Filtr.}}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.

A Figura 5.5.9.2 (a) apresenta o perfil de concentração de AVT ao longo do tempo, medido por titulometria.

Figura 5.5.9.2: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais.

A Figura 5.5.9.3 (a) apresenta o perfil de concentrações de N-amônia livre, estimadas no decorrer da batelada. As variações das concentrações de N-amônia livre acompanharam as variações do pH do líquido no decorrer da batelada, permanecendo abaixo de $140 \text{ mg NH}_3\text{-N.L}^{-1}$, que está muito abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas pela literatura.

Na Figura 5.5.9.3 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos totais do perfil 7. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de STF permaneceram praticamente constantes ao longo do perfil e que as variações das concentrações de ST, ocorreram devido às variações das concentrações de STV, que foram, em parte, consumidos até o quarto dia estabilizando-se em torno de um residual.

Figura 5.5.9.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

A Figura 5.5.9.4 (a) apresenta os perfis de concentração de sólidos suspensos. Nota-se que, no início da batelada ocorreu um ligeiro aumento da concentração de sólidos suspensos, com um pico no

primeiro dia, mas ao longo da batelada as concentrações foram se reduzindo obtendo seu valor mínimo no quarto dia, com um aumento no quinto dia, certamente, devido ao efeito de arraste ocorrido durante o esvaziamento do reator. Na Figura 5.5.9.4 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos do perfil 7. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de sólidos dissolvidos seguiram praticamente a mesma tendência observada com relação às frações dos sólidos totais.

Figura 5.5.9.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.

5.5.10 – Perfil 8

Da Figura 5.5.10.1 (a) até a 5.5.10.4 (b) são apresentados os resultados do oitavo perfil temporal de concentração realizado em R3, durante a batelada 34.

A Figura 5.5.10.1 (a) apresenta os perfis de concentração de substrato como $\text{DQO}_{\text{Total}}$ e $\text{DQO}_{\text{Filtr.}}$ e também a variação da temperatura no decorrer da realização do perfil temporal. Nota-se por essa figura, que a temperatura permaneceu dentro da faixa de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, e que o sistema apresentou remoção contínua de DQO até o quinto e último dia da batelada. A Figura 5.5.10.1 (b) apresenta os perfis de pH e alcalinidade total e nota-se, que apesar da alcalinidade permanecer praticamente constante, ocorreu um aumento quase que insignificante do pH no decorrer da batelada, certamente, devido ao consumo dos AVT presentes no lixiviado.

A Figura 5.5.10.2 (a) apresenta o perfil de concentração de AVT ao longo do tempo, medido por titulometria, o que explica o falso residual apresentado no patamar final do perfil, que é um erro do método utilizado. Na Figura 5.5.10.2 (b) é apresentado o perfil de concentração de carbono orgânico total e nota-se que ele apresenta o mesmo comportamento notado para DQO e para AVT, porém mais sutil e com maiores oscilações.

Figura 5.5.10.1: (a) Perfis de DQO_{Total}, DQO_{Filtr.} e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.

Figura 5.5.10.2: (a) Perfil de concentração de ácidos voláteis totais, e (b) Perfil de concentração de carbono orgânico total.

A Figura 5.5.10.3 (a) apresenta o perfil de concentrações de N-amônia livre, estimadas no decorrer da batelada. As variações das concentrações de N-amônia livre acompanharam as variações do pH do líquido no decorrer da batelada, permanecendo abaixo de 160 mg NH₃-N.L⁻¹, que está muito abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas citadas pela literatura.

Na Figura 5.5.10.3 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos totais do perfil 8. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de STF permaneceram praticamente constantes ao longo do perfil e que as variações das concentrações de ST ocorreram devido às variações das concentrações de STV, como pode ser notado, através do pico observado no segundo dia da batelada.

A Figura 5.5.10.4 (a) apresenta os perfis de concentração de sólidos suspensos. Nota-se, que no início da batelada, ocorreu um ligeiro aumento da concentração de sólidos suspensos, com picos entre o primeiro e o segundo dias, com uma ligeira queda nos dois dias seguintes, mas com um aumento no quinto dia, certamente, devido ao efeito de arraste ocorrido durante o esvaziamento do reator. Na Figura 5.5.10.4 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos do perfil 7.

Nota-se por esses resultados, que as concentrações de sólidos dissolvidos seguiram praticamente a mesma tendência observada com relação às frações dos sólidos totais.

Figura 5.5.10.3: (a) Perfil de concentração de amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

Figura 5.5.10.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.

5.5.11 – Perfil 9

Da Figura 5.5.11.1 (a) até a 5.5.11.4 (b) são apresentados os resultados do nono perfil temporal de concentração realizado em R3, durante a batelada 35.

A Figura 5.5.11.1 (a) apresenta os perfis de concentração de substrato como $\text{DQO}_{\text{Total}}$ e $\text{DQO}_{\text{Filtr.}}$ e também a variação da temperatura no decorrer da realização do perfil temporal. Nota-se, por essa figura, que a temperatura permaneceu dentro da faixa de $24 \pm 1^\circ\text{C}$, e que o sistema apresentou remoção contínua de DQO até o quarto dia, estabilizando-se no quinto e último dia da

batelada. A Figura 5.5.11.1 (b) apresenta os perfis de pH e alcalinidade total e nota-se que, apesar da alcalinidade permanecer praticamente constante, ocorreu um ligeiro e contínuo aumento do pH no decorrer da batelada, certamente, devido ao consumo dos AVT.

Figura 5.5.11.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.

A Figura 5.5.11.2 apresenta o perfil de concentração de AVT ao longo do tempo, medido por titulometria, o que explica o falso residual apresentado no patamar final do perfil, que é um erro do método utilizado.

Figura 5.5.11.2: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais.

A Figura 5.5.11.3 (a) apresenta o perfil de concentrações de N-amônia livre, estimadas no decorrer da batelada. As variações das concentrações de N-amônia livre acompanharam as variações do pH do líquido no decorrer da batelada, permanecendo abaixo de 200 mg NH₃-N.L⁻¹, que está muito abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas citadas pela literatura.

Na Figura 5.5.11.3 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos totais do perfil 9. Nota-se, por esses resultados que as concentrações de ST, STF e STV permaneceram praticamente constantes ao longo do perfil, com uma ligeira queda nas concentrações de ST e STV.

Figura 5.5.11.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

A Figura 5.5.11.4 (a) apresenta os perfis de concentração de sólidos suspensos. Nota-se que, as remoções de sólidos suspensos estabilizaram-se já no segundo dia, com um aumento no quinto dia, certamente, devido ao efeito de arraste ocorrido durante o esvaziamento do reator. Na Figura 5.5.11.4 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos do perfil 9. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de sólidos dissolvidos seguiram praticamente a mesma tendência observada com relação às frações dos sólidos totais.

Figura 5.5.11.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.

5.5.12 – Perfil 10

Da Figura 5.5.12.1 (a) até a 5.5.12.4 (b) são apresentados os resultados do décimo perfil temporal de concentração realizado em R3, durante a batelada 37.

A Figura 5.5.12.1 (a) apresenta os perfis de concentração de substrato como DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$ e também a variação da temperatura no decorrer da realização do perfil temporal. Nota-se, por essa figura, que a temperatura caiu de aproximadamente 25 °C no início da batelada para 21 °C no final, e que o sistema apresentou uma pequena remoção de DQO até o segundo dia estabilizando-se até o quinto e último dia da batelada. A Figura 5.5.12.1 (b) apresenta os perfis de pH e alcalinidade total e nota-se que, apesar da alcalinidade permanecer praticamente constante, ocorreu um ligeiro e contínuo aumento do pH no decorrer da batelada, certamente, devido ao consumo dos AVT.

Figura 5.5.12.1: (a) Perfis de DQO_{Total} , $DQO_{Filtr.}$ e temperatura, e (b) Perfis de pH e alcalinidade total.

A Figura 5.5.12.2 apresenta o perfil de concentração de AVT ao longo do tempo, medido por titulometria, o que explica o falso residual apresentado no patamar final do perfil, que é um erro do método utilizado. Nota-se, que nesse perfil, assim também como no anterior, as concentrações de AVT eram realmente muito baixas, o que explica o baixo desempenho do sistema nessas bateladas.

A Figura 5.5.12.3 (a) apresenta o perfil de concentrações de N-amônia livre, estimadas no decorrer da batelada. As variações das concentrações de N-amônia livre acompanharam as variações do pH do líquido no decorrer da batelada, permanecendo abaixo de 200 mg NH₃-N.L⁻¹, que está muito abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas indicadas pela literatura.

Na Figura 5.5.12.3 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos totais do perfil 9. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de ST, STF e STV permaneceram praticamente constantes ao longo do perfil, com um pequeno pico nas concentrações de ST e STV no primeiro dia da batelada.

Figura 5.5.12.2: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais.

Figura 5.5.12.3: (a) Perfil de concentração de N-amônia livre, e (b) Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

A Figura 5.5.12.4 (a) apresenta os perfis de concentração de sólidos suspensos. Nota-se que, as remoções de sólidos suspensos estabilizaram-se já no segundo dia, com um aumento no quinto dia, certamente, devido ao efeito de arraste ocorrido durante o esvaziamento do reator. Na Figura 5.5.12.4 (b) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos do perfil 10. Nota-se, por esses resultados, que as concentrações de sólidos dissolvidos seguiram praticamente a mesma tendência observada com relação às frações dos sólidos totais.

Figura 5.5.12.4: (a) Perfis de concentração de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, e (b) Perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis.

5.5.13 – Perfis 11, 12 e 13

Os Perfis 11, 12 e 13 foram obtidos através da adição de etanol ao lixiviado, que era altamente recalcitrante, assim foi possível se fazer uma avaliação da acidificação do etanol e do consumo dos ácidos ao longo da batelada. No início de cada batelada foram adicionados aproximadamente 3,0 L de etanol.

A Figura 5.5.13.1 apresenta as temperaturas e a média das temperaturas dos perfis 11, 12 e 13. Nota-se, por esta figura, que no início das bateladas, as temperaturas eram maiores, pois se procurava alimentar o reator com lixiviado que vinha diretamente do aterro, que apresentava temperaturas quase sempre entre 25 e 30 °C.

Figura 5.5.13.1: Perfis 11, 12 e 13 de temperatura e a média dos perfis.

A Figura 5.5.13.2 (a) apresenta as variações dos valores de pH no decorrer do tempo dos perfis 11, 12 e 13. Pode-se notar que, entre o início e o primeiro dia da batelada, ocorreu uma ligeira queda nos valores de pH devido à conversão do etanol a ácido acético, mas no decorrer do tempo, com o consumo do ácido acético pelos microrganismos, o pH voltou a crescer novamente. O mesmo comportamento ocorreu com a alcalinidade total, como apresentado na Figura 5.5.13.2 (b), sendo inicialmente consumida pela formação de ácidos, e posteriormente reconstituída pelo consumo dos ácidos e geração de íons bicarbonato.

Na Figura 5.5.13.3 (a) são apresentados os perfis 11, 12 e 13 de DQO_{Total} e na Figura 5.5.13.3 (b) são apresentadas as respectivas eficiências de remoção de DQO_{Total} . Nota-se, pelas figuras, que o consumo de substrato estabilizou-se a partir do quarto dia da batelada, voltando a valores praticamente iguais aos das DQO_{Totais} iniciais, mostrando que o consumo de substrato não vai além do substrato (etanol) adicionado no início da batelada.

Figura 5.5.13.2: (a) Perfis 11,12 e 13 de pH e a média dos perfis, e (b) Perfis 11, 12 e 13 de alcalinidade total e a média dos perfis.

Figura 5.5.13.3: (a) Perfis 11, 12 e 13 de DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 de eficiência de remoção de DQO_{Total} e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.13.4 (a) são apresentados os perfis 11, 12 e 13 de $DQO_{Filtr.}$ e na Figura 5.5.13.4 (b) são apresentadas as respectivas eficiências de remoção de $DQO_{Filtr.}$. Nota-se, pelas figuras, o mesmo comportamento citado anteriormente para DQO_{Total} .

Figura 5.5.13.4: (a) Perfis 11, 12 e 13 de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 de eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.13.5 (a) e (b) apresentam respectivamente as relações AVT/ DQO_{Total} e AVT/ $DQO_{Filtr.}$, respectivamente. Essa relação pode ser considerada como um potencial indicador de biodegradabilidade, como será discutido nos itens posteriores.

Figura 5.5.13.5: (a) Perfis 11, 12 e 13 da relação AVT/ DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 da relação AVT/ $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.13.6 (a) são apresentados os perfis 11, 12 e 13 de AVT e na Figura 5.5.13.6 (b) são apresentadas as respectivas eficiências de remoção de AVT. Nota-se, pelas figuras, que o consumo dos ácidos estabilizou-se a partir do terceiro dia, voltando a valores praticamente iguais aos do início

da batelada, mostrando que o consumo dos ácidos não vai além daquilo gerado pela acidificação do substrato (etanol) adicionado.

Figura 5.5.13.6: (a) Perfis 11, 12 e 13 de AVT por titulação e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 da eficiência de remoção de AVT e a média dos perfis.

A Figura 5.5.13.7 (a) apresenta as concentrações de ácidos obtidas por cromatografia gasosa. A cromatografia também mostrou que no tempo 0,5 dias já não havia mais nenhum resquício de etanol no lixiviado, estando este, praticamente todo acidificado já a partir deste ponto. Na Figura 5.5.13.7 (b) são apresentadas as concentrações de N-amônia livre dos perfis 11, 12 e 13. Nota-se, por esta figura, que as concentrações de N-amônia livre permaneceram abaixo das concentrações consideradas críticas pela literatura.

Figura 5.5.13.7: (a) Perfis 11, 12 e 13 de ácido acético determinados por cromatografia, e (b) Perfis 11, 12 e 13 de N-amônia livre e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.13.8 (a) são apresentados os perfis 11, 12 e 13 de sólidos totais e nota-se, nesta figura, um ligeiro aumento nas concentrações de ST entre o início e o segundo dia da batelada,

provavelmente, devido à formação de acetato, que evaporado tornou-se acetato de sódio ou potássio, que não são voláteis. Na Figura 5.5.13.8 (b) são apresentados os perfis 11, 12 e 13 de sólidos totais fixos que apresentaram concentrações praticamente constantes ao longo dos perfis.

Figura 5.5.13.8: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 de sólidos totais fixos e a média dos perfis.

A Figura 5.5.13.9 (a) apresenta os perfis 11, 12 e 13 de concentração de sólidos totais voláteis e o comportamento foi similar ao apresentado pelos sólidos totais. Na Figura 5.5.13.9 (b) são apresentados os perfis de sólidos suspensos totais, que curiosamente apresentaram um pico de concentração entre o início e o primeiro dia da batelada, apresentando queda contínua até o quarto dia, com um pequeno aumento no quinto dia, certamente, devido aos arrastes provocados pelo esvaziamento do reator.

Figura 5.5.13.9: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos totais voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 11,12 e 13 de sólidos suspensos totais e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.13.10 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis dos perfis 11, 12 e 13. O comportamento desses dois perfis foi similar ao comportamento dos perfis de sólidos suspensos totais apresentados na figura anterior.

Figura 5.5.13.10: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos suspensos fixos e a média dos perfis, e (b) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos suspensos voláteis e a média dos perfis.

Nota-se, pela Figura 5.5.13.11 (a), que apresenta os resultados dos perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais que o comportamento foi similar ao destacado anteriormente para os ST e STV. Pela Figura 5.5.13.11 (b), pode-se notar que, nos perfis de sólidos dissolvidos fixos praticamente não ocorreram grandes variações de concentração ao longo do tempo.

Figura 5.5.13.11: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos dissolvidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos dissolvidos fixos e a média dos perfis.

O comportamento dos perfis de sólidos dissolvidos voláteis, como apresentados na Figura 5.5.13.12 (a), foi similar também ao comportamento dos SDT, STV e ST.

A Figura 5.5.13.12 (b) apresenta a evolução da relação STV/ST ao longo do tempo nos perfis de concentração 11, 12 e 13.

Figura 5.5.13.12: (a) Perfis 11, 12 e 13 de sólidos dissolvidos voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 11, 12 e 13 da relação STV/ST e a média dos perfis.

5.5.14 – Perfis 14, 15, 16 e 17

Os Perfis 14, 15, 16 e 17 foram obtidos através da adição de ácido acético, propiônico e butírico ao lixiviado, que era altamente recalcitrante, assim foi possível se fazer uma avaliação do consumo dos ácidos ao longo da batelada. No início de cada batelada foram adicionados aproximadamente 3,0 L de ácido acético, 1,0 L de ácido propiônico e 0,25 L de ácido butírico.

A Figura 5.5.14.1 apresenta as temperaturas e a média das temperaturas dos perfis 14, 15, 16 e 17. Nota-se, por esta figura, que a média da temperatura destes perfis foi praticamente constante, ficando muito próxima de 25 °C no decorrer de todo o perfil.

Figura 5.5.14.1: Perfis 14, 15, 16 e 17 de temperatura e a média dos perfis.

Na realização destes perfis, o reator foi inicialmente enchido com lixiviado somente até a metade e em seguida iniciava-se a adição dos ácidos no líquido, com o sistema de agitação ligado para promover a máxima mistura. Quando os ácidos eram misturados ao lixiviado ocorria, uma imensa formação de espumas, que chegavam até a superfície do reator. Quando a espuma atingia a superfície do reator, parava-se momentaneamente a adição dos ácidos, que eram adicionados lentamente. A cada litro de ácido adicionado, mudava-se o sentido da agitação e bombeava-se cerca de 100 L de lixiviado para dentro do reator, com o objetivo de manter a diluição e melhorar a mistura. Esse processo todo demorava cerca de 20 minutos e por mais 15 minutos invertia-se o sentido da agitação de 5 em 5 minutos, procurando deixar a mistura homogênea, para se coletar uma amostra no início da batelada.

Como pode ser notado na Figura 5.5.14.2 (a) e (b), os comportamentos do pH e da alcalinidade total, respectivamente, foram muito parecidos, pois com a adição dos ácidos voláteis, uma parte da alcalinidade a bicarbonato do lixiviado era consumida liberando-se o gás carbônico dos bicarbonatos, formando espuma e baixando o pH. Porém, no decorrer da batelada, com o consumo desses ácidos, tanto o pH, quanto a alcalinidade total eram reconstituídos, voltando a valores próximos dos iniciais, ou seja, de antes da adição de ácidos.

Figura 5.5.14.2: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de pH e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de alcalinidade total e a média dos perfis.

A Figura 5.5.14.3 (a) apresenta as concentrações médias dos perfis 15, 16 e 17, das formas de carbono existentes no lixiviado filtrado. Convencionou-se chamar de carbono inorgânico total (CIT) a concentração de carbono nas formas inorgânicas, ou seja, na forma de carbonato, bicarbonato e dióxido de carbono dissolvido. Convencionou-se também chamar de carbono total (CT) a soma das concentrações de carbono inorgânico total, com carbono orgânico total. As concentrações de carbono total foram determinadas a partir da análise do lixiviado no analisador de carbono e as concentrações de carbono orgânico total foram determinadas depois da expulsão do carbono inorgânico das amostras

baixando-se o pH até 2 e aerando as amostras com ar sintético por cerca de 10 minutos antes da análise.

Na Figura 5.5.14.3 (b) são apresentadas as concentrações de $CT_{Filtr.}$ dos perfis 15, 16 e 17 ao longo da batelada e a média das concentrações.

Figura 5.5.14.3: (a) Média dos perfis 15, 16 e 17 para carbono orgânico total, carbono total e carbono inorgânico total, e (b) Perfis 15, 16 e 17 de carbono total e a média dos perfis.

A Figura 5.5.14.4 (a) apresenta as concentrações de $COT_{Filtr.}$ dos perfis 15, 16 e 17 e a média dos perfis. Pode-se, notar pela Figura 5.5.14.4 (b), que a média das concentrações de $COT_{Filtr.}$, correlacionam-se muito bem com a média das concentrações de $DQO_{Filtr.}$ dos mesmos perfis.

Figura 5.5.14.4: (a) Perfis 15, 16 e 17 de carbono orgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a $DQO_{Filtr.}$ e $COT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 15, 16 e 17.

Por outro lado, a Figura 5.5.14.5 (a) apresenta as concentrações de $CIT_{Filtr.}$ dos perfis 15, 16 e 17 e a média dos perfis. Pode-se notar, pela Figura 5.5.14.5 (b), que a média das concentrações de

$CIT_{Filtr.}$, correlacionam-se muito bem com a média das concentrações das alcalinidades totais dos mesmos perfis.

Figura 5.5.14.5: (a) Perfis 15, 16 e 17 de carbono inorgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a alcalinidade total e $CIT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 15, 16 e 17.

Nas Figuras 5.5.14.6 (a) e (b) são apresentadas, respectivamente, as concentrações de DQO_{Total} e as remoções de DQO_{Total} dos perfis 14, 15, 16 e 17. Nota-se, por estes perfis, que se repete o comportamento observado nos perfis 11, 12 e 13, onde o substrato consumido foi somente aquele que foi adicionado ao lixiviado, pois no final do perfil, as concentrações de substrato (DQO_{Total}) voltaram aos valores iniciais de antes da adição de ácidos voláteis ao lixiviado.

Figura 5.5.14.6: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de eficiência de remoção de DQO_{Total} e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.14.6 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de $DQO_{Filtr.}$ e as remoções de $DQO_{Filtr.}$ dos perfis 14, 15, 16 e 17. O comportamento das variações de concentração de $DQO_{Filtr.}$ foi semelhante ao da DQO_{Total} , valendo portanto, as mesmas observações.

Figura 5.5.14.7: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.

Nas Figuras 5.5.14.8 (a) e (b) são apresentadas, respectivamente, as relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$. Pode-se notar, por estas figuras, como essas relações variaram ao longo dos perfis temporais de concentração, tendendo a se estabilizar também nos finais dos perfis.

Figura 5.5.14.8: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 da relação AVT/DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 da relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.14.9 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de AVT obtidas por titulometria e as remoções de AVT ao longo dos perfis 14, 15, 16 e 17. Nota-se, por estes perfis, que se repete o comportamento da DQO, uma vez que o substrato que foi medido como DQO, eram os ácidos voláteis adicionados no início da batelada e consumidos ao longo do tempo.

Na Figura 5.5.14.10 (a) são apresentadas as concentrações de ácido acético determinadas por cromatografia gasosa e na Figura 5.5.14.10 (b), as concentrações de ácido propiônico também determinadas por cromatografia.

Figura 5.5.14.9: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de AVT por titulação e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 da eficiência de remoção de AVT e a média dos perfis.

Figura 5.5.14.10: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido acético, determinados por cromatografia, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido propiônico, determinados por cromatografia.

É interessante notar pela Figura 5.5.14.11 (a) que não foi adicionado ácido isobutírico em nenhum dos perfis, mas parece que ocorreram formação e consumo desse ácido ao longo do tempo das bateladas. A Figura 5.5.14.11 (b) apresenta as concentrações de ácido butírico também determinadas por cromatografia.

Comportamento semelhante ao do ácido isobutírico foi observado também para os ácidos isovalérico e valérico, como pode ser observado pelas Figuras 5.5.14.12 (a) e (b).

Na Figura 5.5.14.13 são apresentadas as concentrações de N-amônia livre ao longo do tempo. Nota-se, por esta figura, que com a adição dos ácidos voláteis e a queda do pH, as concentrações de N-amônia livre foram muito baixas no início das bateladas, mas cresceram tendendo aparentemente a se estabilizarem por volta de $250 \text{ mg NH}_3\text{-N.L}^{-1}$ no final das bateladas, o que é um valor considerado não muito tóxico por Calli *et al.* (2005).

Figura 5.5.14.11: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido isobutírico, determinados por cromatografia, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido butírico, determinados por cromatografia.

Figura 5.5.14.12: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido isovalérico, determinados por cromatografia, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de ácido valérico, determinados por cromatografia.

Figura 5.5.14.13: Perfis 14, 15, 16 e 17 de N-amônia livre e a média dos perfis.

A Figura 5.5.14.14 (a) apresenta os perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos totais e nota-se nesta figura, que com a adição dos ácidos voláteis ocorreu um ligeiro aumento nas concentrações de ST no início da batelada, provavelmente devido à formação de acetato, propionato e butirato, que evaporados podem ter se tornados acetato, propionato e butirato de sódio ou potássio, que não são voláteis. Na Figura 5.5.14.14 (b) são apresentados os perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos totais fixos que apresentaram concentrações praticamente constantes ao longo dos perfis.

Na Figura 5.5.14.15 (a) são apresentados os perfis 14, 15, 16 e 17 de concentração de sólidos totais voláteis e o comportamento foi similar ao apresentado pelos sólidos totais. Na Figura 5.5.14.15 (b) são apresentados os perfis de sólidos suspensos totais, que curiosamente apresentaram novamente um pico de concentração entre o início e o primeiro dia da batelada, apresentando queda contínua até o quarto dia, com um pequeno aumento no quinto dia, certamente, devido aos arrastes provocados pelo esvaziamento do reator.

Figura 5.5.14.14: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos totais fixos e a média dos perfis.

Figura 5.5.14.15: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos totais voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos suspensos totais e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.14.16 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis dos perfis 14, 15, 16 e 17. Como pode ser observado, o comportamento desses dois perfis foi similar ao comportamento dos perfis de sólidos suspensos totais apresentados na figura anterior.

Figura 5.5.14.16: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos suspensos fixos e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos suspensos voláteis e a média dos perfis.

Nota-se pela Figura 5.5.14.17 (a), que apresenta os resultados dos perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, que o comportamento foi similar ao destacado anteriormente para os ST e STV. Pela Figura 5.5.14.17 (b), pode-se notar, que nos perfis de sólidos dissolvidos fixos praticamente não ocorreram grandes variações de concentração ao longo do tempo.

Figura 5.5.14.17: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos dissolvidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos dissolvidos fixos e a média dos perfis.

O comportamento dos perfis de sólidos dissolvidos voláteis, como apresentados na Figura 5.5.14.18 (a), foi similar também ao comportamento dos SDT, STV e ST.

A Figura 5.5.14.18 (b) apresenta a evolução da relação STV/ST ao longo do tempo nos perfis de concentração 14, 15, 16 e 17.

Figura 5.5.14.18: (a) Perfis 14, 15, 16 e 17 de sólidos dissolvidos voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 14, 15, 16 e 17 da relação STV/ST e a média dos perfis.

As variações das concentrações de metais dos perfis 14 e 16 são apresentadas nas Figuras 5.5.14.19 (a) a 5.5.14.22 (b) para o Zinco, o Chumbo, o Cádmio, o Níquel, o Ferro, o Manganês, o Cobre e o Cromo. Nota-se, por essas figuras, que o mesmo comportamento observado nos perfis 3 e 5, parece se repetir novamente, onde existem dois grupos de metais, sendo um deles, com pequenas variações de concentração ao longo do perfil e o outro com variações mais significativas. No primeiro grupo, aparentemente incluem-se o Chumbo, Cádmio e Níquel. O segundo grupo parece incluir o Zinco, o Ferro, o Manganês, o Cobre e o Cromo.

Figura 5.5.14.19: (a) Perfis 14 e 16 de concentrações de Zinco, e a média dos perfis, e (b) Perfis 14 e 16 de concentrações de Chumbo, e a média dos perfis.

Figura 5.5.14.20: (a) Perfis 14 e 16 de concentrações de Cádmio, e a média dos perfis, e (b) Perfis 14 e 16 de concentrações de Níquel, e a média dos perfis.

Figura 5.5.14.21: (a) Perfis 14 e 16 de concentrações de Ferro, e a média dos perfis, e (b) Perfis 14 e 16 de concentrações de Manganês, e a média dos perfis.

Figura 5.5.14.22: (a) Perfis 14 e 16 de concentrações de Cobre, e a média dos perfis, e (b) Perfis 14 e 16 de concentrações de Cromo, e a média dos perfis.

5.5.15 – Perfis 18, 19, 20 e 21

Os Perfis 18, 19, 20 e 21 foram obtidos através da adição de ácido acético, propiônico e butírico ao lixiviado diluído em aproximadamente 50%, que era altamente recalcitrante, assim foi possível se fazer uma avaliação do consumo dos ácidos ao longo da batelada. No início de cada batelada foram adicionados aproximadamente 3,0 L de ácido acético, 1,0 L de ácido propiônico e 0,25 L de ácido butírico e foram repostas as concentrações de N-amoniacal na forma de NH_4HCO_3 e de sódio na forma de NaHCO_3 até aproximadamente a concentração original.

A Figura 5.5.15.1 apresenta as temperaturas e a média das temperaturas dos perfis 18, 19, 20 e 21. Nota-se, por esta figura, que a média da temperatura destes perfis foi praticamente constante, ficando novamente muito próxima de 25 °C no decorrer de todo o perfil.

(a)

Figura 5.5.15.1: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de temperatura e a média dos perfis.

Na realização destes perfis, os ácidos foram previamente misturados com as quantidades medidas de bicarbonato de sódio e bicarbonato de amônio em um tanque de 100 L, inicialmente com cerca de 10 L de água, para mistura e para reação de neutralização. Em seguida, o reator era inicialmente enchido com lixiviado somente até a metade e promovia-se a mistura da solução previamente preparada, com os lixiviados no reator, mantendo-se o sistema de agitação ligado. A solução de ácidos era transferida para o reator utilizando-se um balde plástico. Como os ácidos já estavam parcialmente neutralizados, ocorria pouca formação de espumas no enchimento dos reatores. Paralelamente à adição da solução de ácidos e bicarbonatos no reator, também se completava o reator com água da torneira por meio de uma mangueira. O processo de enchimento demorava de 20 a 30 minutos, e de 5 em 5 minutos invertia-se o sentido da agitação do líquido do reator para melhorar a mistura. Depois de cheio, continuava-se o processo de inversão do sentido da agitação por mais 15 minutos, procurando deixar a mistura homogênea para se coletar uma amostra no início da batelada.

Como pode ser notado na Figura 5.5.15.2 (a) e (b), os comportamentos do pH e da alcalinidade total, respectivamente, foram parecidos, porém em menor escala de variação para alcalinidade, pois com a adição dos ácidos voláteis, que não foram totalmente neutralizados, uma parte da alcalinidade a bicarbonato do lixiviado foi consumida, liberando-se o gás carbônico dos bicarbonatos e baixando o pH. Porém, no decorrer da batelada, com o consumo desses ácidos, tanto o pH quanto a alcalinidade total eram reconstituídos, voltando a valores próximos dos iniciais, ou seja, de antes da adição de ácidos.

A Figura 5.5.15.3 (a) apresenta as concentrações médias dos perfis 19, 20 e 21, das formas de carbono existentes no lixiviado filtrado, e como elas variaram ao longo do perfil. Na Figura 5.5.15.3 (b) são apresentadas as concentrações de $CT_{Filtr.}$ dos perfis 19, 20 e 21 ao longo da batelada, e a média das concentrações.

Figura 5.5.15.2: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de pH e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de alcalinidade total e a média dos perfis.

Figura 5.5.15.3: (a) Média dos perfis 19, 20 e 21 para carbono orgânico total, carbono total e carbono inorgânico total, e (b) Perfis 19, 20 e 21 de carbono total e a média dos perfis.

A Figura 5.5.15.4 (a) apresenta as concentrações de $COT_{Filtr.}$ dos perfis 19, 20 e 21 e a média dos perfis. Pode-se notar, pela Figura 5.5.15.4 (b), que a média das concentrações de $COT_{Filtr.}$, correlacionaram-se muito bem com a média das concentrações de $DQO_{Filtr.}$ dos mesmos perfis.

Figura 5.5.15.4: (a) Perfis 19, 20 e 21 de carbono orgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a $DQO_{Filtr.}$ e $COT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 19, 20 e 21.

Por outro lado, a Figura 5.5.15.5 (a) apresenta as concentrações de $CIT_{Filtr.}$ dos perfis 19, 20 e 21 e a média dos perfis. Pode-se notar, pela Figura 5.5.15.5 (b), que a média das concentrações de $CIT_{Filtr.}$, correlacionaram-se muito bem com a média das concentrações das alcalinidades totais dos mesmos perfis.

Figura 5.5.15.5: (a) Perfis 19, 20 e 21 de carbono inorgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a alcalinidade total e $CIT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 19, 20 e 21.

Nas Figuras 5.5.15.6 (a) e (b) são apresentadas, respectivamente, as concentrações de DQO_{Total} e as remoções de DQO_{Total} dos perfis 18, 19, 20 e 21. Nota-se, por estes perfis, que se repete o comportamento observado nos perfis 11 a 17, onde o substrato consumido foi somente aquele que foi

adicionado ao lixiviado, pois no final do perfil, as concentrações de substrato (DQO_{Total}) voltaram aos valores iniciais de antes da adição de ácidos voláteis ao lixiviado, com a diferença neste caso, que se voltou para um valor mais baixo de DQO_{Total} que o inicial, devido somente à diluição do lixiviado com água.

Figura 5.5.15.6: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de eficiência de remoção de DQO_{Total} e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.15.7 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de $DQO_{Filtr.}$ e as remoções de $DQO_{Filtr.}$ dos perfis 18, 19, 20 e 21. O comportamento das variações de concentração de $DQO_{Filtr.}$ foi semelhante ao da DQO_{Total} , valendo portanto, as mesmas observações.

Figura 5.5.15.7: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.

Nas Figuras 5.5.15.8 (a) e (b) são apresentadas, respectivamente, as relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$. Pode-se notar, por estas figuras, como essas relações variaram ao longo dos perfis temporais de concentração, tendendo a se estabilizar também nos finais dos perfis.

Figura 5.5.15.8: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 da relação AVT/DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 da relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.15.9 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de AVT obtidas por titulometria e as remoções de AVT ao longo dos perfis 18, 19, 20 e 21. Nota-se, por estes perfis, que se repetiu o comportamento da DQO, uma vez que o substrato que foi medido como DQO, eram os ácidos voláteis adicionados no início da batelada e consumidos ao longo do tempo.

Figura 5.5.15.9: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de AVT por titulação e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 da eficiência de remoção de AVT e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.15.10 (a) são apresentadas as concentrações de ácido acético determinadas por cromatografia gasosa e na Figura 5.5.15.10 (b), as concentrações de ácido propiônico também determinadas por cromatografia.

É interessante notar, pela Figura 5.5.15.11 (a), que novamente não foi adicionado ácido isobutírico em nenhum dos perfis, mas parece que ocorreram formação e consumo desse ácido ao longo do tempo das bateladas, apresentado um pico nítido de concentração no primeiro dia do perfil. A

Figura 5.5.15.11 (b) apresenta as concentrações de ácido butírico também determinadas por cromatografia.

Figura 5.5.15.10: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de ácido acético, obtidos por cromatografia e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de ácido propiônico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis.

Figura 5.5.15.11: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de ácido isobutírico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de ácido butírico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.15.12 são apresentadas as concentrações de N-amônia livre ao longo do tempo. Nota-se, por esta figura, que com a adição dos ácidos voláteis e a queda do pH, as concentrações de N-amônia livre foram baixas no início das bateladas, mas cresceram continuamente até aproximadamente de 350 $\text{mg NH}_3\text{-N.L}^{-1}$ no final das bateladas, o que é um valor considerado ainda não muito tóxico por Calli *et al.* (2005).

Figura 5.5.15.12: Perfis 18, 19, 20 e 21 de N-amônia livre e a média dos perfis.

A Figura 5.5.15.13 (a) apresenta os perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos totais, e nota-se nesta figura, que com a adição dos ácidos voláteis ocorreu um ligeiro aumento nas concentrações de ST no início da batelada, provavelmente devido à formação de acetato, propionato e butirato, que evaporados podem ter se tornados acetato, propionato e butirato de sódio ou potássio, que não são voláteis. Na Figura 5.5.15.13 (b) são apresentados os perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos totais fixos, que na média, apresentaram concentrações praticamente constantes ao longo dos perfis.

(a)

(b)

Figura 5.5.15.13: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos totais fixos e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.15.14 (a) são apresentados os perfis 18, 19, 20 e 21 de concentração de sólidos totais voláteis, e o comportamento foi similar ao apresentado pelos sólidos totais. Na Figura 5.5.15.14 (b) são apresentados os perfis de sólidos suspensos totais, que curiosamente apresentaram novamente um pico de concentração entre o início e o primeiro dia da batelada, apresentando queda contínua até o quarto dia, com um pequeno aumento no quinto dia, certamente, devido aos arrastes provocados pelo esvaziamento do reator.

Figura 5.5.15.14: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos totais voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos suspensos totais e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.15.15 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis dos perfis 18, 19, 20 e 21. Como pode ser observado, o comportamento desses dois perfis foi similar ao comportamento dos perfis de sólidos suspensos totais, apresentados na figura anterior.

Figura 5.5.15.15: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos suspensos fixos e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos suspensos voláteis e a média dos perfis.

Nota-se, pela Figura 5.5.15.16 (a), que apresenta os resultados dos perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, que o comportamento foi similar ao destacado anteriormente para os ST e STV. Pela Figura 5.5.15.16 (b), pode-se notar, que nos perfis de sólidos dissolvidos fixos, praticamente não ocorreram grandes variações de concentração ao longo do tempo.

Figura 5.5.15.16: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos dissolvidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos dissolvidos fixos e a média dos perfis.

O comportamento dos perfis de sólidos dissolvidos voláteis, como apresentados na Figura 5.5.15.17 (a), foi similar também ao comportamento dos SDT, STV e ST.

A Figura 5.5.15.17 (b) apresenta a evolução da relação STV/ST ao longo do tempo nos perfis de concentração 18, 19, 20 e 21.

Figura 5.5.15.17: (a) Perfis 18, 19, 20 e 21 de sólidos dissolvidos voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 18, 19, 20 e 21 da relação STV/ST e a média dos perfis.

As variações das concentrações de metais dos perfis 20 e 21 são apresentadas nas Figuras 5.5.15.18 (a) a 5.5.15.21 (b), para o Zinco, o Chumbo, o Cádmio, o Níquel, o Ferro, o Manganês, o Cobre e o Cromo. Nota-se, por essas figuras, que o mesmo comportamento observado nos perfis 3, 5, 14 e 16, parece se repetir novamente, onde existem dois grupos de metais, sendo um deles, com pequenas variações de concentração ao longo do perfil e o outro com variações mais significativas. No primeiro grupo, aparentemente incluem-se o Chumbo, Cádmio e Níquel. O segundo grupo parece incluir o Zinco, o Ferro, o Manganês, o Cobre e o Cromo.

Figura 5.5.15.18: (a) Perfis 20 e 21 de concentrações de Zinco, e a média dos perfis, e (b) Perfis 20 e 21 de concentrações de Chumbo, e a média dos perfis.

Figura 5.5.15.19: (a) Perfis 20 e 21 de concentrações de Cádmio, e a média dos perfis, e (b) Perfis 20 e 21 de concentrações de Níquel, e a média dos perfis.

Figura 5.5.15.20: (a) Perfis 20 e 21 de concentrações de Ferro, e a média dos perfis, e (b) Perfis 20 e 21 de concentrações de Manganês, e a média dos perfis.

Figura 5.5.15.21: (a) Perfis 20 e 21 de concentrações de Cobre, e a média dos perfis, e (b) Perfis 20 e 21 de concentrações de Cromo, e a média dos perfis.

5.5.16 – Perfis 22, 23, 24, 25 e 26

Os Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 foram obtidos através da adição de ácido acético, propiônico e butírico ao lixiviado sem diluição, que era altamente recalcitrante, assim foi possível se fazer uma avaliação do consumo dos ácidos ao longo da batelada. No início de cada batelada foram adicionados aproximadamente 3,0 L de ácido acético, 1,0 L de ácido propiônico e 0,25 L de ácido butírico. Também foram adicionados 8,0 kg de NH_4HCO_3 , para que fosse avaliado o efeito de um choque no sistema, com o aumento da concentração de N-amoniacal.

A Figura 5.5.16.1 apresenta as temperaturas e a média das temperaturas dos perfis 22, 23, 24, 25 e 26. Nota-se, por esta figura, que a média da temperatura destes perfis oscilou pouco, permanecendo aproximadamente entre 25 e 27 °C no decorrer de todo o perfil.

Figura 5.5.16.1: Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de temperatura e a média dos perfis.

Na realização destes perfis, os ácidos foram previamente misturados com as quantidades medidas de bicarbonato de amônio em um tanque de 100 L, inicialmente com cerca de 10 L de água, para mistura e para reação de neutralização. Em seguida, o reator era inicialmente enchido com lixiviado somente até a metade, e promovia-se a mistura da solução previamente preparada, com os lixiviados no reator, mantendo-se o sistema de agitação ligado. A solução de ácidos era transferida para o reator utilizando-se balde plástico. Como os ácidos já estavam parcialmente neutralizados, ocorria pouca formação de espumas no enchimento dos reatores. Paralelamente à adição da solução de ácidos e bicarbonato de amônio no reator, também eram bombeados lixiviados para o enchimento do reator. O processo de enchimento demorava cerca de 20 minutos, e de 5 em 5 minutos invertia-se o sentido da agitação do líquido do reator para melhorar a mistura. Depois de cheio, continuava-se o processo de inversão do sentido da agitação por mais 15 minutos, procurando deixar a mistura homogênea para se coletar uma amostra no início da batelada.

Como pode ser notado na Figura 5.5.16.2 (a) e (b), os comportamentos do pH e da alcalinidade total, respectivamente, foram distintos, pois praticamente não ocorreram perdas de alcalinidade no início da batelada, mas ocorreu um ligeiro aumento do pH ao longo da batelada devido ao efeito tampão da amônia adicionada.

Figura 5.5.16.2: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de pH e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de alcalinidade total e a média dos perfis.

A Figura 5.5.16.3 (a) apresenta as concentrações médias dos perfis 23, 25 e 26, das formas de carbono existentes no lixiviado filtrado e como elas variaram ao longo do perfil. Na Figura 5.5.16.3 (b) são apresentadas as concentrações de $CT_{Filtr.}$ dos perfis 23, 25 e 26 ao longo da batelada e a média das concentrações.

Na Figura 5.5.16.4 (a) são apresentadas as concentrações de $COT_{Filtr.}$ dos perfis 23, 25 e 26 e a média dos perfis. Pode-se notar, pela Figura 5.5.16.4 (b), que a média das concentrações de $COT_{Filtr.}$, correlacionam-se muito bem com a média das concentrações de $DQO_{Filtr.}$ dos mesmos perfis.

Figura 5.5.16.3: (a) Média dos perfis 23, 25 e 26 para carbono orgânico total, carbono total e carbono inorgânico total, e (b) Perfis 23, 25 e 26 de carbono total e a média dos perfis.

Figura 5.5.16.4: (a) Perfis 23, 25 e 26 de carbono orgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a DQO_{Filtr.} e COT_{Filtr.} para a média dos perfis 23, 25 e 26.

Por outro lado, a Figura 5.5.16.5 (a) apresenta as concentrações de CIT_{Filtr.} dos perfis 23, 25 e 26 e a média dos perfis. Pode-se notar, pela Figura 5.5.16.5 (b), que a média das concentrações de CIT_{Filtr.}, correlacionam-se muito bem com a média das concentrações das alcalinidades totais dos mesmos perfis.

Nas Figuras 5.5.16.6 (a) e (b) são apresentadas, respectivamente, as concentrações de DQO_{Total} e as remoções de DQO_{Total} dos perfis 22, 23, 24, 25, e 26. Nota-se, por estes perfis, que se repetiu o comportamento observado nos perfis 11 a 21, onde o substrato consumido foi somente aquele que foi adicionado ao lixiviado, pois no final do perfil, as concentrações de substrato (DQO_{Total}) voltaram aos valores iniciais de antes da adição de ácidos voláteis ao lixiviado.

As Figuras 5.5.16.7 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de DQO_{Filtr.} e as remoções de DQO_{Filtr.} dos perfis 22, 23, 24, 25, e 26. O comportamento das variações de concentração de DQO_{Filtr.} foi semelhante ao da DQO_{Total}, valendo portanto as mesmas observações.

Figura 5.5.16.5: (a) Perfis 23, 25 e 26 de carbono inorgânico total e a média dos perfis, e (b) Correlação entre a alcalinidade total e $CIT_{Filtr.}$ para a média dos perfis 23, 25 e 26.

Figura 5.5.16.6: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de eficiência de remoção de DQO_{Total} e a média dos perfis.

Figura 5.5.16.7: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de eficiência de remoção de $DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.

Nas Figuras 5.5.16.8 (a) e (b) são apresentadas, respectivamente, as relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$. Pode-se notar, por estas figuras, como essas relações variaram ao longo dos perfis temporais de concentração, tendendo a se estabilizar também nos finais dos perfis.

Figura 5.5.16.8: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 da relação AVT/DQO_{Total} e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 da relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.16.9 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de AVT obtidas por titulometria e as remoções de AVT ao longo dos perfis 22, 23, 24, 25, e 26. Nota-se, por estes perfis, que se repetiu o comportamento da DQO, uma vez que o substrato que foi medido como DQO, eram os ácidos voláteis adicionados no início da batelada e consumidos ao longo do tempo.

Figura 5.5.16.9: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de AVT e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 da eficiência de remoção de AVT e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.16.10 (a) são apresentadas as concentrações de ácido acético determinadas por cromatografia gasosa e na Figura 5.5.16.10 (b), as concentrações de ácido propiônico também determinadas por cromatografia.

É interessante notar pela Figura 5.5.16.11 (a) que novamente não foi adicionado ácido isobutírico em nenhum dos perfis, mas parece que ocorreram formação e consumo desse ácido ao longo do tempo das bateladas, apresentado um pico nítido de concentração no primeiro dia do perfil. A Figura 5.5.16.11 (b) apresenta as concentrações de ácido butírico também determinadas por cromatografia.

Figura 5.5.16.10: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de ácido acético, obtidos por cromatografia e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de ácido propiônico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis.

Figura 5.5.16.11: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de ácido isobutírico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de ácido butírico, obtidos por cromatografia e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.16.12 (a) são apresentadas as concentrações de N-amoniacal dos perfis no decorrer da batelada. Observa-se uma ligeira queda na concentração média, ao longo do tempo, que pode ter sido causada pela volatilização da amônia, ou arraste junto com a formação de dióxido de carbono. Na Figura 5.5.16.12 (b) são apresentadas as concentrações de N-amônia livre ao longo do

tempo. Nota-se, por esta figura, que com a adição dos ácidos voláteis e a queda do pH, as concentrações de N-amônia livre foram baixas no início das bateladas, mas cresceram continuamente até o quarto dia, onde aparentemente se estabilizaram em um patamar de aproximadamente de 550 mg $\text{NH}_3\text{-N.L}^{-1}$ no final das bateladas, o que é um valor considerado ainda como não excessivamente tóxico por Calli *et al.* (2005), mas potencialmente inibidor.

Figura 5.5.16.12: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de N-amoniaco e a média dos perfis e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de N-amônia livre e a média dos perfis.

A Figura 5.5.16.13 (a) apresenta os perfis 22, 23, 24, 25, e 26 de sólidos totais e nota-se, nesta figura, que com a adição dos ácidos voláteis ocorreu um ligeiro aumento nas concentrações de ST no início da batelada, provavelmente devido à formação de acetato, propionato e butirato, que evaporados podem ter se tornados acetato, propionato e butirato de sódio ou potássio, que não são voláteis. Na Figura 5.5.16.13 (b) são apresentados os perfis 22, 23, 24, 25, e 26 de sólidos totais fixos, que na média apresentaram concentrações praticamente constantes ao longo dos perfis.

Figura 5.5.16.13: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos totais fixos e a média dos perfis.

Na Figura 5.5.16.14 (a) são apresentados os perfis 22, 23, 24, 25, e 26 de concentração de sólidos totais voláteis e o comportamento foi similar ao apresentado pelos sólidos totais. Na Figura 5.5.16.14 (b) são apresentados os perfis de sólidos suspensos totais, que curiosamente apresentaram novamente um pico de concentração entre o início e o primeiro dia da batelada, apresentando queda contínua até o quinto dia, com um pequeno aumento no sexto dia, certamente, devido aos arrastes provocados pelo esvaziamento do reator.

Figura 5.5.16.14: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos totais voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos suspensos totais e a média dos perfis.

As Figuras 5.5.16.15 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis dos perfis 22, 23, 24, 25, e 26. Como pode ser observado, o comportamento desses dois perfis foi similar ao comportamento dos perfis de sólidos suspensos totais, apresentados na figura anterior.

Figura 5.5.16.15: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos suspensos fixos e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos suspensos voláteis e a média dos perfis.

Nota-se, pela Figura 5.5.16.16 (a), que apresenta os resultados dos perfis de concentração de sólidos dissolvidos totais, que o comportamento foi similar ao destacado anteriormente para os ST e STV. Pela Figura 5.5.16.16 (b), pode-se notar, que nos perfis de sólidos dissolvidos fixos praticamente não ocorreram grandes variações de concentração ao longo do tempo.

Figura 5.5.16.16: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos dissolvidos totais e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos dissolvidos fixos e a média dos perfis.

O comportamento dos perfis de sólidos dissolvidos voláteis, como apresentados na Figura 5.5.16.17 (a), foi similar também ao comportamento dos SDT, STV e ST.

A Figura 5.5.16.17 (b) apresenta a evolução da relação STV/ST ao longo do tempo nos perfis de concentração 22, 23, 24, 25, e 26.

Figura 5.5.16.17: (a) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 de sólidos dissolvidos voláteis e a média dos perfis, e (b) Perfis 22, 23, 24, 25 e 26 da relação STV/ST e a média dos perfis.

As variações das concentrações de metais dos perfis 23 e 25 são apresentadas nas Figuras 5.5.16.18 (a) a 5.5.16.21 (b), para o Zinco, o Chumbo, o Cádmio, o Níquel, o Ferro, o Manganês, o

Cobre e o Cromo. Nota-se por essas figuras, que o mesmo comportamento observado nos perfis 3, 5, 14, 16, 20 e 21, parece se repetir novamente, onde existem dois grupos de metais, sendo um deles, com pequenas variações de concentração ao longo do perfil e o outro com variações mais significativas. Porém, para esta ultima condição, esta diferenciação ficou um pouco mais sutil para alguns metais, tais como o Zinco, o Cobre e o Cromo. No primeiro grupo, aparentemente, incluem-se novamente o Chumbo, Cádmio e Níquel. O segundo grupo parece incluir agora somente o Ferro e o Manganês.

Figura 5.5.16.18: (a) Perfis 23 e 25 de concentrações de Zinco, e a média dos perfis, e (b) Perfis 23 e 25 de concentrações de Chumbo, e a média dos perfis.

Figura 5.5.16.19: (a) Perfis 23 e 25 de concentrações de Cádmio, e a média dos perfis, e (b) Perfis 23 e 25 de concentrações de Níquel, e a média dos perfis.

Figura 5.5.16.20: (a) Perfis 23 e 25 de concentrações de Ferro, e a média dos perfis, e (b) Perfis 23 e 25 de concentrações de Manganês, e a média dos perfis.

Figura 5.5.16.21: (a) Perfis 23 e 25 de concentrações de Cobre, e a média dos perfis, e (b) Perfis 23 e 25 de concentrações de Cromo, e a média dos perfis.

5.5.17 – Síntese da Análise dos Perfis

De forma geral, os resultados encontrados na operação e na análise dos perfis do ASBBR (R3), confirmam os resultados dos testes de biodegradabilidade realizados em escala de bancada.

Os lixiviados parecem ser formados por duas parcelas de matéria orgânica, uma delas biodegradável, formada predominantemente por ácidos voláteis e que pode ser tratada por processos anaeróbios e uma outra formada por matéria orgânica recalcitrante (inerte), que não sofre ataque algum dos microrganismos anaeróbios. Assim, pode-se notar que, quando existia no lixiviado matéria orgânica de fácil biodegradabilidade, ela era consumida, e quando não existia, o tratamento parecia não ter efeito algum.

Notou-se também que, nem diluindo-se o lixiviado era possível melhorar o tratamento da matéria orgânica de difícil degradação.

Quanto às elevadas concentrações de N-amoniacal, elas mostraram não impedir a adaptação da biomassa ao lixiviado e nem influíram tão fortemente na cinética dos processos, como se esperava.

5.6 – Lodos Ativados em Bateladas Seqüenciais (R4)

O sistema de lodos ativados operado em bateladas seqüenciais esteve ligado em série com o ASBBR (R3), tratando assim os efluentes do ASBBR. Paralelo a R4 estava prevista a operação de R2, também como lodos ativados operado em bateladas seqüenciais, que iria tratar os efluentes do ASBR (R1), mas devido ao acidente ocorrido com R1, a operação de R2 foi cancelada.

O sistema de lodos ativados em bateladas seqüenciais (R4) foi operado por 15 bateladas, com tempo de reação de 5 dias, ou seja, o mesmo que do ASBBR (R3). Os resultados numéricos da operação de R4 são apresentados no **APÊNDICE V**.

Como inóculo de R4 foi utilizado uma mistura de dois lodos anaeróbios, composto por 60% de lodo proveniente do fundo da lagoa de lixiviados e 40% proveniente de um reator UASB que tratava efluentes de um aviário em Tietê-SP.

Até a décima primeira batelada, o reator utilizou como sistema de agitação e aeração um único difusor de ar, porém com aeração intensa de cerca de 30 L.min^{-1} . A partir da décima segunda batelada o sistema de agitação e aeração foi substituído por dois difusores de ar, sendo um deles com a face difusora voltada para baixo e a outra voltada para cima, com a intenção de se eliminar a zona morta de lodo que se sedimentava ao lado do difusor, quando apresentava somente uma face voltada para cima. A partir daí, a aeração foi aumentada para cerca de 50 L.min^{-1} . Infelizmente, durante a décima sexta batelada o motor do compressor não agüentou e queimou novamente, paralisando definitivamente esta parte do experimento, que resolveu-se dar por encerrada devido aos resultados de pouca expressão.

Depois da quinta batelada foi realizado um exame de microscopia ótica em uma amostra retirada de R4. A Figura 5.6.1 apresenta duas imagens do exame de microscopia. Por esse exame notou-se a presença de muito material inerte, cocos e bacilos, como apresentado nas Figuras 5.4.1 (a) e (b). De forma geral, o lodo apresentava-se bastante pobre, com os microrganismos agrupados de forma floculenta, como na Figura 5.6.1 (a). Não foi notada no lodo a presença de protozoários e isso se deve ao elevado pH do lixiviado (acima de 8,0), que não permite o desenvolvimento desses microrganismos.

As Figuras 5.6.2 (a) a 5.6.10 (b) e W.1.1 a W.1.17 apresentam os resultados da operação de R4. A operação de R4 iniciou-se depois da batelada 38 do ASBBR (R3), porém somente a partir do final da batelada 39 de R3, que R4 recebeu os efluentes de R3.

A Figura 5.6.2 (a) apresenta a temperatura média e as faixas de variação da temperatura ao longo das quinze bateladas. Durante esse período as temperaturas estiveram praticamente sempre entre 15 e 25°C. Já a Figura 5.6.2 (b) apresenta as variações dos valores de pH do afluente e do efluente. Nota-se, por essa figura, que o pH do afluente esteve sempre entre 8,0 e 8,5 e o pH do efluente foi sempre da ordem de 9,0.

Figura 5.6.1: (a) Lodo flocculento de R4 e (b) Cocos, bacilos e muito material inerte.

Figura 5.6.2: (a) Temperatura média e faixa de variação da temperatura durante as bateladas e (b) pH afluente e efluente.

As Figuras 5.6.3 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as concentrações de AVT e sua eficiência de remoção. Nota-se, por essas figuras, que a remoção de AVT foi baixa ao longo de quase todo o período, ficando quase sempre em torno de 20%. Por outro lado, como a determinação foi feita pelo Método de DiLallo Modificado, é provável, que no próprio afluente, as concentrações desses ácidos já fossem bem menores que as reais e que no efluente já fosse praticamente igual a zero, porque este método de determinação de ácidos apresenta interferências de quais quer outras substâncias de caráter ácido, tais como ácidos húmicos, fúlvicos e até ácidos inorgânicos.

Figura 5.6.3: (a) Ácidos voláteis totais afluente e efluente, e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais.

Na Figura 5.6.4 (a) são apresentadas as alcalinidades total do afluente e do efluente e na Figura 5.6.4 (b) a remoção dessa alcalinidade pelo sistema. Observa-se, por essas figuras, que apesar do sistema ter removido ácidos, ele também removeu alcalinidade do lixiviado. Isso se deve ao fato, de que junto ao consumo dos ácidos, também ocorreu perda de N-amoniaco, como apresentado nas Figuras 5.6.5 (a) e (b), onde são apresentadas as concentrações de N-amoniaco afluente e efluente, e as eficiências de remoção. Acredita-se que os mecanismos de remoção de N-amoniaco foram através da utilização para crescimento celular e principalmente por *stripping*, pois como pode ser observado na figura, a partir da batelada 12, com o aumento da vazão de ar, nota-se um aumento considerável na remoção de N-amoniaco que saltou da ordem dos 10% para mais de 20%. Além disso, a cada batelada, eram feitos testes para detecção de nitrito ou nitrato, por meio de testes de aquário e em nenhuma delas foi detectado nenhum desses dois compostos. Poder-se-ia até se especular que poderia estar ocorrendo nitrificação e desnitrificação, sem acúmulo de nitrito e nitrato, mas isso parece ser bastante improvável, pois a remoção de N-amoniaco era muito baixa e ainda assim seria necessário uma zona anóxica no reator, que era muito bem aerado.

A Figura 5.6.6 apresenta a carga orgânica aplicada e removida pelo sistema, calculada através da $DQO_{Filtr.}$. Nota-se, por essa figura, que a carga aplicada era bastante baixa, ficando aproximadamente entre 0,6 e 0,5 kg $DQO.Bat^{-1}$ e mesmo assim a carga removida era ainda mais baixa ficando sempre entre 0,2 e 0,1 kg $DQO.Bat^{-1}$. Tal fato, comprova que o lixiviado do aterro de São Carlos possui uma fração muito alta de matéria orgânica recalcitrante, o que justifica as baixas remoções e também o estado dos microrganismos que pareciam carecer de alimento.

O mesmo fato também pode ser notado nas Figuras 5.6.7 e 5.6.8, onde são apresentadas as concentrações de substrato afluente e efluente, em termos de DQO total e filtrada, além das suas respectivas baixas eficiências de remoção. Observa-se, por essas figuras, que as eficiências do sistema, em termos de remoção de DQO, estiveram sempre na faixa de 20 a 30%, o que é um valor muito baixa em se tratando de um sistema aeróbio.

Figura 5.6.4: (a) Alcalinidade total afluente e efluente e (b) Remoção ou geração de alcalinidade total.

Figura 5.6.5: (a) N-amoniaco afluente, efluente e N-amônia livre máxima, e (b) Eficiência de remoção de N-amoniaco.

Figura 5.6.6: Carga orgânica filtrada aplicada e removida.

Figura 5.6.7: (a) DQO_{Total} afluyente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO_{Total}.

Figura 5.6.8: (a) DQO_{Filtr.} afluyente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO_{Filtr.}.

Como os resultados do acompanhamento, tanto de sólidos como de metais, possuem um papel secundário neste trabalho, eles estão apresentados nas Figuras W.1.1 a W.1.17 do **APÊNDICE W**.

As Figuras 5.6.9 e 5.6.10 apresentam as variações médias de alguns parâmetros ao longo das bateladas, bem como as faixas de variação dos parâmetros dia a dia. Os resultados numéricos destas medidas estão apresentados no **APÊNDICE X**.

A Figura 5.6.9 (a) apresenta a temperatura média e as faixas de variação máxima e mínima da temperatura.

Na Figura 5.6.9 (b) são apresentados os valores de pH obtidos através da média da concentração de H⁺ e as faixas de variação diária máxima e mínima. Nota-se, por essa figura, que no início das bateladas, o pH parte de um valor pouco superior a 8,0, atingindo até valores superiores a 9,0 no final da batelada.

Figura 5.6.9: (a) Temperatura média e variação da temperatura ao longo dos dias e (b) pH médio e faixa de variação do pH ao longo dos dias nas bateladas.

A Figura 5.6.10 apresenta a média e as faixas de variação das concentrações estimadas de N-amônia livre ao longo das bateladas. Observa-se que no início das bateladas as concentrações de N-amônia livre são relativamente baixas, mas podem atingir níveis considerados tóxicos pela literatura (maiores que 600 mg.L^{-1}), no final das bateladas.

Figura 5.6.10: Média e faixas de variação das concentrações estimadas de N-amônia livre ao longo das bateladas.

5.7 – Filtro Biológico (R5)

A Tabela 5.7.1 apresenta os resultados de algumas características e propriedades físicas do lodo misto utilizado como inóculo no filtro biológico.

Tabela 5.7.1: Características e propriedades físicas do lodo misto de inóculo utilizado no filtro biológico.

Parâmetro	Lodo Misto (60 % da lagoa de lixiv. e 40 % do ASBR)
Densidade	1,090 kg.L ⁻¹ *
Teor de umidade	83,30 % *
Sólidos totais	183,24 g.L ⁻¹
Sólidos totais fixos	119,93 g.L ⁻¹
Sólidos totais voláteis	63,31 g.L ⁻¹

OBS: * Na umidade natural média.

5.7.1 – Resultados da Operação do Filtro Biológico (R5)

Os resultados da operação de R5 são apresentados nas tabelas do **APÊNDICE Y**.

Quando foi iniciada a operação de R5 tentou-se manter o tempo de detenção hidráulica em torno de um dia em relação ou volume líquido do reator. Depois de cinquenta dias de operação, optou-se por mudar o tempo de detenção hidráulica para dois dias e assim foi mantido até os 120 dias de operação, onde o reator foi totalmente esvaziado para remoção do lodo em excesso que havia se desprendido do meio suporte. O reator foi esvaziado através dos amostradores localizados ao longo do seu comprimento, iniciando-se pelo ponto de amostragem número 9 e terminando-se pela entrada do reator (ponto de amostragem número zero). A Tabela 5.7.1.1 apresenta os volumes de líquido drenados de cada ponto. Como critério de parada, optou-se por encerrar a coleta do líquido para medida, assim que o líquido na saída do amostrador começasse a gotejar.

Depois de esvaziado, o reator foi enchido novamente para ser operado com um novo tempo de detenção. Optou-se nessa etapa, por operar o reator com tempo de detenção de 6 dias, e posteriormente com 4 dias, devido à dificuldade de se ajustar vazões muito baixas em sistemas deste tipo. O descarte preliminar do líquido e do lodo foi necessário, pois com baixas vazões, o lodo sedimentava entupindo frequentemente a entrada do reator, mas mesmo assim o problema continuou. Por outro lado, toda vez também que ocorria falta de energia elétrica, e ao se reiniciar a operação quando a energia voltava, a entrada do reator, que fica na base, se obstruía dificultando a entrada do afluente.

As amostragens do afluente e do efluente do reator foram feitas sempre de acordo com o tempo de detenção hidráulica, ou seja, quando o tempo de detenção hidráulica era de um dia a amostragem do efluente era feita um dia após a do afluente e assim por diante.

As Figuras 5.7.1.1 a 5.7.1.24 apresentam os resultados da operação de R5. A Figura 5.7.1.1 (a) apresenta os resultados do acompanhamento diário de R5, com as medidas de vazão e temperatura. A Figura 5.7.1.1 (b) apresenta os resultados das medidas de pH realizadas nas amostras afluentes e efluentes analisadas. Observa-se, por essa figura, que o pH do efluente foi geralmente superior ao da afluente, devido ao consumo dos ácidos provenientes da acidificação do etanol adicionado.

Tabela 5.7.1.1: Volume de líquido medido através dos amostradores ao esvaziar o filtro biológico (R5), depois de 120 dias de operação.

Ponto de Amostragem	Volume Drenado Medido (L)
10 (saída)	Não medido (acumulado em 9)
9	6,75
8	4,66
7	4,72
6	4,80
5	4,63
4	4,71
3	4,54
2	4,26
1	2,80
0 (entrada)	2,75
Total	44,62

Figura 5.7.1.1: (a) Acompanhamento diário de vazão e temperatura e (b) pH afluente e efluente.

A Figura 5.7.1.2 (a) apresenta as vazões e temperaturas médias entre amostragens dentro do intervalo igual ao tempo de detenção hidráulica, e a Figura 5.7.1.2 (b) apresenta o tempo de detenção hidráulica médio e a velocidade ascensional média também entre as amostragens realizadas.

A Figura 5.7.1.3 (a) apresenta a alcalinidade total do afluente e do efluente e a Figura 5.7.1.3 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou geração de alcalinidade. Observa-se, pelas figuras, que aproximadamente, até os cinquenta dias de operação, a alcalinidade do afluente era maior que a do efluente e depois disso a tendência se inverteu devido à maior capacidade do sistema de consumir os ácidos provenientes da acidificação do etanol adicionado. Próximo aos cento e cinquenta dias de operação, a geração de alcalinidade foi de aproximadamente 15% e parece ter se estabilizado ao redor deste valor.

Figura 5.7.1.2: (a) Vazão e temperatura médias entre amostragens, e (b) Tempo de detenção hidráulica e velocidade ascensional médias entre amostragens.

Figura 5.7.1.3: (a) Alcalinidade total afluente e efluente e (b) Remoção ou geração de alcalinidade total.

Na Figura 5.7.1.4 (a) são apresentadas as concentrações de N-amoniaco no afluente e de N-amônia livre no interior do reator. Nota-se, pela figura, que desde a partida do sistema, a concentração de N-amoniaco afluente ao sistema só aumentou com o tempo. Esse aumento ocorreu porque o início da operação do reator ocorreu no final do período das chuvas do início do ano. Com o fim das chuvas e início da estiagem, ocorreu uma maior concentração de N-amoniaco no lixiviado, que também contribuiu para o aumento da alcalinidade do lixiviado, pois o N-amoniaco encontra-se na sua maior parte como bicarbonato de amônio. A concentração de N-amônia livre no interior do reator foi sempre inferior a 300 mg.L⁻¹ e, portanto, abaixo dos níveis considerados tóxicos pela literatura, que é da ordem de 600 mg.L⁻¹. Para estimativa da concentração de N-amônia livre foi considerado o pH do efluente, que era o valor mais crítico para o cálculo e a temperatura do líquido medida diariamente às 18:00 horas, que era uma temperatura muito próxima da máxima que ocorria por volta das 17:00

horas. Os valores indicados no gráfico da Figura 5.7.1.4 (a) para as concentrações de N-amônia livre são os valores máximos calculados entre as amostragens de afluente e efluente realizadas.

A Figura 5.7.1.4 (b) apresenta as concentrações afluentes e efluentes de AVT. Nota-se, pela figura, que as concentrações de AVT no efluente praticamente se estabilizaram logo depois dos cinquenta dias de operação, com concentrações da ordem de 1.000 mg.L^{-1} . Uma exceção foi observada aos cento e vinte e cinco dias de operação, quando foi coletada a amostra do afluente no mesmo dia em que se encheu o reservatório e se adicionou o etanol. Como o etanol ainda não havia se acidificado, a concentração de ácidos foi baixa no afluente e mais elevada no efluente. Após os 161 dias de operação as concentrações de AVT do efluente voltaram a oscilar, devido ao aumento da carga aplicada no reator, decorrente de adição de quantidades ainda maiores de etanol no lixiviado afluente.

Figura 5.7.1.4: (a) N-amoniacal afluente e N-amônia livre máxima, e (b) Ácidos voláteis totais.

Nas Figuras 5.7.1.5 e 5.7.1.6 são apresentadas as concentrações de substrato afluente e efluente em termos de DQO total e filtrada. Observa-se, nessas figuras, que o sistema apresentou uma melhora contínua de sua eficiência com o tempo e, observa-se que, o aumento da eficiência do sistema aparentou estar mais ligado ao aumento da concentração do substrato no afluente, que propriamente com o aumento do tempo de detenção hidráulica.

As Figuras 5.7.1.7 (a) e (b) apresentam as cargas orgânicas aplicadas e removidas, calculadas através da DQO filtrada e total, respectivamente. Nota-se que até os cinquenta dias de operação, as cargas aplicadas variaram aproximadamente entre 5 e $15 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$, depois caíram para cerca de $4 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ até os 120 dias e depois para cerca de $2 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$, a partir dos 125 dias. Nota-se que, neste último período, conforme se reduziu a carga orgânica aplicada, também ocorreu uma redução da carga orgânica removida. A partir dos 161 dias, com o aumento da carga orgânica aplicada para aproximadamente $12 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$, a carga orgânica removida também aumentou, superando os $8 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$.

Figura 5.7.1.5: (a) DQO_{Total} afluyente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO_{Total}.

Figura 5.7.1.6: (a) DQO_{Filtr.} afluyente e efluente e (b) Eficiência de remoção de DQO_{Filtr.}.

Figura 5.7.1.7: (a) Carga orgânica total aplicada e removida, e (b) Carga orgânica filtrada aplicada e removida.

Como os resultados do acompanhamento, tanto de sólidos como de metais, possuem um papel secundário neste trabalho, eles estão apresentados nas Figuras Z.1.1 a Z.1.17 do **APÊNDICE Z**.

5.7.2 – Resultados dos Perfis Longitudinais de Concentração Realizados em R5

Os resultados numéricos dos perfis longitudinais de concentração realizados no filtro biológico anaeróbio (R5) estão apresentados nas tabelas do **APÊNDICE AA**.

5.7.3 – Primeiro Perfil Longitudinal de Concentração Realizado em R5

O primeiro perfil longitudinal de concentração realizado em R5 foi realizado aos 168 dias de operação, por acreditar-se que o reator já estava completamente adaptado ao lixiviado nesse período.

Próximo a esse período, procura-se operar o reator com θ_h próximo de 4 dias, porém como pode ser observado na Figura 5.7.1.2, existia bastante dificuldade em se ajustar a bomba para se manter este θ_h , pois os sedimentos que se desprendiam do leito de carvão acabavam muitas vezes obstruindo a entrada do reator, que se situava na sua extremidade inferior.

Como o substrato a ser tratado era uma mistura de lixiviado e etanol, a primeira amostragem do afluente quatro dias antes da realização do perfil, foi feita somente depois da acidificação do etanol, verificada através da constância observada no mínimo valor de pH, que era medido diariamente. Assim, durante os quatro dias que antecederam o perfil foram coletadas amostras do afluente e foi feito um acompanhamento das variações de temperatura do reator, pois o reator ficava exposto ao tempo na área externa do galpão do experimento e o lixiviado ficava armazenado em uma caixa d'água de 300 L dentro do galpão do experimento. Durante esses quatro dias, a aquisição da temperatura foi feita de trinta em trinta minutos, com um termômetro digital, que possuía um termopar, que ficava preso à parede externa do reator, do lado oposto ao lado de incidência de sol e isolado com isopor para que a temperatura do ar não influísse na medida do termopar. A Tabela AA.1 do **APÊNDICE AA** apresenta os valores das temperaturas medidas durante os quatro dias que antecederam o perfil. A Figura 5.7.3.1 apresenta a variação da temperatura nesses quatro dias.

Figura 5.7.3.1: Variação da temperatura e temperatura média dos quatro dias que antecederam a realização do perfil longitudinal de concentração em R5.

A Tabela AA.2 do **APÊNDICE AA** apresenta os resultados das variações dos parâmetros do afluente nos quatro dias que antecederam a realização do perfil longitudinal de concentração e a Tabela AA.3 apresenta os resultados do perfil.

As Figuras 5.7.3.2 (a) a 5.7.3.8 (b) apresentam os resultados da variação dos parâmetros ao longo do comprimento do reator e dos afluentes nos quatro dias que antecederam a realização do perfil. Para facilitar a visualização, tanto os resultados do perfil longitudinal, quanto dos afluentes, foram inseridos nas mesmas figuras. Os resultados dos afluentes foram inseridos à esquerda do eixo das ordenadas, com abscissas negativas, representando os dias que antecederam a realização do perfil e os resultados do perfil foram inseridos à direita, com abscissas positivas, representando os pontos de amostragem. O ponto zero representa o ponto de entrada do reator no dia da realização do perfil.

No período que antecedeu a realização do perfil, a vazão média bombeada para o reator foi de $0,85 \text{ L.h}^{-1}$ o que levou a um θ_h médio de 3,43 dias em relação ao volume líquido ou 5,78 dias em relação ao volume total. Nesse mesmo período a taxa média de geração de gás foi de $3,17 \text{ L.h}^{-1}$.

A Figura 5.7.3.2 (a) apresenta a temperatura do líquido do reator medida diariamente às 18:00 horas e a temperatura do líquido medida ao longo do comprimento do reator. A Figura 5.7.3.2 (b) apresenta o pH do líquido do reator medida diariamente às 18:00 horas e o pH do líquido medido ao longo do comprimento do reator. Observa-se, nessa figura, que o pH do lixiviado afluente variou consideravelmente nos dias que antecederam a realização do perfil, mas variou muito pouco ao longo do comprimento do reator.

Figura 5.7.3.2: (a) Temperatura do líquido e (b) pH.

Na Figura 5.7.3.3 (a) é apresentada a alcalinidade total do afluente e no perfil longitudinal do reator. Nota-se, por essa figura, que a alcalinidade total variou pouco tanto no afluente como ao longo do perfil, com exceção do trecho entre a entrada (ponto zero) e o ponto de amostragem número um.

Neste trecho inicial houve uma considerável geração de alcalinidade devido, certamente, ao consumo de ácidos voláteis, que também predominou neste trecho.

A Figura 5.7.3.3 (b) apresenta as concentrações de N-amônia livre afluyente e no perfil longitudinal do reator. Observa-se, nessa figura, que no afluyente a concentração de N-amônia livre apresentou variação praticamente linear ao longo do tempo, enquanto ao longo do reator essa variação foi muito menor, devido à grande variação do pH do efluente e à pequena variação do pH dentro do reator. Nota-se também, que a concentração de N-amônia livre dentro do reator ficou sempre abaixo de 150 mg.L^{-1} , que é um valor não tóxico ao sistema. Como as concentrações de N-amônia livre são diretamente dependentes do pH e da temperatura, é provável que este perfil represente realmente os valores máximos observados de N-amônia livre, pois o perfil foi realizado no quarto dia, onde o pH era máximo e às 18:00 horas, que é um horário também bastante próximo do horário onde o líquido do reator apresentava a sua máxima temperatura, que era por volta das 17:00 horas, como pode ser observado na Figura 5.7.3.1 ou na Tabela AA.1.

As Figuras 5.7.3.4 (a) e (b) apresentam, respectivamente, a concentração de substrato como DQO total e filtrada e a eficiência de remoção de DQO total e filtrada no sistema. Nota-se, por essas figuras, que o substrato de alimentação (lixiviado + etanol acidificado) apresentou DQO afluyente superior a 10.000 mg.L^{-1} durante os quatro dias, apesar de apresentar uma perda de quase 10% entre o primeiro e o quarto dia. Nota-se que o sistema só apresentou remoção significativa de DQO do substrato no primeiro trecho do reator, e que daí em diante, o sistema trabalhou praticamente ocioso. Nota-se também que, apesar do sistema parecer ocioso, existiu ainda uma grande concentração residual de substrato no efluente, que em partes era muito recalcitrante, e também parece que as baixas velocidades ascensionais dificultaram os efeitos de transferência de massa entre o substrato e os microrganismos aderidos ao meio suporte de carvão. Essa última observação é verificada novamente, quando se observa as Figuras 5.7.3.5 (a) e (b), onde são apresentadas, respectivamente, as concentrações de ácidos voláteis totais e a eficiência de remoção de ácidos voláteis totais. Nota-se novamente um elevado consumo de ácidos logo no primeiro trecho e depois um residual considerável, que percorre todo o reator até a sua saída. Observa-se que durante os quatro dias o afluyente chegou a perder mais de 20% de sua concentração inicial de AVT e que no reator a eficiência de 80% de remoção de AVT foi atingida logo no primeiro trecho e assim se manteve ao longo de todo o sistema.

Uma possível explicação para elevada eficiência do primeiro trecho do reator, é que o lodo que se desprendia do meio suporte acabava se sedimentando nesse primeiro trecho, aumentando assim em muito a concentração celular neste trecho, que funcionava praticamente como uma manta de lodo. Tal fato foi observado próximo aos 120 dias de operação do sistema, onde o reator foi esvaziado, justamente para se eliminar esse excesso de lodo.

Figura 5.7.3.3: (a) Alcalinidade total e (b) Concentração de N-amônia livre.

Figura 5.7.3.4: (a) Concentração de substrato como DQO total e filtrada e (b) Eficiência de remoção de DQO total e filtrada.

Figura 5.7.3.5: (a) Concentração de ácidos voláteis totais e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais.

A Figura 5.7.3.6 (a) apresenta as relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$ onde é possível observar uma queda considerável dessa relação no primeiro trecho do reator. No afluente do reator a relação manteve-se sempre entre 0,6 e 0,5 e logo depois do primeiro trecho do reator ela caiu para aproximadamente 0,2 e se manteve aproximadamente nesse valor até o ultimo ponto de amostragem.

A Figura 5.7.3.6 (b) apresenta a concentração de carbono orgânico total no afluente e ao longo do comprimento do sistema, onde se observa novamente que o primeiro trecho do reator, foi o único trecho onde efetivamente ocorreu remoção de matéria orgânica.

Figura 5.7.3.6: (a) Relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$ e (b) Concentração de carbono orgânico total.

Na Figura 5.7.3.7 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis. Observa-se, nessa figura, que a concentração de sólidos totais fixos foi praticamente constante e pouco superior a $8.000\ mg.L^{-1}$, tanto no afluente como ao longo do reator. Nota-se também, pela mesma figura, que a concentração de sólidos totais voláteis também apresentou queda considerável no primeiro trecho do reator e manteve-se com concentração entre 3.000 e $4.000\ mg.L^{-1}$ até a saída do sistema. Como as concentrações de sólidos totais fixos foram praticamente constantes, a variação das concentrações de sólidos totais é justificada através da variação da concentração de sólidos totais voláteis.

A Figura 5.7.3.7 (b) apresenta as concentrações de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis. Observa-se pela figura, que as amostras coletadas nos pontos de amostragem 1 a 4 apresentaram maior concentração de sólidos suspensos, enquanto nos pontos 5 a 9, a concentração foi aproximadamente igual à do afluente, voltando a subir novamente na saída do sistema, que certamente apresentou arraste devido à amostragem direta na saída desconectando-se a mangueira que conduzia o efluente até um tambor. Com o desengate da mangueira, houve um aumento na velocidade de saída do líquido, que estava acumulado, provocando assim um arraste de sólidos nesse ponto de amostragem.

Na Figura 5.7.3.8 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos totais, fixos e voláteis. Observa-se nessa figura que novamente a concentração de sólidos dissolvidos fixos foi praticamente constante e pouco superior a 8.000 mg.L^{-1} , tanto no afluente como ao longo do reator. Nota-se também, pela mesma figura, que a concentração de sólidos dissolvidos voláteis também apresentou queda considerável no primeiro trecho do reator e manteve-se com concentração entre 3.000 e 4.000 mg.L^{-1} até a saída do sistema. Como as concentrações de sólidos dissolvidos fixos foram praticamente constantes, a variação das concentrações de sólidos dissolvidos totais é justificada através da variação da concentração de sólidos dissolvidos voláteis.

Na Figura 5.7.3.8 (b) é apresentada a variação da relação STV/ST no afluente e a longo do comprimento do reator. Mais uma vez é possível notar, por essa figura, que foi no primeiro trecho do reator que ocorreu a maior remoção de matéria orgânica do substrato de alimentação.

(a)

(b)

Figura 5.7.3.7: (a) Concentrações de sólidos totais e (b) Concentração de sólidos suspensos.

(a)

(b)

Figura 5.7.3.8: (a) Concentração de sólidos dissolvidos e (b) Relação STV/ST.

5.7.4 – Segundo Perfil Longitudinal de Concentração Realizado em R5

O segundo perfil longitudinal de concentração realizado em R5 foi feito aos 245 dias de operação, por acreditar-se que o reator já estava completamente adaptado ao lixiviado nesse período e também à nova carga aplicada logo após a realização do primeiro perfil longitudinal de concentração.

Nesse período procura-se operar o reator com θ_h próximo de 2 dias, porém como pode ser observado na Figura 5.7.1.2, existiu um pouco de dificuldade em se ajustar a bomba para se manter este θ_h , pois apesar de haverem já poucos sedimentos que obstruíam a entrada do reator, a variação do nível dos lixiviados na caixa d'água também influenciava na vazão bombeada.

Como o substrato a ser tratado era uma mistura de lixiviado e etanol, a primeira amostragem do afluente dois dias antes da realização do perfil, deveria ter sido feita somente depois da acidificação completa do etanol, porém, devido à queda de temperatura nos dias que antecederam ao perfil, a acidificação do etanol acabou não sendo completa. Durante os dois dias que antecederam o perfil foram coletadas amostras do afluente e do efluente do reator além do acompanhamento das variações de temperatura do reator, pois o reator ficava exposto ao tempo na área externa do galpão do experimento e o lixiviado ficava armazenado em uma caixa d'água de 300 L dentro do galpão do experimento. Durante esses dois dias foi feita a aquisição da temperatura de trinta em trinta minutos, com um termômetro digital, que possuía um termopar que ficava preso à parede externa do reator, do lado oposto ao lado de incidência de sol e isolado com isopor para que a temperatura do ar não influísse na medida do termopar. A Tabela AA.4 do **APÊNDICE AA** apresenta os valores das temperaturas medidas durante os dois dias que antecederam o perfil. A Figura 5.7.4.1 (a) apresenta a variação da temperatura nesses dois dias.

A Tabela AA.5 do **APÊNDICE AA** apresenta os resultados das variações dos parâmetros do afluente e do efluente nos dois dias que antecederam a realização do perfil longitudinal de concentração e a Tabela AA.6 apresenta os resultados do perfil.

As Figuras 5.7.4.1 (b) a 5.7.4.7 (b) apresentam os resultados da variação dos parâmetros ao longo do comprimento do reator e dos afluentes nos dois dias que antecederam a realização do perfil. Novamente, para facilitar a visualização, tanto os resultados do perfil longitudinal, quanto dos afluentes, foram inseridos nas mesmas figuras. Os resultados dos afluentes foram inseridos à esquerda do eixo das ordenadas, com abscissas negativas, representando os dias que antecederam a realização do perfil e os resultados do perfil foram inseridos à direita, com abscissas positivas, representando os pontos de amostragem. O ponto zero representa o ponto de entrada do reator.

No período que antecedeu a realização do perfil, a vazão média bombeada para o reator foi de $1,54 \text{ L.h}^{-1}$, o que levou a um θ_h médio de 3,43 dias em relação ao volume líquido, ou 1,89 dias em relação ao volume total. Nesse mesmo período, a taxa média de geração de gás foi superior a $13,65 \text{ L.h}^{-1}$, que era a taxa máxima que se podia medir com o Mariot disponível.

A Figura 5.7.4.1 (b) apresenta a temperatura do líquido do reator medida diariamente às 18:00 horas e a temperatura do líquido medida ao longo do comprimento do reator no dia da realização do perfil longitudinal.

Figura 5.7.4.1: (a) Variação da temperatura e temperatura média dos dois dias que antecederam a realização do perfil longitudinal em R5 e (b) Temperatura do líquido do reator às 18:00 horas.

A Figura 5.7.4.2 (a) apresenta o pH do líquido do reator medida diariamente às 18:00 horas e o pH do líquido medido ao longo do comprimento do reator. Observa-se nessa figura que o pH do lixiviado afluente variou consideravelmente nos dias que antecederam à realização do perfil, devido principalmente à acidificação do etanol, que ainda não estava completa. Na Figura 5.7.4.2 (b) é apresentada a alcalinidade total do afluente e no perfil longitudinal do reator. Nota-se, por essa figura, que a alcalinidade total também variou consideravelmente no afluente devido à acidificação do etanol e também entre a entrada e o primeiro ponto de amostragem do reator, onde os ácidos foram consumidos em sua maior parte. Neste trecho inicial houve uma considerável regeneração da alcalinidade total devido, certamente, ao consumo de ácidos voláteis, que predominou neste trecho.

As Figuras 5.7.4.3 (a) e (b) apresentam respectivamente a concentração de substrato como DQO total e filtrada e a eficiência de remoção de DQO total e filtrada no sistema. Nota-se, pela Figura 5.7.4.3 (a), que o substrato de alimentação (lixiviado + etanol acidificado) apresentou DQO afluente superior a 20.000 mg.L^{-1} durante os dois dias. Nota-se também, que o sistema só apresentou remoção significativa de DQO do substrato no primeiro trecho do reator e que, daí em diante, o sistema trabalhou praticamente ocioso, ou talvez ineficiente, de alguma forma, e que por isso pode-se notar que existia ainda uma grande concentração residual de substrato no efluente. Em partes esta concentração residual era muito recalcitrante (inerte), mas parece que as baixas velocidades ascensionais dificultaram um pouco os efeitos de transferência de massa entre o substrato e os microrganismos aderidos ao meio suporte de carvão ao longo do restante do reator. Essa última observação pode ser verificada novamente quando se observa as Figuras 5.7.4.4 (a) e (b), onde são

apresentadas respectivamente as concentrações de ácidos voláteis totais e a eficiência de remoção de ácidos voláteis totais. Nota-se, novamente um elevado consumo de ácidos logo no primeiro trecho e depois um residual considerável, que percorria todo o reator até a sua saída. Observa-se que, durante os dois dias que antecederam a realização do perfil, houve uma considerável geração de ácidos no afluente, resultado da acidificação do etanol adicionado ao lixiviado.

Uma possível explicação para elevada eficiência do primeiro trecho do reator é que, o lodo que se desprende do meio suporte, ou que se forma em suspensão, acaba se sedimentando nesse primeiro trecho, aumentando assim em muito a concentração celular neste trecho que funciona praticamente como uma manta de lodo. Tal fato foi observado no momento da amostragem neste primeiro ponto, onde se coletou uma amostra com bastante lodo floculento.

Figura 5.7.4.2: (a) pH, e (b) Alcalinidade total, nos afluentes e no perfil longitudinal.

Figura 5.7.4.3: (a) Concentração de substrato como DQO total e filtrada e (b) Eficiência de remoção de DQO total e filtrada, nos afluentes e no perfil longitudinal.

A Figura 5.7.4.5 (a) apresenta as relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$ onde é possível observar uma queda considerável dessa relação no primeiro trecho do reator. No afluente do reator a relação cresceu continuamente devido à acidificação do etanol.

A Figura 5.7.4.5 (b) apresenta as concentrações de N-amônia livre afluente e no perfil longitudinal do reator. Observa-se, nessa figura, que no afluente a concentração de N-amônia livre variou consideravelmente do primeiro para o segundo dia devido, principalmente, à queda do pH, mantendo-se estável no dia que antecedeu à realização do perfil longitudinal. Ao longo do reator, a grande variação observada, ocorreu devido também à grande variação do pH, principalmente no primeiro trecho do reator. Nota-se também que, a concentração de N-amônia livre dentro do reator ficou sempre abaixo de 250 mg.L^{-1} , que é um valor não tóxico ao sistema. Como as concentrações de N-amônia livre são diretamente dependentes do pH e da temperatura, é provável que este perfil represente realmente os valores máximos observados de N-amônia livre, pois o perfil foi realizado no segundo dia, onde o pH era máximo na saída, e às 18:00 horas, que era um horário também muito próximo do horário onde o líquido do reator apresenta a sua máxima temperatura, que era por volta das 17:00 horas, como pode ser observado na Figura 5.7.4.1, ou na Tabela AA.4.

Na Figura 5.7.4.6 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis. Observa-se, nessa figura, que a concentração de sólidos totais fixos é praticamente constante e pouco superior a 10.000 mg.L^{-1} , tanto no afluente, como ao longo do reator. Como as concentrações de sólidos totais fixos foram praticamente constantes, as concentrações de sólidos totais e sólidos totais voláteis apresentaram comportamento semelhante. Assim, pode-se notar, pela mesma figura, que as concentrações de sólidos totais e sólidos totais voláteis aumentaram no afluente devido à conversão do etanol a acetato e também apresentaram queda considerável no primeiro trecho do reator, mantendo somente uma ligeira queda ao longo do restante do comprimento do reator.

Figura 5.7.4.4: (a) Concentração de ácidos voláteis totais e (b) Eficiência de remoção de ácidos voláteis totais, nos afluentes e no perfil longitudinal.

Figura 5.7.4.5: (a) Relações AVT/DQO_{Total} e $AVT/DQO_{Filtr.}$ e (b) Concentração de N-amônia livre, nos afluentes e no perfil longitudinal.

A Figura 5.7.4.6 (b) apresenta as concentrações de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis, afluentes a ao longo do reator. Observa-se, pela figura, que no primeiro ponto de amostragem ocorreu um grande pico de concentração de sólidos suspensos, devido à grande quantidade de biomassa que estava presente na amostra. No segundo ponto de amostragem, a concentração de sólidos suspensos ainda era alta, porém muito menor que no primeiro ponto. Nos demais pontos de amostragem, notou-se uma queda contínua da concentração de sólidos suspensos devido, certamente, à menor concentração de biomassa suspensa na líquido do reator ao longo de seu comprimento. Observa-se também, pela figura, que as concentrações de sólidos suspensos voláteis foram maiores que as de sólidos suspensos fixos ao longo de todo o reator, o que é comum em amostras que possuem biomassa em suspensão.

Na Figura 5.7.4.7 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis. Observa-se, nessa figura, que a concentração de sólidos totais fixos foi praticamente constante e pouco inferior a 10.000 mg.L^{-1} , tanto no afluente como ao longo do reator. Como as concentrações de sólidos dissolvidos fixos foram praticamente constantes, as concentrações de sólidos dissolvidos totais e sólidos dissolvidos voláteis apresentaram comportamento semelhante. Assim, pode-se notar, pela mesma figura, que as concentrações de sólidos dissolvidos totais e sólidos dissolvidos voláteis aumentaram no afluente devido à conversão do etanol a acetato e também apresentaram queda considerável no primeiro trecho do reator, mantendo-se praticamente estável ao longo do restante do comprimento do reator.

Na Figura 5.7.4.7 (b) é apresentada a variação da relação STV/ST no afluente e a longo do comprimento do reator. Mais uma vez, é possível notar, por essa figura, que foi no primeiro trecho do reator que ocorreu a maior remoção de matéria orgânica do substrato de alimentação, porém ocorreu uma remoção praticamente contínua ao longo do comprimento do reator.

Figura 5.7.4.6: (a) Concentrações de sólidos totais e (b) Concentração de sólidos suspensos, nos afluentes e no perfil longitudinal.

Figura 5.7.4.7: (a) Concentração de sólidos dissolvidos e (b) Relação STV/ST, nos afluentes e no perfil longitudinal.

5.8 – Biodegradabilidade Anaeróbia do Lixiviado de São Carlos-SP

As relações DBO/DQO e DBO/COT são extensamente utilizadas como indicativo da biodegradabilidade da matéria orgânica presente em efluentes.

Segundo Metcalf e Eddy (2003) os valores típicos da relação DBO/DQO para águas residuárias municipais não tratadas situam-se na faixa de 0,3 a 0,8. Se a relação DBO/DQO de uma água residuária não tratada for maior ou igual a 0,5, esta água residuária pode ser considerada de fácil tratabilidade por processos biológicos. Se a relação for menor que aproximadamente 0,3, a água residuária pode possuir algum componente tóxico, ou pode ser que sejam necessários microorganismos pré-adaptados para sua estabilização.

Segundo van Haandel e Lettinga (1994), a biodegradabilidade da matéria orgânica pode ser avaliada através do teste de DBO para um ambiente aeróbio, mas o resultado não é necessariamente um indicativo para um ambiente anaeróbio. Nesse caso, deve-se realizar um teste de biodegradabilidade anaeróbia do efluente em questão.

Antes de se estudar a biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados de aterros sanitários, deve-se primeiro atentar sobre a particularidade de suas características, que o difere da maioria das águas residuárias.

As características químicas dos lixiviados de aterros sanitários são resultado, basicamente, de seu processo de formação, através da solubilização da matéria orgânica no aterro, seguida por lixiviação de águas de chuva, ou outras fontes de umidade. Os lixiviados de aterros sanitários possuem uma particularidade que os diferem da maioria das águas residuárias, que é o fato de que nos lixiviados a matéria orgânica presente já está quase que totalmente solubilizada e é o resultado de um processo de degradação aeróbio seguido de outro anaeróbio. Considera-se a etapa aeróbia, porque desde que os resíduos são descartados nas residências, a matéria orgânica começa a se decompor, formando uma parte do chorume ainda nos sacos de lixo. E essa matéria orgânica permanece em contato com o ar, já se decompondo, até ser aterrada. Como o consumo de todo o oxigênio no interior das células do aterro pode durar alguns dias, essa etapa aeróbia não deve ser desprezada e é importante na solubilização de parte da matéria orgânica.

De forma geral, um aterro sanitário pode até ser considerado como um biorreator, pois promove a degradação da matéria orgânica em seu interior, porém como os aterros sanitários não são projetados como biorreatores, mas somente como sistemas de disposição de resíduos, eles não são sistemas otimizados para tratamento, assim os lixiviados quando saem do aterro possuem ainda elevada concentração de matéria orgânica dissolvida e passível de degradação biológica.

Com base nesses fatos, uma primeira relação a ser investigada sobre a biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados seria a relação STV/ST, pois poderia ser uma estimativa da fração da matéria orgânica no lixiviado. Uma segunda relação a ser investigada seria a relação DQO/COT. E por fim, apesar de a literatura existente dar pouca importância para esse parâmetro, como exposto no item 3.2.5.5, a maior parte da matéria orgânica facilmente degradável presente nos lixiviados de aterros sanitários é composta por ácidos voláteis, principalmente em aterros sanitários ditos “jovens” ou mesmo nas frações mais novas de aterros velhos. E como se sabe, os ácidos voláteis são facilmente decompostos em reatores anaeróbios. Assim a terceira relação a ser investigada seria a relação AVT/DQO. Esta última relação pode ser considerada aproximadamente adimensional, se for considerado que a DQO teórica de 1 mg.L^{-1} de ácido acético é aproximadamente igual a 1 mg.L^{-1} de oxigênio.

Para se avaliar cada uma dessas relações, tentou-se obter uma correlação entre a biodegradabilidade anaeróbia, conseguida através do tratamento do lixiviado de São Carlos-SP, e as relações investigadas.

Considerando-se um sistema de tratamento anaeróbio em batelada, e que o substrato apresenta sua máxima biodegradabilidade anaeróbia no início de uma batelada, ou na entrada de um reator contínuo, essa biodegradabilidade pode ser definida como sendo a máxima eficiência obtida na saída do reator, desde que o perfil de concentração se estabilize em um patamar final. Considerando-se também que o último ponto de um perfil de concentração possui biodegradabilidade igual a zero, a biodegradabilidade inicial e as biodegradabilidades intermediárias podem ser calculadas segundo a equação 5.6.1.

$$Biod_{DQO} = 100 \cdot \left(\frac{C_s - C_{sf}}{C_s} \right) \quad (5.8.1)$$

Em que:

$Biod_{DQO}$ = Biodegradabilidade anaeróbia com base na DQO [%];

C_s = Concentração de substrato desde o início da batelada até o penúltimo ponto do perfil [mg.L⁻¹];

C_{sf} = Concentração de substrato final (último ponto do perfil, na saída do reator) [mg.L⁻¹].

A biodegradabilidade anaeróbia pode ser entendida como sendo a máxima eficiência esperada pelo sistema anaeróbio, quando se trata o lixiviado com as características apresentadas.

5.8.1 – Relação STV/ST

Para investigar a relação STV/ST, foram feitas duas análises de resultados. A primeira análise foi realizada observando-se a variação da relação STV/ST ao longo dos perfis temporais de concentração, pois se essa relação muda ao longo de um perfil é possível que ela seja um indicativo de biodegradabilidade. A segunda análise foi realizada observando-se a variação da relação STV/ST no afluente do reator ao longo do intervalo de operação e a variação da eficiência global obtida pelo sistema.

5.8.2 – Análise da Relação STV/ST nos Perfis de Concentração

As Figuras S.1.1 a S.1.8 do **APÊNDICE S** apresentam os resultados de relações STV/ST de oito perfis temporais de concentração (perfis 3 a 10), que foram realizados com lixiviados que apresentavam diferentes graus de biodegradabilidade anaeróbia. Correlacionando a biodegradabilidade anaeróbia, obtida através da DQO_{Total} , com as relações STV/ST encontradas, foram realizados ajustes

lineares entre esses parâmetros. Os melhores ajustes foram obtidos para os perfis 3, 7 e 9, e a Tabela 5.8.2.1 sumariza os resultados obtidos para todos os perfis.

Tabela 5.8.2.1: Resultados dos ajustes entre biodegradabilidade e a relação STV/ST obtidos para os perfis 3 a 10.

Perfil	Modelo Ajustado	r^2
3	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 293,32 \cdot (STV / ST) - 68,80$	0,9076
4	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 417,26 \cdot (STV / ST) - 92,26$	0,8385
5	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 14,36 \cdot (STV / ST) + 4,65$	0,0024
6	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 462,17 \cdot (STV / ST) - 96,33$	0,6690
7	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 416,17 \cdot (STV / ST) - 96,28$	0,9582
8	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 14,50 \cdot (STV / ST) + 14,89$	0,0017
9	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 553,20 \cdot (STV / ST) - 132,36$	0,9589
10	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 64,90 \cdot (STV / ST) - 17,20$	0,4873

Uma provável causa dos resultados insatisfatórios dos perfis 5, 8 e 10 pode ter sido a presença de umidade nos cadinhos quando tiveram seu peso tarado antes da realização do ensaio. Essa umidade pode ter alterado o valor obtido para os STV e isso pode ser especialmente verificado observando-se os resultados do perfil 8. Um provável causa do problema, pode ter sido a falta de vedação do dessecador.

Para análise conjunta de todos os perfis, foram deixados de fora os perfis 5, 8 e 10, pois as correlações foram muito baixas para esses perfis. Decidiu-se assim, utilizar somente os resultados dos perfis com r^2 maior ou igual a 0,5. A Figura 5.8.2.1 (a) apresenta a relação linear entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST dos conjuntos de pontos dos perfis 3, 4, 6, 7 e 9, e a Figura 5.8.2.1 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade obtida através DQO_{Total} e a relação STV/ST para os mesmos pontos, porém ajustando-se uma curva logarítmica.

Figura 5.8.2.1: (a) Relação entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST dos conjuntos de pontos dos perfis 3, 4, 6, 7 e 9, e (b) Relação entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST dos conjuntos de pontos dos perfis 3, 4, 6, 7 e 9, ajustando-se uma curva logarítmica.

Dessa forma, um modelo para se estimar a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado de São Carlos, para DQO total, através da relação STV/ST, teria a forma da equação 5.8.2.1, com $r^2 \cong 0,74$. Porém ao se deixar de fora do ajuste um único ponto, como apresentado na Figura 5.8.2.1 (b), o modelo passaria a ter o forma da equação 5.8.2.2 com $r^2 \cong 0,78$, porém com coeficientes bastante diferentes, o que mostra a fragilidade dessa relação na formulação de um modelo para biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado através da relação STV/ST com base na DQO total.

$$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 338,16 \cdot (STV / ST) - 73,56 \quad (5.8.2.1)$$

$$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 110,27 \cdot \ln(STV / ST) + 163,17 \quad (5.8.2.2)$$

5.8.3 – Análise da Relação STV/ST no Acompanhamento do Reator

A análise dos dados de acompanhamento do reator foi iniciada a partir da batelada 14, que foi a batelada na qual se iniciou a utilização do lixiviado sem diluição.

A Figura 5.8.3.1 (a) apresenta as relações STV/ST dos lixiviados afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema com obtidas através da DQO_{Total} , que podem ser entendidas como a sendo a biodegradabilidade do lixiviado. A Figura 5.8.3.1 (b) apresenta a distribuição de frequência para intervalos de variação da relação STV/ST dos efluentes do ASBBR. Nota-se por essa figura, que a menos do ultimo intervalo a frequência de distribuição é aproximadamente normal, quando em um caso ideal, essa relação não deveria apresentar variações.

Figura 5.8.3.1: (a) Relações STV/ST dos lixiviados afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema, que podem ser entendidas como a sendo a biodegradabilidade do lixiviado, e (b) Distribuição de frequência da relação STV/ST dos efluentes do ASBBR.

A Figura 5.8.3.2 (a) apresenta uma possível relação entre a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado afluente. Nota-se que, apesar do baixo coeficiente de correlação ($r^2 = 0,3768$), existe uma relação entre esses parâmetros. A Figura 5.8.3.2 (b) apresenta a mesma correlação, porém com a relação STV/ST dos efluentes. Observa-se, nessa figura, uma nuvem de pontos alongada na vertical, o que indica a baixíssima biodegradabilidade anaeróbia dos efluentes do ASBBR. Em um caso ideal essa nuvem de pontos deveria formar uma linha vertical.

Figura 5.8.3.2: (a) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado afluente, e (b) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado efluente.

Uma forma de se melhorar o ajuste da reta da Figura 5.8.3.2 (a) seria filtrar alguns dados, ou seja, eliminar os pontos que fogem demais da tendência geral dos dados. Uma forma de se fazer isso seria utilizar como critério de seleção as relações STV/ST do efluente do reator, pois podem ser um

indicativo de que aquela batelada foi atípica ou que ocorreu algum arraste de sólidos que modificou indevidamente a relação na saída. Como a distribuição de frequências da relação STV/ST do efluente possui distribuição aproximadamente normal, a menos do último intervalo, estes dois pontos (bateladas 36 e 38) foram desprezados e para os demais pontos foi feita uma análise estatística de acordo com a distribuição *t* de Student para eliminar os demais pontos que não estejam dentro de um intervalo de confiança de 95%. Assim, para distribuição *t*, desprezando-se os pontos das bateladas 36 e 38, a média da relação STV/ST do efluente foi de 0,274 com desvio padrão de 0,029, possuindo 27 graus de liberdade. Dessa forma, o intervalo de confiança calculado ficou entre 0,260 e 0,287. Com base no intervalo de confiança foram deixados de fora da nova análise os resultados das bateladas 15, 17, 20, 21, 24, 29, 30, 33, 34, 35, 37, 40 e 42 além dos resultados das bateladas 36 e 38 previamente desconsiderados. A Figura 5.8.3.3 apresenta os resultados dessa nova análise e pode-se verificar claramente como ocorreu uma melhora do ajuste com o aumento do r^2 de 0,3768 para 0,7445.

Figura 5.8.3.3: (a) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado afluente, e (b) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação STV/ST do lixiviado efluente.

Dessa forma, um modelo para se estimar a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado de São Carlos, para DQO_{Total} , através da relação STV/ST, teria a forma da equação 5.8.3.1, com $r^2 \cong 0,74$.

$$Biod._{DQO_{Total}} [\%] = 328,61 \cdot (STV / ST) - 78,71 \quad (5.8.3.1)$$

5.8.4 – Considerações Finais Sobre a Relação STV/ST

Para uma análise das possíveis diferenças entre os ajustes obtidos anteriormente, a Tabela 5.8.4.1 apresenta a diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações STV/ST.

Tabela 5.8.4.1: Diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações STV/ST.

STV/ST	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.2.1	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.2.2	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.3.1	$\Delta_{\text{máx.}}$ [%]
0,25	11,0	10,3	3,4	7,6
0,30	27,9	30,4	19,9	10,5
0,35	44,8	47,4	36,3	11,1
0,40	61,7	62,1	52,7	9,4
0,45	78,6	75,1	69,2	9,4

Observa-se, de forma geral, pelos os resultados da Tabela 5.8.4.1, que a diferença entre os resultados dos modelos ajustados não foi muito grande para os valores esperados de biodegradabilidade anaeróbia para as várias relações STV/ST apresentadas. Nota-se que o modelo mais conservador é o da equação 5.8.3.1, que foi obtido através da análise dos resultados da operação do reator. Observa-se que a diferença entre os resultados pode ser superior a 10%.

Assim, se um desses ajustes tiver que ser utilizado para estimar a biodegradabilidade anaeróbia de um lixiviado, deve-se utilizar o último deles, por ter sido obtido através de resultados globais de operação do reator e não de perfis, pois no caso dos perfis pode ocorrer arraste de sólidos da biomassa aderida, ao longo da batelada, o que modificaria a relação.

Com base no último ajuste (equação 5.8.3.1) pode-se dizer que, para valores de relações STV/ST inferiores a 0,3, o lixiviado de **São Carlos-SP** possui baixa biodegradabilidade, para relações entre 0,3 e 0,4, possui média biodegradabilidade e possui elevada biodegradabilidade anaeróbia para relações superiores a 0,4.

5.8.5 – Relação AVT/DQO

Para se investigar a relação AVT/DQO foram feitas duas análises de resultados. A primeira delas foi realizada observando-se a variação da relação AVT/DQO ao longo de perfis temporais de concentração. A segunda foi realizada observando-se a variação da relação AVT/DQO ao longo da operação do reator, considerando-se a variação da eficiência global obtida pelo sistema e a variação da relação AVT/DQO no afluente e no efluente do reator. Para estudo dessa relação foram analisadas em separado as relações $AVT/DQO_{\text{Filtr.}}$ e AVT/DQO_{Total} .

5.8.6 – Análise da Relação AVT/DQO nos Perfis de Concentração

As Figuras S.2.1 a S.2.16 do **APÊNDICE S** apresentam os resultados de relações AVT/DQO de oito perfis temporais de concentração (perfis 3 a 10), que foram realizados com lixiviados que apresentavam diferentes graus de biodegradabilidade anaeróbia. Correlacionando-se a

biodegradabilidade anaeróbia, obtida através da DQO, com as relações AVT/DQO, foram realizados ajustes lineares entre esses parâmetros. De forma geral, o melhor ajuste foi obtido com o perfil 1, para relação AVT/DQO_{Filtr.}, e com os perfis 1, 8 e 9 para relação AVT/DQO_{Total}.

As Tabelas 5.8.6.1 e 5.8.6.2 apresentam, respectivamente, todos os resultados obtidos pela correlação entre a relação AVT/DQO_{Filtr.} e AVT/DQO_{Total} e biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado do aterro sanitário de São Carlos-SP, para os perfis 3 a 10.

Tabela 5.8.6.1: Resultados dos ajustes entre biodegradabilidade e a relação AVT/DQO_{Filtr.} obtidos para os perfis 3 a 10.

Perfil	Modelo Ajustado	r ²
3	$Biod_{DQO_{Filtr.}} [\%] = 128,74 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 7,16$	0,9986
4	$Biod_{DQO_{Filtr.}} [\%] = 117,97 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 8,56$	0,9898
5	$Biod_{DQO_{Filtr.}} [\%] = 134,97 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 4,95$	0,9392
6	$Biod_{DQO_{Filtr.}} [\%] = 156,17 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 10,08$	0,9738
7	$Biod_{DQO_{Filtr.}} [\%] = 187,17 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 24,38$	0,9861
8	$Biod_{DQO_{Filtr.}} [\%] = 163,82 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 18,00$	0,9816
9	$Biod_{DQO_{Filtr.}} [\%] = 151,22 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 12,89$	0,9737
10	$Biod_{DQO_{Filtr.}} [\%] = 165,65 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 19,33$	0,9548

Tabela 5.8.6.2: Resultados dos ajustes entre biodegradabilidade e a relação AVT/DQO_{Total} obtidos para os perfis 3 a 10.

Perfil	Modelo Ajustado	r ²
3	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 140,57 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 9,21$	0,9958
4	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 138,99 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 8,70$	0,9713
5	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 144,70 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 7,45$	0,9881
6	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 162,21 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 9,63$	0,9807
7	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 189,38 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 23,66$	0,9828
8	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 171,95 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 17,64$	0,9918
9	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 163,39 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 16,04$	0,9963
10	$Biod_{DQO_{Total}} [\%] = 219,09 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 26,39$	0,9150

De forma geral, pode-se notar que, para todos os perfis, houve uma proximidade muito grande entre os coeficientes angulares e lineares das retas obtidas pelo ajuste. Isso mostra como a relação AVT/DQO talvez seja a melhor relação para representar a biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários.

A Figura 5.8.6.1 (a) apresenta a relação entre a biodegradabilidade obtida através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação AVT/ $DQO_{Filtr.}$ do conjunto de pontos dos perfis 3 a 10, e a Figura 5.8.6.1 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade obtida através da DQO_{Total} e a relação AVT/ DQO_{Total} do conjunto de pontos dos perfis 3 a 10. Nota-se por essas figuras a quase que fiel distribuição dos pontos ao longo de uma reta, não deixando dúvidas de que além da relação AVT/DQO ser uma boa relação para estimar a biodegradabilidade, essa relação pode ser linear com a biodegradabilidade, o que é mais um ponto positivo do ponto de vista prático.

Figura 5.8.6.1: (a) Relação entre a biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação AVT/ $DQO_{Filtr.}$ do conjunto de pontos dos perfis 3 a 10, e (b) Relação entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/ DQO_{Total} do conjunto de pontos dos perfis 3 a 10.

Dessa forma, os modelos para se estimar a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado de São Carlos-SP, para $DQO_{Filtr.}$ e DQO_{Total} , através das relações AVT/ $DQO_{Filtr.}$ e AVT/ DQO_{Total} , respectivamente, teriam a forma da equação 5.8.6.1, com $r^2 \cong 0,94$ e equação 5.8.6.2, com $r^2 \cong 0,96$. É importante também deixar claro que para determinação das correlações os valores de AVT foram corrigidos, conforme a expressão obtida no item 5.10, a seguir.

$$Biod._{DQO_{Filtr.}} [\%] = 135,69 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 9,84 \quad (5.8.6.1)$$

$$Biod._{DQO_{Total}} [\%] = 152,32 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 12,14 \quad (5.8.6.2)$$

5.8.7 – Análise da Relação AVT/DQO no Acompanhamento do Reator

A análise dos dados de acompanhamento do reator foi iniciada a partir da batelada 14, que foi a batelada na qual se iniciou a utilização do lixiviado sem diluição.

A Figura 5.8.7.1 (a) apresenta as relações $AVT/DQO_{Filtr.}$ dos lixiviados afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema com base na $DQO_{Filtr.}$, que podem ser entendidas como a sendo a biodegradabilidade do lixiviado. A Figura 5.8.7.1 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade obtida através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do efluente. Nota-se, por essa figura, uma leve tendência dos pontos, em se alinharem aproximadamente em uma linha vertical, com coordenada $AVT/DQO_{Filtr.}$ aproximadamente igual a 0,11, que é um valor baixo e que confirma a baixa biodegradabilidade anaeróbia do efluente na saída do reator.

Figura 5.8.7.1: (a) Relações $AVT/DQO_{Filtr.}$ dos lixiviados afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema, ou biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado através da $DQO_{Filtr.}$, e (b) Correlação entre a biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do efluente.

A Figura 5.8.7.2 apresenta uma possível relação entre a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do lixiviado afluente. Na Figura 5.8.7.2 (a) foi ajustada uma reta ao conjunto de pontos obtendo-se $r^2 = 0,8573$ e na Figura 5.8.7.2 (b) foi ajustada uma parábola ao conjunto de pontos obtendo-se $r^2 = 0,8691$. Os dois ajustes foram razoavelmente bons, como se pode notar pela boa correlação obtida entre a biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do lixiviado afluente, sendo que o segundo ajuste parece representar um pouco melhor a relação.

Figura 5.8.7.2: (a) Correlação entre biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do líquido afluente com ajuste linear, e (b) Correlação entre biodegradabilidade através da $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do líquido afluente com ajuste logarítmico.

A Figura 5.8.7.3 (a) apresenta as relações AVT/DQO_{Total} dos líquidos afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema com base na DQO_{Total} , que podem ser entendidas como a sendo a biodegradabilidade do líquido. A Figura 5.8.7.3 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade obtida através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do efluente. Nota-se por essa figura, uma tendência dos pontos, em se alinharem aproximadamente em uma linha vertical, com coordenada AVT/DQO_{Total} aproximadamente igual a 0,10, que é um valor baixo e que confirma a baixa biodegradabilidade anaeróbia do efluente na saída do reator.

Figura 5.8.7.3: (a) Relações AVT/DQO_{Total} dos líquidos afluentes e efluentes das bateladas 14 a 43 e as eficiências do sistema, ou biodegradabilidade anaeróbia do líquido através da DQO_{Total} , e (b) Correlação entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do efluente.

A Figura 5.8.7.4 apresenta uma possível relação entre a biodegradabilidade anaeróbia do líquido através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do líquido afluente. Na Figura 5.8.7.4 (a) foi ajustada uma reta ao conjunto de pontos obtendo-se $r^2 = 0,8629$ e na Figura 5.8.7.4 (b) foi ajustada

uma parábola ao conjunto de pontos obtendo-se $r^2 = 0,8753$. Os dois ajustes foram razoavelmente bons, como se pode notar pela boa correlação obtida entre a biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do lixiviado afluente, sendo que o segundo ajuste parece representar melhor a relação.

Figura 5.8.7.4: (a) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do lixiviado afluente com ajuste linear, e (b) Correlação entre biodegradabilidade através da DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} do lixiviado afluente com ajuste logarítmico.

Dessa forma, os modelos para se estimar a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado de São Carlos, para $DQO_{Filtr.}$ e através da relação $AVT/DQO_{Filtr.}$, teriam a forma das equações 5.8.7.1 e 5.8.7.2, com $r^2 = 0,8573$ e $r^2 = 0,8691$, respectivamente. E os modelos para se estimar a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado de São Carlos, para DQO_{Total} e através da relação AVT/DQO_{Total} , teriam a forma das equações 5.8.7.1 e 5.8.7.2, com $r^2 = 0,8629$ e $r^2 = 0,8753$, respectivamente

$$Biod._{DQO_{Filtr.}} [\%] = 126,08 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 5,46 \quad (5.8.7.1)$$

$$Biod._{DQO_{Filtr.}} [\%] = -103,31 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.})^2 + 197,26 \cdot (AVT / DQO_{Filtr.}) - 14,33 \quad (5.8.7.2)$$

$$Biod._{DQO_{Total}} [\%] = 140,25 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 8,69 \quad (5.8.7.3)$$

$$Biod._{DQO_{Total}} [\%] = -128,91 \cdot (AVT / DQO_{Total})^2 + 223,50 \cdot (AVT / DQO_{Total}) - 18,42 \quad (5.8.7.4)$$

5.8.8 – Considerações Finais Sobre a Relação AVT/DQO dos Lixiviados do Aterro Sanitário de São Carlos-SP

Para uma análise das possíveis diferenças entre os ajustes obtidos anteriormente, a Tabela 5.8.8.1 apresenta a diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações AVT/DQO_{Filtr.} e a Tabela 5.8.8.2 apresenta a diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações AVT/DQO_{Total}.

Tabela 5.8.8.1: Diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações AVT/DQO_{Filtr.}

AVT/DQO _{Filtr.}	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.6.1	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.7.1	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.7.2	$\Delta_{\text{máx.}}$ [%]
0,15	10,5	13,5	13,0	3,0
0,20	17,3	19,8	21,0	3,7
0,25	24,1	26,1	28,6	4,5
0,30	30,9	32,4	35,6	4,8
0,35	37,7	38,7	42,2	4,5
0,40	44,4	45,0	48,2	3,8
0,45	51,2	51,3	53,7	2,5
0,50	58,0	57,6	58,7	1,1
0,55	64,8	63,9	63,2	1,6
0,60	71,6	70,2	67,2	4,4

Tabela 5.8.8.2: Diferença de resultados para biodegradabilidade esperada considerando diferentes relações AVT/DQO_{Total}

AVT/DQO _{Total}	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.6.2	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.7.3	<i>Biod.</i> [%] Eq. 5.8.7.4	$\Delta_{\text{máx.}}$ [%]
0,15	10,7	12,3	12,2	1,6
0,20	18,3	19,4	21,1	2,8
0,25	25,9	26,4	29,4	3,5
0,30	33,6	33,4	37,0	3,6
0,35	41,2	40,4	44,0	3,6
0,40	48,8	47,4	50,4	2,9
0,45	56,4	54,4	56,1	2,0
0,50	64,0	61,4	61,1	2,9
0,55	71,6	68,4	65,5	6,1
0,60	79,3	75,5	69,3	10,0

Ao se observar os resultados da Tabela 5.8.8.1, nota-se uma pequena diferença entre os resultados dos modelos, para as várias relações AVT/DQO_{Filtr.} apresentadas. Observa-se que a diferença máxima entre os resultados foi menor que 5% para faixa apresentada.

Com base nos ajustes apresentados, pode-se dizer que, para valores de relações $AVT/DQO_{Filtr.}$ inferiores a 0,25 o lixiviado possui baixa biodegradabilidade, para relações entre 0,25 e 0,45, possui média biodegradabilidade e possui elevada biodegradabilidade anaeróbia para relações superiores a 0,45.

Ao se observar os resultados da Tabela 5.8.8.2, nota-se, de forma geral, uma pequena diferença entre os resultados dos modelos, para as várias relações AVT/DQO_{Total} apresentadas. Observa-se que a diferença máxima entre os resultados foi de 10% para faixa apresentada.

Com base nos ajustes apresentados, pode-se dizer que, para valores de relações AVT/DQO_{Total} inferiores a 0,25 o lixiviado possui baixa biodegradabilidade, para relações entre 0,25 e 0,40, possui média biodegradabilidade e possui elevada biodegradabilidade anaeróbia para relações superiores a 0,40.

De forma geral, a relação AVT/DQO parece ter apresentado uma boa confiabilidade, e uma vantagem dessa relação é que ela é muito mais rápida de ser obtida (cerca de três horas) em relação às demais, pois a relação DBO/DQO demora cerca de cinco dias para ser obtida e a relação STV/ST demora cerca de 26 horas. Uma outra vantagem dessa relação é sua facilidade de obtenção, pois não necessita de equipamentos robustos, caros ou de difícil operação e calibração.

5.8.9 – Verificação da Relação AVT/DQO em Lixiviados do Aterro Sanitário como Indicador da Biodegradabilidade Anaeróbia, Através do Enriquecimento do Lixiviado do Aterro Sanitário de São Carlos com Adição de Etanol ou Ácidos Voláteis

Para se realizar a verificação da relação AVT/DQO foram feitos alguns testes de tratabilidade do lixiviados de São Carlos com adição de etanol ou ácidos voláteis ao lixiviado, partindo-se do pré-suposto de que o lixiviado de São Carlos era na prática, totalmente recalcitrante, e assim os demais componentes do lixiviado teriam pouca influência na variação da relação AVT/DQO .

Os perfis 11, 12 e 13 foram feitos com a adição de etanol ao lixiviado, porém para análise da relação AVT/DQO foram consideradas as amostras coletadas somente depois de doze horas de operação, pois até então, acredita-se que o etanol não estava totalmente acidificado. A Figura 5.8.9.1 apresenta a correlação entre a Biodegradabilidade anaeróbia e a relação AVT/DQO , para as médias dos perfis 11, 12 e 13, tanto para DQO_{Total} em (a) quanto para $DQO_{Filtr.}$ em (b).

Nota-se pela Figura 5.8.9.1 que no caso da adição de etanol, a relação AVT/DQO representou muito bem a biodegradabilidade anaeróbia do substrato, o que pode ser notado pela excelente correlação linear com elevado valor de r^2 .

Figura 5.8.9.1: Correlação entre biodegradabilidade através da DQO e a relação AVT/DQO do lixiviado com adição de etanol, para média dos perfis 11, 12 e 13; (a) Para DQO_{Total} e (b) Para $DQO_{Filtr.}$.

Os perfis 14, 15, 16 e 17 foram feitos com a adição de ácidos voláteis (ácido acético, propiônico e butírico) ao lixiviado. A Figura 5.8.9.2 apresenta a correlação entre a Biodegradabilidade anaeróbia e a relação AVT/DQO, para as médias dos perfis 14, 15, 16 e 17, tanto para DQO_{Total} em (a) quanto para $DQO_{Filtr.}$ em (b).

Figura 5.8.9.2: Correlação entre biodegradabilidade através da DQO e a relação AVT/DQO do lixiviado com adição de etanol, para média dos perfis 14, 15, 16 e 17; (a) Para DQO_{Total} e (b) Para $DQO_{Filtr.}$.

Os perfis 18, 19, 20 e 21 foram feitos com a adição de ácidos voláteis (ácido acético, propiônico e butírico) ao lixiviado diluído a aproximadamente 54% de sua concentração inicial e com a reposição do sódio na forma de bicarbonato de sódio e com a reposição do N-amoniacoal, na forma de bicarbonato de amônio. A Figura 5.8.9.3 apresenta a correlação entre a Biodegradabilidade anaeróbia e

a relação AVT/DQO, para as médias dos perfis 18, 19, 20 e 21, tanto para DQO_{Total} em (a) quanto para $DQO_{Filtr.}$ em (b).

Figura 5.8.9.3: Correlação entre biodegradabilidade através da DQO e a relação AVT/DQO do lixiviado com adição de etanol, para média dos perfis 18, 19, 20 e 21; (a) Para DQO_{Total} e (b) Para $DQO_{Filtr.}$.

Os perfis 22, 23, 24, 25 e 26 foram feitos com a adição de ácidos voláteis ao lixiviado (ácido acético, propiônico e butírico). A Figura 5.8.9.4 apresenta a correlação entre a Biodegradabilidade anaeróbia e a relação AVT/DQO, para as médias dos perfis 18, 19, 20 e 21, tanto para DQO_{Total} em (a) quanto para $DQO_{Filtr.}$ em (b).

Figura 5.8.9.4: Correlação entre biodegradabilidade através da DQO e a relação AVT/DQO do lixiviado com adição de etanol, para média dos perfis 22, 23, 24, 25 e 26; (a) Para DQO_{Total} e (b) Para $DQO_{Filtr.}$.

Nota-se novamente, pelas Figuras 5.8.9.2 a 5.8.9.4, que no caso de ácidos voláteis, a relação AVT/DQO representou muito bem a biodegradabilidade anaeróbia do substrato, o que pode ser notado pelas excelentes correlações lineares com elevados valores de r^2 .

5.9 – A Relação AVT/DQO como um Indicador da Biodegradabilidade Anaeróbia de Lixiviados de Aterros Sanitários: Aspectos Teóricos

Nos itens anteriores foi possível observar que a relação AVT/DQO pode ser um indicador da biodegradabilidade, como observado a partir da análise dos resultados do tratamento anaeróbio dos lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP.

Neste item será feita uma análise sobre a possível extrapolação do uso dessa relação para lixiviados de outros aterros sanitários, como indicadora da biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados.

5.9.1 – DQO Teórica dos Ácidos Voláteis

A reação química que representa a oxidação completa de um ácido volátil pode ser genericamente representada pela equação 5.9.1.1.

Em que:

x é o índice do átomo de carbono do ácido reagente e coeficiente das moléculas de água e dióxido de carbono que são produtos da reação;

y é o índice do átomo de hidrogênio na molécula do ácido reagente, que é igual a $2x$, e

z é o coeficiente da molécula de oxigênio reagente da reação, que é igual a $(3x-2)/2$.

A Tabela 5.9.1.1 apresenta os ácidos voláteis, os coeficientes das reações de oxidação completa, as massas molares e as respectivas DQOs teóricas.

Nota-se, pela Tabela 5.9.1.1 que entre ácidos voláteis com massa molecular consecutiva a diferença entre os coeficientes r^* é constante e igual a 0,75.

Tabela 5.9.1.1: Ácidos voláteis, os coeficientes das reações de oxidação completa, as massas molares e as respectivas DQOs teóricas.

Ácido Volátil	Fórmula Química	Massa Molar [g.mol ⁻¹]	$z_{ac. volátil}$	r^*	DQO Teórica [gO ₂ .gÁcido ⁻¹]
Metanóico (Fórmico)	CH ₂ O ₂	46,03	1/2	0,25	0,3476
Etanóico (Acético)	C ₂ H ₄ O ₂	60,05	2	1,00	1,0658
Propanóico (Propiônico)	C ₃ H ₆ O ₂	74,08	7/2	1,75	1,5119
Butanóico (Butírico)	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	5	2,50	1,8159
Isobutanóico (Isobutírico)	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	5	2,50	1,8159
Pentanóico (Valérico)	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,13	13/2	3,25	2,0366
Isopentanóico (Isovalérico)	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,13	13/2	3,25	2,0366
Hexanóico (Capróico)	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,16	8	4,00	2,2039

Na Tabela 5.9.1.1 também foi definido o coeficiente r^* , como apresentado na equação 5.9.1.2.

$$r^* = \frac{z_{ac. volátil}}{z_{ac. acético}} \quad (5.9.1.2)$$

Em que:

r^* é a relação entre o coeficiente z da equação 5.9.1.1 de um ácido volátil qualquer e o coeficiente z da equação do ácido acético.

Nota-se, pela Tabela 5.9.1.1 que entre ácidos voláteis com massa molecular consecutiva a diferença entre os coeficientes r^* é constante e igual a 0,75.

Ao observar as equações 5.8.6.1 e 5.8.6.2 obtidas através da análise dos resultados obtidos nos perfis de concentração, nota-se que essas equações, que são retas, representaram, aparentemente, muito bem a variação da biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados através da relação AVT/DQO, ao longo do perfil, o que é verificado através dos coeficientes r^2 , que foram de 0,9101 e 0,9461 respectivamente.

Basicamente, os dois parâmetros que definem uma reta são os coeficientes linear e angular. Para se tentar entender melhor o sentido físico, ou químico, dos coeficientes lineares e angulares das equações 5.8.6.1 e 5.8.6.2, será realizado um desenvolvimento teórico, partindo-se de algumas propriedades dos ácidos voláteis.

5.9.2 – Coeficiente Linear da Reta do Modelo de Correlação entre a Relação AVT/DQO e a Biodegradabilidade Anaeróbia dos Lixiviados

Como as análises de ácidos voláteis totais foram realizadas através do Método de DiLallo Modificado (1961), que é suscetível a interferências, quantificando não somente os ácidos voláteis, mas também todas as substâncias que apresentam caráter ácido, tais como ácidos húmicos, fulvicos,

fosfórico, silícico e outros, o valor obtido é sempre maior que o real, no caso dos lixiviados de aterros sanitários e muitas vezes essa análise chega a detectar uma falsa presença de ácidos voláteis.

Ao observar os perfis de concentração de ácidos voláteis totais apresentados no item 5.5.3, nota-se que as concentrações desses ácidos sempre se estabilizam em um patamar no final dos perfis, que certamente é uma falsa presença, quantificada através do método utilizado, que não consegue diferenciar entre os ácidos voláteis e as demais substâncias de caráter ácido.

Dessa forma o coeficiente linear da equação da reta que correlaciona a relação AVT/DQO com a biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados de aterros sanitários é a relação entre a concentração desses interferentes, medidos como ácido acético, e a DQO residual do lixiviado, no final dos perfis.

A prova final sobre essa observação, pode ser obtida através de análises de cromatografia para detecção e quantificação dos ácidos voláteis de amostras que apresentem tais características.

5.9.3 – Coeficiente Angular da Reta do Modelo de Correlação entre a Relação AVT/DQO e a Biodegradabilidade Anaeróbia dos Lixiviados

Para se analisar o significado químico do coeficiente angular da reta que correlaciona a relação AVT/DQO com a biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados, será considerada a seguinte situação hipotética:

Considerando-se, de forma aproximada, que os lixiviados de aterros sanitários são compostos por duas frações distintas de matéria orgânica, sendo uma delas totalmente recalcitrante por processos anaeróbios e a outra totalmente biodegradável, pode-se considerar que, o tratamento anaeróbio não terá efeito algum sobre a primeira parcela, sendo que essa parcela poderá se apresentar inalterada na saída do sistema de tratamento, como uma concentração residual de matéria orgânica. Porém, pode-se considerar que, se o sistema de tratamento não estiver sub-dimensionado, ou com algum problema, a parcela totalmente biodegradável da matéria orgânica do lixiviado será totalmente consumida, ou removida ao final do tratamento.

Supondo-se que se tenha um lixiviado, que seja composto somente pela parcela totalmente recalcitrante da matéria orgânica e que não possua em sua composição nenhuma substância que possa interferir nos resultados de ácidos voláteis totais, imaginando-se assim, que a concentração desses ácidos seja igual a zero, nesse lixiviado. Se tal lixiviado fosse enriquecido com certa quantidade de certo ácido volátil, poder-se-ia afirmar que a fração biodegradável dessa solução seria a fração correspondente àquela da matéria orgânica adicionada como ácido volátil. Assim, de forma aproximada, essa solução poderia representar um lixiviado, com a vantagem de se poder analisar a variação das características desse lixiviado, alterando-se o tipo de ácido volátil adicionado.

Como as concentrações de ácido fórmico são geralmente muito baixas e até iguais a zero em lixiviados, ele não será considerado nesta análise, que começará, assim, pelo do ácido acético indo até o ácido capróico.

Considerando-se que o lixiviado totalmente recalcitrante possua concentração (DQO) inicial igual C_R e que a esse lixiviado seja adicionada certa quantidade de ácido volátil que terá concentração (DQO) igual a C_B , que é totalmente biodegradável, a concentração final do lixiviado, composto pela mistura dos dois componentes, será igual a C_L , que é igual à soma de C_R e C_B . Assim, variando-se a concentração de C_B pode-se dizer que também se varia a biodegradabilidade anaeróbia da mistura, que é representada pela equação 5.9.3.1.

$$Biod.[\%] = 100 * \frac{C_L - C_R}{C_L} = 100 * \frac{C_B}{C_R + C_B} \quad (5.9.3.1)$$

Suponha-se, por exemplo, que tal lixiviado totalmente recalcitrante possua DQO inicial (C_R) igual a 1000 mg.L⁻¹ e que com esse lixiviado sejam preparadas soluções enriquecendo-o com ácidos voláteis, variando-se as concentrações de ácidos na mistura, conforme apresentado na Tabela 5.9.3.1. Nesta tabela são apresentadas as concentrações da solução a partir da adição de ácido acético ao lixiviado recalcitrante, bem como a relação AVT/DQO da mistura e sua biodegradabilidade. Se for construído um gráfico procurando-se correlacionar a relação AVT/DQO e a biodegradabilidade da solução será obtida uma reta como a da Figura 5.9.3.1, com coeficiente angular igual a 106,58 e coeficiente linear igual a zero, pois foi considerado que o ácido é totalmente biodegradável e que não exista nenhum componente no lixiviado que possa apresentar um falso resultado na concentração de AVT. Esse procedimento pode ser repetido para os demais ácidos voláteis. A Tabela 5.9.3.2 apresenta a composição feita com ácido propiônico e a Figura 5.9.3.1 apresenta os gráficos obtidos respectivamente para os ácidos propiônico, butírico, valérico e capróico.

Tabela 5.9.3.1: Composição percentual da mistura lixiviado-ácido acético e a sua biodegradabilidade.

DQO do Lixiviado (C_R) [mg.L ⁻¹]	Conc. de Ácido Acético [mg Ac.Acét..L ⁻¹]	DQO do Ácido Acético (C_B) [mg.L ⁻¹]	DQO da Mistura (C_L) [mg.L ⁻¹]	Relação AVT*/DQO da Mistura	Biod. da Mistura [%]
1000	1407,4	1500	2500	0,563	60,0
1000	1172,8	1250	2250	0,521	55,6
1000	938,3	1000	2000	0,469	50,0
1000	703,7	750	1750	0,402	42,9
1000	469,1	500	1500	0,313	33,3
1000	234,6	250	1250	0,188	20,0
1000	0	0	1000	0	0

* AVT como ácido acético, em mg Ác. Acético.L⁻¹.

Tabela 5.9.3.2: Composição (%) da mistura lixiviado-ácido propiônico e a sua biodegradabilidade.

DQO do Lixiviado (C_R) [mg.L ⁻¹]	Conc. de Ácido Propiônico [mg Ac.Prop..L ⁻¹]	AVT*	DQO do Ácido Prop. (C_B) [mg.L ⁻¹]	DQO da Mistura (C_L) [mg.L ⁻¹]	Relação AVT*/DQO da Mistura	Biod. da Mistura [%]
1000	992,1	804,2	1500	2500	0,322	60,0
1000	826,8	670,2	1250	2250	0,298	55,6
1000	661,4	536,1	1000	2000	0,268	50,0
1000	496,1	402,1	750	1750	0,230	42,9
1000	330,7	268,1	500	1500	0,179	33,3
1000	165,4	134,1	250	1250	0,107	20,0
1000	0	0	0	1000	0	0

* AVT como ácido acético, em mg Ác. Acético.L⁻¹.

A Tabela 5.9.3.3 apresenta os coeficientes angulares das equações de correlação obtidas para cada solução composta hipoteticamente por cada um dos principais ácidos voláteis. É importante notar que o coeficiente angular das equações não depende da concentração da fração recalcitrante do lixiviado e nem das concentrações de ácidos, mas sim da relação entre a biodegradabilidade e a relação AVT/DQO. Assim, pode-se variar C_R e C_B entre uma gama infinita de proporções, que ao se manter o critério de biodegradabilidade calculado através da equação 5.9.3.1, os coeficientes angulares obtidos na Figura 5.9.3.1 serão sempre os mesmos para cada ácido volátil.

Figura 5.9.3.1: Correlação entre a biodegradabilidade e a relação AVT/DQO das soluções compostas por lixiviado recalcitrante e os ácidos acético, propiônico, butírico, valérico e capróico separadamente.

Tabela 5.9.3.3: Ácidos voláteis, os coeficientes das reações de oxidação completa, as massas molares e as respectivas DQOs teóricas.

Ácido Volátil	Coef. Angular (b)	r^*	b/r^*
Etanóico (Acético)	106,58	1,00	106,58
Propanóico (Propiônico)	186,52	1,75	106,58
Butanóico (Butírico)	266,45	2,50	106,58
Isobutanóico (Isobutírico)	266,45	2,50	106,58
Pentanóico (Valérico)	346,39	3,25	106,58
Isopentanóico (Isovalérico)	346,39	3,25	106,58
Hexanóico (Capróico)	426,32	4,00	106,58

Nota-se, pela Tabela 5.9.3.3, que o coeficiente angular da reta de correlação entre a biodegradabilidade e a relação AVT/DQO aumenta conforme se eleva a massa molecular do ácido volátil. Pode-se notar também que a razão com a qual esse coeficiente angular aumenta entre ácidos voláteis com massa molecular consecutiva é na mesma proporção do coeficiente r^* obtido através da equação 5.9.1.2, ou ainda que, o coeficiente angular da equação de correlação para cada ácido é igual ao coeficiente angular obtido para o ácido acético multiplicado pelo coeficiente r^* do respectivo ácido como apresentado na equação 5.9.3.2 e o coeficiente angular obtido para o ácido acético é igual a cem vezes o valor de sua DQO Teórica que é igual a $1,0658 \text{ mgO}_2.\text{mgAc.Acético}^{-1}$.

$$b = 100 \cdot 1,0658 \cdot r^* \quad (5.9.3.2)$$

Considerando que as concentrações de ácido fórmico são praticamente desprezíveis em lixiviados de aterros sanitários, podem-se fazer as seguintes observações:

- O coeficiente angular da correlação entre biodegradabilidade e a relação AVT/DQO será sempre igual ou superior a 106,58, desde que o lixiviado apresente em sua composição uma certa concentração de ácidos voláteis;
- Caso não haja nenhum interferente, o coeficiente angular da reta será sempre inferior a 426,32;
- No caso de lixiviados reais, onde os ácidos voláteis totais são compostos por uma mistura em diferentes proporções de cada um dos ácidos, supõe-se que o coeficiente angular da reta de correlação terá um valor intermediário entre 106,58 e 426,32, tendendo respectivamente a cada um destes extremos dependendo da predominância de ácidos de cadeia mais curta (acético) ou mais longa (capróico).
- Nas análises para determinação de ácidos voláteis totais por titulação, como no Método de DiLallo e Albertson (1961) por exemplo, se existir erro na quantificação dos AVT, esse erro afetará diretamente o coeficiente angular da reta de correlação. Por exemplo: se o método quantificar 80% da concentração real de AVT, o coeficiente angular da equação de

correlação será maior que o real, pois será igual ao coeficiente angular real dividido por 0,80. Assim, é muito importante saber com precisão qual a porcentagem de recuperação do Método de DiLallo para quantificação de AVT em lixiviados;

Uma forma de aferir o Método de DiLallo e Albertson (1961), ou qualquer outro método seria, preparar uma soluções entre um lixiviado totalmente recalcitrante e cada um dos ácidos voláteis, variando-se as concentrações de ácidos, depois calcular a biodegradabilidade através da equação 5.9.3.1, e por fim fazer as determinações de AVT, para se obter as relações AVT/DQO e os coeficientes angulares das correlações. As porcentagens de erro poderão ser obtidas através da divisão do coeficiente obtido no experimento pelo coeficiente teórico da Tabela 5.9.3.3.

5.10 – Determinação do Fator de Correção para Determinação da Concentração de AVT em Lixiviados de Aterros Sanitários para o Método de DiLallo Modificado

Neste trabalho foram utilizadas duas formas de quantificação de AVT, uma delas através de cromatografia gasosa somente para os perfis de R3 e outra através de titulação (DILALLO e ALBERTSON, 1961) para os perfis e acompanhamento geral dos reatores.

Como apresentado no item 3.3.4, pelo método de DiLallo e Albertson (1961), as concentrações de AVT obtidas devem ser corrigidas, multiplicando-se por 1,5 quando as concentrações determinadas diretamente por titulometria forem superiores a 180 mg.L⁻¹, porém este fator de correção foi obtido pelos pesquisadores ao estudarem o tratamento anaeróbio de lodos de esgoto em biodigestores. Para outras águas residuárias com características particulares esse fator de correção (*fc*) deve possuir valores diferentes de 1,5, pois para cada caso o fator de recuperação (*fr*) possui valores específicos. O uso de fatores de correção diferentes de 1,5 deram origem aos chamados métodos de DiLallo Modificados.

$$AVT = \frac{AAV}{fr \cdot 0,833} = fc \cdot AAV \quad (5.10.1)$$

Em que:

fr = Fator de recuperação (entre 0 e 1,0);

fc = Fator de correção igual (1/(*fr*·0,833));

0,833 = Fator de conversão de mg CaCO₃.L⁻¹ para mg Ac.Acético.L⁻¹;

AAV = Alcalinidade a ácidos voláteis obtida pelo método de DiLallo e Albertson (1961) sem o fator de correção de 1,5.

Uma estimativa dos valores dos fatores de correção das concentrações de AVT pode ser obtida utilizando-se os perfis de concentração obtidos anteriormente, por meio das diferenças entre as medidas de DQO teóricas e reais, valendo-se da propriedade de que tanto o etanol, quanto os ácidos adicionados são totalmente biodegradáveis, e que a biodegradabilidade anaeróbia do etanol e dos ácidos pode ser expressa através de uma correlação linear com a relação AVT/DQO.

Para estimativa dos valores dos fatores de correção, serão consideradas duas situações distintas:

- 1) Serão utilizadas as médias dos perfis 11, 12 e 13, que receberam adição de um volume conhecido de etanol, que foi acidificado a ácido acético (equação 5.10.2) e consumido pelos microrganismos ao longo das bateladas.
- 2) Serão também utilizadas as médias dos perfis (14, 15, 16 e 17); (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26), que receberam adições de volumes conhecidos de ácidos acético, propiônico e butírico, e que foram consumidos pelos microrganismos ao longo das bateladas.

Como para cada par de perfis de DQO_{Total} e DQO_{Filtr.} as quantidades de etanol ou ácidos adicionados foram as mesmas, pois se trata do mesmo perfil analisado de duas formas, para se melhorar a precisão dos resultados, serão utilizadas as médias dos perfis de DQO_{Total} e DQO_{Filtr.}.

A Tabela 5.10.1 apresenta algumas das características dos substratos utilizados que serão úteis para determinação do fator de correção das concentrações de AVT [mg Ac. Acético.L⁻¹].

Tabela 5.10.1: Características químicas e físicas dos substratos utilizados.

Substrato	Fórmula Química	Massa Molar [g.mol ⁻¹]	Densidade [g.cm ³]	DQO Teórica [gO ₂ .gSu. ⁻¹]	<i>f_{acét.}</i> *
Etanol puro	C ₂ H ₆ O	46,07	0,7894 ^(25°C)	2,4310	-
Água	H ₂ O	18,02	0,997 ^(25°C)	0	-
Etanol hidratado 93,2 INPM**	C ₂ H ₆ O+H ₂ O	-	0,801 ^(25°C)	2,2657	-
Ac. Metanóico (Fórmico)	CH ₂ O ₂	46,03	1,220 ^(20°C)	0,3476	1,30350
Ac. Etanóico (Acético)	C ₂ H ₄ O ₂	60,05	1,045 ^(25°C)	1,0658	1,00000
Ac. Propanóico (Propiônico)	C ₃ H ₆ O ₂	74,08	0,988 ^(25°C)	1,5119	0,81061
Ac. Butanóico (Butírico)	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	0,953 ^(25°C)	1,8159	0,68153
Ac. Isobutanóico (Isobutírico)	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	0,968 ^(20°C)	1,8159	0,68153
Ac. Pentanóico (Valérico)	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,13	0,934 ^(25°C)	2,0366	0,58798
Ac. Isopentanóico (Isovalérico)	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,13	0,931 ^(20°C)	2,0366	0,58798
Ac. Hexanóico (Capróico)	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,16	0,921 ^(25°C)	2,2039	0,51696
3 L Acét. + 1 L Prop. + 0,25 L But.	-	-	-	1,2078	-

* Fator de conversão do ácido para ácido acético.

** Etanol combustível (92,6° a 93,8° INPM, segundo a Portaria ANP 45/01).

Tabela 5.10.2: Concentrações medidas e calculadas de AVT, para determinação do fator de correção através de correlações lineares dos resultados dos perfis temporais de concentração do ASBBR (R3), considerando-se a existência de interferentes.

Perfil e Parâmetro	Tempo [dias]											f _c	
	0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	f _{ca}	f _{cb}
P11 – AVT _{med.}	468	468	-	2340	1507	945	837	477	459	459	-	1,8490	-337
P11 – AVT _{calc.}	468	468	-	3853	2598	1721	1083	534	475	426	-		
P12 – AVT _{med.}	409	409	-	2309	1710	1140	779	447	428	412	-	1,8711	-376
P12 – AVT _{calc.}	409	409	-	3963	2790	1781	1061	439	468	367	-		
P13 – AVT _{med.}	418	418	-	2252	1549	1007	722	418	437	418	-	1,8252	-335
P13 – AVT _{calc.}	418	418	-	3791	2445	1584	911	587	376	397	-		
Méd. – AVT _{med.}	432	432	-	2300	1589	1031	779	447	441	430	-	1,8543	-354
Méd. – AVT _{calc.}	432	432	-	3869	2611	1695	1018	520	439	396	-		
P14 – AVT _{med.}	599	3762	3325	2673	1948	1412	1207	817	646	542	-	1,8822	-385
P14 – AVT _{calc.}	599	6744	5579	4828	3412	2435	1806	1195	845	574	-		
P15 – AVT _{med.}	380	3629	2917	2698	1843	1349	1045	671	399	418	-	2,0641	-441
P15 – AVT _{calc.}	380	6743	5892	5103	3534	2400	1684	891	324	322	-		
P16 – AVT _{med.}	447	3192	2926	2438	1748	1163	836	589	458	390	-	2,0513	-427
P16 – AVT _{calc.}	447	6276	5574	4432	2949	2101	1341	828	493	387	-		
P17 – AVT _{med.}	437	3582	3164	2670	1653	1305	942	621	532	428	-	1,8594	-440
P17 – AVT _{calc.}	437	6125	5432	4624	2689	2039	1333	708	402	323	-		
Méd. – AVT _{med.}	466	3541	3083	2620	1798	1307	1008	675	509	445	-	1,9658	-431
Méd. – AVT _{calc.}	466	6472	5619	4747	3146	2244	1541	906	516	402	-		
P18 – AVT _{med.}	475	3430	2939	2641	1993	1435	1020	523	390	346	-	1,8490	-199
P18 – AVT _{calc.}	475	6105	5408	4520	3437	2578	1696	827	578	475	-		
P19 – AVT _{med.}	460	3411	3154	2765	2147	1568	1197	648	399	323	-	1,8153	-192
P19 – AVT _{calc.}	460	5982	5523	4827	3654	2811	1967	1023	543	460	-		
P20 – AVT _{med.}	460	3401	2936	2580	1862	1330	967	538	371	352	-	1,8261	-217
P20 – AVT _{calc.}	460	5991	5262	4339	3215	2248	1497	839	539	460	-		
P21 – AVT _{med.}	475	3316	3006	2679	1989	1488	1049	570	352	323	-	1,9667	-227
P21 – AVT _{calc.}	475	6368	5761	4847	3679	2737	1866	918	587	475	-		
Méd. – AVT _{med.}	468	3390	3009	2666	1998	1455	1058	570	378	336	-	1,8643	-210
Méd. – AVT _{calc.}	468	6112	5489	4633	3496	2594	1757	902	562	468	-		
P22 – AVT _{med.}	485	3544	3122	2841	2271	1729	1378	851	618	517	494	1,9112	-811
P22 – AVT _{calc.}	485	6061	5250	4654	3292	2387	1752	800	334	102	77		
P23 – AVT _{med.}	485	3667	3344	3088	2557	2071	1695	1140	798	633	589	1,7905	-513
P23 – AVT _{calc.}	485	5985	5548	5051	4076	3190	2476	1458	938	574	502		
P24 – AVT _{med.}	466	3369	3173	2869	2455	2176	1900	1364	925	710	580	1,9983	-639
P24 – AVT _{calc.}	466	6036	5632	5258	4388	3875	2935	1863	1110	772	578		
P25 – AVT _{med.}	494	3560	3177	3072	2603	2081	1710	1176	859	730	599	1,9474	-631
P25 – AVT _{calc.}	494	6337	5665	5300	4354	3390	2672	1684	1030	705	492		
P26 – AVT _{med.}	599	3724	3439	3074	2527	2029	1619	1064	760	675	580	1,8613	-484
P26 – AVT _{calc.}	599	6488	5867	5231	4269	3213	2574	1512	982	738	603		
Méd. P22 a P26 – AVT _{med.}	506	3573	3251	2989	2483	2017	1660	1119	792	653	568	1,8999	-613
Méd. P22 a P26 – AVT _{calc.}	506	6181	5592	5099	4076	3211	2482	1463	879	578	450		
Méd. P23, 25 e 26 – AVT _{med.}	526	3650	3320	3078	2562	2060	1675	1127	806	679	589	1,8662	-542
Méd. P23, 25 e 26 – AVT _{calc.}	526	6270	5693	5194	4233	3264	2574	1551	983	672	532		
Média Simples								f _{ca} = 1,8662±0,0840				f _{cb} = -406±174	
Média, Eliminando-se os Valores que Ficaram Fora do Intervalo da Média ± Desvio Padrão								f _{ca} = 1,8542±0,0429				f _{cb} = -427±62	

OBS: AVT_{med.} = AVT medido [mg CaCO₃.L⁻¹] e AVT_{calc.} = AVT estimado por meio da DQO [mg Ac.Acético.L⁻¹]

Portanto, como se pode notar pela Tabela 5.10.2 e pelas Figuras 5.10.1 e 5.10.2, a correção das concentrações de AVT para lixiviados de aterros sanitários não pode ser feita somente por um fator de correção f_c , pois devido a interferentes, que não podem ser desprezados, a correção tem que ser feita

através de uma expressão linear, como apresentado na equação 5.10.3, obtida para os lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP.

$$AVT = fca \cdot AAV - fcb = 1,8542 \cdot AAV - 427 \quad (5.10.3)$$

Em que:

fca = Coeficiente angular da expressão de correção;

fcb = Coeficiente linear da expressão de correção [mg Ac. Acético.L⁻¹].

Figura 5.10.1: Correlação entre as concentrações medidas e calculadas de AVT para determinação dos fatores de correção do método de DiLallo e Albertson (1961): (a) Perfil 11, (b) Perfil 12, (c) Perfil 13, (d) Média dos Perfis 11, 12 e 13, (e) Perfil 14, (f) Perfil 15, (g) Perfil 16, (h) Perfil 17 e (i) Média dos Perfis 14, 15, 16 e 17.

Figura 5.10.2: Correlação entre as concentrações medidas e calculadas de AVT para determinação dos fatores de correção do método de DiLallo e Albertson (1961): (a) Perfil 18, (b) Perfil 19, (c) Perfil 20, (d) Perfil 21, (e) Média dos Perfis 18, 19, 20 e 21, (f) Perfil 22, (g) Perfil 23, (h) Perfil 24, (i) Perfil 25, (j) Perfil 26, (k) Média dos Perfis 22, 23, 24, 25 e 26, e (l) Média dos Perfis 23, 25 e 26.

5.11 – Ajuste do Modelo Matemático e Obtenção dos Parâmetros Cinéticos de Monod

5.11.1 – Crescimento Celular no ASBBR (R3)

Para o reinício da operação do ASBBR (R3), na segunda etapa, foram adicionados ao reator, como inóculo, cerca de 110 L de lodo proveniente da lagoa 3 de lixiviados do aterro sanitário de São Carlos. As características desse lodo de inóculo foram apresentadas na Tabela 5.3.1. Considerando-se que esse lodo se distribuiu uniformemente através dos 6.080 cubos de espuma de poliuretano contidos no cesto do reator, as características entre lodo e meio suporte podem ser descritas como apresentado na Tabela 5.11.1.1.

Tabela 5.11.1.1: Características do lodo considerando distribuição uniforme entre os cubos de espuma, no início da segunda etapa de operação (Batelada 1).

Parâmetro	Por Grama de Espuma	Por Litro de Espuma	%
Sólidos totais (ST)	3,615 g ST·g Espuma ⁻¹	72,29 g ST·L Espuma ⁻¹	100
Sólidos totais fixos (STF)	2,694 g STF·g Espuma ⁻¹	53,88 g STF·L Espuma ⁻¹	74,5
Sólidos totais voláteis (STV)	0,921 g STV·g Espuma ⁻¹	18,42 g STV·L Espuma ⁻¹	25,5

Antes da realização do segundo perfil do ASBBR (R3), ou seja, entre as bateladas 15 e 16 foi feita uma amostragem da espuma desse reator, onde foram retirados do cesto do reator 10 cubos de espuma com dimensões de 4 x 4 x 4 cm, com volume total de 0,64 L. A Tabela 5.11.1.2 apresenta o resultado da caracterização do lodo extraído da espuma do ASBBR.

Tabela 5.11.1.2: Caracterização do lodo das espumas retiradas do cesto de aço inox do ASBBR entre as bateladas 15 e 16.

Parâmetro	Por Grama de Espuma	Por Litro de Espuma	%
Sólidos totais (ST)	3,066 g ST·g Espuma ⁻¹	61,31 g ST·L Espuma ⁻¹	100
Sólidos totais fixos (STF)	2,086 g STF·g Espuma ⁻¹	41,73 g STF·L Espuma ⁻¹	68,1
Sólidos totais voláteis (STV)	0,979 g STV·g Espuma ⁻¹	19,58 g STV·L Espuma ⁻¹	31,9

O mesmo procedimento foi realizado antes do sexto perfil do ASBBR, ou seja, entre as bateladas 30 e 31, onde foi novamente retirada a mesma quantidade de amostra. A Tabela 5.11.1.3 apresenta o resultado da caracterização do lodo extraído da espuma do ASBBR.

Tabela 5.11.1.3: Caracterização do lodo das espumas retiradas do cesto de aço inox do ASBBR entre as bateladas 30 e 31.

Parâmetro	Por Grama de Espuma	Por Litro de Espuma	%
Sólidos totais (ST)	3,987 g ST·g Espuma ⁻¹	79,73 g ST·L Espuma ⁻¹	100
Sólidos totais fixos (STF)	2,630 g STF·g Espuma ⁻¹	52,60 g STF·L Espuma ⁻¹	66,0
Sólidos totais voláteis (STV)	1,356 g STV·g Espuma ⁻¹	27,13 g STV·L Espuma ⁻¹	34,0

O acompanhamento de R3 foi realizado até a batelada 68, porém ele foi mantido em operação até a batelada 80, sendo que da batelada 69 a 80, o reator foi alimentado com lixiviado praticamente recalitrante com adição de 2 L de etanol por batelada. Depois da batelada 80 feita uma nova amostragem da biomassa do reator, que dessa vez foi composta por três amostras de dez cubos cada uma, para se avaliar possíveis erros de amostragem. A Tabela 5.11.1.4 apresenta os resultados da amostragem, os resultados médios e os desvios padrão.

Tabela 5.11.1.4: Caracterização do lodo das espumas retiradas do cesto de aço inox do ASBBR depois da batelada 80.

Amostra	Parâmetro	Por Grama de Espuma	Por Litro de Espuma	%
1	Sólidos totais (ST)	4,766 g ST·g Espuma ⁻¹	95,32 g ST·L Espuma ⁻¹	100
	Sólidos totais fixos (STF)	3,148 g STF·g Espuma ⁻¹	62,96 g STF·L Espuma ⁻¹	65,4
	Sólidos totais voláteis (STV)	1,664 g STV·g Espuma ⁻¹	33,29 g STV·L Espuma ⁻¹	34,6
2	Sólidos totais (ST)	5,143 g ST·g Espuma ⁻¹	102,85 g ST·L Espuma ⁻¹	100
	Sólidos totais fixos (STF)	3,333 g STF·g Espuma ⁻¹	66,66 g STF·L Espuma ⁻¹	64,8
	Sólidos totais voláteis (STV)	1,810 g STV·g Espuma ⁻¹	36,20 g STV·L Espuma ⁻¹	35,2
3	Sólidos totais (ST)	5,006 g ST·g Espuma ⁻¹	100,12 g ST·L Espuma ⁻¹	100
	Sólidos totais fixos (STF)	3,274 g STF·g Espuma ⁻¹	65,49 g STF·L Espuma ⁻¹	65,4
	Sólidos totais voláteis (STV)	1,732 g STV·g Espuma ⁻¹	34,63 g STV·L Espuma ⁻¹	34,6
Média e Desvio Padrão	Sólidos totais (ST)	4,972 ± 0,191 g ST·g Espuma ⁻¹	99,43 ± 3,81 g ST·L Espuma ⁻¹	100
	Sólidos totais fixos (STF)	3,252 ± 0,095 g STF·g Espuma ⁻¹	65,04 ± 1,89 g STF·L Espuma ⁻¹	65,1
	Sólidos totais voláteis (STV)	1,735 ± 0,073 g STV·g Espuma ⁻¹	34,71 ± 1,46 g STV·L Espuma ⁻¹	34,9

Observando-se as tabelas anteriores, pode-se notar uma pequena variação da proporção entre STF e STV em relação aos ST, ao longo das bateladas. Essa variação se deve certamente à soma de dois fatores, que são o arraste de STF e o crescimento celular que aumenta a concentração de STV. A Figura 5.11.1.1 apresenta essas variações ao longo das bateladas.

Figura 5.11.1.1: Variação da proporção [%] entre STF e STV em relação a ST no lodo aderido ao meio suporte.

Como foi notado, através das amostragens de lodo de R3, a biomassa apresentou crescimento considerável ao longo do tempo. Esse crescimento, ao longo das bateladas, é apresentado na Tabela 5.11.1.5 e na Figura 5.11.1.2.

Tabela 5.11.1.5: Crescimento celular ao longo das bateladas de R3.

Batelada	Massa de Lodo [g _{STV}]	Concentração [mg _{STV} ·L ⁻¹]
01	7.167	9.607
15	7.619	10.213
30	10.556	14.151
80	13.506	18.105

Figura 5.11.1.2: Variação da massa total e da concentração de lodo como STV, ao longo das bateladas.

Para se estimar o crescimento da biomassa e sua variação ao longo do tempo, foi realizado o seguinte balanço material da equação 5.11.1.1, obtendo-se um modelo para o crescimento conforme a equação 5.11.1.3, considerando-se que o consumo de biomassa (morte celular) é desprezível:

$$Biomassa = Inóculo + (Entrada + Formação) - (Saída + Consumo) \quad (5.11.1.1)$$

$$M_x = M_{xi} + (SSV_{aflu.} + Y_{x/s} \cdot \frac{dM_s}{dt}) - (SSV_{eflu.} + 0) \quad (5.11.1.2)$$

$$M_x = M_{xi} + SSV_{aflu.} + Y_{x/s} \cdot \frac{dM_s}{dt} - SSV_{eflu.} \quad (5.11.1.3)$$

$$C_x = 1000 \cdot \frac{M_x}{V} = 1000 \cdot \frac{M_x}{746L} \quad (5.11.1.4)$$

Em que:

M_X = Massa total de microrganismos considerada como STV no lodo aderido ao meio suporte [g_{STV}];

M_{Xi} = Massa total de microrganismos inoculados inicialmente no sistema considerada como STV no lodo aderido ao meio suporte [g_{STV}];

$SSV_{\text{afiu.}}$ = Massa de sólidos suspensos voláteis considerados como biomassa no afluente líquido [g_{SSV}];

$SSV_{\text{eflu.}}$ = Massa de sólidos suspensos voláteis considerados como biomassa no efluente líquido [g_{SSV}];

$Y_{X/S}$ = Coeficiente de produção de biomassa [$\text{g}_{\text{STV}} \cdot \text{g}_{\text{DQOremovida}}^{-1}$];

dM_S/dt = Taxa de utilização de substrato [$\text{g}_{\text{DQO}} \cdot \text{Bat.}^{-1}$];

C_X = Concentração de biomassa no sistema [$\text{mg}_{\text{STV}} \cdot \text{L}^{-1}$].

Um dos problemas para aplicação desse modelo, na forma numérica, foi que o acompanhamento dos sólidos só foi iniciado a partir da batelada 14 e foi encerrado na batelada 68. Assim, como uma aproximação, foi considerado para o intervalo compreendido entre as bateladas 1 e 13, que o comportamento com relação às variações de concentração de SSV, foi similar à média do comportamento compreendido entre as bateladas 14 e 21, que também fazem parte da fase de adaptação da biomassa e ocorreu somente arraste. Dessa forma foi considerado que entre as bateladas 1 e 13 ocorria um arraste médio de **86** $\text{g}_{\text{SSV}} \cdot \text{Bat.}^{-1}$. Para o intervalo compreendido entre as bateladas 69 e 80, considerou-se que o comportamento seria similar ao comportamento médio do período compreendido entre as bateladas 38 e 68, onde ocorreu um arraste médio de **63** $\text{g}_{\text{SSV}} \cdot \text{Bat.}^{-1}$.

Considerando-se as aproximações apresentadas acima para implementação do modelo, e também as amostragens de biomassa realizadas no sistema, foi possível se fazer um ajuste para obtenção de $Y_{X/S}$ a partir da ferramenta “atingir metas” do aplicativo “Excel®” da “Microsoft®”. A planilha contendo todos os resultados dos cálculos, bem como as aproximações consideradas, é apresentada na Tabela T.1 do **APÊNDICE T**. O valor encontrado para $Y_{X/S}$ que melhor aproxima os resultados do modelo aos resultados experimentais é $Y_{X/S} = \mathbf{0,02516 \text{ g}_{\text{STV}} \cdot \text{g}_{\text{DQOremovida}}^{-1}}$.

A Figura 5.11.1.3 (a) apresenta os resultados de concentração de biomassa obtidos por amostragem e calculados pelo modelo. A Figura 5.11.1.3 (b) apresenta a excelente correlação encontrada entre os resultados experimentais obtidos por amostragem e os resultados calculados obtidos pelo modelo.

Figura 5.11.1.3: (a) Concentração de biomassa (C_x) obtida por amostragem e calculada através do modelo ajustado e (b) Perfil de Ácidos Voláteis Totais.

Os valores de concentração de biomassa obtidos através do modelo apresentado foram utilizados para cálculo dos parâmetros cinéticos ajustados aos resultados obtidos através dos perfis temporais de concentração de substrato.

Por fim, para uma análise do conteúdo do lodo coletado, foi realizado um exame de microscopia óptica, em que se verificou um enorme predomínio da morfologia semelhante à *methanosarcina sp.* em relação às demais morfologias, o que é um indicativo de que essa morfologia se adapta melhor aos lixiviados de aterros sanitários do que a morfologia *methanosaetas sp.*, que geralmente predomina no tratamento anaeróbio de esgotos sanitários.

A Figura 5.11.1.4 apresenta o aspecto dos cubos de espuma contendo o lodo, no momento da amostragem, logo após a batelada 80. As Figuras 5.11.1.5 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as fotografias obtidas por microscopia óptica em contraste de fase e fluorescência, que apresentam uma enorme concentração da morfologia semelhante à *methanosarcina sp.* na amostra retirada do ASBBR.

Figura 5.11.1.4: (a) Aspecto dos cubos de espuma contendo o lodo, no momento da amostragem, logo após a batelada 80.

Figura 5.11.1.5: Fotografia de microrganismos com morfologia semelhante à *methanosarcina sp.*, na amostragem realizada no ASBBR (a) Em contraste de fase e (b) Com fluorescência.

5.11.2 – Comparação entre Ajustes e Validação dos Modelos Matemáticos de Consumo de Substrato de Monod e de Primeira Ordem

Como apresentado no Capítulo 4, para cada perfil de concentração de substrato obtido experimentalmente (DQO_{Total} ou $DQO_{Filtr.}$) foram feitos oito ajustes matemáticos para obtenção dos parâmetros cinéticos de Monod e mais oito ajustes matemáticos para obtenção dos parâmetros cinéticos de Primeira Ordem. Para cada modelo foram realizados quatro ajustes considerando como fixa a concentração residual de substrato, e mais quatro ajustes deixando a concentração residual de substrato livre para ser ajustada.

Como base de comparação entre os ajustes foram utilizados dois critérios, que são o menor somatório dos resíduos ao quadrado (S_{CC}) e o maior coeficiente de correlação ao quadrado (r^2). Com base nesses dois critérios, e observando as tabelas com os resultados dos ajustes no **APÊNDICE U**, fica claro que para o modelo de Monod, os quatro casos onde foram obtidos os melhores ajustes foram os casos (e), (f), (g) e (h), que foram justamente os casos onde se utilizou as rotinas de ajuste elaboradas pelo pesquisador e programadas em Visual Basic® em “macros” do aplicativo MS-Excel®, para o ajuste do modelo tanto na forma integral, quanto na forma diferencial. Para o modelo de Primeira Ordem, os resultados obtidos através do Origin® 7.5 foram equivalentes aos resultados das rotinas de ajuste elaboradas pelo pesquisador e programadas em Visual Basic® em “macros” do aplicativo MS-Excel®, para o ajuste do modelo tanto na forma integral, quanto na forma diferencial.

Nota-se também, que de forma geral, nos ajustes onde se manteve a concentração residual de substrato (C_{SR}) livre para ser ajustada, os ajustes também acabaram por ser ligeiramente melhores do que nos casos onde este residual foi mantido como fixo e portanto, não ajustado pelos modelos.

Ao se fazer os ajustes do modelo de Monod, verificou-se também que o ajuste (e) do modelo, na forma integral com C_{SR} fixo, costumava às vezes, a apresentar problemas no momento de calcular o valor da concentração para o último ponto e muitas vezes não considerava este ponto no ajuste, principalmente quando o valor numérico da concentração de substrato desse ponto era igual ou menor ao da concentração residual de substrato. Por outro lado, o ajuste (g) que seria o ajuste equivalente a este, porém para o modelo na forma diferencial, nunca apresentou este tipo de problema, o que colocou este último em uma ligeira vantagem em relação ao anterior.

Os ajustes (a) e (b) realizados através do Origin[®] 7.5, para o modelo de Monod, em geral, não foram ruins, porém quando comparados com os ajustes programados em Visual Basic[®], em “macros” do aplicativo MS-Excel[®], nota-se que poderiam ser melhorados.

Quanto aos ajustes (b) e (c) obtidos por regressão linear dos modelos na formas linearizadas, pode-se notar que, em geral, produziram os piores ajustes, quando comparados com os outros ajustes realizados, o que também não significa que estes ajustes foram ruins, mas que talvez esta não fosse a melhor ferramenta, quando se necessita de ajustes mais precisos e confiáveis. Uma grande vantagem desse tipo de ajuste em relação aos demais, é a sua facilidade e rapidez para se implementar e obter resultados e uma desvantagem é a menor precisão em alguns casos, principalmente quando não se consegue calcular os valores para todos os pontos do perfil e tem que se excluir alguns pontos para se realizar o ajuste linear.

Para validação dos modelos matemáticos foram considerados, além do coeficiente de correlação ao quadrado (r^2), mais dois testes estatísticos, que são o “Teste de Randomicidade” e o “Teste F”.

Quanto às correlações entre os modelos cinéticos de Monod e Primeira Ordem com os resultados experimentais, nota-se que ambos os modelos foram bastante satisfatórios, pois para grande maioria dos ajustes o coeficiente r^2 foi superior a 0,99, tanto para o modelo de Monod, quanto para o modelo de Primeira Ordem.

O teste de randomicidade é útil na verificação de eventuais tendências no ajuste do modelo matemático ao conjunto de pontos experimentais. Como pode ser verificado nas tabelas do **APÊNDICE U**, foram raros os casos em que o teste de randomicidade não foi aceito, porém os resultados com o modelo de Monod foram melhores que os resultados com o modelo de Primeira Ordem, que em muitos perfis apresentaram uma tendência mais evidente no ajuste.

O teste F é útil para se verificar se os modelos representam satisfatoriamente o conjunto de ensaios ajustados, baseando-se na obtenção do erro experimental e, portanto a sua aplicação só é possível quando uma mesma condição experimental é repetida várias vezes, como foram os casos dos conjuntos de perfis (P 11, 12 e 13), (P 14, 15, 16 e 17), (P18, 19, 20 e 21) e (P 23, 25 e 26).

As Tabelas U.97 a U.112 apresentam os resultados do teste F para os conjuntos de perfis listados anteriormente. Nota-se, por estas tabelas, que a grande maioria dos resultados satisfaz o teste

F, com exceção do ajuste (b) para DQO_{Total} dos perfis 11, 12 e 13 com C_{SR} livre ajustado pelo Origin® e também do ajuste (a) para DQO_{Total} dos perfis 23, 25 e 26 com C_{SR} fixo ajustado pelo Origin®.

De forma geral, os melhores resultados, obtidos em todos os aspectos, foram os resultados obtidos através dos ajustes obtidos pelas rotinas elaboradas pelo pesquisador e programadas em Visual Basic® em “macros” do aplicativo MS-Excel®, sendo que na forma diferencial, os resultados foram ainda ligeiramente melhores que na forma integral, por não rejeitar nenhum ponto do ajuste principalmente para o modelo de Monod.

5.11.3 – Características dos Resultados dos Ajustes do Modelo Matemático de Monod

Uma característica muito importante observada quando foram feitos os ajustes dos modelos para obtenção dos parâmetros cinéticos de Monod, foi que os ajustes apresentavam soluções múltiplas e totalmente discrepantes, com relação à ordem de grandeza dos parâmetros obtidos.

Essa verificação costuma ser dificultada ou passa despercebida quando se utilizam *softwares* fechados como o Origin® 7.5, em que os pesquisadores não possuem muita mobilidade para interferir ou visualizar a rotina de cálculo e acompanhar os passos intermediários.

Exemplos de discrepância entre os valores dos parâmetros obtidos pelos ajustes podem ser verificados em praticamente todas as tabelas de resultados do **APÊNDICE P**. Somente como ilustração inicial, no ajuste do **Perfil 3** para DQO_{Total} , os valores de K_S variaram de **8.549,2** $mg_{DQO} \cdot L^{-1}$ a **48.024,4** $mg_{DQO} \cdot L^{-1}$ e para $r_{máx.} (\mu_{máx.}/Y_{X/S})$ os valores variaram de **0,69984** $g_{DQO} \cdot g_{STV}^{-1} \cdot d^{-1}$ a **2,81387** $g_{DQO} \cdot g_{STV}^{-1} \cdot d^{-1}$, respectivamente. No caso do **Perfil 5**, as discrepâncias foram ainda maiores para os parâmetros obtidos no perfil de DQO_{Total} . No Perfil 5, os valores de K_S variaram de **4.799,6** $mg_{DQO} \cdot L^{-1}$ a **230.705.885** $mg_{DQO} \cdot L^{-1}$ e para $r_{máx.} (\mu_{máx.}/Y_{X/S})$ os valores variaram de **0,31728** $g_{DQO} \cdot g_{STV}^{-1} \cdot d^{-1}$ a **12639,3** $g_{DQO} \cdot g_{STV}^{-1} \cdot d^{-1}$, respectivamente. Os valores de K_S e $r_{máx.} (\mu_{máx.}/Y_{X/S})$ só não foram ainda maiores neste último caso, porque decidiu-se por parar os processos iterativos, que aparentavam levar os parâmetros para valores extremamente elevados, ou talvez até infinitos. Por outro lado, alguns ajustes levaram a valores negativos de K_S e $r_{máx.} (\mu_{máx.}/Y_{X/S})$.

Algo também muito interessante foi que para quase todos os casos, os ajustes apresentaram coeficiente r^2 superiores a **0,99**, o que indica que os ajustes foram sempre muito bons.

Um fato que também ficou claro, observando-se os perfis, é que nos perfis mais abatidos, ou seja, com os menores consumos de substrato ao longo do tempo, as discrepâncias entre os ajustes foram maiores.

Para ilustrar a ocorrência de solução múltipla nos perfis, decidiu-se por examinar mais minuciosamente um dos perfis, onde os valores dos parâmetros K_S e $r_{máx.} (\mu_{máx.}/Y_{X/S})$ pareceram convergir para valores infinitos e também um dos perfis onde os valores dos parâmetros K_S e $r_{máx.}$

($\mu_{\text{máx.}}/Y_{X/S}$) convergiram para valores não tão discrepantes, através do ajuste do modelo na forma diferencial, que foi o que apresentou os melhores resultados.

Dessa forma, observando-se os perfis, decidiu-se por fazer uma análise do **Perfil 11**, pois para DQO_{Total} os ajustes convergiram com valores de K_S da ordem de $7.500 \text{ mg}_{DQO} \cdot L^{-1}$ e para $DQO_{\text{Filtr.}}$ os ajustes foram interrompidos quando os valores de K_S chegaram próximos de $10.000.000 \text{ mg}_{DQO} \cdot L^{-1}$.

A Tabela 5.11.3.1 apresenta os resultados numéricos da análise detalhada de convergência do Perfil 11 de DQO_{Total} e a Tabela 5.11.3.2 apresenta o mesmo para o Perfil 11 de $DQO_{\text{Filtr.}}$. Em ambos os casos partiu-se dos mesmos valores de parâmetros arbitrados inicialmente, e foram realizadas 2.500 iterações até o que se considerou a convergência. Os valores dos parâmetros arbitrados inicialmente, foram selecionados de forma que já dessem uma boa aproximação visual entre os resultados experimentais e os resultados do modelo matemático.

Tabela 5.11.3.1: Resultados da análise do Perfil 11 considerando-se como substrato a DQO_{Total} .

Iteração	K_S	$r_{\text{máx.}}$ ($\mu_{\text{máx.}}/Y_{X/S}$)	$K_S/r_{\text{máx.}}$	C_{SR}	S_{CC}	r^2
0*	2000,0	0,3500	5714,3	4800	246825,65	0,996388
100	3191,3	0,4401	7252,0	4948	51159,77	0,998764
200	4433,4	0,5189	8543,4	4925	21820,77	0,999460
300	5702,8	0,5998	9508,0	4908	10495,63	0,999723
400	6057,0	0,6219	9739,4	4904	9051,70	0,999757
500	6614,5	0,6567	10072,6	4895	7693,92	0,999790
700	7070,6	0,6852	10318,8	4891	7184,25	0,999801
1000	7266,9	0,6975	10419,2	4889	7098,86	0,999803
1500	7382,1	0,7046	10476,8	4887	7080,52	0,999803
2000	7412,3	0,7065	10492,0	4887	7079,28	0,999803
2500	7421,7	0,7070	10496,7	4887	7079,18	0,999803

* Valores arbitrados inicialmente.

Observando-se a Figura 5.11.3.1 (a), que apresenta alguns dos resultados obtidos para o ajuste do Perfil 11 de DQO_{Total} , pode-se notar que, tanto K_S , quanto a relação $K_S/r_{\text{máx.}}$ parecem que tenderam a um determinado valor, quando ocorreu a convergência do ajuste. Pela Figura 5.11.3.1 (b), pode-se notar que ao longo do caminho que leva à convergência, também existe uma relação linear entre K_S e $r_{\text{máx.}}$ cuja reta apresenta excelente correlação ($r^2 = 0,999204$).

Figura 5.11.3.1: (a) Variação dos parâmetros K_s , C_{SR} e da relação $K_s/r_{\max}$ do Perfil 11 para DQO_{Total} ao longo das iterações e (b) Relação linear existente entre K_s e $r_{\max}$ ao longo do caminho que leva à convergência.

Ao se observar os resultados obtidos para o ajuste do Perfil 11 de $DQO_{\text{Filtr.}}$ na Figura 5.11.3.2 (a), pode-se notar, que neste caso, somente a relação $K_s/r_{\max}$ parece que tendeu a um determinado valor quando ocorreu a convergência do ajuste, enquanto K_s pareceu divergir para valores talvez até infinitos. Porém, pela Figura 5.11.3.2 (b), pode-se notar que, ao longo do caminho que levou à convergência, a relação linear entre K_s e $r_{\max}$ continuou se mantendo e ainda com excelente correlação ($r^2 = 1,000000$).

Tabela 5.11.3.2: Resultados da análise do Perfil 11 considerando-se como substrato a $DQO_{\text{Filtr.}}$.

Iteração	K_s	$r_{\max}$ ($\mu_{\max}/Y_{X/S}$)	$K_s/r_{\max}$	C_{SR}	S_{CC}	r^2
0*	2000,0	0,3500	5714,3	4500	580486,92	0,985727
100	2397,5	0,3748	6397,0	4560	457231,18	0,987321
200	2795,0	0,4096	6824,0	4633	379202,56	0,988341
300	6215,8	0,6427	9671,7	4590	220357,76	0,992865
400	10590,8	0,9347	11331,1	4563	164842,22	0,994496
500	15978,4	1,2993	12297,7	4558	140046,19	0,995186
700	30119,1	2,2500	13386,3	4550	121043,19	0,995758
1000	66228,7	4,6047	14382,8	4505	108759,06	0,996173
1500	429691,0	28,6206	15013,4	4500	102573,88	0,996351
2000	$7,8254 \times 10^7$	$5,1394 \times 10^3$	15226,3	4485	101194,64	0,996410
2500	$1,3572 \times 10^{11}$	$8,9138 \times 10^6$	15226,3	4485	101189,11	0,996410

* Valores arbitrados inicialmente.

Observando-se as equações das correlações lineares entre K_s e $r_{\max}$ apresentadas nas Figuras 5.11.3.1 (b) e 5.11.3.2 (b), nota-se que elas são muito parecidas e para ilustrar a proximidade existente entre elas, a Figura 5.11.3.3 apresenta uma comparação visual entre essas duas curvas, obtidas pela convergência do Perfil 11 para DQO_{Total} e $DQO_{\text{Filtr.}}$.

Figura 5.11.3.2: (a) Variação dos parâmetros K_s , C_{sr} e da relação K_s/r_{max} do Perfil 11 para $DQO_{Filtr.}$ ao longo das iterações e (b) Relação linear existente entre K_s e r_{max} ao longo do caminho que leva à convergência.

Figura 5.11.3.3: Comparação entre as curvas de correlação obtidas entre K_s e r_{max} para os ajustes obtidos tomando-se como substrato a DQO_{Total} e a $DQO_{Filtr.}$.

Infelizmente, tal análise tão detalhada não pode ser realizada neste texto para o estudo da convergência dos demais perfis ajustados, porém espera-se que as observações apresentadas nesta análise sejam úteis no estudo da convergência de ajustes do modelo cinético de Monod, ou para elaboração de *softwares* específicos para aplicação neste tipo de ajuste.

5.11.4 – Resultados Obtidos pelo Modelo Cinético de Monod para Consumo de Substratos no Tratamento Anaeróbio de Lixiviados de Aterros Sanitários

Como os melhores resultados foram obtidos pelo ajuste do modelo em sua forma diferencial, programado em Visual Basic®, em “macros” do aplicativo MS-Excel®, os resultados apresentados a seguir serão somente os resultados obtidos por este tipo de ajuste. A Tabela 5.11.4.1 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 03 a 10, na qual se utilizou como substrato o lixiviado puro, ou seja, sem diluição e sem a adição de nenhum substrato adicional. Nota-se, por esta tabela que, com exceção do Perfil 10, que teve seu ajuste dificultado por ser muito tênue, apesar da grande variabilidade dos valores encontrados para K_S e $r_{\max}$, a relação $K_S/r_{\max}$ apresentou uma variabilidade bem menor. Enquanto K_S variou de 2.631,2 a 230.705.885 $\text{mg}_{\text{DQO}}\cdot\text{L}^{-1}$ e $r_{\max}$ variou de 0,17942 a 12.639,3 $\text{g}_{\text{DQO}}\cdot\text{g}_{\text{STV}}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, a relação $K_S/r_{\max}$ variou somente de 12.153,9 a 29.761,5.

Tabela 5.11.4.1: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 03 a 10.

Perfil	T [°C]	C_X [mg.L ⁻¹]	C_S (DQO)	C_{S0} [mg.L ⁻¹]	K_S [mg.L ⁻¹]	$r_{\max}$ [g _{DQO} ·g _{STV} ⁻¹ ·d ⁻¹]	$K_S/r_{\max}$	C_{SR} [mg.L ⁻¹]	r^2
03	25,8	13856	Total	11080	23231,0	1,52662	15217,3	3285 (F)	0,999413
					22372,2	1,48161	15099,9	3291 (L)	0,999414
			Filtrada	10405	89836,6	5,64626	15910,8	2965 (F)	0,999939
					82109,7	5,18844	15825,5	2968 (L)	0,999939
04	24,1	13937	Total	8535	7721,1	0,38828	19885,4	3280 (F)	0,998365
					70683,5	2,38787	29601,1	3007 (L)	0,999458
			Filtrada	7540	8480,4	0,43126	19664,2	2943 (F)	0,998898
					8454,5	0,43033	19646,6	2943 (L)	0,998898
05	27,0	13938	Total	4970	230705885	12639,3	18253,0	3130 (F)	0,994930
					11854,6	0,75527	15695,8	3174 (L)	0,995626
			Filtrada	4890	7288507,1	441,4178	16511,6	3000 (F)	0,986768
					7385813,2	533,2087	13851,6	3093 (L)	0,990599
06	25,4	13982	Total	10485	7249,2	0,44075	16447,4	3865 (F)	0,997057
					11004,1	0,56998	19306,1	3723 (L)	0,997393
			Filtrada	10155	10202,4	0,57735	17671,1	3675 (F)	0,997616
					17871,0	0,85880	20809,3	3529 (L)	0,997971
07	25,1	14460	Total	11310	21996,2	1,27680	17227,6	4770 (F)	0,999053
					8807265,3	403,024	21852,9	4544 (L)	0,999809
			Filtrada	10780	23480,1	1,30498	17992,7	4375 (F)	0,998734
					9966398,7	439,946	22653,7	4142 (L)	0,999582
08	24,5	14639	Total	8765	2631,2	0,21649	12153,9	4480 (F)	0,999521
					4083,9	0,26819	15227,6	4372 (L)	0,999807
			Filtrada	8380	13127,1	0,73182	17937,6	4070 (F)	0,998224
					9404411,8	406,17607	23153,5	3916 (L)	0,998771
09	24,3	14637	Total	6755	3342,7	0,21283	15706,0	4845 (F)	0,995830
					5333,5	0,29931	17819,3	4817 (L)	0,995938
			Filtrada	6390	3485,9	0,17942	19428,7	4553 (F)	0,997399
					9519399,1	319,85592	29761,5	4412 (L)	0,999125
10	22,7	14947	Total	5310	0,83808	0,02018	41,5	4660 (F)	0,999853
					0,84166	0,02028	41,5	4656 (L)	0,999866
			Filtrada	4825	331,2	0,02004	16526,9	4270 (F)	0,992423
					9513792,0	189,80341	50124,5	4123 (L)	0,997469

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

A Tabela 5.11.4.2 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 11 a 13 e também para média dos perfis, na qual se utilizou como substrato o lixiviado com adição de etanol no início de cada batelada. A Tabela 5.11.4.3 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 14 a 17 e também para média dos perfis, na qual se utilizou como substrato o lixiviado com adição de ácidos voláteis no início de cada batelada.

Tabela 5.11.4.2: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 11 a 13 e da média dos perfis.

Perfil	T [°C]	C _X [mg.L ⁻¹]	C _S (DQO)	C _{S0} [mg.L ⁻¹]	K _S [mg.L ⁻¹]	r _{máx.} [g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹]	K _S /r _{máx.}	C _{SR} [mg.L ⁻¹]	r ²
11	25,7	15085	Total	11165	7609,4	0,71777	10601,4	4880 (F)	0,999802
					7419,1	0,70690	10495,3	4887 (L)	0,999803
			Filtrada	10220	9250934,4	616,95887	14994,4	4520 (F)	0,996308
					9598600,5	630,22003	15230,6	4484 (L)	0,996411
12	24,7	15211	Total	10640	7188,1	0,59922	11995,8	4750 (F)	0,997247
					5670,0	0,52136	10875,4	4807 (L)	0,997342
			Filtrada	10430	4632,2	0,49702	9319,9	4550 (F)	0,998499
					5347,5	0,53581	9980,2	4508 (L)	0,998569
13	23,7	15288	Total	10835	11248,4	0,94137	11949,0	4705 (F)	0,999333
					8861,4	0,80191	11050,4	4757 (L)	0,999420
			Filtrada	10660	9385448,7	685,0259	13700,9	4500 (F)	0,997959
					9475815,5	688,46475	13763,7	4489 (L)	0,997972
médio	24,7	15195	Total	10880	7467,1	0,68143	10958,0	4818 (F)	0,999804
					7618,7	0,68986	11043,8	4813 (L)	0,999806
			Filtrada	10437	27154,9	2,04725	13264,1	4523 (F)	0,997868
					65522,5	4,50553	14542,7	4459 (L)	0,998000

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

Tabela 5.11.4.3: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 14 a 17 e da média dos perfis.

Perfil	T [°C]	C _X [mg.L ⁻¹]	C _S (DQO)	C _{S0} [mg.L ⁻¹]	K _S [mg.L ⁻¹]	r _{máx.} [g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹]	K _S /r _{máx.}	C _{SR} [mg.L ⁻¹]	r ²
14	25,2	15572	Total	12495	16065,5	0,97955	16400,9	4865 (F)	0,998828
					19440,9	1,12543	17274,2	4815 (L)	0,998848
			Filtrada	11910	9848453,4	533,53922	18458,7	4610 (F)	0,999049
					9404432,2	525,37231	17900,5	4704 (L)	0,999020
15	24,8	15731	Total	12475	7296,8	0,56602	12891,4	4555 (F)	0,998585
					9039,0	0,63633	14204,9	4463 (L)	0,998661
			Filtrada	11975	6042,1	0,49122	12300,2	4380 (F)	0,999216
					7596,9	0,55267	13745,8	4281 (L)	0,999313
16	25,4	15876	Total	11745	7258,7	0,59239	12253,2	4690 (F)	0,997153
					6711,5	0,56763	11823,7	4718 (L)	0,997173
			Filtrada	11570	12677,5	0,88827	14272,1	4400 (F)	0,998105
					11430,8	0,82929	13783,8	4430 (L)	0,998123
17	25,0	15985	Total	11720	5102,7	0,45787	11144,4	4755 (F)	0,995454
					4615,7	0,43724	10556,4	4796 (L)	0,995497
			Filtrada	11580	8648,8	0,67761	12763,7	4530 (F)	0,994052
					7715,6	0,63459	12158,4	4571 (L)	0,994105
médio	25,1	15791	Total	12019	6904,6	0,54218	12734,9	4716 (F)	0,998487
					6646,9	0,53141	12508,0	4731 (L)	0,998492
			Filtrada	11759	14886,7	0,98573	15102,2	4488 (F)	0,999103
					16400,3	1,05615	15528,4	4462 (L)	0,999109

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

A Tabela 5.11.4.4 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 18 a 21 e também para média dos perfis, na qual se utilizou como substrato o lixiviado diluído a aproximadamente 55% da concentração inicial e com adição de ácidos voláteis no início de cada batelada, além da correção das concentrações de N-amoniaco e sódio.

Tabela 5.11.4.4: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 18 a 21 e da média dos perfis.

Perfil	T [°C]	C _x [mg.L ⁻¹]	C _s (DQO)	C _{s0} [mg.L ⁻¹]	K _s [mg.L ⁻¹]	r _{máx.} [gDQO.gSTV ⁻¹ .d ⁻¹]	K _s /r _{máx.}	C _{SR} [mg.L ⁻¹]	r ²
18	25,1	16133	Total	10085	4360,4	0,37169	11731,3	3185 (F)	0,998007
					6069,0	0,43606	13917,8	3061 (L)	0,998175
			Filtrada	9650	4938,9	0,39471	12512,7	2950 (F)	0,999230
					5444,2	0,41403	13149,3	2915 (L)	0,999247
19	25,0	16315	Total	9990	2485,3	0,25186	9867,8	3080 (F)	0,998722
					2755,2	0,26027	10585,9	3030 (L)	0,998743
			Filtrada	9270	2692,6	0,24696	10903,0	2840 (F)	0,999390
					3136,1	0,26091	12019,9	2776 (L)	0,999441
20	25,8	16520	Total	9690	4722,1	0,39942	11822,4	3030 (F)	0,999532
					5722,9	0,43893	13038,3	2959 (L)	0,999608
			Filtrada	9455	8597,4	0,58642	14660,8	2755 (F)	0,998866
					9384,4	0,61897	15161,3	2729 (L)	0,998876
21	25,1	16731	Total	10175	2177,2	0,24840	8764,9	3275 (F)	0,999316
					2072,1	0,24489	8461,3	3296 (L)	0,999325
			Filtrada	10180	7605,1	0,50124	15172,5	2845 (F)	0,998369
					12902,6	0,69292	18620,6	2660 (L)	0,998645
médio	25,3	16425	Total	9985	3220,0	0,30370	10602,6	3143 (F)	0,999481
					3620,4	0,31778	11392,8	3094 (L)	0,999513
			Filtrada	9639	5612,5	0,41014	13684,4	2848 (F)	0,999184
					7144,2	0,46607	15328,6	2761 (L)	0,999270

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

A Tabela 5.11.4.5 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 22 a 26 e também para média dos perfis 23, 25 e 26, na qual se utilizou como substrato o lixiviado sem diluição, com adição de ácidos voláteis no início de cada batelada e adição de N-amoniaco com o objetivo de se produzir uma sobrecarga de N-amônia livre para verificação de possíveis efeitos inibitórios.

Como verificado anteriormente, e também observado nas Tabelas 5.11.4.2 a 5.11.4.5, a relação $K_s/r_{máx.}$ apresentou variações relativamente muito menores que K_s e $r_{máx.}$ individualmente.

O que se pôde notar, após se observar todos os resultados obtidos ns ajustes, considerando cinética de Monod foi que, valores de K_s ou de $r_{máx.}$, isoladamente, não são capazes de dizerem muito à respeito das velocidades das reações de consumo de substrato. Ao que parece, para as faixas de concentração de substrato pesquisadas, é imprescindível que se utilize pares compatíveis de K_s e $r_{máx.}$, porque não só o valores absolutos desses dois parâmetros são importantes, mas também a relação entre eles podem determinar as velocidades das reações de consumo de substratos.

Uma hipótese muito provável, é que as faixas de concentração estudadas neste trabalho foram baixas e, portanto não produziram sensibilidade suficiente no modelo de Monod para um ajuste

confiável de seus parâmetros, o que resultou nas instabilidades verificadas. Uma forma de se verificar essa hipótese é através da análise das velocidades específicas de consumo de substrato (μ_s) em função das concentrações (C_s).

Tabela 5.11.4.5: Resultados dos ajustes do modelo de Monod dos perfis 22 a 26 e da média dos perfis 23, 25 e 26.

Perfil	T [°C]	C_x [mg.L ⁻¹]	C_s (DQO)	C_{s0} [mg.L ⁻¹]	K_s [mg.L ⁻¹]	$r_{m\acute{a}x.}$ [gDQO.gSTV ⁻¹ .d ⁻¹]	$K_s/r_{m\acute{a}x.}$	C_{SR} [mg.L ⁻¹]	r^2
22	25,7	16935	Total	11805	6062,2	0,37404	16207,4	4640 (F)	0,999592
					6474,5	0,38690	16734,3	4615 (L)	0,999599
			Filtrada	11780	21263,1	1,01723	20902,9	4425 (F)	0,998704
					74744,6	2,97480	25125,9	4244 (L)	0,999020
23	25,9	17089	Total	11875	2632,4	0,19966	13184,4	5170 (F)	0,999201
					2746,7	0,20248	13565,3	5151 (L)	0,999205
			Filtrada	11280	3821,9	0,23548	16230,3	4740 (F)	0,998885
					4951,5	0,26374	18774,2	4627 (L)	0,999006
24	24,6	17265	Total	12470	2015,3	0,14890	13534,6	5555 (F)	0,998603
					1992,4	0,14845	13421,4	5561 (L)	0,998603
			Filtrada	11945	2574,6	0,16476	15626,4	5405 (F)	0,998465
					1571,1	0,14316	10974,4	5615 (L)	0,998901
25	26,1	17422	Total	12530	4007,2	0,2331	17190,9	5440 (F)	0,998444
					4953,0	0,25514	19412,9	5340 (L)	0,998503
			Filtrada	12200	6374,5	0,3099	20569,5	5165 (F)	0,999071
					11324,2	0,43057	26300,5	4929 (L)	0,999369
26	26,0	17577	Total	12665	7945,6	0,39932	19897,8	5410 (F)	0,999291
					13165,5	0,54555	24132,5	5234 (L)	0,999516
			Filtrada	12170	4343,6	0,26288	16523,1	5165 (F)	0,999616
					3907,1	0,25138	15542,6	5208 (L)	0,999635
média 23, 25 e 26	26,0	17363	Total	12357	4424,0	0,26020	17002,3	5335 (F)	0,999436
					5417,8	0,28522	18995,2	5246 (L)	0,999500
			Filtrada	11883	4717,3	0,26651	17700,3	5030 (F)	0,999662
					5793,5	0,29370	19725,9	4943 (L)	0,999729

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

Analisando-se as velocidades específicas de consumo de substrato (μ_s) em função das concentrações de substrato (C_s), como DQO_{Total}, para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26), obtém-se os resultados apresentados na Tabela 5.11.4.6.

Observando-se a Figura 5.11.4.1, nota-se que em nenhum dos perfis analisados, foi possível se observar trechos horizontais bem definidos, que são característicos das curvas do modelo de Monod, quando se trabalha com concentrações elevadas. Na maioria das curvas, o que se observou, foi somente uma parte do trecho linear ascendente e do trecho curvo, que corresponde à transição do trecho linear ascendente com o trecho horizontal. Esse fato leva à conclusão de que, talvez o modelo de Primeira Ordem, seja mais adequado que o modelo de Monod, para as faixas de concentração de substratos estudadas nesta pesquisa.

Tabela 5.11.4.6: Análise das velocidades específicas de consumo de substrato (μ_s) em função das concentrações de substrato (C_s), como DQO_{Total}, para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).

Tempo [d]	P (3)		P (11, 12 e 13)		P (14, 15, 16 e 17)		P (18, 19, 20 e 21)		P (23, 25 e 26)	
	C_s [mg.L ⁻¹]	μ_s [d ⁻¹]	C_s [mg.L ⁻¹]	μ_s [d ⁻¹]	C_s [mg.L ⁻¹]	μ_s [d ⁻¹]	C_s [mg.L ⁻¹]	μ_s [d ⁻¹]	C_s [mg.L ⁻¹]	μ_s [d ⁻¹]
0	11080	0,491	10880	0,406	12019	0,342	9985	0,233	12357	0,198
0,25	-	-	-	-	11096	0,332	9259	0,228	11585	0,194
0,5	-	-	8768	0,369	10160	0,321	8289	0,221	11005	0,191
1	6985	0,353	7300	0,338	8150	0,293	6854	0,208	9942	0,185
1,5	-	-	6260	0,311	7033	0,273	5770	0,195	8712	0,176
2	4995	0,270	5575	0,292	6113	0,255	4701	0,180	7802	0,168
3	3970	0,223	4982	0,273	5336	0,237	3633	0,159	6598	0,157
4	3520	0,201	4863	0,269	4843	0,224	3211	0,149	5878	0,148
5	3340	0,192	4860	0,269	4716	0,221	3143	0,148	5505	0,144
6	3285	0,190	-	-	-	-	-	-	5342	0,142
7	3435	0,197	-	-	-	-	-	-	-	-
C_{SR}	[mg.L ⁻¹]	3291	4813	4731	3094	5246				
$r_{m\acute{a}x.}$	[gDQO-ESTV ⁻¹ .d ⁻¹]	1,48161	0,68986	0,53141	0,31778	0,28522				
K_S	[mg.L ⁻¹]	22372,2	7618,7	6646,9	3620,4	5417,8

Figura 5.11.4.1: Velocidades específicas de consumo de substrato (μ_s) em função das concentrações de substrato (C_s), como DQO_{Total} para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).

Ao se fazer uma busca em bases de dados para se comparar os resultados dos parâmetros obtidos pelos ajustes, considerando cinética de Monod, notou-se que praticamente não existem trabalhos recentes com a investigação dos valores desses parâmetros para tratamento anaeróbio de efluentes. Com relação ao tratamento anaeróbio de lixiviados de aterros sanitários, não se encontrou nenhum trabalho de ajustes de modelos considerando a cinética de Monod. Dessa forma, o pesquisador procurou consultar outras fontes, e como referência encontrou o trabalho de Henze & Harremões (1983)⁹ *apud* Chernicharo (1997) e van Haandel & Lettinga (1994). Os resultados de

⁹ Henze M. & Harremões P. (1983) **Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors: A literature review.** Water Science and Technology. 15, no. 8/9, pp.1-101.

Henze & Harremões (1983), com alguns parâmetros cinéticos representativos de culturas anaeróbias, determinados a 35 °C, foram reproduzidos na Tabela 5.11.4.6 para serem comparados com os resultados obtidos neste trabalho.

Observando-se os valores de parâmetros apresentados na Tabela 5.11.5.6 e comparando-se com os resultados apresentados nas tabelas anteriores, nota-se que as ordens de grandeza são bem diferentes para os parâmetros em geral, e o mesmo também vale para as relações entre os K_s e $r_{máx.}$.

Rittmann e McCarty (2001) também apresentam coeficientes cinéticos de Monod para culturas metanogênicas que utilizam acetato. Os coeficientes apresentados pelos autores foram $\mu_{máx.} = 0,3 \text{ d}^{-1}$; $r_{máx.} = 8,4 \text{ g}_{\text{DBO}} \cdot \text{g}_{\text{SSV}}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ e $Y_{X/S} = 0,035 \text{ g}_{\text{SSV}} \cdot \text{g}_{\text{DBO}}^{-1}$. Os valores destes coeficientes, mesmo com base em DBO, não diferem muito dos valores dos coeficientes apresentados por Henze & Harremões (1983), mas mesmo assim, ainda diferem em muito dos coeficientes encontrados neste trabalho.

Tabela 5.11.4.6: Valores das constantes cinéticas de Monod para culturas anaeróbias.

População Bacteriana	$\mu_{máx.}$ [d ⁻¹]	K_s [mg _{DQO} ·L ⁻¹]	$Y_{X/S}$ [g _{SSV} ·g _{DQO} ⁻¹]	$r_{máx.} = \mu_{máx.} / Y_{X/S}$ [g _{DQO} ·g _{SSV} ⁻¹ ·d ⁻¹]	$K_s/r_{máx.}$
Acidogênica	2,0	200	0,15	13	15,4
Metanogênica	0,4	50	0,03	13	3,8
Conbinada	0,4	-	0,18	2	-

Fonte: Henze & Harremões (1983).

Uma possível explicação para as grandes diferenças de valores de coeficientes encontrados neste trabalho e na literatura, certamente, se deve à diferença de escalas, dos tipos de culturas utilizadas e, principalmente de todas as outras substâncias existentes no lixiviado, que podem interferir na cinética de consumo de substrato. Mesmo quando se procurou obter referência para os parâmetros cinéticos de Monod, com relação ao tratamento anaeróbio de esgoto sanitário, as referências foram bastante escassas, pois como as concentrações de substratos são geralmente baixas em esgotos sanitários ($\text{DQO} < 500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) os pesquisadores preferem ajustar modelos de primeira ordem para velocidade de consumo de substrato, devido à sua maior simplicidade.

5.11.5 – Resultados Obtidos pelo Modelo Cinético de Primeira Ordem para Consumo de Substratos no Tratamento Anaeróbio de Lixiviados de Aterros Sanitários

Como os melhores resultados obtidos pelo ajuste do modelo de Monod foram para sua forma diferencial, programado em Visual Basic®, em “macros” do aplicativo MS-Excel®, e como para o modelo de Primeira Ordem, praticamente não existiram muitas diferenças entre os ajustes, os resultados apresentados a seguir serão também somente os resultados obtidos para o modelo de Primeira Ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic®, em “macros” do aplicativo MS-Excel®, para se estabelecer uma mesma base de comparação.

A Tabela 5.11.5.1 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 03 a 10, na qual se utilizou como substrato o lixiviado puro, ou seja, sem diluição e sem a adição de nenhum substrato adicional. Nota-se, por esta tabela, que ao contrário do que aconteceu com o modelo de Monod, as variações entre os parâmetros cinéticos de Primeira Ordem não foram grandes. Para consumo de substrato na forma de DQO_{Total} os valores de K_1 variaram entre $3,180 \times 10^{-5}$ e $5,821 \times 10^{-5}$ ($d.mg_{STV}.L^{-1})^{-1}$. Para consumo de substrato na forma de $DQO_{Filtr.}$ a faixa de variação dos valores de K_1 foi um pouco mais ampla ficando entre $1,992 \times 10^{-5}$ e $7,218 \times 10^{-5}$ ($d.mg_{STV}.L^{-1})^{-1}$.

Tabela 5.11.5.1: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 03 a 10.

Perfil	T [°C]	C_x [mg.L ⁻¹]	C_s (DQO)	C_{s0} [mg.L ⁻¹]	K_1 [(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹]	C_{SR} [mg.L ⁻¹]	r^2
03	25,8	13856	Total	11080	$5,561 \times 10^{-5}$	3285 (F)	0,998935
					$5,431 \times 10^{-5}$	3220 (L)	0,999007
			Filtrada	10405	$6,016 \times 10^{-5}$	2965 (F)	0,999906
					$5,982 \times 10^{-5}$	2951 (L)	0,999910
04	24,1	13937	Total	8535	$3,669 \times 10^{-5}$	3280 (F)	0,996884
					$3,180 \times 10^{-5}$	2969 (L)	0,999436
			Filtrada	7540	$3,914 \times 10^{-5}$	2943 (F)	0,997581
					$3,635 \times 10^{-5}$	2811 (L)	0,998178
05	27,0	13938	Total	4970	$5,479 \times 10^{-5}$	3130 (F)	0,994930
					$5,821 \times 10^{-5}$	3167 (L)	0,995549
			Filtrada	4890	$6,055 \times 10^{-5}$	3000 (F)	0,986771
					$7,218 \times 10^{-5}$	3093 (L)	0,990601
06	25,4	13982	Total	10485	$4,010 \times 10^{-5}$	3865 (F)	0,994609
					$3,580 \times 10^{-5}$	3517 (L)	0,996305
			Filtrada	10155	$4,166 \times 10^{-5}$	3675 (F)	0,996261
					$3,792 \times 10^{-5}$	3400 (L)	0,997476
07	25,1	14460	Total	11310	$4,998 \times 10^{-5}$	4770 (F)	0,998835
					$4,573 \times 10^{-5}$	4543 (L)	0,999810
			Filtrada	10780	$4,838 \times 10^{-5}$	4375 (F)	0,998559
					$4,411 \times 10^{-5}$	4141 (L)	0,999583
08	24,5	14639	Total	8765	$4,355 \times 10^{-5}$	4480 (F)	0,993441
					$3,460 \times 10^{-5}$	4032 (L)	0,998375
			Filtrada	8380	$4,724 \times 10^{-5}$	4070 (F)	0,997864
					$4,317 \times 10^{-5}$	3916 (L)	0,998771
09	24,3	14637	Total	6755	$4,853 \times 10^{-5}$	4845 (F)	0,994594
					$4,402 \times 10^{-5}$	4771 (L)	0,995637
			Filtrada	6390	$3,984 \times 10^{-5}$	4553 (F)	0,996327
					$3,358 \times 10^{-5}$	4412 (L)	0,999125
10	22,7	14947	Total	5310	$5,619 \times 10^{-5}$	4660 (F)	0,968705
					$5,011 \times 10^{-5}$	4630 (L)	0,969944
			Filtrada	4825	$3,116 \times 10^{-5}$	4270 (F)	0,985315
					$1,992 \times 10^{-5}$	4122 (L)	0,997474

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

A Tabela 5.11.5.2 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 11 a 13 e também para média dos perfis, na qual se utilizou como substrato o lixiviado com adição de etanol no início de cada batelada.

Tabela 5.11.5.2: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 11 a 13 e da média dos perfis.

Perfil	T [°C]	C _x [mg.L ⁻¹]	C _s (DQO)	C _{so} [mg.L ⁻¹]	K ₁ [(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹]	C _{SR} [mg.L ⁻¹]	r ²
11	25,7	15085	Total	11165	6,389x10 ⁻⁵	4880 (F)	0,997532
					6,042x10 ⁻⁵	4729 (L)	0,997779
			Filtrada	10220	6,667x10 ⁻⁵	4520 (F)	0,996309
					6,565x10 ⁻⁵	4485 (L)	0,996412
12	24,7	15211	Total	10640	5,639x10 ⁻⁵	4750 (F)	0,994714
					5,347x10 ⁻⁵	4612 (L)	0,994963
			Filtrada	10430	6,226x10 ⁻⁵	4550 (F)	0,994911
					5,711x10 ⁻⁵	4326 (L)	0,995815
13	23,7	15288	Total	10835	6,358x10 ⁻⁵	4705 (F)	0,997908
					6,174x10 ⁻⁵	4629 (L)	0,997917
			Filtrada	10660	7,296x10 ⁻⁵	4500 (F)	0,997960
					7,262x10 ⁻⁵	4489 (L)	0,997973
médio	24,7	15195	Total	10880	6,216x10 ⁻⁵	4818 (F)	0,997649
					5,854x10 ⁻⁵	4660 (L)	0,997993
			Filtrada	10437	6,706x10 ⁻⁵	4523 (F)	0,997703
					6,476x10 ⁻⁵	4438 (L)	0,997949

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

A Tabela 5.11.5.3 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 14 a 17 e também para média dos perfis, na qual se utilizou como substrato o lixiviado com adição de ácidos voláteis no início de cada batelada.

Tabela 5.11.5.3: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 14 a 17 e da média dos perfis.

Perfil	T [°C]	C _x [mg.L ⁻¹]	C _s (DQO)	C _{so} [mg.L ⁻¹]	K ₁ [(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹]	C _{SR} [mg.L ⁻¹]	r ²
14	25,2	15572	Total	12495	4,731x10 ⁻⁵	4865 (F)	0,998028
					4,394x10 ⁻⁵	4603 (L)	0,998408
			Filtrada	11910	5,415x10 ⁻⁵	4610 (F)	0,999051
					5,583x10 ⁻⁵	4704 (L)	0,999022
15	24,8	15731	Total	12475	4,688x10 ⁻⁵	4555 (F)	0,996509
					4,107x10 ⁻⁵	4047 (L)	0,997209
			Filtrada	11975	4,631x10 ⁻⁵	4380 (F)	0,996821
					4,002x10 ⁻⁵	3836 (L)	0,997648
16	25,4	15876	Total	11745	5,134x10 ⁻⁵	4690 (F)	0,995739
					4,702x10 ⁻⁵	4400 (L)	0,995321
			Filtrada	11570	5,214x10 ⁻⁵	4400 (F)	0,997577
					4,918x10 ⁻⁵	4210 (L)	0,997297
17	25,0	15985	Total	11720	4,909x10 ⁻⁵	4755 (F)	0,992766
					4,394x10 ⁻⁵	4386 (L)	0,992310
			Filtrada	11580	5,231x10 ⁻⁵	4530 (F)	0,993079
					4,854x10 ⁻⁵	4287 (L)	0,992461
médio	25,1	15791	Total	12019	4,782x10 ⁻⁵	4716 (F)	0,996602
					4,285x10 ⁻⁵	4333 (L)	0,996540
			Filtrada	11759	5,108x10 ⁻⁵	4488 (F)	0,998692
					4,790x10 ⁻⁵	4275 (L)	0,998635

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

A Tabela 5.11.5.4 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 18 a 21 e também para média dos perfis, na qual se utilizou como substrato o lixiviado diluído a aproximadamente 55% da concentração inicial e com adição de ácidos voláteis no início de cada batelada, além da correção das concentrações de N-amoniaco e sódio.

Tabela 5.11.5.4: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 18 a 21 e da média dos perfis.

Perfil	T [°C]	C _x [mg.L ⁻¹]	C _s (DQO)	C _{s0} [mg.L ⁻¹]	K ₁ [(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹]	C _{SR} [mg.L ⁻¹]	r ²
18	25,1	16133	Total	10085	4,394x10 ⁻⁵	3185 (F)	0,994168
					3,716x10 ⁻⁵	2608 (L)	0,996290
			Filtrada	9650	4,403x10 ⁻⁵	2950 (F)	0,996328
					3,811x10 ⁻⁵	2474 (L)	0,997242
19	25,0	16315	Total	9990	3,788x10 ⁻⁵	3080 (F)	0,992627
					2,905x10 ⁻⁵	2076 (L)	0,994789
			Filtrada	9270	3,766x10 ⁻⁵	2840 (F)	0,993776
					2,928x10 ⁻⁵	1963 (L)	0,996513
20	25,8	16520	Total	9690	4,593x10 ⁻⁵	3030 (F)	0,996527
					3,998x10 ⁻⁵	2581 (L)	0,997467
			Filtrada	9455	4,639x10 ⁻⁵	2755 (F)	0,997606
					4,228x10 ⁻⁵	2463 (L)	0,997863
21	25,1	16731	Total	10175	3,925x10 ⁻⁵	3275 (F)	0,992422
					3,129x10 ⁻⁵	2447 (L)	0,993803
			Filtrada	10180	4,177x10 ⁻⁵	2845 (F)	0,996695
					3,624x10 ⁻⁵	2335 (L)	0,998025
médio	25,3	16425	Total	9985	4,150x10 ⁻⁵	3143 (F)	0,994597
					3,416x10 ⁻⁵	2460 (L)	0,996235
			Filtrada	9639	4,231x10 ⁻⁵	2848 (F)	0,996790
					3,641x10 ⁻⁵	2344 (L)	0,997917

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

A Tabela 5.11.5.5 apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para os ajustes dos perfis 22 a 26 e também para média dos perfis 23,25 e 26, na qual se utilizou como substrato o lixiviado sem diluição, com adição de ácidos voláteis no início de cada batelada e adição de N-amoniaco com o objetivo de se produzir uma sobrecarga de N-amônia livre para verificação de possíveis efeitos inibitórios.

Ao se fazer uma busca em bases de dados para se comparar os resultados dos parâmetros obtidos pelos ajustes, considerando cinética de Primeira Ordem, notou-se que, a exemplo do que acontece com a cinética de Monod, existem muito poucos trabalhos recentes com a investigação dos valores desses parâmetros para tratamento anaeróbio de lixiviados de aterros sanitários.

Tabela 5.11.5.5: Resultados dos ajustes do modelo de Primeira Ordem dos perfis 22 a 26 e da média dos perfis 23, 25 e 26.

Perfil	T [°C]	C _x [mg.L ⁻¹]	C _s (DQO)	C _{so} [mg.L ⁻¹]	K ₁ [(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹]	C _{SR} [mg.L ⁻¹]	r ²
22	25,7	16935	Total	11805	3,598x10 ⁻⁵	4640 (F)	0,997105
					3,152x10 ⁻⁵	4183 (L)	0,997699
			Filtrada	11780	3,959x10 ⁻⁵	4425 (F)	0,998459
					3,688x10 ⁻⁵	4189 (L)	0,998980
23	25,9	17089	Total	11875	2,951x10 ⁻⁵	5170 (F)	0,992744
					2,294x10 ⁻⁵	4204 (L)	0,995198
			Filtrada	11280	3,035x10 ⁻⁵	4740 (F)	0,995633
					2,406x10 ⁻⁵	3941 (L)	0,997330
24	24,6	17265	Total	12470	2,411x10 ⁻⁵	5555 (F)	0,987511
					1,556x10 ⁻⁵	3640 (L)	0,995189
			Filtrada	11945	2,513x10 ⁻⁵	5405 (F)	0,990399
					1,827x10 ⁻⁵	4185 (L)	0,993752
25	26,1	17422	Total	12530	2,817x10 ⁻⁵	5440 (F)	0,992191
					2,191x10 ⁻⁵	4480 (L)	0,996355
			Filtrada	12200	2,918x10 ⁻⁵	5165 (F)	0,996459
					2,394x10 ⁻⁵	4448 (L)	0,998760
26	26,0	17577	Total	12665	3,242x10 ⁻⁵	5410 (F)	0,997299
					2,802x10 ⁻⁵	4894 (L)	0,998861
			Filtrada	12170	3,063x10 ⁻⁵	5165 (F)	0,995519
					2,551x10 ⁻⁵	4513 (L)	0,996748
média	26,0	17363	Total	12357	3,007x10 ⁻⁵	5335 (F)	0,994762
23, 25					2,429x10 ⁻⁵	4556 (L)	0,997509
e 26			Filtrada	11883	3,010x10 ⁻⁵	5030 (F)	0,996372
					2,453x10 ⁻⁵	4305 (L)	0,998155

OBS: (F) = Fixo no ajuste; (L) = Livre no ajuste.

5.12 – Inibição da Cinética de Consumo de Substrato Devido ao Aumento da Concentração de N-amônia livre.

Para se verificar a inibição do consumo de substrato devido ao aumento da concentração de N-amoniacoal foi considerada uma situação hipotética, onde foram comparadas as curvas de variação da velocidade de consumo de substrato, tanto em função do tempo, quanto em função das concentrações de substratos, obtidas com os resultados dos parâmetros cinéticos obtidos para o perfil 3 e para a média dos perfis (14, 15, 16 e 17); (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26). A Tabela 5.12.1 apresenta os parâmetros cinéticos de Primeira Ordem utilizados para os cálculos comparativos, bem como as temperaturas e as concentrações de N-amoniacoal e N-amônia livre.

Para se trabalhar com uma mesma base de comparação adotou-se uma situação hipotética, em que foram consideradas concentrações iniciais e residuais de substrato, iguais à média dos perfis analisados.

Considerando-se que as diferenças de temperaturas dos perfis em questão foram pequenas, e que os perfis apresentaram temperaturas na faixa de 25 ± 1 °C, não foram feitas correções nos parâmetros cinéticos utilizados, devido às diferenças de temperaturas.

As Tabelas 5.12.2 e 5.12.3 apresentam, respectivamente, os resultados do modelo calculados para DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$ para o perfil 3 e para a média dos perfis (14, 15, 16 e 17); (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).

Tabela 5.12.1: Parâmetros utilizados para elaboração das curvas comparativas para verificação da influência da concentração de N-amoniaco na cinética de consumo dos substratos.

Perfis	Parâmetro	Unidade	Curva DQO_{Total} Média	Curva $DQO_{Filtr.}$ Média
Todos	C_{S0}	mg.L ⁻¹	11360	10922
	C_{SR}	mg.L ⁻¹	3642	3469
	C_X	mg.L ⁻¹	15859	15859
3	Temperatura	°C	25,8	25,8
	N-NH ₃	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1866	1866
	N-NH ₃ Livre Méd.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	120	120
	K_1	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	$5,431 \times 10^{-5}$	$5,982 \times 10^{-5}$
14, 15, 16 e 17	Temperatura	°C	25,1	25,1
	N-NH ₃	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2666	2666
	N-NH ₃ Livre Méd.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	143	143
	K_1	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	$4,285 \times 10^{-5}$	$4,790 \times 10^{-5}$
18, 19, 20 e 21	Temperatura	°C	25,3	25,3
	N-NH ₃	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2956	2956
	N-NH ₃ Livre Méd.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	268	268
	K_1	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	$3,416 \times 10^{-5}$	$3,641 \times 10^{-5}$
23, 25 e 26	Temperatura	°C	26,0	26,0
	N-NH ₃	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	4521	4521
	N-NH ₃ Livre Méd.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	788	788
	K_1	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	$2,429 \times 10^{-5}$	$2,453 \times 10^{-5}$

Tabela 5.12.2: Influência da concentração de N-amoniaco nas velocidades de consumo de substrato (dC_S/dt) em função do tempo (t) e das concentrações de substrato (C_S), como DQO_{Total} para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).

Tempo [d]	P (3)		P (14, 15, 16 e 17)		P (18, 19, 20 e 21)		P (23, 25 e 26)	
	C_S [mg.L ⁻¹]	dC_S/dt [mg.L ⁻¹ .d ⁻¹]	C_S [mg.L ⁻¹]	dC_S/dt [mg.L ⁻¹ .d ⁻¹]	C_S [mg.L ⁻¹]	dC_S/dt [mg.L ⁻¹ .d ⁻¹]	C_S [mg.L ⁻¹]	dC_S/dt [mg.L ⁻¹ .d ⁻¹]
0	11360	6648	11360	5245	11360	4181	11360	2973
0,25	9865	5360	10154	4425	10382	3652	10651	2700
0,5	8659	4321	9137	3734	9529	3189	10008	2452
1	6904	2809	7554	2658	8132	2432	8893	2023
1,5	5762	1826	6427	1893	7066	1855	7973	1668
2	5020	1187	5625	1347	6254	1415	7214	1376
3	4225	502	4647	683	5161	823	6072	936
4	3888	212	4151	346	4526	479	5295	637
5	3746	90	3900	175	4156	279	4767	433
6	3686	38	3773	89	3941	162	4407	295
7	3661	16	3708	45	3816	94	4163	201

Tabela 5.12.3: Influência da concentração de N-amoniacoal nas velocidades de consumo de substrato (dC_s/dt) em função do tempo (t) e das concentrações de substrato (C_s), como $DQO_{Filtr.}$ para o perfil 3 e para as médias dos perfis (11, 12 e 13), (14, 15, 16 e 17), (18, 19, 20 e 21) e (23, 25 e 26).

Tempo [d]	P (3)		P (14, 15, 16 e 17)		P (18, 19, 20 e 21)		P (23, 25 e 26)	
	C_s [mg.L ⁻¹]	dC_s/dt [mg.L ⁻¹ .d ⁻¹]	C_s [mg.L ⁻¹]	dC_s/dt [mg.L ⁻¹ .d ⁻¹]	C_s [mg.L ⁻¹]	dC_s/dt [mg.L ⁻¹ .d ⁻¹]	C_s [mg.L ⁻¹]	dC_s/dt [mg.L ⁻¹ .d ⁻¹]
0	10922	7071	10922	5662	10922	4304	10922	2899
0,25	9865	6068	10154	5078	10382	3992	10651	2794
0,5	8659	4924	9137	4305	9529	3499	10008	2544
1	6904	3258	7554	3103	8132	2692	8893	2110
1,5	5762	2176	6427	2247	7066	2077	7973	1752
2	5020	1472	5625	1638	6254	1608	7214	1457
3	4225	717	4647	895	5161	977	6072	1013
4	3888	398	4151	518	4526	610	5295	710
5	3746	263	3900	328	4156	397	4767	505
6	3686	206	3773	231	3941	273	4407	365
7	3661	182	3708	182	3816	200	4163	270

A Figura 5.12.1 (a) apresenta a variação da velocidade de consumo de substrato em função do tempo para os perfis de DQO_{Total} e a Figura 5.12.1 (b) apresenta a mesma velocidade de consumo de substrato, em função da concentração de substrato. As Figuras 5.12.2 (a) e (b) são análogas às anteriores, porém para os perfis de $DQO_{Filtr.}$. Em ambos os casos é possível notar que houve uma redução considerável das velocidades de consumo de substrato (dC_s/dt) conforme se elevou as concentrações de N-amoniacoal e N-amônia livre, o que caracteriza que realmente ocorreu inibição, quando se aumentou a concentração de N-amônia livre da ordem de 143 mg.L⁻¹ para cerca de 788 mg.L⁻¹. Entretanto, pode-se notar também que a inibição verificada, não foi capaz de inviabilizar o tratamento anaeróbio de lixiviados de aterros sanitários apesar das reduções de velocidade.

Figura 5.12.1: Variação da velocidade de consumo de substrato (dC_s/dt) para DQO_{Total} , (a) Em função do tempo e (b) Em função das concentrações de substrato.

Figura 5.12.2: Variação da velocidade de consumo de substrato (DC_s/dt) para $DQO_{Filtr.}$, (a) Em função do tempo e (b) Em função das concentrações de substrato.

Segundo Calli *et al.* (2005) ao operarem cinco reatores UASB com diferentes inóculos e variando as concentrações de N-amoniaco, gradualmente de 1.000 a 6.000 mg.L $^{-1}$, verificou que para maioria dos reatores ocorreram inibições significantes para concentrações de N-amônia livre superiores a 200 mg.L $^{-1}$, porém verificou também que um dos reatores, com inóculo previamente adaptado a lixiviados de um aterro sanitário jovem apresentou os menores efeitos inibitórios obtendo-se eficiência de tratamento na faixa de 78 a 96% mesmo com concentrações de N-amônia livre da ordem de 800 mg.L $^{-1}$, como foi o caso dos resultados apresentados neste trabalho.

Calli *et al.* (2005) também verificaram que o efeito tóxico da amônia era maior em lodos granulares, que também foi verificado para o ASBR (R1) neste trabalho, tanto no início da primeira, como na segunda etapa de operação.

Com os resultados apresentados na Tabela 5.12.1 é possível também se obter correlações entre as concentrações de N-amoniaco ou N-amônia livre e os parâmetros cinéticos de Primeira Ordem. As Figuras 5.12.3 (a) e (b) apresentam as correlações obtidas entre as concentrações de N-amoniaco e os parâmetros de primeira ordem, obtidos através dos perfis de DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$, respectivamente, considerando-se que as temperaturas não variaram muito nem entre os perfis e nem ao longo deles.

Dessa forma, as expressões que relacionam as concentrações de N-amoniaco e os parâmetros cinéticos de primeira ordem para DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$ assumem, respectivamente, as seguintes formas:

$$K_1 = 7,190 \cdot 10^{-5} - 1,099 \cdot 10^{-8} \cdot NAT \quad (5.12.1)$$

$$K_1 = 8,139 \cdot 10^{-5} - 1,306 \cdot 10^{-8} \cdot NAT \quad (5.12.2)$$

Em que:

K_1 = parâmetro cinético de Primeira Ordem [(d.mg $_{STV}$.L $^{-1}$) $^{-1}$] e

NAT = N-amoniaco total [mg NH $_3$ -N.L $^{-1}$].

Figura 5.12.3: Correlações obtidas entre as concentrações de N-amoniaco e os parâmetros cinéticos de primeira ordem, obtidos através dos perfis de (a) DQO_{Total} e (b) $DQO_{Filtr.}$

As Figuras 5.12.4 (a) e (b) apresentam as relações entre as concentrações de N-amônia livre e os parâmetros cinéticos de Primeira Ordem, obtidos através dos perfis de DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$, respectivamente. Observando-se a forma das curvas, nota-se que elas se assemelham ligeiramente com hipérboles distorcidas. Uma forma encontrada de se linearizar a relação foi através da construção gráfica dos inversos dos parâmetros cinéticos, contra os logaritmos naturais das concentrações de N-amônia livre. Essas relações linearizadas são apresentadas, respectivamente, nas Figuras 5.12.5 (a) e (b) para DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$

Figura 5.12.4: Relação entre as concentrações de N-amônia livre e os parâmetros cinéticos de primeira ordem, obtidos através dos perfis de (a) DQO_{Total} e (b) $DQO_{Filtr.}$

Figura 5.12.5: Correlações obtidas entre as concentrações de N-amônia livre e os parâmetros cinéticos de primeira ordem, obtidos através dos perfis de (a) DQO_{Total} e (b) $DQO_{Filtr.}$, depois de linearizados.

Dessa forma, as expressões linearizadas que relacionam as concentrações de N-amônia livre e os parâmetros cinéticos de primeira ordem para DQO_{Total} e $DQO_{Filtr.}$ assumem, respectivamente, as seguintes formas:

$$K_1 = \frac{1}{11441 \cdot Ln(NAL) - 34909} \quad (5.12.3)$$

$$K_1 = \frac{1}{12321 \cdot Ln(NAL) - 41344} \quad (5.12.4)$$

Em que:

NAL = N-amônia livre $[mg NH_3-N.L^{-1}]$.

5.13 – Relação Entre Alcalinidade Total e Nitrogênio Amoniacal em Lixiviados de Aterros Sanitários

A concentração de N-amoniacal, ou mais precisamente, de N-amônia livre, em lixiviados é uma possível causa da inibição dos processos biológicos no tratamento de efluentes, reduzindo-se assim as velocidades das reações de decomposição da matéria orgânica.

A concentração de N-amônia livre pode ser facilmente determinada a partir da concentração de N-amônia total, da temperatura e do pH do lixiviado, como apresentado no item 3.3.8. Porém, para determinação da concentração de N-amoniacal são necessários equipamentos, que não são usualmente

empregados em estações de tratamento de efluentes, ao contrário do pH e da temperatura, que podem ser facilmente medidos através de equipamentos simples, tais como um pH-metro e um termômetro.

Observando-se os resultados das concentrações de N-amoniacal e de alcalinidade total no afluente do ASBBR durante a sua operação, observou-se que esses dois parâmetros se correlacionam muito bem, o que se justifica pelo fato de que, o N-amoniacal é o maior contribuinte para geração de alcalinidade nos lixiviados, uma vez que, quando a amônia é formada através dos processos de digestão da matéria orgânica, ela se combina com o ácido carbônico formando bicarbonato de amônio.

A Figura 5.13.1 (a) apresenta os resultados desses dois parâmetros no afluente do ASBBR durante as bateladas 14 e 68, onde se utilizou o lixiviado sem diluição. A Figura 5.13.1 (b) apresenta uma relação linear obtida através da correlação entre a alcalinidade total e as concentrações de N-amoniacal. A equação 5.13.1 apresenta a relação entre esses dois parâmetros, com $r^2 = 0,952$, para o lixiviado de São Carlos, referente ao período situado entre as bateladas 14 e 68 da operação do ASBBR (R3).

Na Figura 5.13.2 (a) e (b) são apresentadas, respectivamente, as distribuições de frequência da alcalinidade total e das concentrações de N-amoniacal dos afluentes do ASBBR (R3) entre as bateladas 14 e 68. Nota-se, por essas figuras, uma semelhança nas distribuições de frequência o que também pode confirmar a relação existente entre esses dois parâmetros.

Figura 5.13.1: (a) Alcalinidade total e N-amoniacal afluentes no ASBBR, entre as bateladas 14 e 68, e (b) Relação linear existente entre Alcalinidade total e N-amoniacal.

$$NAT = 0,2456 \cdot AT - 404,6 \quad (5.13.1)$$

Em que:

NAT = Concentração de N-amoniacal total [$\text{mg NH}_3\text{-N.L}^{-1}$];

AT = Alcalinidade total [$\text{mg CaCO}_3\text{.L}^{-1}$].

Figura 5.13.2: (a) Distribuição de frequência da alcalinidade total entre as bateladas 14 e 68, e (b) Distribuição de frequência das concentrações de N-amoniaca.

Como existe uma relação entre alcalinidade total e N-amoniaca para o lixiviado de São Carlos-SP, provavelmente deve existir uma relação para os lixiviados em geral. Assim decidiu-se por ampliar a pesquisa dessa relação para os lixiviados de outras cidades, para se observar se a mesma se repetia. Para isso, foram observados os resultados de Contrera (2003), que utilizou lixiviados de Bauru-SP e Rio Claro-SP e foram também realizadas uma coleta em Araraquara-SP e uma outra mais recente em Bauru-SP, uma em São José do Rio Preto-SP e uma em Porto Alegre-RS, além dos resultados máximo, mínimo da Lagoa 4 de lixiviados de São Carlos-SP. A caracterização completa desses lixiviados encontra-se no **APÊNDICE AB**. A Tabela 5.13.1 apresenta somente os resultados de pH, alcalinidade total e N-amoniaca.

Tabela 5.13.1: Resultados de pH, alcalinidade total e N-amoniaca de lixiviados coletados em algumas cidades do interior do Estado de São Paulo.

Local da Coleta	Data	Alc. Total [mg CaCO ₃ .L ⁻¹]	N-amoniaca [mg NH ₃ .L ⁻¹]	pH
Bauru-SP*	Abril/2002	7640	1630	8,10
Bauru-SP	Junho/2007	15590	3524	7,94
Rio Claro-SP*	Junho/2002	3130	311	8,20
Rio Claro-SP*	Novembro/2002	2780	331	7,65
São Carlos-SP	Maio/2006	11010	2226	8,23
São Carlos-SP	Janeiro/2007	6090	1264	7,81
São Carlos-SP	Setembro/2007	13310	2998	8,19
São Carlos-SP, Lagoa 4	Fevereiro/2007	2450	233	8,32
Araraquara-SP	Maio/2007	6340	1181	8,31
São José do Rio Preto-SP	Junho/2007	18360	2495	6,76
Porto Alegre-RS	Julho/2007	12700	2525	8,10

*Fonte: Contrera (2003).

A Figura 5.13.3 apresenta a visualização dos resultados apresentados na Tabela 5.13.1 e pode-se notar uma clara tendência dos pontos em se distribuírem ao longo de uma reta, com exceção de um

único ponto, o ponto referente ao lixiviado coletado em São José do Rio Preto em junho de 2007. Observando-se novamente a Tabela 5.13.1 nota-se, porém, que esse lixiviado possui uma particularidade que o difere em relação aos demais, que é o pH inferior a 7,0. Dessa forma, esse lixiviado é o único da relação, que possui pH ácido e essa acidez, provocada pela elevada concentração de AVT, certamente interferiu na relação entre alcalinidade total e N-amoniaco.

Figura 5.13.3: Relação entre alcalinidade total e N-amoniaco para os lixiviados apresentados na Tabela 5.13.1.

A Figura 5.13.4 apresenta a relação linear existente entre alcalinidade total e N-amoniaco para os lixiviados da Tabela 5.13.1, excluindo-se o lixiviado coletado em São José do Rio Preto-SP em junho de 2007. Essa relação também é apresentada através da equação 5.13.2.

Figura 5.13.4: Relação linear entre alcalinidade total e N-amoniaco para os lixiviados apresentados na Tabela 5.13.1 excluindo-se o ponto de São José do Rio Preto.

$$NAT = 0,2440 \cdot AT - 354,8 \quad (5.13.2)$$

Assim, como foi verificada a existência de uma relação entre a concentração de N-amoniacal e a alcalinidade total, por meio da equação 5.13.2, com $r^2 = 0,9904$, é totalmente possível o acompanhamento e a estimativa das concentrações de N-amônia livre em sistemas tratando lixiviados de aterros sanitários, pois a alcalinidade total é facilmente obtida com a titulação do lixiviado com um ácido forte (sulfúrico ou clorídrico) até pH igual a 4,3 e para isso é necessário somente um pH-metro, uma bureta de vidro e solução padronizada de um ácido forte. Com o valor da alcalinidade total estima-se a concentração de N-amoniacal através da equação 5.13.2 e com esta estimativa, conhecendo-se também o pH e a temperatura do lixiviado, pode-se estimar também a concentração de N-amônia livre.

Procurando-se por trabalhos que também apresentassem caracterizações de lixiviados, foi possível se construir a Tabela 5.13.2, que apresenta algumas das poucas referências dos últimos dez anos que apresentam caracterizações de lixiviados com pelo menos as concentrações de N-amoniacal e alcalinidade total.

Tabela 5.13.2: Referências dos últimos dez anos que apresentam caracterizações de lixiviados com pelo menos as concentrações de N-amoniacal e alcalinidade total.

Referência	DQO* [mg.L ⁻¹]	AVT [mg Ac. Acét.L ⁻¹]	Alc. Total [mg CaCO ₃ .L ⁻¹]	N-amoniacal [mg NH ₃ -N.L ⁻¹]	pH
A1 - Lin et al. (1999)	9583	1715	1933	212	7,0
A2 - Lin et al. (1999)	11556	1208	2980	442	7,5
A3 - Lin et al. (1999)	10500	1252	2655	346	7,3
A4 - Lin et al. (1999)	9974	1470	2226	306	7,2
B1 - Timur e Öztürk (1999)	16200-20000	7700-9500	7050-12100	1120-2500	7,3-7,8
C1 - Lin et al. (2000)	12050 ± 2044	665 ± 262	1616 ± 190	424 ± 52	-
C2 - Lin et al. (2000)	11218 ± 2113	961 ± 143	1348 ± 236	354 ± 27	-
C3 - Lin et al. (2000)	9264 ± 1544	849 ± 97	1693 ± 191	326 ± 79	-
C4 - Lin et al. (2000)	10195 ± 870	907 ± 77	1849 ± 180	401 ± 54	-
C5 - Lin et al. (2000)	10099 ± 1633	909 ± 85	1838 ± 231	316 ± 43	-
D1 - Zouboulis et al. (2001)	15000	-	8550	1800	7,5
E1 - Kang et al. (2002)	41507	13232	9130	1896	6,6
E2 - Kang et al. (2002)	5348	1224	7928	1826	7,9
E3 - Kang et al. (2002)	1367	ND	2784	892	8,2
F1 - Ushikoshi et al. (2002)	8-97	-	30-101	1-34	7,1-10,5
G1 - Çeçen et al. (2003)	18420	-	10700	1946	7,70
H1 - Tatsi et al. (2003)	5350	-	4950	940	7,9
H2 - Tatsi et al. (2003)	70900	-	12880	3100	6,2
I1 - Lopez et al. (2004)	10540	-	21470	5210	8,2
J1 - Rodríguez et al (2004)	1765	151	8270	1521	7,60
J2 - Rodríguez et al (2004)	716	65	5410	1131	7,58
J3 - Rodríguez et al (2004)	5108	912	9340	1876	8,00
J4 - Rodríguez et al (2004)	3782	456	9420	1904	8,43
J5 - Rodríguez et al (2004)	2560	290	7900	1904	8,26
K1 - Laitinen et al. (2006)	2200 ± 230	-	3440 ± 130	210 ± 90	7,2 ± 0,2
L1 - Kurniawan et al. (2006)	8000	-	12986	2620	8,01
L2 - Kurniawan et al. (2006)	7622	-	11668	2390	7,81
M1 - Iaconi et al (2006)	24400	-	12000	3190	8,4
N1 - Chan et al. (2007)	8000	-	12986	2620	8,01
O1 - Deng (2007)	1100-1300	-	3050	300	8,18
P1 - Liang e Liu (2007)	1703 ± 394	-	11898 ± 2639	1972 ± 408	8,5 ± 0,3
Q1 - Bohdziewicz (2008-a)	2800-5000	-	4600-7900	750-840	8,0-8,9
R1 - Bohdziewicz (2008-b)	3500-4200	500-900	4900-5200	890-994	8,2-8,4
S1 - İlhan (2008)	12860	-	8700	2240	8,2

* DQO_{Total}; ND = Não detectado

A Figura 5.13.5 apresenta a relação linear existente também entre as alcalinidades totais e as concentrações de N-amoniacoal para os lixiviados das referências citadas na Tabela 5.13.2. A relação encontrada é apresentada através da equação 5.13.3, com $r^2 = 0,9368$.

$$NAT = 0,2285 \cdot AT - 174,6 \quad (5.13.3)$$

Nota-se, portanto, que a relação linear entre a alcalinidade total e a concentração de N-amoniacoal, quase que em geral é válida para lixiviados de aterros sanitários e é fruto, principalmente, do N-amoniacoal estar, em sua maior parte, na forma de bicarbonato de amônio (NH_4HCO_3).

Figura 5.13.5: Relação linear entre alcalinidade total e N-amoniacoal para os lixiviados das referências apresentadas na Tabela 5.13.2.

6 - CONCLUSÕES

6.1 – Conclusão dos Testes de Biodegradabilidade Anaeróbia em Escala Reduzida

De forma geral, os testes de biodegradabilidade anaeróbia realizados em escala reduzida indicaram que:

- A realização de testes iniciais em escala reduzida, mesmo que simples, como apresentados nesse trabalho, podem economizar tempo de pesquisa, além de evitar surpresas e enganos.
- A adição de fósforo como nutriente não favoreceu e nem melhorou a adaptação da biomassa ao lixiviado neste experimento;
- A diluição do lixiviado favoreceu a adaptação inicial da biomassa, mas não melhorou a sua biodegradabilidade;
- É possível a adaptação de um inóculo a um lixiviado, mesmo sem diluição, desde que exista substrato disponível, que seja de fácil assimilação biológica;
- A adição de etanol é essencial para adaptação da biomassa ao lixiviado quando ele for extremamente recalcitrante;
- Caso o lixiviado possua concentrações elevadas de AVT, pode não ser necessário a adição de etanol para adaptação da biomassa;
- É possível a adaptação de biomassa a lixiviados de aterros sanitários com concentrações de N-amoniaco da ordem de 2.500 mg.L^{-1} ou mais;

- Não é necessário a realização do *stripping* da amônia para adaptação da biomassa a lixiviados, mesmo em concentrações elevadas;

- Lodos provenientes de lagoas de acúmulo de lixiviados de aterros sanitários podem ser inóculos melhores que os provenientes de outros tipos de tratamento biológico; e

- A utilização de espuma de poliuretano, como meio suporte, pode ser uma boa alternativa para fixação de biomassa não granular, como a do lodo coletado no fundo da lagoa de lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP.

6.2 – Conclusão sobre a Operação do ASBR (R1)

- A operação do ASBR (R1) apresentou-se problemática, tanto na primeira, quanto na segunda etapa deste trabalho, devido a problemas de montagem, operacionais e principalmente de desagregação da biomassa (lodo granular proveniente de UASB). Na primeira etapa pensou-se que a desagregação havia ocorrido devido à elevada frequência de agitação utilizada (120 rpm), mas mesmo com agitação muito inferior (30 rpm), na segunda etapa, a desagregação voltou a ocorrer, então, concluiu-se que o efeito da desagregação ocorreu devido às mudanças de ambiente enfrentadas pelo inóculo, bem como da mudança de seu estado de repouso, em que se encontrava no reator UASB de origem, para uma condição dinâmica no ASBR.

- Portanto, com este tipo de inóculo, este sistema não pareceu ser adequado para tratamento de lixiviados de aterros sanitários, apresentando-se totalmente durante a sua operação.

6.3 – Conclusão sobre a Operação do ASBBR (R3)

- Na primeira etapa deste trabalho o ASBBR (R3) não apresentou resultados satisfatórios, certamente por três motivos, sendo eles, o tipo de inóculo utilizado, a frequência de agitação utilizada (120 rpm) e as características recalcitrantes do lixiviado de São Carlos-SP;

- Na segunda etapa deste trabalho, com a utilização de um novo inóculo, proveniente do fundo de uma das lagoas de lixiviados, juntamente com uma nova estratégia de partida, adotando-se diluição inicial do lixiviado, bem como da adição de etanol como substrato complementar, fizeram com que o sistema se adaptasse ao lixiviado e partisse, tratando lixiviado puro, sem diluição, haja visto que, para isso, também ocorreram mudanças nas características dos lixiviados, tornando-os menos recalcitrantes por algum tempo no aterro sanitário de São Carlos-SP, o que viabilizou o seu tratamento;

- Tratando-se lixiviados puros, ou seja, sem diluição e sem adição de substratos ou nutrientes, conseguiu-se eficiências da ordem de até 70 % em termos de remoção de DQO, como DQO afluente da ordem de 11.000 mg.L⁻¹ e relação AVT/DQO aproximadamente igual a 0,6;

- Com os resultados da operação do ASBBR e dos perfis de concentração obtidos, foi possível a obtenção de uma correlação linear entre a concentração de AVT e a DQO para se estimar a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado, ou seja, a eficiência máxima esperada para um sistema de tratamento anaeróbio, ao tratar o lixiviado;

- Com as mudanças nas características dos lixiviados do aterro sanitário de São Carlos, tornando-os recalcitrantes novamente, foi necessário novamente, a adição de um substrato complementar ao lixiviado, para manutenção da atividade da biomassa e para realização dos testes finais de avaliação da cinética de consumo de substratos;

- Através de perfis temporais de concentração, realizados no ASBBR, foi possível concluir que, a diluição da matéria orgânica do lixiviado recalcitrante não alterou a cinética de consumo de substratos, e que a cinética de consumo de substratos foi afetada por altas concentrações de N-amoniacal aplicadas (ordem de 4.500 mg NH₃-N.L⁻¹). Porém mesmo nestas circunstâncias, o sistema não se intoxicou e manteve-se eficiente;

6.4 – Conclusão sobre a Operação do Sistema de Lodos Ativados (R4)

- O sistema de lodos ativados operado em bateladas sequenciais teve sua operação prejudicada pelos problemas que ocorreram na linha de energia e que acabaram por queimar por duas vezes o motor do compressor, que fornecia ar para os difusores;

- Com base nos poucos resultados obtidos, foi possível concluir que, para lixiviados com características muito recalcitrantes, esse tipo de sistema pode não ser viável, pois neste trabalho, mesmo com aeração em excesso, as máximas eficiências obtidas pelo sistema foram da ordem de 30%, em termos de remoção de DQO, com DQO afluente da ordem de 5.000 mg.L⁻¹.

6.5 – Conclusão sobre a Operação do Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente (R5)

- O filtro anaeróbio de fluxo ascendente e alimentação contínua mostrou-se como uma alternativa de baixo custo e baixa mecanização para remoção de cargas orgânicas elevadas em lixiviados de aterros sanitários. Neste trabalho, o filtro biológico utilizado obteve eficiências superiores a 70% em termos de remoção de DQO, ao tratar uma mistura de lixiviado e etanol

acidificado, com DQO da ordem de 25.000 mg.L^{-1} e com tempo de detenção hidráulica da ordem de dois dias.

6.6 – Conclusão Sobre a Tratabilidade Anaeróbia de Lixiviados de Aterros Sanitários

- A tratabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários depende basicamente das concentrações de **ácidos voláteis totais** encontradas. Neste trabalho é proposto o uso da relação AVT/DQO ao invés da relação DBO/DQO como indicador da biodegradabilidade anaeróbia para os lixiviados de aterros sanitários, uma vez que o parâmetro DBO por si só já é obtido através de um teste **aeróbio**, o que não seria coerente no caso da avaliação da biodegradabilidade **anaeróbia** do lixiviado;

- De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, para avaliação da biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados de São Carlos, conclui-se que, para valores das relações $\text{AVT/DQO}_{\text{Total}}$ inferiores a 0,25 os lixiviados possuem baixa biodegradabilidade anaeróbia. Para valores das relações $\text{AVT/DQO}_{\text{Total}}$ entre 0,25 e 0,40 os lixiviados possuem média biodegradabilidade e elevada biodegradabilidade para valores das relações $\text{AVT/DQO}_{\text{Total}}$ acima de 0,40. Lembrando-se que, para as determinações dos AVT neste trabalho, corrigiu-se os valores encontrados pelo método de DiLallo Modificado, utilizando-se a expressão obtida por correlações no item 5.10.

6.7 – Conclusão sobre a Obtenção de Parâmetros Cinéticos para o Tratamento Anaeróbio de Lixiviados de Aterros Sanitários

6.7.1 – Conclusão sobre a Aplicação do Modelo Cinético de Monod

- O modelo cinético de Monod se ajustou muito bem aos resultados experimentais tendo sido validade através da aplicação dos testes estatísticos “F” e de “*randomicidade*”;

- Apesar dos bons ajustes do modelo cinético de Monod, as ordens de grandezas dos parâmetros obtidos foram muito discrepantes entre si e em relação aos poucos valores encontrados na literatura, além do fato de que esse modelo aparentou possuir soluções múltiplas, ou seja, soluções quase que equivalentes em termos de ajustes, porém com ordens de grandeza dos valores dos parâmetros totalmente discrepantes, entre uma solução e outra solução válida encontrada. A única relação que pareceu se manter constante em meio a tantas discrepâncias foi a razão entre K_S e $r_{\text{máx}}$. A justificativa para este fato, pode ser a utilização de concentrações consideradas ainda baixas nos perfis de concentrações obtidos, e que devido a essas baixas concentrações os resultados não deram sensibilidade ao modelo, para que o ajuste fosse consistente.

- Quanto aos softwares utilizados e às formas do modelo empregadas, os melhores resultados foram obtidos com a aplicação do modelo na forma diferencial utilizando-se o algoritmo de “Runge-Kutta” de quarta ordem para sua solução, com programação em “macro” do Visual Basic® do MS-Excel®, com uma rotina de ajuste não derivativa, desenvolvida pelo próprio pesquisador.

6.7.2 – Conclusão sobre a Aplicação do Modelo Cinético de Primeira Ordem

- O modelo cinético de Primeira Ordem apresentou-se também bastante adequado para na modelagem do consumo de substrato no tratamento de lixiviados de aterros sanitários, porém não apresentou resultados tão bons quanto ao modelo de Monod, para os testes “F” e de “randomicidade”.

- Nos ajustes do modelo de Primeira Ordem, para consumo de substrato na forma de DQO_{Total} , os valores de K_1 variaram entre $3,18 \times 10^{-5}$ e $5,82 \times 10^{-5} \text{ (d.mg}_{STV} \cdot L^{-1})^{-1}$, para o tratamento de lixiviados puros, provenientes diretamente do aterro sanitário de São Carlos-SP, com temperaturas ambiente próximas a 25 °C. Na modelagem do consumo de substrato na forma de $DQO_{Filtr.}$, a faixa de variação dos valores de K_1 foi um pouco mais ampla, variando entre $1,99 \times 10^{-5}$ e $7,22 \times 10^{-5} \text{ (d.mg}_{STV} \cdot L^{-1})^{-1}$.

6.8 – Conclusão sobre as Obtenção do Fator de Correção para Determinação das Concentrações de AVT em Lixiviados de Aterros Sanitários, para o Método de DiLallo e Albertson (1961).

- O fator de correção igual a 1,5 utilizado na determinação de AVT, para concentrações maiores que 180 mg Ac. Acético. L^{-1} , sugerido por DiLallo e Albertson (1961), não se aplica aos lixiviados de aterros sanitários, que devido a interferentes e outras características particulares, dever ser corrigido através de uma expressão linear.

- Para os lixiviados de São Carlos-SP, utilizados nesta pesquisa, o fator de correção deve possuir a forma da equação 5.10.3, reproduzida na sequência, com seus respectivos coeficientes:

$$AVT = fca \cdot AAV - fcb = 1,8542 \cdot AAV - 427$$

6.9 – Conclusão sobre as Concentrações de N-Amoniacal em Lixiviados de Aterros e seus Efeitos Tóxicos ou Inibitórios

- Existe uma relação linear entre a alcalinidade total dos lixiviados de aterros sanitários e as concentrações de N-amoniaco, devido ao fato do N-amoniaco estar na forma de hidrogenocarbonato

de amônio (bicarbonato de amônio) em lixiviados de aterros sanitários e essa relação pode ser equacionada para estimativa das concentrações de N-amoniaco a partir da alcalinidade total do lixiviado, quando o lixiviado possuir pH superior a 7,0.

6.10 – Conclusão Geral

- É possível o tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistemas reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais, desde que o lixiviado apresente elevadas concentrações de ácidos voláteis totais, ou pelo menos relação AVT/DQO no mínimo igual a 0,25, sendo desejável valores superiores.

- Apesar do tempo reduzido de operação do ASBR (R1), foi possível notar que seu desempenho não seria tão bom quanto o do ASBBR (R3), devido aos problemas de sedimentação e desagregação do lodo granular, mesmo com baixas frequências de agitação. Assim, a utilização de espuma de poliuretano como meio suporte no ASBBR, inoculado com lodo proveniente do fundo de uma das lagoas de lixiviados, foi essencial para viabilização da operação do reator em bateladas seqüenciais.

- O tratamento aeróbio de lixiviados de aterros sanitários, pré-tratados em sistemas anaeróbios parece não conseguir eficiências elevadas quando o lixiviado é muito recalcitrante.

- O uso de sistemas automatizados, em locais onde a rede de energia apresenta muitos problemas, pode não ser uma alternativa viável ou confiável, assim o uso de filtros anaeróbios de fluxo ascendente pode ser uma boa alternativa, uma vez que também apresenta boa capacidade de remoção de carga orgânica facilidade de operação e baixa mecanização;

- Mesmo o tratamento anaeróbio, seguido de tratamento aeróbio dos lixiviados, não foi suficiente para produzir efluentes com qualidades suficientes para serem lançados em corpos receptores, necessitando-se assim, de mais algum pós-tratamento adicional.

7 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Verificar até que ponto as concentrações de N-amoniacoal ou N-amônia livre não interferem significativamente no tratamento de lixiviados de aterros sanitários, e quais seriam os níveis considerados tóxicos;

Analisar quais outros componentes do lixiviado podem interferir na cinética dos processos biológicos de tratamento;

Avaliar medidas de minimização de efeitos que possam possivelmente inibir os processos biológicos;

Correlacionar mais parâmetros em testes de tratabilidade de lixiviados com a finalidade de se identificar quais são os principais parâmetros que interferem no tratamento biológico;

Avaliar a tratabilidade de lixiviados de várias procedências, idades e concentrações para que, com um banco de dados amplo, possam-se adotar critérios, com bases racionais para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ağdağ, O. N. e Sponza, D. T. (2005) **Anaerobic/aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) systems.** *Process Biochemistry*, Volume 40, Issue 2, February 2005, Pages 895-902.
- Ahn, W.-Y; Kang, M.-S.; Yim, S.-K.; Choi, K.-H. (2002) **Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane process.** *Desalination*, Volume 149, Issues 1-3, 10 September 2002, Pages 109-114.
- Altin, A. (2008) **An alternative type of photoelectro-Fenton process for the treatment of landfill leachate.** *Separation and Purification Technology*, Volume 61, Issue 3, 15 July 2008, Pages 391-397.
- Amokrane, A.; Comel, C. e Veron, J. (1997) **Landfill leachates pretreatment by coagulation-floculation.** *Water Research*, vol. 31, No. 11, pp. 2775-2782.
- Andrade Neto, C. O; Campos, J. R.; Além Sobrinho, P.; Chernicharo, C. A. L.; Nour, E. A. (1999) **Filtros anaeróbios.** In: Campos, J. R. (coordenador) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro, 1999, 435 pp..
- Andreottola, G., Cannas, P. (1992) **Chemical and Biological Characteristics of Landfill Leachate.** In: Christensen, T.; Cossu, R.; Stegmann, R. **Landfilling of Waste: Leachate.** Great Britain, Chapman & Hall, 1992, p. 65-88.
- Angenent, L. T. & Dague, R. R. (1995) **A Laboratory-Scale Comparison of the UASB and ASBR Processes.** In: Proceedings of the 50th Purdue Industrial Waste Conference. Chelsea, Ann Arbor Press, pp. 365-377.

- APHA; AWWA; WPCF (2005) **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st edition. Washington. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation . Washington-DC, USA.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1992) NBR 8419 – **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, ABNT.
- Bae, B.-U.; Jung, E.-S.; Kim, Y.-R.; Shin, H.-S. (1999) **Treatment of landfill leachate using activated sludge process and electron-beam radiation**. *Water Research*, Volume 33, Issue 11, August 1999, Pages 2669-2673.
- Bailey, J.A. (1998) **Mathematical Modeling and Analysis in Biochemical Engineering: Past Accomplishments and Future Opportunities**. *Biotechnology Program* 14: 8-20.
- Bidone, F. R. A. e Povinelli, J. (1999) **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, EESC/USP.
- Bila, D. M.; Montalvão, A. F.; Silva, A. C.; Dezotti, M. (2005) **Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement**. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 117, Issues 2-3, 31 January 2005, Pages 235-242.
- Bilgili, M. S.; Demir, A.; Akkaya, E.; Ozkaya, B. (2008) **COD fractions of leachate from aerobic and anaerobic pilot scale landfill reactors**. *Journal of Hazardous Materials*, In Press, Corrected Proof, Available online 26 January 2008.
- Bohdziewicz, J.; Bodzek, M.; Górska J. (2001) **Application of pressure-driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate**. *Process Biochemistry*, Volume 36, Issue 7, February 2001, Pages 641-646.
- Bohdziewicz, J. e Kwarciak, A. (2008) **The application of hybrid system UASB reactor-RO in landfill leachate treatment**. *Desalination*, Volume 222, Issues 1-3, 1 March 2008, Pages 128-134.
- Bohdziewicz, J.; Neczaj, E.; Kwarciak, A. (2008) **Landfill leachate treatment by means of anaerobic membrane bioreactor**. *Desalination*, Volume 221, Issues 1-3, 1 March 2008, Pages 559-565.

- Brito, A. G.; Rodrigues, A. C.; Melo, L. F. (1997) **Feasibility of Pulsed Sequencing Batch Reactor with Anaerobic Aggregated Biomass for the Treatment of Low Strength Wastewaters.** *Water Science Technology*, 35(1): 189-198.
- Bulc, T. G. (2006) **Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment.** *Ecological Engineering*, Volume 26, Issue 4, 31 July 2006, Pages 365-374.
- Calli, B.; Mertoglu, B.; Inanc, B.; Yenigun, O. (2005) **Effects of high ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors.** *Process Biochemistry*, 40 p. 1285-1292.
- Calli, B.; Mertoglu, Roest, B.; K.; Inanc, B. (2006) **Comparison of long-term performances and final microbial compositions of anaerobic reactors treating landfill leachate.** *Bioresource Technology*, Volume 97, Issue 4, March 2006, Pages 641-647.
- Castillo, E.; Vergara, M.; Moreno, Y. (2007) **Landfill leachate treatment using a rotating biological contactor and an upward-flow anaerobic sludge bed reactor.** *Waste Management*, Volume 27, Issue 5, 2007, Pages 720-726.
- Castro, M. C. A. A. de (2001) **Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento conjunto de esgoto sanitário e líquidos percolados gerados em aterro sanitário.** São Carlos, 2001. 214p + anexos, Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CETESB (1997) **Apostilas ambientais: Aterro sanitário.** São Paulo 40p.
- Chan, G. Y. S.; Chang, J.; Kurniawan, T. A.; Fu, C.-X.; Jiang, H.; Je, Y. (2007) **Removal of non-biodegradable compounds from stabilized leachate using VSEPRO membrane filtration.** *Desalination*, Volume 202, Issues 1-3, 5 January 2007, Pages 310-317.
- Chernicharo, C. A. de L. (1997) **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios.** Volume 5. Belo Horizonte-MG, DESA-UFMG, 246 p.
- Chernicharo, C. A. de L. (coordenador) (2001) **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte, PROSAB 2.

- Chianese, A.; Ranauro, R.; Verdone, N. (1999) **Treatment of landfill leachate by reverse osmosis.** *Water Research*, Volume 33, Issue 3, February 1999, Pages 647-652.
- Clareto, C. R.(1997) **Tratamento dos líquidos percolados gerados em aterros sanitários utilizando reator anaeróbio compartimentado.** São Carlos, 1997. 119p Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Contrera, R. C. (2003) **Tratamento biológico de líquidos percolados de aterros sanitários utilizando reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF).** São Carlos, 2003. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Costerton, J. W. (1995) **Microbial Biofilms.** *Annual Reviews Microbiology*, 49: 711-745.
- CRC (2007) **Handbook of Chemistry and Physics**, Internet Version 2007, 87th Edition, David R. Lide, ed., Taylor and Francis, Boca Raton, FL, 2007.
- Cueto, A.J. (1993) **Development of criteria for the design and construction of engineered aquatic treatment in Texas.** In: **Constructed wetlands for water quality improvement.** Edited by Gerald A. Moshiri. Lewis Publishers, CRC Press, USA.
- Çeçen, F.; Erdinçler, A.; Kiliç, E. (2003) **Effect of powdered activated carbon addition on sludge dewaterability and substrate removal in landfill leachate treatment.** *Advances in Environmental Research*, Volume 7, Issue 3, May 2003, Pages 707-713.
- Dague, R. R.; Habben, C. E.; Pidaparti, S. R. (1992) **Initial Studies on the Anaerobic Sequencing Batch Reactor.** *Water Science Technology*, vol. 26, pp. 2429-2432.
- Deng, Y. (2007) **Physical and oxidative removal of organics during Fenton treatment of mature municipal landfill leachate.** *Journal of Hazardous Materials*, Volume 146, Issues 1-2, 19 July 2007, Pages 334-340.
- Diamadopoulos, E. (1994) **Characterization and treatment of recirculation-stabilized leachate.** *Water Research*, v.28, p.2439-2445.
- DiLallo, R. e Albertson, O. E. (1961) **Volatile acids by direct titration.** *Journal Water Pollution Control Federation*. V.33, n.4, p. 350-364.

- Droste, R. L.; Massé, D. I. (1995) **Anaerobic Treatment in Sequencing Batch Reactors**. In: Proceedings of the International Symposium on Technology Transfer, Salvador, ABES, pp. 353-363.
- Fenn, D.G.; Hanley, K.J.; DeGeare, T.V. (1975). **Use of the water balance method for predicting leachate generation from solid waste disposal sites**. Washington, D.C, U.S.Environmental Protection Agency. (Report EPA/530/SW-168).
- Fresca, F. R. C. (2007) **Estudo da geração dos resíduos sólidos domiciliares no Município de São Carlos-SP, a partir da caracterização física**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2007.
- Frascari, D.; Bronzini, F.; Giordano, G.; Tedioli, G.; Nocentini, M. (2004) **Long-term characterization, lagoon treatment and migration potential of landfill leachate: a case study in an active Italian landfill**. *Chemosphere*, Volume 54, Issue 3, January 2004, Pages 335-343.
- Gomes, L.P. (1989) **Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários**. São Carlos, 1989. 167p Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Gonze, E.; Commenges, N.; Gonthier, Y.; Bernis, A. (2003) **High frequency ultrasound as a pre- or a post-oxidation for paper mill wastewaters and landfill leachate treatment**. *Chemical Engineering Journal*, Volume 92, Issues 1-3, 15 April 2003, Pages 215-225.
- Heavey, M. (2003) **Low-cost treatment of landfill leachate using peat**. *Waste Management*, Volume 23, Issue 5, 2003, Pages 447-454.
- Heinzle, E.; Saner, U. (1991). **Methodology for Process Control in Research and Development**. In: Pons, M.N. (Ed.). *Bioprocess Monitoring and Control*, Hanser, Munique.
- Hollopeter, J. A. e Dague, R. R. (1994) **Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treatment of Landfill Leachate**. In: Proceedings of the 49th Purdue Industrial Waste Conference, Chelsea, Ann Arbor Press, pp. 277-284.
- Hirl, P. J. e Irvine, R. L. (1996) **Reductive Dechlorination of Perchloroethylene (PCE) Using Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactors (AnSBBR)**. In: Proceedings of the 51st Purdue Industrial Waste Conference, Chelsea, Ann Arbor Press, pp. 289-295.

- Iaconi, C.; Ramadori, R.; Lopez, A. (2006) **Combined biological and chemical degradation for treating a mature municipal landfill leachate**. *Biochemical Engineering Journal*, Volume 31, Issue 2, 1 September 2006, Pages 118-124.
- Inanc, B.; Calli, B.; Saatci, A. (2000) **Characterization and anaerobic treatment of the sanitary landfill leachate in Istanbul**. *Water Science and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 223-230.
- Ilhan, F.; Kurt, U.; Apaydin, O.; Gonullu, M. T. (2008) **Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes**. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 154, Issues 1-3, 15 June 2008, Pages 381-389.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2002) **Pesquisa nacional de saneamento básico**. www.ibge.gov.br (set/2002)
- Imai, A.; Matsushige, K.; Inamori, Y. e Sudo, R. (1993) **Removal of refractory organics and nitrogen from landfill leachate by the microorganism-attached activated carbon fluidized bed process**. *Water Research*, vol. 27, No. 1, pp. 143-145.
- IPT/CEMPRE (2000) **Lixo municipal - manual de gerenciamento integrado**. 2ª ed., São Paulo.
- Kargi, F. e Pamukoglu, M. Y. (2003-b) **Aerobic biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation**. *Enzyme and Microbial Technology*, Volume 33, Issue 5, 8 October 2003, Pages 588-595.
- Kargi, F. e Pamukoglu, M. Y. (2004-a) **Repeated fed-batch biological treatment of pre-treated landfill leachate by powdered activated carbon addition**. *Enzyme and Microbial Technology*, Volume 34, Issue 5, 2 April 2004, Pages 422-428.
- Kargi, F. e Pamukoglu, M. Y. (2004-b) **Adsorbent supplemented biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation**. *Bioresource Technology*, Volume 94, Issue 3, September 2004, Pages 285-291.
- Kennedy, K.J. e Lentz, E. M. (2000) **Treatment of landfill leachate using sequencing batch and continuous flow upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors**. *Water Research*, Volume 34, Issue 14, 1 October 2000, Pages 3640-3656.

- Kettunen, R. H.; Hoilijoki, T. H. e Rintala, J. A. (1996) **Anaerobic and sequential anaerobic-aerobic treatments of municipal landfill leachate at low temperatures.** *Bioresource Technology*, 58, pp. 31-40.
- Kettunen, R. H. e Rintala, J. A. (1998) **Performance of an on-site UASB reactor treating leachate at low temperature.** *Water Research*, Volume 32, Issue 3, March 1998, Pages 537-546.
- Kjeldsen, P.; Barlaz, M. A. ; Rooker, A. P.; Baun, A.; Ledin, A.; Christensen, T. H. (2002) **Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A Review.** *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32 (4), Pages 297-336.
- Klimiuk, E. e Kulikowska, D. (2006) **Organics removal from landfill leachate and activated sludge production in SBR reactors.** *Waste Management*, Volume 26, Issue 10, 2006, Pages 1140-1147.
- Kurniawan, T. A.; Lo, W.-H.; Chan, G. Y. S. (2006) **Degradation of recalcitrant compounds from stabilized landfill leachate using a combination of ozone-GAC adsorption treatment.** *Journal of Hazardous Materials*, Volume 137, Issue 1, 1 September 2006, Pages 443-455.
- Lahav O. e Morgan, B. E. (2004) **Titration methodologies for monitoring of anaerobic digestion in developing countries – a review.** *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 79, pp. 1331-1341.
- Laitinen, N.; Luonsi, A.; Vilen, J. (2006) **Landfill leachate treatment with sequencing batch reactor and membrane bioreactor.** *Desalination*, Volume 191, Issues 1-3, 10 May 2006, Pages 86-91.
- Lapa, K. R. (2006) **Avaliação da recirculação da fase líquida e do regime de alimentação em reator anaeróbio, em escala piloto, operado em bateladas seqüenciais contendo biomassa imobilizada (ASBBR), no tratamento de esgoto sanitário.** 190p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Lei, Y.; Shen, Z.; Huang, H.; Wang, W. (2007) **Treatment of landfill leachate by combined aged-refuse bioreactor and electro-oxidation.** *Water Research*, Volume 41, Issue 11, June 2007, Pages 2417-2426.

- Liang, Z. e Liu, J. (2008) **Landfill leachate treatment with a novel process: Anaerobic ammonium oxidation (Anammox) combined with soil infiltration system.** *Journal of Hazardous Materials*, Volume 151, Issue 1, 28 February 2008, Pages 202-212.
- Lim, Y. N.; Shaaban, M. G.; Yin, C. Y. (2008) **Treatment of Landfill Leachate Using Palm Shell Activated Carbon Column: Axial Dispersion Modeling and Treatment Profile.** *Chemical Engineering Journal*, In Press, Accepted Manuscript, Available online 23 May 2008.
- Lin, C.-Y.; Bian, F.-Y.; Chou, J. (1999) **Anaerobic co-digestion of septage and landfill leachate.** *Bioresource Technology*, Volume 68, Issue 3, June 1999, Pages 275-282.
- Lin, C.-Y.; Bian, F.-Y.; Chou, J. (2000) **Co-digestion of leachate with septage using a UASB reactor.** *Bioresource Technology*, Volume 73, Issue 2, June 2000, Pages 175-178.
- Lin, S. H. e Chang, C. C. (2000) **Treatment of landfill leachate by combined electro-Fenton oxidation and sequencing batch reactor method.** *Water Research*, Volume 34, Issue 17, December 2000, Pages 4243-4249.
- Lopez, A.; Pagano, M.; Volpe, A.; Di Pinto, A. C. (2004) **Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate.** *Chemosphere*, Volume 54, Issue 7, February 2004, Pages 1005-1010.
- Loukidou, M. X. e Zouboulis, A. I. (2001) **Comparison of two biological treatment processes using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment.** *Environmental Pollution*, Volume 111, Issue 2, February 2001, Pages 273-281.
- Luna, Y.; Otal, E.; Vilches, L.F.; Vale, J.; Querol, X.; Fernández Pereira, C. (2007) **Use of zeolitised coal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study.** *Waste Management*, Volume 27, Issue 12, 2007, Pages 1877-1883.
- Marques, A. C. M. (2001) **Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos.** Tese (doutorado) São Carlos SP, EESC – USP.
- Marttinen, S. K.; Kettunen, R. H.; Sormunen, K. M.; Soimasuo, R. M.; Rintala J. A. (2002) **Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates.** *Chemosphere*, Volume 46, Issue 6, February 2002, Pages 851-858.

- Meier, J.; Melin, T.; Eilers, L. H. (2002) **Nanofiltration and adsorption on powdered adsorbent as process combination for the treatment of severely contaminated waste water.** *Desalination*, Volume 146, Issues 1-3, 10 September 2002, Pages 361-366.
- Metcalf, L., Eddy, H.P. (2003) **Wastewater Engineering: treatment, disposal reuse.** McGraw-Hill, 4^a ed., 1819p.
- Moraes, E. de M.; Adorno, M.A.T.; Zaiat, M.; Foresti, E. (2000) **Determinação de ácidos voláteis por cromatografia gasosa em efluentes de reatores anaeróbios tratando resíduos líquidos e sólidos.** VI Oficina e Seminário Latino-Americano de Digestão Anaeróbia, Recife. Vol. 2 pp 235-238.
- Moraes, P. B. e Bertazzoli, R. (2005) **Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor.** *Chemosphere*, Volume 58, Issue 1, January 2005, Pages 41-46.
- Morais, J. L. e Zamora, P. P. (2005) **Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates.** *Journal of Hazardous Materials*, Volume 123, Issues 1-3, 31 August 2005, Pages 181-186.
- Neczaj, E.; Okoniewska, E.; Kacprzak, M. (2005) **Treatment of landfill leachate by sequencing batch reactor.** *Desalination*, Volume 185, Issues 1-3, 1 November 2005, Pages 357-362.
- Neczaj, E.; Kacprzak, M.; Lach, J.; Okoniewska, E. (2007) **Effect of sonication on combined treatment of landfill leachate and domestic sewage in SBR reactor.** *Desalination*, Volume 204, Issues 1-3, 5 February 2007, Pages 227-233.
- Neczaj, E.; Kacprzak, M.; Kamizela, T.; Lach, J.; Okoniewska, E. (2008) **Sequencing batch reactor system for the co-treatment of landfill leachate and dairy wastewater.** *Desalination*, Volume 222, Issues 1-3, 1 March 2008, Pages 404-409.
- Nivala, J.; Hoos, M.B.; Cross, C.; Wallace, S.; Parkin, G. (2007) **Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland.** *Science of The Total Environment*, Volume 380, Issues 1-3, 15 July 2007, Pages 19-27.
- Ntampou, X.; Zouboulis, A. I.; Samaras P. (2006) **Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates.** *Chemosphere*, Volume 62, Issue 5, February 2006, Pages 722-730.

- Olmo, L. N.; Rossi, D. M.; Foresti, E. e Zaiat, M. (2005) **Avaliação do antagonismo do efeito do sódio sobre o tratamento de água residuária de “charqueada” com elevada salinidade em reator anaeróbio de manta de lodo (UASB)**. In: Anais do IV Seminário do Projeto Temático Fapesp: Desenvolvimento, Análise, Aprimoramento e Otimização de Reatores Anaeróbios para Tratamento de Águas Residuárias, EESC-USP, São Carlos-SP, 20 a 22 de julho de 2005.
- Ozturk, I.; Altinbas, M.; Koyuncu, I.; Arikan, O.; Gomec-Yangin, C. (2003) **Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates**. *Waste Management*, Volume 23, Issue 5, 2003, Pages 441-446.
- Peters, T. A. (1998) **Purification of landfill leachate with reverse osmosis and nanofiltration**. *Desalination*, Volume 119, Issues 1-3, 20 September 1998, Pages 289-293.
- Primo, O.; Rivero, M. J.; Ortiz, I. (2008) **Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates**. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 153, Issues 1-2, 1 May 2008, Pages 834-842.
- Qasim, S. e Chiang, W. (1994) **Sanitary landfill leachate: Generation, control and treatment**. Technomic Publishing Company, Inc.. Lancaster, Pensylvania, USA, 339pp.
- Ratusznei, S. M.; Rodrigues, J. A. D.; Camargo E. F. M.; Zaiat, M. e Borzani, W. (2000) **Feasibility of a Stirred Anaerobic Sequencing Batch Reactor Containing Immobilized Biomass for Wastewater Treatment**. *Bioresource Technology*, 75: 127-132.
- Reyes III, F.L. e Dague, R.R. (1995) **Effects of Initial Seed Concentration on the Startup of the Anaerobic Sequencing Batch Reactor**. In: *Proceedings of the 50th Purdue Industrial Waste Conference*, Chelsea, Ann Arbor Press, pp.449-459.
- Rittman, B. E. e McCarty, P. L. (2001) **Environmental Biotechnology: Principles and applications**. 1st Edition. McGraw-Hill, New York, USA, 754 pp.
- Rivas, F. J.; Beltrán, F.; Gimeno, O.; Acedo, B.; Carvalho, F. (2003) **Stabilized leachates: ozone-activated carbon treatment and kinetics**. *Water Research*, Volume 37, Issue 20, December 2003, Pages 4823-4834.

- Rivas, F. J.; Beltrán, F.; Carvalho, F.; Acedo, B.; Gimeno, O. (2004) **Stabilized leachates: sequential coagulation–flocculation + chemical oxidation process**. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 116, Issues 1-2, 10 December 2004, Pages 95-102.
- Rodríguez, J. ; Castrillón, L.; Marañón, E.; Sastre, H.; Fernández, E. (2004) **Removal of non-biodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption**. *Water Research*, Volume 38, Issues 14-15, August-September 2004, Pages 3297-3303.
- Salem, Z.; Hamouri, K.; Djemaa, R.; Allia, K. (2008) **Evaluation of landfill leachate pollution and treatment**. *Desalination*, Volume 220, Issues 1-3, 1 March 2008, Pages 108-114.
- Sarti, A. (2004) **Desempenho de reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais em escala piloto no tratamento de esgoto sanitário**. 155p Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Sawyer, C.N.; McCarty, P.L.; Parkin, G.F. (2003) **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5th edition. International edition. McGraw-Hill, New York, USA, 752 pp.
- Schalch, V. (1984) **Produção e características do chorume em processo de decomposição do lixo urbano**. São Carlos, 1984. 103p Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Schalch, V. (1992) **Análise Comparativa do comportamento dos aterros sanitários e correlação dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia**. São Carlos, 1992. 219p Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Schimidell, W.; Lima, U.A.; Aquarone, E.; Borzani, W. (Coordenadores) (2001) **Biotechnologia Industrial**. V.II. Engenharia Bioquímica. Edgard Blücher Ltda (Ed.). São Paulo. SP, Brasil.
- Shu, H.-Y.; Fan, H.-J.; Chang, M.-C.; Hsieh, W.-P. (2006) **Treatment of MSW landfill leachate by a thin gap annular UV/H₂O₂ photoreactor with multi-UV lamps**. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 129, Issues 1-3, 28 February 2006, Pages 73-79.
- Silva, A. C. ; Dezotti, M.; Sant’Anna Jr., G. L. (2004) **Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate**. *Chemosphere*, Volume 55, Issue 2, April 2004, Pages 207-214.

- Sparks, D. L. (2003) **Environmental soil chemistry**. Second edition. Academic Press, San Diego-CA, USA, 352 pp.
- Speece, R. E. (1996) **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville-Tennessee, Archae press.
- Sung, S. & Dague, R. R. (1995) **Laboratory Studies on the Anaerobic Sequencing Batch Reactor**. *Water Environment Research*, 67(3): 294-301.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. A. (1993) **Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues**. E.U.A., McGraw-Hill.
- Tatsi, A. A. ; Zouboulis, A. I. ; Matis, K. A. ; Samaras P. (2003) **Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates**. *Chemosphere*, Volume 53, Issue 7, November 2003, Pages 737-744.
- Timur, H.; Öztürk, I. (1997) **Anaerobic treatment of leachate using sequencing batch reactor and hybrid bed filter**. *Water science and Technology*, vol. 36, No. 6-7, pp 501-508.
- Timur, H. e Öztürk, I. (1999) **Anaerobic sequencing batch reactor treatment of landfill leachate**. *Water Research*, Volume 33, Issue 15, October 1999, Pages 3225-3230.
- Timur, H.; Öztürk, I.; Altinbas, M.; Arikan, O. e Tuylouglu, B. S. (2000) **Anaerobic treatability of leachate: a comparative evaluation for three different reactor systems**. *Water science and Technology*, vol. 42, No. 1-2, pp 287-292.
- Tizaoui, C.; Bouselmi, L.; Mansouri, L.; Ghrabi, A. (2007) **Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems**. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 140, Issues 1-2, 9 February 2007, Pages 316-324.
- Trebouet, D.; Schlumpf, J. P. ; Jaouen, P.; Quemeneur, F. (2001) **Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration processes**. *Water Research*, Volume 35, Issue 12, August 2001, Pages 2935-2942.
- Ushikoshi, K.; Kobayashi, T.; Uematsu, K.; Toji, A.; Kojima, D.; Matsumoto, K. (2002) **Leachate treatment by the reverse osmosis system**. *Desalination*, Volume 150, Issue 2, 1 November 2002, Pages 121-129.

- Uygur, A.; Kargı, F. (2004) **Biological nutrient removal from pre-treated landfill leachate in a sequencing batch reactor**. *Journal of Environmental Management*, Volume 71, Issue 1, May 2004, Pages 9-14.
- van Haandel, A. C. e Letting, G., (1994) **Taratamento Anaeróbio de Esgotos: Um manual para regiões de clima quente**.
- vanLoon, G. W. & Duffy, S. J. (2004) **Environmental chemistry: A global perspective**. Oxford University Press. New York, USA, 492 pp.
- Visvanathan, C.; Choudhary, M.K.; Montalbo, M.T.; Jegatheesan, V. (2007) **Landfill leachate treatment using thermophilic membrane bioreactor**. *Desalination*, Volume 204, Issues 1-3, 5 February 2007, Pages 8-16.
- Wang, Z.-P.; Zhang, Z.; Lin, Y.-J.; Deng, N.-S. ;Tao, T.; Zhuo, K. (2002) **Landfill leachate treatment by a coagulation–photooxidation process**. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 95, Issues 1-2, 11 November 2002, Pages 153-159.
- Wenzel, A. ;Gahr, A.; Niessner, R. (1999) **TOC-removal and degradation of pollutants in leachate using a thin-film photoreactor**. *Water Research*, Volume 33, Issue 4, March 1999, Pages 937-946.
- Wu, J. J.; Wu, C.-C.; Ma, H.-W.; Chang, C.-C. (2004) **Treatment of landfill leachate by ozone-based advanced oxidation processes**. *Chemosphere*, Volume 54, Issue 7, February 2004, Pages 997-1003.
- Yang, Z. e Zhou, S. (2008) **The biological treatment of landfill leachate using a simultaneous aerobic and anaerobic (SAA) bio-reactor system**. *Chemosphere*, In Press, Corrected Proof, Available online 18 June 2008.
- Zaiat, M.; Rodrigues, J. A. D.; Ratusznei, S. M.; Camargo E. F. M.; e Borzani, W. (2001) **Anaerobic Sequencing Batch Reactors for Wastewater Treatment: A Developing Technology**. *Applied Microbiology and Biotechnology* ,55(1): 29-35, 2001.

Zhang, H.; Choi, H. J.; Huang, C.-P. (2005) **Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate.** *Journal of Hazardous Materials*, Volume 125, Issues 1-3, 17 October 2005, Pages 166-174.

Zhang, H.; Zhang, D.; Zhou, J. (2006-a) **Removal of COD from landfill leachate by electro-Fenton method.** *Journal of Hazardous Materials*, Volume 135, Issues 1-3, 31 July 2006, Pages 106-111.

Zhang, H.; Choi, H. J.; Huang, C.-P. (2006-b) **Treatment of landfill leachate by Fenton's reagent in a continuous stirred tank reactor.** *Journal of Hazardous Materials*, Volume 136, Issue 3, 25 August 2006, Pages 618-623.

Zouboulis, A. I.; Loukidou, M. X.; Christodoulou, K. (2001) **Enzymatic treatment of sanitary landfill leachate.** *Chemosphere*, Volume 44, Issue 5, August 2001, Pages 1103-1108.

APÊNDICE A

Esquema inicial das duas linhas de tratamento de lixiviados.

APÊNDICE B

Layout das instalações do galpão construído para abrigo do experimento no aterro sanitário do Município de São Carlos-SP.

APÊNDICE C

Projeto para construção dos reatores anaeróbios (ASBR e ASBBR).

PROJETO

TRATAMENTO DE LIXIVIADOS - SHS/EESC/USP

LOCAL

ATERRO SANITÁRIO DE SÃO CARLOS-SP

DATA

10/09/04

DESENHISTA

Ronan

ESCALA

1:20

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Eng. Ronan Cleber Contrera

ARQUIVO

Reator Anaeróbio.dwg

CONTEÚDO

REATOR ANAERÓBIO - ESQUEMA GERAL

FOLHA
A4-03

PROJETO

TRATAMENTO DE LIXIVIADOS - SHS/EESC/USP

LOCAL

ATERRO SANITÁRIO DE SÃO CARLOS-SP

DATA

10/09/04

DESENHISTA

Ronan

ESCALA

1:10

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Eng. Ronan Cleber Contrera

ARQUIVO

Reator Anaeróbio.dwg

CONTEÚDO

REATOR ANAERÓBIO - TANQUE COM TAMPA

FOLHA

A4-04

Aberturas para flanges
de PVC de 1 ½"

Aberturas
para flanges
de PVC de 1"

VISTA INTERIOR DA TAMPA
(A-A')

Aberturas
para flanges
de PVC de 1 ½"

VISTA INTERIOR DO TANQUE
(B-B')

PROJETO

TRATAMENTO DE LIXIVIADOS - SHS/EESC/USP

LOCAL

ATERRO SANITÁRIO DE SÃO CARLOS-SP

DATA

10/09/04

DESENHISTA

Ronan

ESCALA

1:10

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Eng. Ronan Cleber Contrera

ARQUIVO

Reator Anaeróbio.dwg

CONTEÚDO

REATOR ANAERÓBIO - VISTAS DA TAMPA E FUNDO

FOLHA
A4-05

CORTE TRANSVERSAL
(D-D') CORTE LONGITUDINAL
(C-C')

PROJETO

TRATAMENTO DE LIXIVIADOS - SHS/EESC/USP

LOCAL

ATERRO SANITÁRIO DE SÃO CARLOS-SP

DATA

10/09/04

DESENHISTA

Ronan

ESCALA

1:10

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Eng. Ronan Cleber Contrera

ARQUIVO

Reator Anaeróbio.dwg

CONTEÚDO

CESTO EM AÇO INOX COM TAMPA, PREENCHIDO COM ESPUMA

FOLHA
A4-06

4 Discos de PVC c/ 5mm de espessura

4 Discos de Aço Inox c/ 5mm de espessura e fixação para eixo de 1/2"

24 Pás de PVC c/ 5mm de espessura

+ 2 Eixos de Aço inox de 1/2" 1,80 m (com ponta arredondada)

+ 24 Parafusos Inox de União de Discos

+ 4 Parafusos Inox Para Fixação no Eixo

Ponta do eixo com furo de 6 mm

Ponta arredondada

PROJETO

TRATAMENTO DE LIXIVIADOS - SHS/EESC/USP

LOCAL

ATERRO SANITÁRIO DE SÃO CARLOS-SP

DATA

03/06/05

DESENHISTA

Ronan

ESCALA

1:5

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Eng. Ronan Cleber Contrera

ARQUIVO

Agitação.DWG

CONTEÚDO

SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS REATORES

**FOLHA
A4-07**

APÊNDICE D

Probelmas decorrentes da montagem e do desenvolvimento da pesquisa.

D.1 – Construção do Galpão para Abrigo do Experimento

Quando se pediu autorização para realização desta pesquisa no aterro sanitário de São Carlos-SP, pediu-se também para que a prefeitura fornecesse um local para construção do galpão e que se compromettesse a levar água e energia elétrica até esse local. Esses pedidos foram feitos pessoalmente em março de 2004 e através da apresentação de uma carta à “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” da Prefeitura Municipal de São Carlos, na qual imediatamente demonstrou interesse pela pesquisa e se comprometeu verbalmente em dar as devidas condições para realização da pesquisa no aterro sanitário. Cerca de dois meses depois, em maio de 2004, a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” da Prefeitura Municipal de São Carlos respondeu ao pedido, por meio de uma carta, autorizando a realização da pesquisa no aterro sanitário e se comprometendo em ajudar no que fosse necessário desde que dentro de suas previsões orçamentárias. Em abril de 2004 foi escolhido o local para construção do abrigo dos reatores por meio de uma visita ao aterro na qual participaram da escolha os pesquisadores, um representante da “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” da Prefeitura Municipal de São Carlos e um representante da Vega Engenharia Ambiental, que é a empresa que opera o aterro de São Carlos-SP. A Figura D.1.1 apresenta o local escolhido para construção do abrigo dos reatores.

Figura D.1.1: Local escolhido para construção do galpão para abrigo do experimento.

No final de maio de 2004 foram contratados os pedreiros para construção do galpão para abrigo do experimento e no início de junho deu-se início à construção do galpão. Como naquele momento a Prefeitura Municipal ainda não havia disponibilizado água no local para construção do abrigo dos reatores e como havia pressa em se iniciar a obra, decidiu-se, para não se perder tempo, que o próprio pesquisador iria levar água até o local do experimento. A caixa d'água do aterro ficava próxima à guarita na entrada do aterro e de lá até o local da construção do galpão a distância era de aproximadamente 1 km. Como o duto de água teria que acompanhar os limites da área do aterro, que eram muito angulosos optou-se por se fazer a interligação utilizando-se mangueiras pretas de polietileno com emendas. A Figura D.1.2 apresenta o traçado do duto que levou água até o local do

experimento, representado através de uma linha vermelha. Tal opção foi realmente a mais barata, rápida e viável, porém também muito frágil, pois ao longo dos três anos de experimento essa mangueira foi remendada cerca de 40 vezes, pois toda vez que alguém fazia limpeza próximo à cerca, acabava cortando acidentalmente a mangueira, ou às vezes as emendas estouravam sozinhas devido a elevada pressão hidrostática provocada por um desnível de mais de 30 m.

Figura D.1.2: Traçado do duto que levou água até o local do experimento, representado através de uma linha vermelha.

Depois de se levar água até o local do experimento iniciaram-se então a construção do galpão. A Figura D.1.3 apresenta o início da obra em dois estágios distintos, sendo em (a) o início das fundações e em (b) o final do levantamento das paredes e início da cobertura.

(a)

(b)

Figura D.1.3: (a) Início da construção das fundações e (b) Finalização das paredes e início da construção da cobertura.

A construção do galpão do experimento demorou cerca de um mês e depois de concluído construiu-se também uma nova caixa de passagem de lixiviados através da interceptação de um dos dutos de lixiviados do aterro sanitário. Inicialmente pretendia-se coletar os lixiviados para o experimento em uma caixa que ficava bem próxima ao galpão, mas com o tempo essa caixa ficou afogada, pois foi necessário se elevar os taludes das lagoas de lixiviados do aterro, para que elas não transbordassem. Com essa caixa de passagem afogada não era possível garantir que os lixiviados que seriam utilizados no experimento viriam diretamente do aterro sanitário, assim decidiu-se por construir uma nova caixa. A Figura D.1.4 (a) apresenta o galpão depois de finalizado e a Figura D.1.4 (b) apresenta a caixa de passagem construída para coleta dos lixiviados.

(a)

(b)

Figura D.1.4: (a) Galpão do experimento depois de finalizado e (b) Caixa de passagem construída para coleta dos lixiviados.

D.2 – Eletrificação da Área

Em agosto de 2004 o pesquisador procurou a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” da Prefeitura Municipal de São Carlos para que fosse dado início à eletrificação do local do experimento. Até então, a rede de energia elétrica chegava somente até a guarita que fica na entrada do aterro sanitário e necessitava ser prolongada por cerca de mais 1000 m até o local do experimento.

A “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” nessa data afirmou possuir os recursos necessários para o prolongamento da rede e pediu ao pesquisador para que, inicialmente, entrasse em contato com o Sr. “Meca” da “Secretaria de Obras” para que se estabelecesse o melhor traçado para rede de energia, e que em seguida também procurasse as empresas de São Carlos responsáveis por eletrificação, para que apresentassem orçamentos para o prolongamento da rede.

Em São Carlos haviam duas empresas especializadas em eletrificação: a “Jabu Engenharia Elétrica Ltda” e a “Eletro-Hidráulica Águia Branca Ltda”. O pesquisador procurou as duas empresas, na qual a “Jabú Engenharia Elétrica Ltda” não apresentou nenhum interesse pelo projeto e pela execução da obra. A empresa “Eletro-Hidráulica Águia Branca Ltda” apresentou interesse pela obra e a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” decidiu que, inicialmente, se deveria fazer o projeto do prolongamento da rede, e de posse do projeto, se fizesse um orçamento detalhado da obra. Porém, devido à proximidade das eleições municipais, a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” praticamente deixou de lado o problema da eletrificação do aterro, pois a prioridade naquele momento era a reeleição do atual prefeito. Depois de muitas viagens perdidas do pesquisador até a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” somente na metade do mês de setembro de 2004, que a prefeitura acabou contratando a “Eletro-Hidráulica Águia Branca Ltda” para fazer o projeto de prolongamento da rede.

Em outubro de 2004 o projeto do prolongamento da rede ficou pronto, porém, a partir daquele momento o problema passou a ser outro. A “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia”, que dizia possuir recursos suficientes para executar a obra, de posse do orçamento, verificou que a obra seria muito mais cara do que se imaginava, devido ao seu traçado sinuoso. A “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” afirmou dispor na época somente de R\$ 11.000,00. A Vega Engenharia Ambiental, empresa responsável pela coleta dos resíduos sólidos de São Carlos e operação do aterro sanitário, havia se comprometido em ajudar na eletrificação doando R\$ 5.000,00, porém, a soma das quantias (R\$ 16.000,00) que a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia” achava ser suficiente, não era nem a metade do necessário para execução da rede que, de acordo com o orçamento deveria custar cerca de R\$ 37.000,00. Segundo a “Eletro-Hidráulica Águia Branca Ltda”, a linha se encareceu devido ao seu traçado sinuoso, que tinha que acompanhar os limites da área, acompanhando aproximadamente o traçado do duto de água como na Figura D.1.2, pois pelo lado dos vizinhos havia uma plantação de cana com passagens de caminhão e do lado do aterro havia movimentação de terra, o que não permitia o ancoramento dos postes com cabos de aço em nenhum dos dois lados, tendo assim que se utilizar postes reforçados de concreto com base concretada, o que deixaria a obra muito mais cara.

Diante do novo problema o pesquisador se reuniu novamente com a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia”, onde o Sr. Paulo Mancini afirmou que a única solução seria tentar conseguir doação de algum material para que, junto com o recurso disponível, fosse possível a execução da obra.

Em novembro de 2004 o pesquisador procurou várias empresas para tentar conseguir doações de postes, cabos ou transformador. Consultou-se a CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), empresas que trabalham com material elétrico usado, fábrica de postes, transformadores, etc. Mas sem exceções, não foi possível conseguir nada. A CPFL disse que todos os seus serviços eram terceirizados e que ela não possuía mais estoque de materiais. As demais empresas disseram que não tinham o

material, ou que o material era muito caro e devido às dificuldades encontradas no momento, elas não poderiam doar esses materiais ou parte deles, mesmo reconhecendo a importância da pesquisa.

Em dezembro de 2004 o pesquisador se reuniu novamente com a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia”, e tentou pressionar a Secretaria para que alguma providência fosse tomada, visto que assumiram o compromisso de dar suporte à pesquisa, com a eletrificação do local, mas até aquele momento ainda não havia dado contribuição alguma. Os representantes da secretaria disseram ao pesquisador que apesar de terem assumido o compromisso, eles não poderiam fazer nada, pois não havia recursos para execução daquela obra, por ter ficado muito mais cara do que se havia imaginado anteriormente.

Em janeiro de 2005 o pesquisador já estava quase decidido por abandonar o galpão construído no aterro e montar o experimento em algum local dentro do Campus I da USP de São Carlos, quando tomou ciência de que o Governo Federal estava iniciando um projeto para eletrificação rural e que pretendia levar energia a praticamente todas as propriedades rurais que solicitassem a eletrificação, sem custos para os solicitantes, pois a linha pertenceria à companhia distribuidora de energia. Tratava-se do projeto “Luz Para Todos”.

Ao saber disso, já na primeira semana de janeiro, o pesquisador imprimiu uma cópia do projeto de pesquisa, e encaminhou pessoalmente à CPFL, juntamente com uma carta dirigida ao Sr. Mauro Forgerini (Gerente de Contas) explicando a importância do projeto de pesquisa, detalhando tudo o que ocorrera até o momento e se seria possível a inclusão do projeto dentro deste programa do Governo, dado que o aterro sanitário localiza-se em uma área rural. Também se pediu à Prefeitura de São Carlos, através da “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia”, para que endossasse o pedido junto à CPFL.

Depois de alguns dias a CPFL deu uma resposta positiva ao pedido e forneceu uma lista de documentos que seriam necessários para se dar entrada ao processo de eletrificação. Dentre esses documentos havia a solicitação formal da Prefeitura, os formulários com os dados cadastrais, autorização da passagem da linha em um trecho da propriedade vizinha ao aterro e doação de dois trechos de linha que eram particulares, sendo o primeiro deles pertencente a um condomínio de chácaras e o outro à Prefeitura Municipal de São Carlos.

Em fevereiro de 2005 o pesquisador conseguiu identificar e localizar os proprietários da área vizinha e do ramal adjacente da rede elétrica. Através de informações cedidas pela Prefeitura Municipal foi possível localizar o proprietário da área vizinha, que residia em Ibaté-SP, uma cidade vizinha à São Carlos-SP. Por meio de contato telefônico o pesquisador marcou uma reunião com o proprietário da área vizinha para se acertar a autorização da passagem da linha de força em um trecho de sua propriedade. O proprietário autorizou e assinou toda a documentação necessária, pedindo que o traçado da linha obedecesse aos limites da propriedade, para que não fosse necessário se remover a cana que já estava plantada em sua propriedade e que, se caso precisasse, ele também poderia fazer uso da linha de força.

Como um dos trechos adjacentes ao prolongamento da rede elétrica pertencia a um condomínio de chácaras, o pesquisador procurou localizar o síndico desse condomínio, que foi localizado residindo em São Carlos. O síndico também não mostrou nenhuma objeção quanto à doação do trecho da rede à CPFL, o único problema é que o condomínio teve que marcar uma reunião e pedir a anuência dos proprietários das chácaras antes que o síndico fizesse formalmente a doação, mas felizmente os proprietários aceitaram fazer a doação.

Finalmente, o último trecho adjacente ao prolongamento da rede elétrica pertencia à Prefeitura Municipal de São Carlos. O pesquisador levou toda documentação necessária à doação até a “Secretaria de Obras”, que era a responsável pelo trecho da linha de força pertencente à Prefeitura Municipal de São Carlos. O pesquisador aguardou por cerca de duas semanas por uma manifestação da “Secretaria de Obras”, e como não recebeu nenhum comunicado voltou à “Secretaria de Obras” para saber o motivo de tanta demora em se preparar toda documentação. Infelizmente onde o pesquisador pensou que seria mais fácil se obter a doação, foi justamente onde as coisas começaram a se complicar. Na “Secretaria de Obras” informaram ao pesquisador, que como o trecho de linha pertencia à Prefeitura Municipal, ele se tratava de um bem público, que não poderia ser doado a uma empresa particular que no caso era a CPFL. O pesquisador quis saber como isso poderia ser resolvido, pois sem a doação desse trecho, a CPFL também não poderia fazer o prolongamento do ramal de rede elétrica até o local do experimento. Dessa forma, a “Secretaria de Obras” da Prefeitura Municipal decidiu encaminhar a documentação ao Departamento Jurídico da Prefeitura para se avaliar qual seria uma forma legal de se fazer essa doação. Infelizmente o departamento jurídico da Prefeitura de São Carlos não mostrou interesse algum em agilizar a solução do problema. Felizmente um funcionário da Prefeitura, o Sr. “Meca”, que era responsável pela iluminação pública acabou comprando a briga do pesquisador junto ao Departamento Jurídico da Prefeitura e exercendo também certa pressão para que o problema fosse resolvido mais rapidamente. Mesmo assim, o Departamento Jurídico da Prefeitura de São Carlos demorou mais de um mês para apresentar uma solução para o caso. Por fim, o Departamento Jurídico concluiu que a doação do trecho da rede pertencente à prefeitura poderia ser doada a partir de um decreto do Prefeito Municipal.

Dessa forma, somente em abril de 2005 foi possível entregar toda documentação à CPFL para que se fosse dado início ao pedido e aprovação do projeto de prolongamento da rede, junto ao programa “Luz para Todos” do Governo Federal.

A CPFL que normalmente costumava demorar cerca de seis meses para instalação das redes do “Programa Luz Para Todos” deu atenção especial para o projeto, colocando-o como prioridade e, assim, entre o final de maio e o início de junho de 2005 o prolongamento da rede já havia sido concluído.

D.3 – Problemas Decorrentes da Montagem do Experimento

Pouco antes da conclusão do prolongamento da rede elétrica, o pesquisador já havia iniciado a compra dos materiais e equipamentos elétricos para montagem do experimento. Antes de se iniciar a instalação elétrica do galpão notou-se que após as chuvas as paredes de blocos de concreto ficavam muito úmidas por dentro, devido à infiltração da água, assim decidiu-se pintar as paredes do galpão primeiramente com um selador e posteriormente com tinta látex, o que resolveu o problema de infiltração.

Quando se concluiu o prolongamento da rede elétrica, o poste com o medidor foi instalado a aproximadamente há uns trinta metros do galpão do experimento. Para se fazer a ligação entre o poste do medidor e o galpão do experimento era necessário o cravamento de um poste entre eles, pois se a instalação dos cabos fosse direta, os cabos de força ficariam muito baixos, prejudicando a passagem de caminhões e máquinas. Assim, inicialmente o pesquisador procurou a “Secretaria de Obras” da Prefeitura municipal de São Carlos para ver se ela possuía algum poste usado que pudesse ser cedido para uso na instalação elétrica do galpão. Infelizmente a prefeitura informou que não possuía sequer um poste para fornecer, assim o pesquisador fez uma pesquisa para compra e transporte do poste até o aterro sanitário. Depois de percorrer quase todos os estabelecimentos de São Carlos que vendiam poste, a informação cedida era sempre a mesma, de que vendiam o poste e entregavam no local, mas não o instalavam, sendo que o máximo que poderia fazer era colocar dentro do buraco, caso o buraco para o poste já estivesse pronto. Dessa forma, o pesquisador procurou novamente a Prefeitura de São Carlos para que abrisse um buraco para instalação do poste próximo ao galpão do experimento no aterro sanitário. A informação que a Prefeitura passou ao pesquisador foi de que até poderia enviar um funcionário até o local para se fazer o buraco, mas que para isso o pesquisador teria que fazer um pedido, e a Prefeitura poderia demorar até quinze dias para enviar um funcionário até o local para se cavar o buraco. Diante de tal situação, o próprio pesquisador conseguiu uma cavadeira emprestada com os funcionários do aterro e ele mesmo cavou o buraco e depois comprou um poste de madeira usado para que fosse colocado no local. Optou-se por um poste de madeira usado, por ser muito mais barato que o de concreto com o mesmo comprimento e porque mesmo usado possuía quinze anos de garantia, por ter recebido um tratamento anti-fungos e anti-insetos.

Em junho de 2005, depois de finalizado o prolongamento da rede elétrica o pesquisador procurou a EESC-USP para que fornecesse temporariamente um técnico em instalações elétricas para se fazer as instalações internas do galpão, com a montagem do quadro de disjuntores, instalação da iluminação e tomadas de força. Infelizmente, a informação que o pesquisador recebeu da EESC-USP, foi de que não seria possível fornecer um técnico para se fazer as instalações elétricas do galpão, pois o galpão ficava fora das dependências da Universidade e os técnicos só poderiam fazer este tipo de serviço dentro da Universidade. Como esse gasto não havia sido previsto, foi necessário recorrer aos

recursos de reserva técnica do Auxílio-Pesquisa Fapesp para se contratar um profissional externo para se fazer o serviço.

Depois de concluída a instalação elétrica do galpão, o pesquisador começou também a trazer para o local, todo o material necessário para se dar início à montagem do experimento. Porém, alguns dias depois de se iniciar o transporte do material, notou-se que o cadeado da porta do galpão havia sido forçado, possivelmente por uma tentativa sem sucesso de arrombamento. Depois disso, o pesquisador procurou as corretoras de seguro de São Carlos para que elas apresentassem orçamentos para o seguro do galpão e dos equipamentos em seu interior. Infelizmente nenhuma corretora apresentou orçamento pois todas diziam que não faziam esse tipo de seguro, porque o “risco de roubo era muito grande” e mesmo assim as seguradoras se negavam a responder o motivo por escrito, sendo que somente a seguradora do Banco Nossa Caixa acabou respondendo por escrito. Assim o pesquisador procurou inicialmente o Departamento Financeiro da EESC-USP para saber se a EESC-USP poderia providenciar algum tipo de segurança no local e recursos para seguro do experimento. O Departamento Financeiro disse que não poderia fazer nada, pois o experimento estava montado além dos limites da EESC-USP e nesse caso não dispunha-se de recursos para seguro desse tipo. Depois disso o pesquisador procurou a “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia”, da Prefeitura de São Carlos, que era a responsável pelo aterro sanitário. Na secretaria o Sr. Paulo Mancini, que entendeu a gravidade do problema elaborou um ofício com um pedido de reforço da segurança do local do experimento no aterro, com a possibilidade do vigia ir pelo menos uma vez por dia, verificar se não havia nenhum problema no local do experimento. Infelizmente o Secretário Municipal em exercício na época sequer se manifestou a respeito. Assim, decidiu-se por reforçar a segurança do galpão, pois essa era a única opção que se restava para garantir a segurança da pesquisa. Dessa forma o pesquisador contratou um serralheiro, que reforçou a porta de aço, instalou mais duas fechaduras e mais dois suportes para cadeado na porta. Instalaram-se também grades de aço por dentro das janelas, além das grades externas e soldou-se mais um suporte de cadeado na porta do compressor. Além disso, foi também instalado um sistema de alarmes dentro do galpão, com uma sirene externa, que quando acionada, poderia ser ouvida na guarita, próxima à entrada do aterro, onde ficavam os vigias. Para reforço da segurança do local foram utilizados recursos de reserva técnica do Auxílio-Pesquisa Fapesp, que já dispunha de poucos recursos, visto que parte desses recursos também foi utilizada na construção do próprio galpão do experimento. Infelizmente depois de um mês durante o primeiro temporal, o sistema de alarmes queimou completamente e a garantia do equipamento não cobria esse tipo de dano e como os recursos já eram escassos decidiu-se por não substituir o sistema de alarmes.

Em julho de 2005 já com a maior parte dos materiais e equipamentos no galpão deu-se início às instalações hidráulicas das bombas e reatores. Como a EESC-USP também não podia fornecer um técnico para auxiliar o pesquisador na montagem hidráulica do experimento, toda a montagem teve que ser realizada pelo próprio pesquisador, uma vez que os recursos da pesquisa já eram escassos e

impossibilitavam a contratação de um profissional para execução desse serviço. Junto com as instalações hidráulicas internas do galpão o pesquisador também recuperou a tubulação que levava água da caixa próxima à guarita do aterro até o galpão do experimento. Ao total foram feitas cerca de 20 novas emendas na mangueira, que possuía emendas estouradas, devido ao ressecamento por estarem expostas ao sol, ou cortadas por foice pelos funcionários do aterro quando limpavam a cerca ou ainda cortadas pelos funcionários da CPFL que utilizaram a água da mangueira para fazerem o concreto da concretagem da base dos postes.

Ainda no meio do mês de julho o pesquisador procurou a oficina mecânica da EESC-USP para se confeccionar as turbinas de PVC e os suportes em aço inox do sistema de agitação dos reatores. Porém somente em agosto a oficina mecânica passou para o pesquisador a relação dos materiais que o pesquisador imediatamente providenciou e deixou à disposição da oficina, que agendou a confecção das turbinas para entrega dentro do prazo de quinze dias. Depois de quinze dias, o pesquisador voltou à oficina e foi comunicado pelo chefe da oficina que a confecção das turbinas foi adiada, pois surgiram outros projetos na oficina que eram prioridade para eles. Assim, o pesquisador compareceu quase que semanalmente na oficina mecânica da EESC-USP para ver se as turbinas estavam prontas e sempre havia uma desculpa, tal como algum imprevisto, alguma prioridade ou “excesso” de serviço. Somente no final do mês de setembro de 2005 a oficina mecânica da EESC-USP preparou os componentes das quatro turbinas, que foram entregues desmontadas para o pesquisador. Os funcionários da oficina alegaram que por estarem “sobrecarregados” de serviço, não puderam fazer a montagem dos componentes. A montagem das turbinas acabou sendo feita pelo próprio pesquisador, no galpão do experimento no aterro sanitário, que teve algumas dificuldades por não possuir as ferramentas apropriadas.

Desde julho de 2005 notou-se que a energia apresentava muita oscilação no galpão do experimento. Às vezes ocorriam quedas de tensão e interrupção do fornecimento de energia. O pesquisador procurou se informar sobre o assunto na CPFL, que disse que em pontos finais de redes de energia esses problemas realmente ocorrem com frequência. Segundo os funcionários do aterro as constantes interrupções no fornecimento de energia ocorriam devido aos frequentes acidentes com urubus que passavam voando entre os fios da rede, que ao se chocarem contra a rede fechavam o circuito entre os fios, desarmando os elementos de segurança da rede.

Em setembro de 2005 o pesquisador finalizou as instalações hidráulicas e foi possível se fazer os primeiros testes hidráulicos dos equipamentos, que foram inicialmente realizados com água limpa. O teste hidráulico mostrou que a montagem possuía uma série de pequenos problemas e vazamentos, que foram sendo eliminados aos poucos, porém as bombas de enchimento dos reatores anaeróbios estavam se aquecendo demais. Para verificação das bombas o pesquisador chamou um técnico que verificou que a corrente elétrica das bombas era o dobro da corrente nominal e que certamente as bombas deveriam estar trabalhando forçadas.

Como em setembro de 2005 o sistema já estava praticamente todo montado o pesquisador procurou a empresa que faria a automação do sistema e explicou para eles os problemas que ocorriam com o fornecimento de energia. Eles informaram que em pontos localizados em fim de rede elétrica, realmente ocorrem oscilações, mas não com tanta intensidade como estava ocorrendo nas instalações. Foram feitas medidas de tensão e foi comprovado que se tratava realmente de um problema. Assim eles decidiram iniciar a montagem da automação somente depois que fosse identificado o problema da rede elétrica, pois o equipamento para controle do sistema era bastante sensível às oscilações da rede.

O pesquisador procurou novamente a CPFL, que fez várias inspeções na linha concluindo que a rede estava aparentemente normal. O pesquisador também levou um técnico eletricitista ao local que também não conseguiu encontrar o problema, que acabou se estendendo por mais um mês.

Em outubro de 2005 foi localizado o problema na rede elétrica que provocava as constantes interrupções no fornecimento de energia. Verificou-se que, em um ponto a rede, existia um pára-raios em curto com a rede, o que cortava o fornecimento de energia no ramal final da linha. Assim verificou-se que o problema com os urubus, apesar de existir, não era tão grande quanto se imaginava apesar de ser freqüente.

Ainda em outubro o pesquisador confeccionou a linha de ar que alimentaria os reatores aeróbios e também acionaria a abertura das válvulas pneumáticas. Optou-se por fazer a linha de ar com mangueiras de borracha devido à flexibilidade deste material e facilidade de manipulação e manutenção. Depois de pronta, inicialmente, a rede de ar também apresentou muitos vazamentos que ocorriam devido ao tipo de espigão utilizados na junção das mangueiras. Esses espigões danificavam a mangueira quando ela era travada com as braçadeiras metálicas. Depois de substituídos os espigões por outros mais justos e depois da utilização de veda-rosca entre o espigão e a mangueira, os vazamentos da rede foram eliminados.

Em novembro verificou-se que o aquecimento das bombas de enchimento dos reatores anaeróbios ocorria devido ao uso de válvulas de retenção de 1" e tubos de PVC também de 1" na sucção, antes das bombas. Essas válvulas foram instaladas com a finalidade de proteger as bombas, não deixando que os líquidos voltassem podendo eventualmente deixar as bombas vazias. Utilizaram-se válvulas de 1", pois foi o maior diâmetro no qual se encontrou válvulas de PVC em São Carlos. Para diâmetros maiores encontravam-se somente válvulas de latão, mas como se queria analisar metais no efluente tratado, procurou-se evitar ao máximo a utilização de peças metálicas na montagem.

A solução para esse problema foi a utilização de mangotes de 1,5" na sucção das bombas, ao invés de tubos de PVC de 1", para se evitar o uso de conexões com grande perda de carga e ainda elevou-se o nível do reservatório externo, com a finalidade de se manter as bombas afogadas, assim sem risco de esvaziamento e ainda eliminando a necessidade de válvulas de retenção. A Figura D.3.1 apresenta a montagem antes e depois das mudanças.

Figura D.3.1: Reservatório de lixiviados, (a) Antes das mudanças e (b) Depois das mudanças.

Em dezembro de 2005, após se fazer diversos testes hidráulicos, descobriu-se que os tanques de fibra apresentavam vazamentos após ficarem cheios d'água por vários dias. Infelizmente não foi possível identificar o problema antes, pois nos testes preliminares ao deixar os tanques cheios d'água por algumas horas eles não apresentavam vazamentos. O pesquisador tentou entrar em contato com o fabricante do tanque, mas foi em vão. Inicialmente o vendedor disse que iria solucionar o problema, mas depois, simplesmente não atendia mais aos telefonemas do pesquisador. Infelizmente a falta de recursos fez com que se optasse pela compra do tanque de fibra mais barato, que certamente não era o melhor. O tanque, fabricado pela “Comercial Zambom”, foi comercializado através da “DAK. Com. Equip. Laboratório Ltda” e vendido por intermédio do “Sr. Divanil Alfredo Kanebley” que não assumiu os problemas e que por fim, acabou mostrando que agia de má fé. Como não foi possível a solução do problema através do vendedor, que foi totalmente omissivo, o próprio pesquisador acabou fazendo os reparos necessários no tanque de fibra para evitar maiores problemas. Os reparos foram feitos inicialmente com massa plástica e depois com resina epóxi (“Sikadur 32”), que se mostrou mais eficiente e estanque que a massa plástica. A Figura D.3.2 apresenta um dos tanques apresentando mais um vazamento.

Durante a montagem dos reatores verificou-se que o cesto de inox apresentava-se bastante frágil, pois os pontos de solda haviam sido feitos em tela-sobre-tela, sem nenhum reforço adicional. Verificou-se que, com a movimentação do cesto dentro do galpão, vários desses pontos de solda haviam se rompido, tornando duvidosa a resistência estrutural do cesto dentro do reator, assim decidiu-se por fazer um reforço estrutural e um travamento do cesto para evitar que ele viesse a se romper durante a realização do experimento. Infelizmente o cesto de aço inox foi vendido pela mesma pessoa que vendeu os tanques de fibra e novamente não foi possível o contato com o vendedor para o reforço do cesto.

Em dezembro de 2005 também ocorreram vários problemas com o acúmulo de águas de chuvas no local do experimento. Como a Prefeitura Municipal teve que construir um acesso elevado

para que um caminhão tanque pudesse coletar lixiviado nas lagoas para se transportar até a estação de tratamento de esgotos de Araraquara em regime de urgência, não fizeram uma galeria para escoamento da água nas imediações do galpão. Por várias vezes a área ficou completamente alagada e em uma delas, o galpão só não foi invadido pela água por estar aproximadamente um centímetro mais alto que o nível máximo da água, mas a água acabou invadindo o compartimento do compressor como é apresentado na Figura D.3.3 (a). A Figura D.3.3 (b) apresenta a passagem da água que só foi executada depois que o galpão do experimento fosse quase inundado.

Figura D.3.2: Um dos tanques de fibra, apresentando mais um vazamento.

(a)

(b)

Figura D.3.3: (a) Marcas do alagamento no compartimento do compressor e (b) Passagem para água executada somente depois dos alagamentos.

Ao mesmo tempo em que um caminhão tanque retirava lixiviados das lagoas para levar à estação de tratamento de esgotos de Araraquara, um trator com carreta também coletava lixiviados da lagoa 2 para se recircular sobre o aterro. Para evitar um acidente com o galpão do experimento o pesquisador teve que cravar alguns obstáculos (pequenos postes) de madeira a uma distância de

aproximadamente um metro do galpão do experimento, pois o tratorista que fazia a recirculação de lixiviados passava a distâncias mínimas de um dos cantos do galpão, tendo até passado sobre a calçada que contorna o galpão, que possui menos de meio metro de largura.

Em janeiro de 2006 foi iniciada a instalação dos equipamentos para automação do sistema de tratamento de lixiviados no galpão do experimento. No início de fevereiro de 2006 a instalação foi finalizada e realizaram-se novos testes no sistema utilizando-se somente água limpa e decidiu-se instalar controladores de níveis para se proteger as bombas, caso viesse a faltar água em algum dos reservatórios, ou evitar o transbordamento dos reatores. Mesmo assim, todos os reatores e todos os reservatórios possuíam extravasores como medida de prevenção caso o sistema de controle de níveis máximos viessem a falhar.

Em fevereiro foi necessário a realização de um serviço de torneamento mecânico no suporte dos eixos dos agitadores, pois os encaixes dos eixos estavam muito justos e estavam emperrando as hastes o que dificultava a abertura e fechamento das tampas do reatores, que eram atravessadas pelas hastes dos sistemas de agitação.

No final do mês de fevereiro contratou-se a empresa “Catóia”, especializada em limpeza de fossas, para o transporte do lodo do abatedouro de aves de Tietê-SP até o aterro de São Carlos-SP. Uma parte do lodo foi colocada direto no reator que receberia o lodo granular, o ASBR, e uma outra parte foi acondicionada em tambores de 200 L e uma caixa d’água de 1.000 L, para depois ser triturado e misturado às espumas, que serviriam de recheio para o outro reator, o ASBBR.

Na primeira semana de março de 2006 inoculou-se o ASBBR, triturando-se o lodo do abatedouro de aves e misturando-o às espumas que formariam o leito fixo do reator dentro do cesto de aço inox.

Depois de inoculado, o reator foi mantido cheio de água para conservação da biomassa. Porém, depois de um dia o fundo do reator se deformou, fazendo com que se soltasse uma de suas conexões. O processo para substituição dessa conexão foi bem trabalhoso, pois essa conexão havia sido colada com massa plástica sobre a fibra de vidro, e como o reator estava com o cesto cheio de espuma úmida e inoculada, não era possível se secar o local para colar uma nova flange. Para conseguir secar o local para colar o novo flange foi necessário inclinar o tanque de fibra utilizando-se caibros de madeira como alavancas. Assim o reator foi drenado através de uma outra abertura inferior enquanto se colava uma nova conexão, que desta vez foi colada com resina epóxi. Pra prevenir outros acidentes, os fundos dos dois reatores foram completamente calçados com tábuas de madeira e as conexões foram reforçadas com resina epóxi. A Figura D.3.4 (a) apresenta o flange que se soltou e a sujeira provocada pelo vazamento do lodo. A Figura D.3.4 (b) apresenta os flanges depois de receberem um reforço com resina epóxi “Sikadur 32”.

Figura D.3.4: (a) Flange que se soltou do ASBBR e (b) Flanges reforçadas com resina epóxi.

Depois de reforçados os fundos dos dois reatores, no final desta mesma semana um caminhão da empresa que opera o aterro, ao fazer uma manobra, não viu e derrubou o poste do medidor elétrico que leva energia até o experimento. A empresa demorou cerca de dez dias para substituir o poste e refazer a ligação elétrica. A Figura D.3.5 (a) apresenta o poste derrubado.

Enquanto se esperava a substituição do poste de luz, ao se fazer a ligação da tubulação que levaria o lixiviado da caixa de passagem até o reservatório em frente ao galpão do experimento, notou-se que o tubo que havia sido enterrado para essa finalidade em junho de 2004 estava completamente entupido com areia. Certamente este entupimento ocorreu durante uma tentativa de os funcionários do aterro drenarem a caixa de passagem, uma vez que, uma outra tubulação que ligava as caixas de passagem do aterro também haviam entupido. No final os funcionários não tamparam a entrada do tubo e a deixaram em um local onde corre água de chuva, que carregou areia para o seu interior. A Figura D.3.5 (b) apresenta um trecho do tubo escavado com a sua secção completamente cheia de areia.

A substituição desse tubo foi bastante burocrática e somente depois de quinze dias, a contar do pedido, que a Prefeitura, através do vereador “Talarico” autorizou a entrada de uma máquina retro-escavadeira para abertura da vala. O maior problema, segundo a Prefeitura, é que o tubo passa por debaixo de uma passagem de caminhões que transportavam o lixiviado, o que poderia trazer problemas à operação do aterro e ao transporte dos lixiviados durante a abertura da vala. Portanto, assim que a Prefeitura autorizou, o pesquisador contratou a empresa de terraplenagem “Interpav” para executar a abertura e o fechamento da vala, com o novo tubo em seu interior. A Figura 4.3.4 apresenta a abertura da vala e a colocação do tubo em seu interior.

Para se prevenir novos entupimentos o pesquisador construiu uma nova caixa interligada à caixa de passagem que havia sido construída anteriormente em junho de 2004. No interior dessa caixa foi colocada uma peneira de plástico para segurar materiais grosseiros e também foi deixada uma

pequena depressão para deposição de areia e outros sedimentos. A Figura 4.3.1 apresenta essa nova caixa.

Figura D.3.5: (a) Poste com o medidor de energia do galpão do experimento derrubado por acidente, (b) Mangueira de escoamento de lixiviados entupida com areia.

Depois de construída a nova caixa de passagem e de se fazer a conexão com a nova mangueira verificou-se que o lixiviado não vinha por gravidade para o reservatório de 2.000 L situado em frente ao galpão do experimento. O problema ocorreu porque a diferença de nível disponível já era pequena e como o reservatório em frente ao galpão teve que ser elevado para se eliminar as válvulas de retenção, perdeu-se todo desnível disponível para que o lixiviado viesse por gravidade até o reservatório. A solução para o problema foi a instalação de um outro reservatório semi-enterrado para que o lixiviado viesse por gravidade até ele. Desse novo reservatório, o lixiviado era bombeado para o outro, que ficou semi-elevado para se manter as bombas afogadas. Todas essas instalações foram feitas pelo próprio pesquisador, pois devido à urgência era impossível conseguir pedreiros e eletricista para executarem as modificações em pouco tempo, sem contar que era bastante difícil conseguir um pedreiro que se dispunha a trabalhar na área do aterro, devido à distância em relação à cidade e a necessidade de locomoção. A Figura D.3.1 (b) apresenta as novas instalações com os dois reservatórios interligados.

Como medida de precaução o pesquisador também limpou a caixa de passagem de onde se coleta o lixiviado para o experimento. Dessa caixa foram retiradas muitas pedras, pedaços de tijolos e também cerca de 60 L de areia e lodo que estavam depositados no fundo da caixa.

Para melhorar a segurança da área do experimento, o pesquisador também capinou todo o seu entorno, pois com o mato alto era difícil e perigoso fazer reparos nas tubulações externas, sem contar que muitas aranhas e até ratos já estavam invadindo o galpão do experimento.

Assim, enquanto o pesquisador resolvia estes outros problemas, a Vega Engenharia Ambiental, providenciou a substituição do poste de luz e a religação da energia até o galpão.

Em abril de 2006, depois de restabelecida a energia elétrica no galpão do experimento, um eletricista foi chamado para fazer uma inspeção das instalações elétricas antes de se religar a automação do sistema. Durante a fase de testes da linha de ar do experimento, notou-se também que o compressor não estava se religando automaticamente, assim, o eletricista também resolveu este problema ao substituir um dos componentes da chave magnética, que protegia o motor do compressor.

No dia primeiro de maio de 2006 finalmente foi iniciada a operação do sistema. Inicialmente foram colocados em operação somente os dois reatores anaeróbios, o reator com lodo granulado e o outro com leito de espuma confinada dentro do cesto de aço inox. No dia seguinte já começaram as análises de laboratório, com a caracterização do lixiviado e a análise dos efluentes da primeira batelada.

Logo de início já foi possível notar que o sistema não iria poder trabalhar totalmente automatizado, pois logo nas primeiras bateladas, as oscilações da rede elétrica queimaram alguns componentes da automação e os agitadores não paravam mesmo quando o sistema dizia que deveriam estar parados. Assim, o sistema continuou seguindo em funcionamento através de controle manual dos comandos, ou seja, o próprio pesquisador, nos horários estabelecidos executava os comandos no computador, para abertura e fechamento de válvulas, ligamento e desligamento de bombas e agitadores, para se ter certeza de que os comandos estavam sendo corretamente executados.

A empresa que construiu o sistema agiu prontamente fazendo os reparos mais urgentes, mas para se reparar totalmente o sistema teria que se paralisar o experimento. Assim, optou-se por continuar operando manualmente o controle do sistema para não apagar o experimento e ter que recomençar a operação em uma data posterior.

Um outro problema que também surgiu após 15 dias do início do experimento foi o vazamento de óleo ou graxa dos motorreductores dos agitadores. Acredita-se que esse vazamento ocorreu devido a uma pequena excentricidade no eixo do agitador, que acabava forçando os motorreductores.

Verificou-se também que a agitação de 120 rpm escolhida era muito alta, o que ocasionou o rompimento de parte dos grânulos de um dos reatores e certa “lavagem” da biomassa na espuma do outro reator.

No dia 30 de maio, um dos motorreductores travou e o seu motor queimou. Assim, como o sistema de automação precisava também de reparos e os reatores não estavam apresentando resultados satisfatórios, decidiu-se paralisar o experimento para se fazer os devidos reparos e depois reiniciar, com uma reinoculação de biomassa caso fosse necessário.

Em junho e julho de 2006 o pesquisador praticamente desmontou toda parte mecânica do sistema de agitação para se fazer todas as correções necessárias. Os motores com seus respectivos motorreductores foram encaminhados para conserto. Aproveitou-se também para substituir componentes queimados do sistema de automação e começou-se a pensar em possíveis modificações no sistema de agitação para que os motorreductores não fossem danificados novamente.

A solução para o sistema de agitação foi a instalação de dois inversores de frequência para controle da velocidade de agitação dos motores. Mas como os motores eram auto-refrigerados por uma ventoinha também ligada ao seu eixo de rotação na parte traseira do motor, não se poderia reduzir demais a rotação dos motores, pois os motores poderiam queimar por sobreaquecimento. Assim a solução encontrada foi a de instalar também um sistema composto por correia e polias, que também reduziria a rotação da agitação do sistema sem comprometer o motor. Este sistema além de reduzir a velocidade de rotação também acabou com o problema de excentricidade dos eixos de agitação em relação aos eixos dos motores, que resultara anteriormente na quebra do motorreductor por excesso de vibração. A Figura 4.4.9 apresenta a conexão entre o motor com motorreductor e o eixo de agitação antes em (a) e depois das modificações em (b). Inicialmente instalaram-se mancais para se fixar e sustentar os eixos com as turbinas e nesses eixos fixaram-se polias de 200 mm de diâmetro. Assim o motor com o motorreductor foi deslocado para o lado e não mais instalado no centro do sistema, com um eixo menor onde se fixou uma polia de 100 mm de diâmetro. Dessa forma, essa montagem era responsável por metade da redução da rotação do sistema de agitação. Como não existiam mais recursos para contratação de mão de obra, todas as modificações no sistema de agitação foram feitas pelo próprio pesquisador, com exceção da instalação dos dois inversores de frequência que foram instalados pela empresa que fez a automação do sistema e a abertura dos furos do centro das polias, que foram executados por um torneiro mecânico.

Um outro problema também solucionado pelo pesquisador nesse intervalo de tempo foi o da interligação dos extravasores diretamente com a saída de esgotos do galpão do experimento. Anteriormente a saída dos extravasores descartava os líquidos no ralo dentro do galpão do experimento, mas como as vazões eram muito altas devido à altura do reator e ao efeito de sifonamento, os ralos não davam conta da vazão e transbordavam inundando todo o piso do galpão do experimento com lixiviados. A Figura D.3.6 apresenta a ligação entre a saída dos extravasores e o esgoto do galpão, antes e depois das modificações.

(a)

(b)

Figura D.3.6: (a) Ligação entre a saída dos extravasores e o esgoto do galpão antes das modificações e, (b) Ligação depois das modificações.

Uma outra mudança foi com relação ao local de fixação dos eletrodos de controle de nível dos reatores. Antes o eletrodo de nível mínimo estava ligado internamente, amarrado ao sistema de aeração no fundo dos reatores. Para fixação dos novos eletrodos foram feitos furos no tanque de fibra e coladas flanges pela face externa em posições correspondentes ao nível mínimo de cada tanque, como apresentado na Figura 4.4.7 (a). Os eletrodos reguladores do nível máximo estavam antes fixados nas tampas dos reatores. Esses eletrodos foram mudados para a tubulação do extravasor, como apresentado na Figura 4.4.7 (b).

Como forma de prevenir acidentes, como o que ocorreu na partida inicial do experimento em que um flange se descolou, todos os flanges dos tanques de fibra foram reforçados com resina epóxi (“Sikadur 32”) como apresentado na Figura D.3.7.

No final do mês de julho de 2006, paralelamente às modificações e conserto dos reatores, foi realizado um teste preliminar utilizando-se lodo do aviário, lixiviado diluído e etanol. Este teste que produziu resultados animadores foi denominado de Teste 1 e foi realizado em garrafas PET de 2 L.

Com base nos resultados do Teste 1, no início de agosto de 2006 planejou-se um experimento com um teste bem mais abrangente, denominado Teste 2, onde além da diluição e da adição de etanol, foram verificados também o efeito da adição de fontes de fósforo, o efeito da utilização de meio suporte e do tipo de inóculo utilizado.

Figura D.3.7: (a) e (b) Colas dos flanges reforçadas com resina epóxi.

Por um golpe de muita sorte, na época em que foram realizados estes testes preliminares à segunda etapa de operação dos reatores, uma das lagoas de lixiviados do aterro sanitário, que não possuía impermeabilização, teve que ser esvaziada, para que se desse início às obras de impermeabilização. Dessa forma o pesquisador teve acesso ao lodo ou à lama sedimentada no fundo da lagoa. Essa lama foi também testada como um possível lodo de inóculo para os reatores e no Teste 2 apresentou-se extremamente viável, principalmente pelo fato de um dos reatores do experimento apresentar leito de espuma, que era também uma das únicas formas viáveis de se fixar aquele inóculo

no interior de um reator, pois como se tratava de uma lama muito fina e que também continha muita argila, o inóculo praticamente se “dissolvia” no lixiviado a apresentava velocidade de sedimentação muito lenta, o que favorecia o seu descarte junto com o efluente tratado do reator. A Figura 4.7.1.1 apresenta a lagoa quase vazia de onde se extraiu o inóculo e a Figura 4.7.1.2 (b) apresenta o aspecto do inóculo sendo peneirado para eliminação dos detritos. Como os resultados do Teste 2 mostraram a extrema viabilidade deste lodo, decidiu-se por utilizá-lo como inóculo do ASBBR (R3) ao se reiniciar a sua operação na segunda etapa deste experimento.

Com o final dos ajustes e modificações, na metade do mês de agosto de 2006, os sistemas foram testados e limpos para se dar partida novamente, tomando-se por base os resultados preliminares do experimento realizado em escala menor (Teste 2).

Pelo experimento em escala reduzida, chegou-se à conclusão de que com relação ao lodo de inóculo, os dois melhores lodos eram o lodo granular do aviário armazenado, que ainda estava em condições viáveis e o lodo do fundo da lagoa de lixiviados do aterro de São Carlos que havia sido esvaziada. Assim, na metade do mês de agosto de 2006 os dois reatores anaeróbios foram colocados em operação novamente, sendo que o ASBR (R1) recebeu novamente lodo granular proveniente do abatedouro de aves e o ASBBR (R3) recebeu o lodo proveniente do fundo da lagoa de lixiviados.

Nesta segunda etapa ambos os reatores começaram sua operação recebendo lixiviados diluídos em 50% e adição de etanol como suplemento para alimentação e crescimento da biomassa. No início de setembro foi feita uma nova coleta de lodo no fundo da lagoa de lixiviados, para se complementar o volume de lodo que já havia sido adicionado em R3.

Em setembro procedeu-se normalmente a operação dos reatores anaeróbios, porém abandonando parte da operação automatizada, pois alguns canais de saída do sistema não respondiam mais aos comandos do computador.

Em outubro de 2006 foram colocados em operação os dois reatores aeróbios em bateladas sequências, o R2, que trataria os efluentes de R1 e o R4, que trataria os efluentes de R3.

No meio do mês de novembro o compressor que enviava ar para os reatores aeróbios R2 e R4 parou de funcionar. Verificou-se que o problema era da chave magnética que protegia o motor, que havia queimado. Depois de detectado o problema substituiu-se a chave magnética, mas a nova chave queimou novamente no período de uma semana, assim decidiu-se por paralisar momentaneamente a operação desses dois reatores, até que se fizesse uma análise mais precisa, do que estaria provocando esses problemas.

No fim de novembro a automação do sistema deixou de funcionar de vez, devido às oscilações da rede, e assim decidiu-se operar o sistema manualmente. Como os tempos de reação eram de uma semana, a operação manual não seria tão problemática, quanto seriam caso os tempos de reação fossem de um dia ou menos.

Um outro problema observado durante esta etapa de operação foi com relação aos controladores de nível por condutividade. Como os lixiviados de aterros sanitários possuem uma

concentração bastante elevada de sais, observou-se que, mesmo com os tanques vazios, a umidade da parede dos tanques fecha o contato entre os eletrodos e o sistema indicava que os tanques estavam cheios e não aceitava acionar as bombas de enchimento. Assim, esse sistema também teve que ser desligado e o controle de nível passou a ser visual, através de referenciais fixos. Como os problemas com os eletrodos de controle de nível eram freqüentes e as tampas dos tanques não eram bem vedadas decidiu-se também continuar operando os reatores sem as tampas, ou seja, totalmente abertos ao ambiente, o que não trouxe nenhum prejuízo ao tratamento anaeróbio, a não ser por não ter sido possível a medida dos volumes e da composição dos gases dos reatores.

Em dezembro de 2006 voltou-se a ter problemas novamente com aves que causaram curto-circuito na rede elétrica. Neste último problema o experimento ficou sem energia por dois dias, devido aos danos causados por dois urubus sobre o poste do transformador. A Figura D.3.8 apresenta as aves ainda sobre o poste.

Figura D.3.8: (a) e (b) Urubus que causaram danos na rede e paralisação do experimento.

No dia 09 de janeiro de 2007 o reator R1 (ASBR) estourou durante a sua vigésima batelada, e o líquido e a biomassa se perderam pelo piso do galpão do experimento. Acredita-se que a vibração provocada pela agitação do líquido dentro do tanque possa ter provocado a fadiga da emenda das bordas da chapa de fibra que formava a parede para o reator. Essa fadiga fez com que a emenda se rompesse estourando o tanque de cima até embaixo. Acredita-se nessa hipótese, pois o outro reator que não estourou (ASBBR) possui um cesto de aço inox cheio de espuma em seu interior, o que possivelmente absorvia as vibrações do líquido antes de chegarem até a parede do tanque. A Figura D.3.9 apresenta o lodo espalhado pelo piso do galpão do experimento e a Figura D.3.10 apresenta alguns detalhes do tanque de fibra do reator R1, que se rompeu.

(a)

(b)

Figura D.3.9: (a) e (b) Lodo do ASBR espalhado pelo piso do galpão.

(a)

(b)

Figura D.3.10: (a) Vista lateral do tanque estourado e (b) Detalhe da parte interior.

Para se evitar que o mesmo acontecesse com o outro reator, no dia seguinte ele foi esvaziado e foram colocadas cinco cintas de aço ao redor do tanque de fibra. Foram utilizadas fitas de aço perfuradas devido à sua facilidade de instalação. Essas cintas foram travadas com parafusos e porcas que deram o aperto para deixarem as cintas bem justas. A Figura D.3.11 apresenta o ASBBR (R3) depois de ter sido reforçado com cintas de aço.

Depois do acidente foi possível recolher do piso do galpão somente cerca de 50 L de lodo granular do ASBR (R1). Como com esse volume não seria possível reiniciar a operação desse reator e como a adaptação de um novo lodo seria inviável, decidiu-se por desistir da operação desse reator e substituí-lo por um outro que apresentasse partida mais rápida. Assim decidiu-se que para se substituir a operação desse reator seria construído um filtro biológico de fluxo ascendente, que seria inoculado com um lodo misto, ou seja, uma mistura entre o lodo que foi recolhido de R1 e o lodo da lagoa de lixiviados, que no ASBBR (R3) estava apresentando resultados melhores.

Figura D.3.11: (a) ASBBR reforçado com cintas de aço e (b) Detalhe da cinta de aço.

Ainda em janeiro de 2007 foi chamado um técnico especializado em compressores, da empresa “JCJR Compressores”, até o local do experimento para se fazer os devidos ajustes na instalação do compressor e se colocar em operação o reator R4. O técnico verificou que a instalação estava toda correta e disse que o problema da queima das chaves magnéticas ocorria devido ao problema da queda de tensão no local do experimento, assim decidiu-se fazer uma ligação direta do motor do compressor, sem chaves magnéticas, o que segundo ele era uma prática normal.

Desse modo no final do mês de janeiro foi iniciada novamente a operação do reator aeróbio R4, que desta vez funcionou somente por uma semana, pois o motor também não agüentou a queda de tensão e queimou. Assim a operação do reator aeróbio R4 foi paralisada novamente até se chamar um outro técnico para verificar a rede elétrica e também para consertar o motor.

Durante o mês de fevereiro de 2007 o pesquisador comprou todos os materiais e confeccionou o filtro biológico que seria colocado em operação no lugar do ASBR (R1). A esse novo reator, chamou-se de R5 e sua operação foi iniciada no final do mês de fevereiro de 2007.

Um dos problemas das montagens de campo na zona rural é o crescimento do mato e do capim na época das chuvas. Frequentemente o próprio pesquisador mantinha limpa as proximidades do galpão do experimento capinando o mato, mas devido às constantes chuvas do início de 2007 tal prática estava muito dificultada e nem a Prefeitura Municipal e nem a Vega Engenharia Ambiental se preocupavam com a limpeza do local. No final de fevereiro, quando o pesquisador terminou de montar o filtro biológico R5 ao lado do galpão ao remover um material que estava sobre a calçada do galpão, encontrou uma cobra coral embaixo do material. Para se prevenir e garantir que a cobra não voltaria ao galpão o pesquisador matou a cobra com uma paulada. A Figura D.3.12 (a) apresenta a vegetação alta ao redor do galpão do experimento e a Figura D.3.12 (b) apresenta a cobra que o pesquisador matou ao lado de sua montagem.

Figura D.3.12: (a) Vegetação alta ao redor do galpão do experimento, e (b) Cobra que o pesquisador matou ao lado de sua montagem.

O início da operação do novo reator (R5) apresentou alguns problemas com o entupimento da mangueira que alimenta o sistema, pois o lodo do filtro biológico, com resíduos de carvão mineral, que formavam o leito dos reatores eram mais densos que o líquido, às vezes se sedimentam entupindo a entrada do sistema. Esse problema persistiu por alguns meses até que todos os detritos fossem descartados, mas isso atrapalhava em muito a regulação da vazão a ser bombeada através de uma bomba tipo diafragma.

No início do mês de março de 2007 decidiu-se dar por finalizada a etapa de adaptação do ASBBR (R3). Com o fim dessa etapa optou-se por não se adicionar mais o etanol ao lixiviado como complemento do substrato, mesmo porque no final de fevereiro as características do lixiviados do aterro de São Carlos haviam mudado devido às chuvas intensas que ocorreram em todo mês de janeiro e início de fevereiro.

Com as mudanças das características do lixiviado, ele acabou tornando-se também menos recalcitrante e, portanto mais fácil de ser tratado biologicamente.

Com o ASBBR tratando o lixiviado puro, iniciou-se uma série de perfis temporais de concentração para se avaliar a biodegradabilidade anaeróbia do lixiviado e para posteriormente também se obter parâmetros cinéticos, através de ajustes de modelos matemáticos.

O que naquele momento aparecia como um problema na operação do aterro sanitário, que teve que canalizar os lixiviados da frente de aterramento até as caixas de passagem, passou a ser a comprovação de que o ASBBR (R3) estava completamente adaptado e era capaz de tratar lixiviados com elevadas cargas orgânicas. A Figura 4.8.1 (a) apresenta a frente de aterramento do aterro sanitário de São Carlos em março de 2007 e a Figura 4.8.1 (b) apresenta uma pequena lagoa que teve que ser construída sobre o aterro para conter o vazamento de lixiviados para os drenos de águas pluviais.

Dessa pequena lagoa os lixiviados eram conduzidos por dutos até as caixas de passagem que também alimentavam o experimento e conseqüentemente o ASBBR (R3).

No mês de abril de 2007, deu-se continuidade à realização dos perfis de concentração, e com base nos resultados desses perfis, otimizou-se o tempo de ciclo da batelada para cinco dias.

Neste mês também foram feitos reparos e adaptações para se colocar em operação novamente o reator aeróbio R4 para o pós-tratamento dos efluentes do ASBBR (R3).

Para se colocar em operação novamente o reator aeróbio (R4), foi necessário primeiro enrolar o motor do compressor que havia queimado anteriormente. A Figura D.3.13 apresenta o interior do motor que queimou por excesso de aquecimento. Para solução do problema de excesso de aquecimento foram tomadas duas medidas, sendo a primeira delas a alteração da polia da correia do motor por uma de menor diâmetro, para que o motor trabalhasse com ciclos maiores e, portanto, menos forçado, e a segunda medida foi a instalação de um ventilador na frente do motor que trabalharia permanentemente ligado para se resfriar o motor, como apresentado na Figura D.3.14 (a).

Figura D.3.13: Interior do motor do compressor que queimou por excesso de aquecimento

Como o motor do sistema de agitação de R3 também estava apresentando problemas de aquecimento, como medida preventiva, também foi instalado um ventilador que ficava permanentemente resfriando o motor, como apresentado na Figura D.3.14 (b).

No início de maio de 2007 iniciou-se novamente a adição de etanol como complementação do substrato para o ASBBR (R3), pois o lixiviado do aterro sanitário de São Carlos voltou a ser bastante recalcitrante. No início deste mês também se reiniciou a operação do reator R4, que fazia o pós-tratamento aeróbio dos efluentes do reator anaeróbio R3. Para isso decidiu-se fazer uma adaptação na saída de R3, para que uma parte de seus efluentes fosse descartada diretamente em R3, sem ter que passar pelo reservatório intermediário. Assim, optou-se também por operar esse reator com tempos de ciclo iguais aos de R3, ou seja, de cinco dias. Como inóculo para este reator utilizou-se um lodo misto

composto por lodo proveniente da lagoa de lixiviados e uma fração de lodo anaeróbio proveniente do abatedouro se aves.

Figura D.3.14: (a) Ventilador ligado de frente ao motor para resfriamento permanente, e (b) Ventilador ligado atrás do motor do sistema de agitação de R3 para resfriamento permanente.

Em junho deu-se continuidade à operação dos reatores R3, R4 e R5 e verificou-se que o sistema de aeração de R4 não era suficiente para manter suspensa toda a biomassa, formando-se assim uma zona morta de lodo sedimentado ao redor do difusor de ar que se situava no fundo no reator. Para tentar resolver esse problema, foi feita uma modificação no sistema de aeração, instalando-se mais um difusor virado para baixo, com a finalidade de colocar em suspensão o lodo que se sedimentava ao lado do difusor. A face do difusor inferior foi mantida a 5 cm do fundo do reator. Com essa mudança também se passou a bombear mais ar para o sistema, com a finalidade de se manter a biomassa suspensa.

No início do mês de julho depois que o ASBBR (R3) já havia se estabilizado novamente com a adição de etanol no início de cada batelada, foram feitas algumas adaptações com a finalidade de se poder fazer amostragem do líquido desse reator em horários programados, mesmo sem a presença do pesquisador no local. Para isso foi elaborado um mecanismo de coleta programada e automatizada de amostras. O mecanismo era composto por dois *timers* em conjunto com duas válvulas solenóide de máquinas de lavar roupas. Em horários programados, os *timers* ligavam as válvulas solenóide, que se abriam permitindo o escoamento da amostra para uma caixa de isopor que continha uma garrafa plástica cercada por gelo. Como os tubos do amostrador sempre possuíam inicialmente certo volume de líquido parado dentro deles, o primeiro *timer* se ligava um pouco antes do horário da coleta para se fazer o descarte deste volume morto e em seguida o outro *timer* acionava a outra válvula solenóide para se fazer a amostragem.

Depois de desenvolvido e testado o novo sistema de amostragem, iniciou-se a realização de perfis temporais de concentração em R3, ainda no início do mês de julho. Nos Perfis 11, 12 e 13 foi

avaliada a capacidade de acidificação e consumo dos ácidos voláteis gerados a partir da adição de etanol ao lixiviado, que no momento apresentava-se extremamente recalcitrante. No início de cada batelada eram adicionados 3,0 L de etanol.

Como em julho as temperaturas eram muito baixas, decidiu-se por aquecer o interior do galpão do experimento, a fim de se obter temperaturas próximas a 25 °C e dessa forma obter perfis parecidos com os perfis obtidos em março e abril. Para se aquecer o interior do galpão foi instalado no seu interior dois aquecedores a óleo de 1.500 W e um ventilador para circulação do ar. Para evitar que o galpão se aquecesse excessivamente, um dos aquecedores foi ligado a um termostato digital, que desligava o aquecedor quando a temperatura do galpão atingia o seu limite máximo. O único problema é que a porta do galpão possuía muitas aberturas, o que permitia a circulação de ar, com a fuga do ar quente de dentro do galpão. Para solução desse problema, o pesquisador mantinha todas as aberturas das janelas fechadas e forrou com lona preta a parte interior das portas de aço, reduzindo-se assim o fluxo de ar para dentro do galpão, podendo-se fazer um controle mais efetivo da temperatura, que mesmo assim ainda variava, porém, dentro de uma faixa mais estreita.

No final do mês de julho o motor do compressor que fornecia ar para o reator aeróbio R4 queimou novamente, possivelmente devido ao aumento da vazão de ar fornecida a R4 depois das mudanças realizadas no sistema de aeração. Como os resultados deste reator não foram satisfatórios durante as quinze bateladas de sua operação, decidiu-se por encerrar a sua operação depois que o motor do compressor queimou novamente.

Em agosto de 2007 continuou-se com a realização de testes e perfis temporais de concentração em R3 e também se realizou o primeiro perfil temporal de R5. A realização de perfis em R3 continuou até a metade do mês de outubro, onde foram finalizados os testes realizados em R3 e também a sua operação. A operação do filtro biológico R5 foi finalizada no início do mês de novembro de 2007 com a realização do seu segundo perfil de concentração. Os resultados obtidos com esse último reator ainda não eram os resultados que se pretendiam obter, justamente porque se acreditou que seu potencial poderia ser melhorado ainda mais, porém a observação dos prazos para finalização do doutorado não permitiam mais a realização de mais testes nesse reator, que também se apresentava bastante promissor.

No início de novembro novos problemas de inundação voltaram a ocorrer na região do galpão do experimento, porém não chegando a invadir o galpão. As Figuras D.3.15 e D.3.16 apresentam algumas imagens do alagamento na área do galpão do experimento, que por pouco também não atingiu o veículo do pesquisador.

(a)

(b)

Figura D.3.15: (a) e (b) Novos problemas com alagamento na região do galpão do experimento.

(a)

(b)

Figura D.3.16: (a) e (b) Novos problemas com alagamento na região do galpão do experimento.

APÊNDICE E

Descrição das metodologias de análises físico-químicas e exames microbiológicos das amostras.

E – Análises Físico-Químicas e Exames Microbiológicos das Amostras

A seguir são apresentadas as descrições e as modificações de cada análise, quando necessário, para se adaptarem aos lixiviados de aterros sanitários.

E.1 – pH

As medidas de pH foram feitas por potenciometria das amostras líquidas, utilizando-se um pH-metro. As medidas dos pH dos afluentes e dos efluentes dos reatores foram feitas no próprio galpão do aterro sanitário, onde existia um pH-metro da marca “Qualxtron” modelo 8010. Eventualmente algumas medidas eram confirmadas no Laboratório de Saneamento onde era utilizado um pH-metro da marca “Digimed” modelo DM-20.

E.2 – Temperatura

As medidas de temperatura das amostras líquidas eram feitas utilizando-se um termômetro de mercúrio da marca “Boeco” que era graduado de 1 em 1 °C, com precisão de ± 1 °C, porém ao se fazer as leituras o pesquisador interpolava entre as marcações, com a intenção de se melhorar a precisão das medidas.

Para medidas das temperaturas ambiente foram utilizados termômetros de mercúrio, com marcação de temperatura máxima e mínima. Um destes termômetros foi instalado dentro do galpão do experimento ao lado do ASBBR e o outro foi instalado fora do galpão do experimento, ao lado do filtro biológico, em uma posição onde não se pegava sol durante todo o dia. A Figura E.2.1 (a) apresenta o termômetro de máximo e mínimo utilizado.

Quando era necessário se fazer medidas de temperaturas por longos períodos, como para os perfis realizados no filtro biológico, utilizava-se um termômetro digital da marca “Minipa”, modelo MT-600, que além de medir, utilizando-se um termopar, também

Figura E.2.1: (a) Termômetro de mercúrio de máximo e mínimo, fixado em R5, e (b) Termômetro digital.

E.3 – Gases

Como não foi possível a vedação completa tanto do ASBR, quanto do ASBBR, desistiu-se de se fazer a medida dos volumes de gases gerados por esses reatores.

Com relação aos testes intermediários realizados em escala reduzida, as medidas dos volumes gerados de gás foram feitas através de comparação, entre os *headspaces* formados nas garrafas e uma escala, que foi confeccionada ao se encher com água uma outra garrafa semelhante, utilizando-se uma proveta.

As medidas dos volumes gerados de gás do filtro biológico (R5), quando possível, foram realizadas utilizando-se um “Mariot” de vidro com 3 L de capacidade. Um problema encontrado é que com o aumento da carga em R5, a geração de gás passou a superar o máximo que o “Mariot” conseguia medir, que ficava em torno de $13,65 \text{ L.h}^{-1}$.

Não foram realizadas medidas da composição dos gases gerados pelos reatores, porém foram feitos testes de queima em que verificou-se que realmente existia metano nos gases gerados pelos reatores.

A Figura E.3.1 (a) apresenta um teste de queima realizado com um dos reatores do Teste 4. A Figura E.3.1 (b) apresenta um teste de queima do gás que era coletado do filtro biológico, através de uma mangueira ligada à sua extremidade superior.

(a)

(b)

Figura E.3.1: (a) Teste de queima realizado em um dos reatores do Teste 4 e (b) Teste de queima realizado no gás gerado por R5.

E.4 – Alcalinidade Total (AT)

As medidas de alcalinidade total foram feitas em todas as amostras de todas as bateladas de R1, R3 e R4. Na realização do Teste 2 as medidas de alcalinidade foram realizadas aproximadamente a cada duas bateladas. E com relação a R5 as medidas foram realizadas semanalmente nos afluentes e efluentes.

Para determinação da alcalinidade total utilizava-se amostra filtrada em membrana de fibra de vidro com 47 mm de diâmetro e abertura dos poros de 2,0 μm .

Embora o *Standard Methods* não recomende, as determinações de alcalinidade de todas as amostras foram feitas com amostras diluídas em 1:10. A determinação em amostras sem diluição era praticamente inviável, devido ao tempo que se gastava e à formação de espuma que chegava a transbordar do béquer.

A determinação da alcalinidade total era feita por método titulométrico, titulando-se a amostra diluída com solução de H_2SO_4 aproximadamente 0,2 N, de seu pH inicial até pH igual a 4,30, utilizando-se uma bureta digital.

E.5 – Ácidos Voláteis Totais (AVT)

As medidas de AVT foram feitas em todas as amostras de todas as bateladas de R1, R3 e R4. Na realização do Teste 2 as medidas de AVT foram realizadas aproximadamente a cada duas bateladas e no Teste 3, em todas as bateladas somente no afluente. E com relação a R5 as medidas foram realizadas semanalmente nos afluentes e efluentes.

Para determinação dos AVT utilizava-se a amostra filtrada em membrana de fibra de vidro com 47 mm de diâmetro e abertura dos poros de 2,0 μm .

As medidas de AVT foram feitas de acordo com a metodologia de DiLallo e Albertson (1961), com amostras diluídas em 1:10 ou 1:20 quando necessário.

A determinação dos AVT era feita por método titulométrico, titulando-se a amostra diluída com solução de H_2SO_4 aproximadamente 0,2 N, de seu pH inicial até pH igual a 3,30 ou menos, utilizando-se uma bureta digital. Em seguida as amostras eram colocadas sobre uma chapa aquecedora para serem fervidas por aproximadamente 3 minutos e depois eram retiradas para se resfriarem até a temperatura ambiente. Depois de voltarem à temperatura ambiente as amostras eram novamente tituladas, porém com solução de NaOH aproximadamente 0,020 N, até pH igual a 4,0. Em seguida zerava-se a bureta e titulava-se com a mesma solução de pH 4,0 até pH igual a 7,0. Com a medida do volume de NaOH gasto para se titular de pH 4,0 até pH 7,0 calculava-se a concentração de AVT, que poderia ser corrigida ou não, através de um coeficiente sugerido por DiLallo e Albertson (1961).

Porém, neste trabalho decidiu-se por verificar a validade do valor do coeficiente de correção sugerido por DiLallo e Albertson (1961) através de uma análise dos valores obtidos nos perfis temporais de concentração de R3.

As amostras dos perfis 11 a 26 realizados em R3 também foram analisadas através de cromatografia gasosa de *headspace* utilizando-se um cromatógrafo da marca “Shimadzu” modelo GC 2010, com injetor automático AOC 5.000.

Para cromatografia gasosa eram utilizados 2,0 mL de amostra que recebiam a adição de cerca de 1,0 g de NaCl, para que a solução ficasse super-saturada com sal e em seguida a mistura era acidificada com 200 μL de H_2SO_4 2,0 N para que o pH ficasse inferior a 2. Em seguida o frasco vedado com amostra era aquecido a 100 °C por 13 minutos em um forno do amostrador automático e depois uma amostra do *headspace* era coletada e injetada automaticamente no cromatógrafo.

E.6 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)

As medidas de DQO foram feitas em todas as amostras de todas as bateladas de R1, R3 e R4. Na realização do Teste 2 as medidas de DQO foram realizadas aproximadamente a cada duas bateladas. E com relação a R5 as medidas foram realizadas semanalmente nos afluentes e efluentes.

Para determinação da DQO utilizavam-se amostras brutas e filtradas em membrana de fibra de vidro com 47 mm de diâmetro e abertura dos poros de 2,0 μm .

Como as curvas de calibração possuíam faixa de leitura de 20 a 800 mg.L^{-1} , as amostras eram normalmente diluídas em 1:10 e eventualmente em 1:20 ou 1:40 quando necessário, antes de serem digeridas.

As medidas de DQO eram realizadas por método colorimétrico, que envolvia digestão das amostras em uma solução de dicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrados, por 120 minutos a 150 °C, e que posteriormente eram lidas em um espectrofotômetro marca “Hach” modelo DR-2.000.

E.7 – Carbono Orgânico Total (COT)

As medidas de COT foram feitas em somente algumas amostras de perfis de R3 e R5.

Para determinação de COT utilizavam-se amostras filtradas em membrana de fibra de vidro com 47 mm de diâmetro e abertura dos poros de 2,0 μm , diluídas em 1:10 ou 1:20 e acidificadas até pH igual a 2,0, seguido de aeração com ar sintético para eliminação de todo CO_2 presente na forma de bicarbonato.

As medidas de COT eram realizadas por um analisador de carbono orgânico total da marca “Shimadzu”, modelo 5.000 A, que queimava as amostras líquidas para leitura do carbono.

E.8 – Sólidos

As medidas de sólidos foram feitas em todas as amostras de todas as bateladas de R1, R3 e R4. E com relação a R5 as medidas foram realizadas semanalmente nos afluentes e efluentes.

Para determinação de sólidos totais eram medidos 100 ou 50 mL das amostras brutas e colocadas em cadinhos devidamente tarados. Em seguida deixava-se as amostras por aproximadamente 24 horas em uma estufa a 105 °C. Depois de esfriadas em dessecadores, as amostras eram pesadas em balanças analíticas digitais. Para determinação de sólidos totais fixos, as mesmas amostras, eram em seguida, calcinadas por duas horas em um forno tipo mufla a 600 °C, ou seja, a 50 °C a mais do que recomenda o Standard Methods, porque a 550 °C as amostras calcinadas apresentavam ainda muitas cinzas de carbono. Em seguida as amostras era resfriadas em dessecadores para serem novamente pesadas em uma balança analítica digital.

Para determinação de sólidos totais suspensos, um volume medido das amostras brutas (aproximadamente 50 mL) era filtrado em membranas de fibra de vidro com 47 mm de diâmetro e abertura dos poros de 2,0 μm , cuidadosamente pesadas anteriormente. Em seguida, essas membranas eram colocadas em cadinhos e levadas até uma estufa, onde permaneciam aproximadamente por 24 horas a 105 °C. Depois de esfriadas em dessecadores, as membranas eram pesadas em balanças analíticas digitais. Para determinação de sólidos suspensos fixos, as membranas eram, em seguida, calcinadas por quinze minutos em um forno tipo mufla a 550 °C e depois resfriadas em dessecadores, para serem novamente pesadas em uma balança analítica digital.

E.9 – N-amoniacal

As medidas de N-amoniacal foram feitas a cada duas bateladas de R1, R3 e R4 e com maior frequência durante a realização de perfis de concentração. Na realização do Teste 2 as medidas de N-

amoniacal foram realizadas aproximadamente a cada duas bateladas. E com relação a R5 as medidas foram realizadas quinzenalmente somente nos afluentes.

Para determinação de N-amoniacal utilizavam-se amostras brutas diluídas em 1:10.

As medidas de N-amoniacal eram realizadas por método colorimétrico, que envolvia destilação e recuperação das amostras por 7 minutos em uma solução de ácido bórico 2% com indicador misto. Em seguida as amostras eram tituladas com solução de H_2SO_4 aproximadamente 0,2 N até a mudança de cor do indicador de azul para laranja. As concentrações de N-amoniacal eram obtidas através dos volumes gastos de H_2SO_4 na titulação. A destilação das amostras eram realizadas em um destilador automático da marca “Buchi”.

E.10 – NTK

As medidas de NTK foram feitas somente em algumas amostras da Primeira Etapa de operação de R1 e R3 com a finalidade de se caracterizar os lixiviados.

A determinação de NTK é semelhante à de N-amoniacal, com exceção da existência de uma digestão inicial de 25 mL da amostra com ácido sulfúrico e catalisadores.

Depois de digeridas, as amostras podem ser, em seguida destiladas, porém com a adição prévia de água e NaOH, que é feita pelo próprio destilador.

E.11 – Metais

As medidas de Zinco, Chumbo, Cádmio, Níquel, Ferro, Manganês, Cobre e Cromo foram feitas a cada duas bateladas de R1, R3 e R4 e com maior frequência durante a realização de perfis de concentração. Com relação a R5 as medidas foram realizadas quinzenalmente nos afluentes e efluentes.

Para determinação de metais as amostras eram antes digeridas. Para digestão da amostra, media-se 25,0 mL de amostra e colocava-a em um erlenmeyer com mais 5,0 mL de ácido nítrico 50% e em seguida levava-se o erlenmeyer até uma chapa aquecedora para se digerir a amostra, que não deveria entrar em ebulição, até que o volume da amostra chegasse a aproximadamente 5 mL. Em seguida, depois do resfriamento da amostra, adicionava-se mais 15,0 mL de água destilada à amostra, com mais 2,0 mL de ácido nítrico 50% e 5,0 mL de ácido clorídrico 50%. Em seguida a amostra voltava para chapa aquecedora até atingir novamente um volume de cerca de 5 mL. Caso se verificasse visualmente que as digestões não foram suficientes, deveria-se repetir a ultima digestão antes de se diluir a amostra novamente aos 25,0 mL. Depois do resfriamento a amostra era diluída com água destilada até o seu volume inicial de 25,0 mL.

Depois de digeridas as leituras das concentrações eram realizada através de absorção atômica.

E.12 – Sódio, Potássio, Cálcio e Magnésio

As determinações de Sódio, Potássio, Cálcio e Magnésio foram feitas somente nas amostras dos afluentes e alguns efluentes dos perfis 11 a 26 de R3.

Para determinação desses metais solúveis, as amostras brutas eram diluídas em 1:100 para determinação de Sódio e Potássio e 1:500 ou 1:1000 para determinação de Cálcio e Magnésio.

A leitura das concentrações era realizada através de absorção atômica.

E.13 – Cloretos

As medidas de cloretos foram feitas somente nas amostras dos afluentes dos perfis 11 a 26 de R3.

Para determinação de cloretos utilizavam-se amostras brutas e diluídas em 1:200, para que ficassem dentro da faixa de leitura do espectrofotômetro.

As medidas de cloretos eram realizadas por método colorimétrico, que envolvia a adição de dois reagentes de um kit da “Hach” para cloretos. Posteriormente as amostras eram lidas em um espectrofotômetro marca “Hach” modelo DR-2100.

E.14 – Fosfato

As determinações de fosfatos foram feitas somente nas amostras dos afluentes dos perfis 11 a 26 de R3.

Para determinação de fosfatos utilizavam-se amostras brutas e diluídas em 1:50 para que ficassem dentro da faixa de leitura do espectrofotômetro. Em seguida eram adicionados os reagentes às amostras e elas eram digeridas ficando sob pressão em autoclave a 120 °C por uma hora.

As medidas de fosfatos eram realizadas por método colorimétrico, com leitura em um espectrofotômetro de ultra violeta marca Shimadzu.

E.15 – Sulfato

As medidas de sulfatos foram feitas somente para caracterização de algumas amostras.

Para determinação de sulfato utilizavam-se amostras diluídas até a eliminação da interferência da cor do lixiviado.

As medidas de sulfatos eram realizadas por método colorimétrico, que envolvia a utilização de ampolas de vidro lacradas a vácuo com reagente específico de um kit da “Hach” para sulfatos. Posteriormente as amostras eram lidas em um espectrofotômetro marca “Hach” modelo DR-2100.

E.16 – Microrganismos

Os exames microbiológicos foram feitos somente para caracterização da biomassa dos inóculos dos reatores, do lodo formado e de algumas amostras de lixiviados.

Esses exames foram feitos através de microscopia ótica das amostras em um microscópio Olympus BX-60, com imagens capturadas por uma câmera Optronics acoplada ao microscópio e ligada a um computador.

APÊNDICE F

Resultados experimentais da Etapa 1 de operação do ASBR e do ASBBR.

Tabela F.1: Resultados experimentais da Etapa 1 de Operação do ASBR (R1).

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	4	8	15	22	29
DQO Total							
Afluente	mg.L ⁻¹	4025	3225	3500	3725	3785	3760
Efluente	mg.L ⁻¹	4655	3685	3750	3980	4790	3895
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0
DQO Filtrada							
Afluente	mg.L ⁻¹	3650	3000	3190	3580	3570	3490
Efluente	mg.L ⁻¹	4065	3270	3240	3470	3685	3520
Efic. de Rem.	%	0	0	0	3,1	0	0
COT							
Afluente	mg.L ⁻¹	1200	-	-	1298	-	-
Efluente	mg.L ⁻¹	-	-	-	1340	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	0	-	-
pH							
Afluente	-	8,21	8,26	8,27	8,23	8,24	8,29
Efluente	-	8,38	8,38	8,40	8,26	8,47	8,45
Ac. Voláteis Totais (titul.)							
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	261	463	426	1038	982	407
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	535	426	426	519	1019	407
Efic. de Rem.	%	0	8,0	0	50,0	0	0
Alcalinidade Total							
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9537	11100	11050	11010	11500	11410
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8873	10790	10970	10990	11170	11350
Remoção	%	7,0	2,8	0,7	0,2	2,9	0,5
Geração	%	0	0	0	0	0	0
Metais							
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,54	-	-	0,54	-	0,49
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	1,49	-	-	1,29	-	0,83
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	0
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,09	-	-	0,05	-	0,07
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,19	-	-	0,05	-	0,10
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,02	-	-	ND	-	0,04
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,02	-	-	ND	-	0,03
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	25,0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,52	-	-	0,35	-	0,37
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,55	-	-	0,42	-	0,37
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	4,60	-	-	6,76	-	3,88
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	6,45	-	-	12,63	-	4,75
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,12	-	-	0,14	-	0,16
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,54	-	-	0,23	-	0,06
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	62,5
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	ND	-	-	ND	-	0,01
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,39	-	-	0,38	-	0,24
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	ND	-	-	0,27	-	0,14
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	0,03	-	-	0,31	-	0,15
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	0

OBS: ND = Não detectado.

Tabela F.1: Resultados experimentais da Etapa 1 de Operação do ASBR (R1). (continuação)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	4	8	15	22	29
Sólidos							
ST Afl.	mg.L ⁻¹	11162	-	11677	12181	12035	11900
ST Efl.	mg.L ⁻¹	11113	-	11849	12226	12139	12035
Efic. de Rem.	%	0,4	-	0	0	0	0
Arraste	%	0	-	1,5	0,4	0,9	1,1
STF Afl.	mg.L ⁻¹	8329	-	8837	9153	8902	8870
STF Efl.	mg.L ⁻¹	8244	-	8910	9087	8731	8827
Efic. de Rem.	%	1,0	-	0	0,7	1,9	0,5
Arraste	%	0	-	0,8	0	0	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	2833	-	2840	3028	3133	3030
STV Efl.	mg.L ⁻¹	2869	-	2939	3139	3408	3208
Efic. de Rem.	%	0	-	0	0	0	0
Arraste	%	1,3	-	3,5	3,7	8,8	5,9
SST Afl.	mg.L ⁻¹	236	-	154	133	232	224
SST Efl.	mg.L ⁻¹	285	-	394	362	875	344
Efic. de Rem.	%	0	-	0	0	0	0
Arraste	%	20,8	-	155,8	172,0	277,5	53,6
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	54	-	25	28	55	30
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	95	-	92	91	281	92
Efic. de Rem.	%	0	-	0	0	0	0
Arraste	%	75,9	-	268,0	225,6	415,6	202,5
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	182	-	129	105	177	194
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	190	-	303	271	594	253
Efic. de Rem.	%	0	-	0	0	0	0
Arraste	%	4,4	-	134,9	157,7	234,9	30,3
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	10926	-	11523	12048	11803	11676
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	10828	-	11455	11864	11264	11691
Efic. de Rem.	%	0,9	-	0,6	1,5	4,6	0
Arraste	%	0	-	0	0	0	0,1
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	8275	-	8812	9125	8847	8840
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	8149	-	8818	8996	8450	8735
Efic. de Rem.	%	1,5	-	0	1,4	4,5	1,2
Arraste	%	0	-	0,1	0	0	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	2651	-	2711	2923	2956	2836
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	2679	-	2636	2868	2814	2955
Efic. de Rem.	%	0	-	2,8	1,9	4,8	0
Arraste	%	1,1	-	0	0	0	4,2
Nitrogênio Total							
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2257	-	-	2471	-	2427
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2228	-	-	2504	-	2460
Efic. de Rem.	%	1,3	-	-	0	-	0
Nitrogênio Orgânico							
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	102	-	-	245	-	168
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	142	-	-	276	-	201
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	0
Nitrogênio Amoniacal							
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2155	-	-	2226	-	2259
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2086	-	-	2228	-	2259
Efic. de Rem.	%	3,2	-	-	0	-	0
Coliformes Totais							
Afluente	NMP.100 mL ⁻¹	8,0x10 ³	-	-	-	-	-
Coliformes Fecais							
Afluente	NMP.100 mL ⁻¹	3,0x10 ²	-	-	-	-	-

Tabela F.2: Resultados experimentais da Etapa 1 de Operação do ASBBR (R3).

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	4	8	15	22	29
DQO Total							
Afluente	mg.L ⁻¹	4025	3225	3500	3725	3785	3760
Efluente	mg.L ⁻¹	3705	3180	3370	3670	3695	3680
Efic. de Rem.	%	8,0	1,4	3,7	1,5	2,4	2,1
DQO Filtrada							
Afluente	mg.L ⁻¹	3650	3000	3190	3580	3570	3490
Efluente	mg.L ⁻¹	3500	3020	3190	3420	3515	3590
Efic. de Rem.	%	4,1	0	0	4,5	1,5	0
COT							
Afluente	mg.L ⁻¹	1200	-	-	1298	-	-
Efluente	mg.L ⁻¹	-	-	-	1249	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	3,8	-	-
pH							
Afluente		8,21	8,26	8,27	8,23	8,24	8,29
Efluente		8,44	8,38	8,43	8,31	8,54	8,30
Ac. Voláteis Totais (titul.)							
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	261	463	426	1038	982	407
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	261	352	407	593	834	482
Efic. de Rem.	%	0	24,0	4,4	42,9	15,1	0
Alcalinidade Total							
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9537	11100	11050	11010	11500	11410
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8998	10660	10970	11070	11350	11330
Remoção	%	5,7	4,0	0,7	0	1,3	0,7
Geração	%	0	0	0	0,5	0	0
Metais							
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,54	-	-	0,54	-	0,49
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	0,43	-	-	0,33	-	0,47
Efic. de Rem.	%	20,4	-	-	38,9	-	4,1
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,09	-	-	0,05	-	0,07
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,14	-	-	0,03	-	0,08
Efic. de Rem.	%	0	-	-	40,0	-	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,02	-	-	ND	-	0,04
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,01	-	-	ND	-	0,03
Efic. de Rem.	%	50,0	-	-	-	-	25,0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,52	-	-	0,35	-	0,37
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,58	-	-	0,37	-	0,46
Efic. de Rem.	%	0	-	-	0	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	4,60	-	-	6,76	-	3,88
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	4,52	-	-	4,51	-	3,63
Efic. de Rem.	%	1,7	-	-	33,3	-	6,4
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,12	-	-	0,14	-	0,16
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,25	-	-	0,12	-	0,13
Efic. de Rem.	%	0	-	-	14,3	-	18,8
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	ND	-	-	ND	-	0,01
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	ND	-	-	0,03	-	0,01
Efic. de Rem.	%	-	-	-	0	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	ND	-	-	0,27	-	0,14
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	ND	-	-	0,32	-	0,14
Efic. de Rem.	%	-	-	-	0	-	0

OBS: ND = Não detectado.

Tabela F.2: Resultados experimentais da Etapa 1 de Operação do ASBBR (R3). (continuação)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	4	8	15	22	29
Sólidos							
ST Afl.	mg.L ⁻¹	11162	-	11677	12181	12035	11900
ST Efl.	mg.L ⁻¹	10617	-	11715	12114	11766	11879
Efic. de Rem.	%	4,9	-	0	0,6	2,2	0,2
Arraste	%	0	-	0,3	0	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	8329	-	8837	9153	8902	8870
STF Efl.	mg.L ⁻¹	8212	-	8724	9036	8770	8814
Efic. de Rem.	%	1,4	-	1,3	1,3	1,5	0,6
Arraste	%	0	-	0	0	0	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	2833	-	2840	3028	3133	3030
STV Efl.	mg.L ⁻¹	2405	-	2991	3078	2996	3065
Efic. de Rem.	%	15,1	-	0	0	4,4	0
Arraste	%	0	-	5,3	1,7	0	1,2
SST Afl.	mg.L ⁻¹	236	-	154	133	232	224
SST Efl.	mg.L ⁻¹	188	-	139	154	188	148
Efic. de Rem.	%	20,3	-	9,7	0	18,9	34,0
Arraste	%	0	-	0	15,8	0	0
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	54	-	25	28	55	30
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	26	-	24	33	40	25
Efic. de Rem.	%	51,9	-	4,0	0	26,3	17,5
Arraste	%	0	-	0	17,9	0	0
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	182	-	129	105	177	194
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	162	-	115	121	148	123
Efic. de Rem.	%	11,0	-	10,9	0	16,6	36,6
Arraste	%	0	-	0	15,2	0	0
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	10926	-	11523	12048	11803	11676
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	10429	-	11576	11960	11578	11731
Efic. de Rem.	%	4,5	-	0	0,7	1,9	0
Arraste	%	0	-	0,5	0	0	0,5
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	8275	-	8812	9125	8847	8840
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	8186	-	8700	9003	8730	8789
Efic. de Rem.	%	1,1	-	1,3	1,3	1,3	0,6
Arraste	%	0	-	0	0	0	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	2651	-	2711	2923	2956	2836
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	2243	-	2876	2957	2848	2942
Efic. de Rem.	%	15,4	-	0	0	3,6	0
Arraste	%	0	-	6,1	1,2	0	3,7
Nitrogênio Total							
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2257	-	-	2471	-	2427
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2169	-	-	2427	-	2427
Efic. de Rem.	%	3,9	-	-	1,8	-	0
Nitrogênio Orgânico							
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	102	-	-	245	-	168
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	105	-	-	207	-	185
Efic. de Rem.	%	0	-	-	15,5	-	0
Nitrogênio Amoniacal							
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2155	-	-	2226	-	2259
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2064	-	-	2220	-	2242
Efic. de Rem.	%	4,2	-	-	0,3	-	0,8
Coliformes Totais							
Afluente		8,0x10 ³	-	-	-	-	-
Coliformes Fecais							
Afluente		3,0x10 ²	-	-	-	-	-

APÊNDICE G

Resultados experimentais e discussão dos resultados da Etapa 1 de operação do ASBR e do ASBBR, para as análises de metais, sólidos e nitrogênio.

G.1 - Resultados experimentais e discussão dos resultados da Etapa 1 de operação do ASBR e do ASBBR, para as análises de metais, sólidos e nitrogênio.

As concentrações de metais são apresentadas da Figura G.1.1 a G.1.4. A Figura G.1.1 (a) apresenta as concentrações de Zinco no afluente e no efluente dos reatores. Nota-se que no ASBR (R1) ocorreu arraste desse elemento, enquanto no ASBBR (R3) ocorreu uma pequena remoção. A Figura G.1.1 (b) apresenta as concentrações de Chumbo no afluente e no efluente dos reatores. Nota-se que em ambos os reatores houve arraste desse elemento na batelada 1 e 29, com uma pequena remoção observada no ASBBR (R3) na batelada 15. Convencionou-se chamar por arraste sempre que a concentração de determinado parâmetro do efluente foi maior que as verificadas no afluente da mesma batelada, provocada, provavelmente, por arraste de material que se soltou, ou se solubilizou a partir do material aderido no leito fixo (inoculo).

Figura G.1.1: Metais afluente e efluente nos reatores (a) Zinco e (b) Chumbo.

A Figura G.1.2 (a) apresenta a concentração de Cádmio afluente e efluente para os dois reatores. Observa-se que as concentrações de Cádmio foram muito baixas, chegando até a zero na batelada 15, e apesar da baixa remoção desse elemento, não ocorreu arraste no efluente.

Na Figura G.1.2 (b) é apresentada a concentração de Níquel no afluente e nos efluentes dos reatores e observa-se que praticamente durante todo o período houve um pequeno arraste desse elemento no efluente de ambos os reatores.

A Figura G.1.3 (a) apresenta a concentração de Ferro afluente e efluente para ambos os reatores e pode-se notar que no ASBR (R1) não houve remoção desse metal ocorrendo somente arraste para o efluente, enquanto que no ASBBR não houve arraste e houve até uma pequena remoção durante a batelada 15.

As concentrações de Manganês são apresentadas na Figura G.1.3 (b) onde é possível notar um arraste desse elemento na primeira batelada, com tendência de queda nas bateladas seguintes, obtendo-se até uma pequena remoção em ambos os reatores na última batelada.

Figura G.1.2: Metais afluente e efluente nos reatores (a) Cádmio e (b) Níquel.

Figura G.1.3: Metais afluente e efluente nos reatores (a) Ferro e (b) Manganês.

A Figura G.1.4 (a) apresenta a concentração de Cobre afluente e efluente para os dois reatores. Observa-se que as concentrações de Cobre foram praticamente sempre iguais a zero no afluente, enquanto que no efluente do ASBBR (R3) ocorreu um pequeno arraste na batelada 15 e no efluente do ASBR (R1) ocorreu sempre um grande arraste ao longo de todo o período de operação.

Na Figura G.1.4 (b) são apresentadas as concentrações de Cromo, onde é possível notar que na primeira e na última batelada, ocorreu um pequeno arraste desse elemento somente no ASBR e na batelada 15 ocorreu arraste desse elemento em ambos os reatores.

As concentrações de sólidos são apresentadas da Figuras G.1.5 a G.1.13. A Figura G.1.5 (a) apresenta as concentrações de sólidos totais do afluente e dos efluentes de ambos os reatores e a Figura G.1.5 (b) apresenta as eficiências de remoção ou o arraste desses sólidos. Nota-se por essa figura que no ASBR (R1) praticamente não ocorreu remoção de sólidos totais durante todo o período, enquanto que no ASBBR (R3) foi observada uma pequena remoção, com exceção da batelada 8 onde ocorreu um ligeiro arraste.

Figura G.1.4: Metais afluente e efluente nos reatores (a) Cobre e (b) Cromo.

Figura G.1.5: (a) Sólidos totais e (b) Remoção ou arraste de ST em R1 e R3.

Na Figura G.1.6 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais fixos no afluente e nos efluentes dos reatores. Nota-se por essa figura que praticamente não houve diferença entre as concentrações do afluente e dos efluentes, o que pode ser verificado pela remoção praticamente desprezível apresentada na Figura G.1.6 (b).

A Figura G.1.7 (a) apresenta as concentrações de sólidos totais voláteis. Nota-se novamente que não existiram grandes diferenças nas concentrações do afluente e dos efluentes. Entretanto observa-se no ASBR sempre ocorreu um pequeno arraste de sólidos totais voláteis, enquanto que no ASBBR ocorreu arraste somente nas bateladas 8, 15 e 29.

Observa-se pela Figura G.1.8 (a), que apresenta as concentrações de sólidos suspensos totais, que no ASBR (R1) ocorreu arraste durante quase toda esta etapa, com exceção da ultima batelada, entretanto no ASBBR (R3) ocorreu remoção durante quase toda esta etapa, com exceção da batelada 15. O mesmo comportamento pode ser observado nas Figuras G.1.9 (a) e (b) para sólidos suspensos fixos e nas Figuras G.1.10 (a) e (b) para sólidos suspensos voláteis, com a diferença de que no caso dos sólidos suspensos voláteis o ASBR (R1) apresentou arraste em todas as bateladas analisadas.

(a)

(b)

Figura G.1.6: (a) Sólidos totais fixos e (b) Remoção ou arraste de STF em R1 e R3.

(a)

(b)

Figura G.1.7: (a) Sólidos totais voláteis e (b) Remoção ou arraste de STV em R1 e R3.

(a)

(b)

Figura G.1.8: (a) Sólidos suspensos totais e (b) Remoção ou arraste de SST em R1 e R3.

Figura G.1.9: (a) Sólidos suspensos fixos e (b) Remoção ou arraste de SSF em R1 e R3.

Figura G.1.10: (a) Sólidos suspensos voláteis e (b) Remoção ou arraste de SSV em R1 e R3.

A Figura G.1.11 (a) apresenta as concentrações de sólidos dissolvidos totais do afluente e dos efluentes dos reatores. Observa-se por essa figura que, novamente, as diferenças entre afluente e efluentes foram muito pequenas, o que pode ser notado também na Figura G.1.11 (b), que apresenta a remoção ou o arraste desses sólidos. Observa-se que o ASBR apresentou arraste em quase todas as bateladas, com exceção da batelada 1 e que o ASBBR apresentou arraste somente nas bateladas 8 e 29.

Na Figura G.1.12 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais fixos e na Figura G.1.12 (b) as porcentagens de remoção ou arraste. Nota-se por essa figura que os dois reatores apresentaram comportamento semelhante, com baixas remoções até a batelada 22 e arraste na batelada 29. Considerou-se como sendo arraste, a ocorrência de concentrações de sólidos no efluente descartado, maiores do que a do afluente no início da batelada.

Nota-se pela Figura G.1.13 (a), que mesmo as concentrações de sólidos dissolvidos voláteis não apresentaram grandes diferenças entre afluente e efluentes. Na Figura G.1.13 são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste desses sólidos, observando-se que no ASBR houve uma pequena remoção somente nas bateladas 4, 8 e 22 e no ASBBR, nas bateladas 1 e 22.

(a)

(b)

Figura G.1.11: (a) Sólidos dissolvidos totais e (b) Remoção ou arraste de SDF em R1 e R3.

(a)

(b)

Figura G.1.12: (a) Sólidos dissolvidos fixos e (b) Remoção ou arraste de SDF fixos em R1 e R3.

(a)

(b)

Figura G.1.13: (a) Sólidos dissolvidos voláteis e (b) Remoção ou arraste de SDV em R1 e R3.

As concentrações de Nitrogênio são apresentadas nas Figuras G.1.14 e G.1.15. Na Figura G.1.14 (a) são apresentadas a concentrações de NTK, onde nota-se que essas concentrações são relativamente elevadas. Pela Figura G.1.14 (b) nota-se que a maior parte do NTK é composta por N-amoniacal e uma menor fração composta por N-orgânico como apresentado pela Figura G.1.15.

Figura G.1.14: (a) N-total afl. e efl. e (b) Namoniacal afl. e efl. em R1 e R3.

Figura G.1.15: N-orgânico afluyente e efluente em R1 e R3.

APÊNDICE H

Teste 1, realizado em batelada, com reatores em escala reduzida.

Tabela H.1: Resultados do acompanhamento da produção de gás nos reatores.

Tempo [dias]	01	02	03	04	05	06	Total
T do liq.[°C]	21,5	24	24	23	24	25	
Teste	Volumes gerados de gás [mL]						
A	30	80	85	85	65	65	410
B	0	13	35	65	75	85	273
C	30	85	100	105	70	65	455
D	45	175	365	450	275	160	1470
E	95	650	500	175	40	27	1487
F	25	95	95	105	110	100	530

Tabela H.2: Produção acumulada de gás nos reatores.

Tempo [dias]	01	02	03	04	05	06	Relação controle
T do liq.[°C]	21,5	24	24	23	24	25	
Teste	Volumes acumulados de gás [mL]						
A	30	110	195	280	345	410	1,00
B	0	13	48	113	188	273	0,67
C	30	115	215	320	390	455	1,11
D	45	220	585	1035	1310	1470	3,59
E	95	745	1245	1420	1460	1487	3,63
F	25	120	215	320	430	530	1,29

Tabela H.3: Resultados dos testes de redução da inibição.

Parâmetro	Unid.	Teste					
		A	B	C	D	E	F
NH₃ Afl.	mg.L ⁻¹	2287	1570	2228	1187	592	2273
pH Afl.	-	8,14	7,29	8,08	8,25	8,3	8,11
pH Efl.	-	7,65	7,34	7,64	7,54	7,29	7,63
AT Afl.	mg.L ⁻¹	9350	19120	9330	4720	2450	9390
AT Efl.	mg.L ⁻¹	8250	18360	8130	4450	2360	8270
DQO_{Total} Afl.	mg.L ⁻¹	7085	6650	6860	5055	3960	7120
DQO_{Total} Efl.	mg.L ⁻¹	5310	5145	5040	2135	1175	5130
Efic. Rem.	%	25,05	22,63	26,53	57,76	70,33	27,95
DQO_{Filtr.} Afl.	mg.L ⁻¹	6710	6540	6680	4765	3920	6650
DQO_{Filtr.} Efl.	mg.L ⁻¹	4990	5050	4680	1810	880	4620
Efic. Rem.	%	25,63	22,78	29,94	62,01	77,55	30,53

APÊNDICE I

Resultados numéricos do Teste 2, realizado em batelada, com reatores em escala reduzida.

Tabela I.1: Produção de gás dos reatores. (continua)

Batelada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T [°C]	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3	18,5	22,7	18,7	20,7
Lix. [%]	50	50	50	50	50	50	50	50	60	60
Reator	Volume de gás gerado [mL.batelada ⁻¹]									
01	263	850	930	1100	1045	915	710	955	705	750
02	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-
03	49	45	-	-	-	-	-	-	-	-
04*	32	30	-	-	-	-	-	-	-	-
05	1170	1200	1300	1350	1335	1380	1105	1315	990	1080
06	1200	1450	1470	1400	1450	1500	1145	1500	1300	1260
07	33	53	50	37	31	11	0	3	0	1
08	40	63	56	59	40	14	0	4	0	2
09*	550	450	390	410	420	325	210	270	235	205
10*	505	530	470	445	490	335	225	275	220	210
11*	20	25	-	-	-	-	-	-	-	-
12*	17	23	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	553	825	750	850	660	355	580	465	390
16*	-	9	74	160	165	103	70	110	55	50
17	-	1275	1525	1450	1550	1450	1065	1550	1370	1250
18*	-	355	320	315	415	340	235	280	270	230

* Reatores que receberam lixiviado sem diluição ao longo de todo o experimento.

Tabela I.1: Produção de gás dos reatores. (continuação 1)

Batelada	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T [°C]	20,7	18,3	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8	24,7	24,7
Lix. [%]	60	70	70	70	70	70	70	80	80	80
Reator	Volume de gás gerado [mL.batelada ⁻¹]									
01	670	355	610	625	260	450	570	815	815	960
05	1050	720	1045	1250	545	885	870	930	905	910
06	1275	985	1320	1415	560	1045	950	1075	1000	1045
07	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
08	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
09*	195	205	230	310	415	700	650	1040	1085	1230
10*	230	205	255	355	530	915	880	1160	1340	1415
15	330	310	425	465	575	705	630	880	785	940
16*	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
17	1295	960	1400	1440	795	1240	1105	1170	1210	1185
18*	-	190	240	370	800	945	880	975	1190	1220

Tabela I.1: Produção de gás dos reatores. (continuação 2)

Batelada	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
T [°C]	25,3	23,8	22,7	24,0	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Lix. [%]	90	90	90	100	100	100	100	100	100	100
Reator	Volume de gás gerado [mL.batelada ⁻¹]									
01	855	1070	995	1140	1325	1375	1450	1640	1845	1870
05	820	830	615	620	840	870	975	1185	1215	1125
06	945	940	665	790	1045	1095	1150	1340	1295	1255
09*	1260	1320	1060	1065	1240	1135	1310	1525	1485	1470
10*	1410	1380	1135	1180	1335	1210	1295	1400	1545	1500
15	815	905	680	800	1175	1000	975	1150	1080	895
17	1200	1155	740	905	1170	950	990	1055	1070	1045
18*	1215	1100	1040	1235	1260	1275	1325	1300	1385	1300

Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continua)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.*	%	-	-	50,4	-	56,5	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	263	850	930	1100	1045	915
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	1192	-	1332	-
pH Afl.	-	-	-	7,89	-	8,53	-
pH Efl.	-	-	-	7,36	-	8,20	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5300	-	6000	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5320	-	5870	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	401	-	440	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1890	-	2205	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1750	-	2025	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	4775	-	4700	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	3315	-	3080	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	-	-	30,6	-	34,5	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	-	-	1565	-	1205	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	-	-	48,3	-	57,3	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	60	60	60	70
Proporção Real de Lix.*	%	52,0	53,9	64,2	63,8	60,4	-
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	710	955	705	750	670	355
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1203	1231	1491	1499	1427	-
pH Afl.	-	7,95	8,06	7,88	7,96	8,07	-
pH Efl.	-	7,34	7,21	7,15	7,35	7,52	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5840	5590	6560	6900	6680	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5620	4890	5520	6780	6430	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	555	760	599	337	341	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	2010	2005	2555	2430	2340	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	1980	1815	2390	2235	2255	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5470	4950	5405	5640	5525	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	3595	3610	4240	4265	4130	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	34,3	27,1	21,6	24,4	25,2	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1620	1970	1850	2030	1875	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	53,6	40,5	38,6	40,4	42,7	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continuação 2)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		13	14	15	16	17	18
Prop. Teórica de Lix.	%	70	70	70	70	70	80
Proporção Real de Lix.*	%	74,5	72,7	73,0	79,1	76,9	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8
Volume de Gás Gerado	mL	610	625	260	450	570	815
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1755	1765	1685	1858	1791	-
pH Afl.	-	8,25	8,25	8,12	8,12	8,13	8,17
pH Efl.	-	7,66	7,66	7,68	7,59	7,56	7,65
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8060	8320	8570	8680	8650	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7630	7830	8060	8340	7890	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1157	524	488	491	467	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3160	3125	3030	3440	3165	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	2965	2850	2765	3155	2890	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5910	5955	5270	5970	5960	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	4865	4315	3875	4960	4840	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	17,7	27,5	26,5	16,9	18,8	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	2945	3105	2505	2815	3070	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1900	1465	1110	1805	1950	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	35,5	52,8	55,7	35,9	36,5	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continuação 3)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		19	20	21	22	23	24
Prop. Teórica de Lix.	%	80	80	90	90	90	100
Proporção Real de Lix.*	%	86,1	83,7	-	90,5	85,7	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	24,7	24,7	25,3	23,8	22,7	24,0
Volume de Gás Gerado	mL	815	960	855	1070	995	1140
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2058	2000	-	2117	1979	-
pH Afl.	-	8,11	8,03	8,07	8,04	8,12	8,15
pH Efl.	-	7,68	7,73	7,76	7,76	7,81	7,84
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9330	9130	-	10610	10380	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8820	9080	-	10150	9950	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	450	567	-	651	538	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3660	3360	-	4285	3575	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3440	3130	-	3885	3225	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	6495	6015	-	7095	5745	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	5000	4195	-	4815	3820	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	23,0	30,3	-	32,1	33,5	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3055	2885	-	3210	2520	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1560	1065	-	930	595	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	48,9	63,1	-	71,0	76,4	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.2: Resultados do acompanhamento do reator 01. (continuação 4)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		25	26	27	28	29	30
Prop. Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.*	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Volume de Gás Gerado	mL	1325	1375	1450	1640	1845	1870
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2310	2325	-	2335	-	-
pH Afl.	-	8,01	8,07	8,04	7,97	7,96	8,12
pH Efl.	-	7,85	7,83	7,80	7,81	7,92	7,76
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11710	11280	-	11670	-	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11490	11150	-	11400	-	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét.L ⁻¹	706	635	-	1468	-	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4290	4465	-	6005	-	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	4030	4020	-	5630	-	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7165	7240	-	8770	-	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	4280	4480	-	5450	-	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	40,3	38,1	-	37,9	-	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3135	3220	-	3140	-	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	250	460	-	0	-	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	92,0	85,7	-	100,0	-	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.*	%	-	-	50,4	-	56,5	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	1170	1200	1300	1350	1335	1380
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	1192	-	1332	-
pH Afl.	-	-	-	7,89	-	8,53	-
pH Efl.	-	-	-	7,38	-	8,09	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5300	-	6000	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5140	-	5650	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	401	-	440	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1890	-	2205	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1750	-	2025	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	4775	-	4700	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	2430	-	2730	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	-	-	49,1	-	41,9	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	-	-	680	-	855	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	-	-	77,5	-	69,7	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	60	60	60	70
Proporção Real de Lix.*	%	52,0	53,9	64,2	63,8	60,4	-
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	1105	1315	990	1080	1050	720
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1203	1231	1491	1499	1427	-
pH Afl.	-	7,95	8,06	7,88	7,96	8,07	-
pH Efl.	-	7,29	7,42	7,18	7,39	7,6	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5840	5590	6560	6900	6680	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5550	5200	5700	6530	6600	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	555	760	599	337	341	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	2010	2005	2555	2430	2340	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	1980	1815	2390	2235	2255	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5470	4950	5405	5640	5525	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	3420	2715	3425	3525	3545	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	37,5	45,2	36,6	37,5	35,8	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1445	1075	1035	1290	1290	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	58,7	67,5	65,7	62,1	60,6	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05. (continuação 2)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		13	14	15	16	17	18
Prop. Teórica de Lix.	%	70	70	70	70	70	80
Proporção Real de Lix.*	%	74,5	72,7	73,0	79,1	76,9	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8
Volume de Gás Gerado	mL	1045	1250	545	885	870	930
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1755	1765	1685	1858	1791	-
pH Afl.	-	8,25	8,25	8,12	8,12	8,13	8,17
pH Efl.	-	7,66	7,66	7,67	7,68	7,61	7,65
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8060	8320	8570	8680	8650	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7430	8240	8270	8300	8140	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1157	524	488	491	467	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3160	3125	3030	3440	3165	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	2965	2850	2765	3155	2890	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5910	5955	5270	5970	5960	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	4085	3920	3490	3905	4420	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	30,9	34,2	33,8	34,6	25,8	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	2945	3105	2505	2815	3070	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1120	1070	725	750	1530	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	62,0	65,5	71,1	73,4	50,2	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05. (continuação 3)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		19	20	21	22	23	24
Prop. Teórica de Lix.	%	80	80	90	90	90	100
Proporção Real de Lix.*	%	86,1	83,7	-	90,5	85,7	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	24,7	24,7	25,3	23,8	22,7	24,0
Volume de Gás Gerado	mL	905	910	820	830	615	620
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2058	2000	-	2117	1979	-
pH Afl.	-	8,11	8,03	8,07	8,04	8,12	8,15
pH Efl.	-	7,66	7,7	7,75	7,7	7,76	7,75
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9330	9130	-	10610	10380	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8860	8970	-	10080	9850	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	450	567	-	651	538	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3660	3360	-	4285	3575	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3440	3130	-	3885	3225	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	6495	6015	-	7095	5745	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	4735	4565	-	5285	4600	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	27,1	24,1	-	25,5	19,9	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3055	2885	-	3210	2520	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1295	1435	-	1400	1375	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	57,6	50,3	-	56,4	45,4	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.3: Resultados do acompanhamento do reator 05. (continuação 4)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		25	26	27	28	29	30
Prop. Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.*	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Volume de Gás Gerado	mL	840	870	975	1185	1215	1125
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2310	2325	-	2335	-	-
pH Afl.	-	8,01	8,07	8,04	7,97	7,96	8,12
pH Efl.	-	7,81	7,76	7,73	7,77	7,92	7,74
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11710	11280	-	11670	-	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11280	10900	-	11560	-	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	706	635	-	1468	-	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4290	4465	-	6005	-	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	4030	4020	-	5630	-	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7165	7240	-	8770	-	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	5505	5760	-	6575	-	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	23,2	20,4	-	25,0	-	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3135	3220	-	3140	-	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1475	1740	-	945	-	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	53,0	46,0	-	69,9	-	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.*	%	-	-	50,4	-	56,5	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	1200	1450	1470	1400	1450	1500
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	1192	-	1332	-
pH Afl.	-	-	-	7,89	-	8,53	-
pH Efl.	-	-	-	7,37	-	7,92	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5300	-	6000	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	4920	-	5840	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	401	-	440	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1890	-	2205	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1750	-	2025	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	4775	-	4700	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	2240	-	2380	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	-	-	53,1	-	49,4	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	-	-	490	-	505	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	-	-	83,8	-	82,1	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	60	60	60	70
Proporção Real de Lix.*	%	52,0	53,9	64,2	63,8	60,4	-
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	1145	1500	1300	1260	1275	985
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1203	1231	1491	1499	1427	-
pH Afl.	-	7,95	8,06	7,88	7,96	8,07	-
pH Efl.	-	7,42	7,35	7,28	7,51	7,68	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5840	5590	6560	6900	6680	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5720	5380	6000	6780	6570	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	555	760	599	337	341	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	2010	2005	2555	2430	2340	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	1980	1815	2390	2235	2255	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5470	4950	5405	5640	5525	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	3315	2625	2995	2785	2815	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	39,4	47,0	44,6	50,6	49,0	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1340	985	605	550	560	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	61,7	70,2	79,9	83,8	82,9	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06. (continuação 2)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		13	14	15	16	17	18
Prop. Teórica de Lix.	%	70	70	70	70	70	80
Proporção Real de Lix.*	%	74,5	72,7	73,0	79,1	76,9	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8
Volume de Gás Gerado	mL	1320	1415	560	1045	950	1075
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1755	1765	1685	1858	1791	-
pH Afl.	-	8,25	8,25	8,12	8,12	8,13	8,17
pH Efl.	-	7,69	7,69	7,65	7,68	7,64	7,69
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8060	8320	8570	8680	8650	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7240	8510	8570	8420	8430	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1157	524	488	491	467	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3160	3125	3030	3440	3165	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	2965	2850	2765	3155	2890	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5910	5955	5270	5970	5960	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	3480	3380	3270	3725	3975	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	41,1	43,2	38,0	37,6	33,3	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	2945	3105	2505	2815	3070	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	515	530	505	570	1085	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	82,5	82,9	79,8	79,8	64,7	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06. (continuação 3)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		19	20	21	22	23	24
Prop. Teórica de Lix.	%	80	80	90	90	90	100
Proporção Real de Lix.*	%	86,1	83,7	-	90,5	85,7	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	24,7	24,7	25,3	23,8	22,7	24,0
Volume de Gás Gerado	mL	1000	1045	945	940	665	790
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2058	2000	-	2117	1979	-
pH Afl.	-	8,11	8,03	8,07	8,04	8,12	8,15
pH Efl.	-	7,67	7,7	7,79	7,71	7,78	7,76
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9330	9130	-	10610	10380	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8860	9000	-	10130	9880	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	450	567	-	651	538	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3660	3360	-	4285	3575	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3440	3130	-	3885	3225	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	6495	6015	-	7095	5745	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	4460	4120	-	5155	4475	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	31,3	31,5	-	27,3	22,1	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3055	2885	-	3210	2520	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1020	990	-	1270	1250	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	66,6	65,7	-	60,4	50,4	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.4: Resultados do acompanhamento do reator 06. (continuação 4)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		25	26	27	28	29	30
Prop. Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.*	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Volume de Gás Gerado	mL	1045	1095	1150	1340	1295	1255
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2310	2325	-	2335	-	-
pH Afl.	-	8,01	8,07	8,04	7,97	7,96	8,12
pH Efl.	-	7,83	7,78	7,74	7,79	7,83	7,73
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11710	11280	-	11670	-	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11350	11330	-	11650	-	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	706	635	-	1468	-	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4290	4465	-	6005	-	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	4030	4020	-	5630	-	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7165	7240	-	8770	-	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	5100	5340	-	6170	-	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	28,8	26,2	-	29,6	-	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3135	3220	-	3140	-	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1070	1320	-	540	-	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	65,9	59,0	-	82,8	-	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.5: Resultados do acompanhamento do reator 07.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.*	%	-	-	50,4	-	56,5	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	33	53	50	37	31	11
N-amoniacoal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	1192	-	1332	-
pH Afl.	-	-	-	7,89	-	8,53	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5300	-	6000	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	401	-	440	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1890	-	2205	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1750	-	2025	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

Tabela I.5: Resultados do acompanhamento do reator 07. (continuação)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	60	60	60	70
Proporção Real de Lix.*	%	52,0	53,9	64,2	63,8	60,4	-
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	0	3	0	1	0	0
N-amoniacoal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1203	1231	1491	1499	1427	-
pH Afl.	-	7,95	8,06	7,88	7,96	8,07	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5840	5590	6560	6900	6680	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	555	760	599	337	341	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	2010	2005	2555	2430	2340	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	1980	1815	2390	2235	2255	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

Tabela I.6: Resultados do acompanhamento do reator 08.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.*	%	-	-	50,4	-	56,5	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	40	63	56	59	40	14
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	1192	-	1332	-
pH Afl.	-	-	-	7,89	-	8,53	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5300	-	6000	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	401	-	440	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1890	-	2205	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1750	-	2025	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

Tabela I.6: Resultados do acompanhamento do reator 08. (continuação)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	60	60	60	70
Proporção Real de Lix.*	%	52,0	53,9	64,2	63,8	60,4	-
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	0	4	0	2	0	0
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1203	1231	1491	1499	1427	-
pH Afl.	-	7,95	8,06	7,88	7,96	8,07	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5840	5590	6560	6900	6680	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	555	760	599	337	341	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	2010	2005	2555	2430	2340	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	1980	1815	2390	2235	2255	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	550	450	390	410	420	325
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	2366	-	2358	-
pH Afl.	-	-	-	7,84	-	8,48	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	10610	-	11380	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	796	-	779	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	3755	-	3900	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	3475	-	3585	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	6500	-	6410	-
DQO Adic. como Etanol	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-

Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	210	270	235	205	195	205
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2315	2285	2320	2350	2363	-
pH Afl.	-	7,91	7,88	7,83	7,91	8,02	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11660	10820	10280	10920	10620	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1067	1412	932	528	565	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3865	3725	3980	3810	3875	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3810	3370	3720	3505	3735	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7305	6680	6815	6910	7005	-
DQO Adic. como Etanol	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-

Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09. (continuação 2)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		13	14	15	16	17	18
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8
Volume de Gás Gerado	mL	230	310	415	700	650	1040
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2356	2428	2310	2350	2330	-
pH Afl.	-	8,17	8,17	8,03	8,05	8,08	8,12
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10930	11760	11760	11230	11650	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1553	720	669	621	607	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4240	4300	4150	4350	4120	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3980	3920	3790	3990	3760	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	6925	7025	6285	6805	6830	-
DQO Adic. como Etanol	mg.L ⁻¹	2945	3105	2505	2815	3070	-

Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09. (continuação 3)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		19	20	21	22	23	24
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	24,7	24,7	25,3	23,8	22,7	24,0
Volume de Gás Gerado	mL	1085	1230	1260	1320	1060	1065
N-amoniaco Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2390	2390	-	2340	2310	-
pH Afl.	-	8,06	7,97	8,02	7,97	8,09	8,15
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11040	11240	-	11620	11690	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	522	678	-	720	628	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4250	4015	-	4735	4175	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3995	3740	-	4295	3765	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7050	6625	-	7505	6285	-
DQO Adic. como Etanol	mg.L ⁻¹	3055	2885	-	3210	2520	-

Tabela I.7: Resultados do acompanhamento do reator 09. (continuação 4)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		25	26	27	28	29	30
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Volume de Gás Gerado	mL	1240	1135	1310	1525	1485	1470
N-amoniaco Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2310	2325	-	2335	-	-
pH Afl.	-	8,01	8,07	8,04	7,97	7,96	8,12
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11710	11280	-	11670	-	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	706	635	-	1468	-	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4290	4465	-	6005	-	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	4030	4020	-	5630	-	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7165	7240	-	8770	-	-
DQO Adic. como Etanol	mg.L ⁻¹	3135	3220	-	3140	-	-

Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	505	530	470	445	490	335
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	2366	-	2358	-
pH Afl.	-	-	-	7,84	-	8,48	-
pH Efl.	-	-	-	7,42	-	7,96	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	10610	-	11380	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	9120	-	10030	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	796	-	779	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	3755	-	3900	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	3475	-	3585	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	6500	-	6410	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	5775	-	5980	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	-	-	11,2	-	6,7	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	-	-	2300	-	2395	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	-	-	24,0	-	15,2	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	225	275	220	210	230	205
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2315	2285	2320	2350	2363	-
pH Afl.	-	7,91	7,88	7,83	7,91	8,02	-
pH Efl.	-	7,42	7,39	7,29	7,50	7,65	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11660	10820	10280	10920	10620	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10500	9650	9270	10110	9970	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1067	1412	932	528	565	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3865	3725	3980	3810	3875	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3810	3370	3720	3505	3735	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7305	6680	6815	6910	7005	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	6535	6325	6465	6405	6535	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	10,5	5,3	5,1	7,3	6,7	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	2725	2955	2665	2900	2800	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	22,0	10,7	11,6	14,8	14,4	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10. (continuação 2)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		13	14	15	16	17	18
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8
Volume de Gás Gerado	mL	255	355	530	915	880	1160
N-amoniaco Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2356	2428	2310	2350	2330	-
pH Afl.	-	8,17	8,17	8,03	8,05	8,08	8,12
pH Efl.	-	7,62	7,62	7,67	7,75	7,7	7,73
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10930	11760	11760	11230	11650	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9850	10900	11170	11340	10900	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1553	720	669	621	607	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4240	4300	4150	4350	4120	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3980	3920	3790	3990	3760	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	6925	7025	6285	6805	6830	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	6760	6435	5415	5400	5780	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	2,4	8,4	13,8	20,6	15,4	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	2945	3105	2505	2815	3070	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	2780	2515	1635	1410	2020	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	5,6	19,0	34,7	49,9	34,2	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10. (continuação 3)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		19	20	21	22	23	24
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	24,7	24,7	25,3	23,8	22,7	24,0
Volume de Gás Gerado	mL	1340	1415	1410	1380	1135	1180
N-amoniaco Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2390	2390	-	2340	2310	-
pH Afl.	-	8,06	7,97	8,02	7,97	8,09	8,15
pH Efl.	-	7,74	7,78	7,85	7,77	7,84	7,83
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11040	11240	-	11620	11690	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11080	11240	-	11260	11100	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	522	678	-	720	628	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4250	4015	-	4735	4175	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3995	3740	-	4295	3765	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7050	6625	-	7505	6285	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	5040	4730	-	5005	4070	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	28,5	28,6	-	33,3	35,2	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3055	2885	-	3210	2520	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1045	990	-	710	305	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	65,8	65,7	-	77,9	87,9	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.8: Resultados do acompanhamento do reator 10. (continuação 4)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		25	26	27	28	29	30
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Volume de Gás Gerado	mL	1335	1210	1295	1400	1545	1500
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2310	2325	-	2335	-	-
pH Afl.	-	8,01	8,07	8,04	7,97	7,96	8,12
pH Efl.	-	7,81	7,80	7,76	7,80	7,88	7,75
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11710	11280	-	11670	-	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11720	11220	-	11440	-	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	706	635	-	1468	-	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4290	4465	-	6005	-	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	4030	4020	-	5630	-	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7165	7240	-	8770	-	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	4695	5065	-	6015	-	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	34,5	30,0	-	31,4	-	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3135	3220	-	3140	-	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	665	1045	-	385	-	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	78,8	67,5	-	87,7	-	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.*	%	-	-	50,4	-	56,5	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	-	553	825	750	850	660
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	1192	-	1332	-
pH Afl.	-	-	-	7,89	-	8,53	-
pH Efl.	-	-	-	7,35	-	7,63	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5300	-	6000	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	4640	-	5200	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	401	-	440	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1890	-	2205	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1750	-	2025	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	4775	-	4700	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	3155	-	3605	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	-	-	33,9	-	23,3	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	-	-	1405	-	1730	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	-	-	53,6	-	38,8	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	60	60	60	70
Proporção Real de Lix.*	%	52,0	53,9	64,2	63,8	60,4	-
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	355	580	465	390	330	310
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1203	1231	1491	1499	1427	-
pH Afl.	-	7,95	8,06	7,88	7,96	8,07	-
pH Efl.	-	7,17	7,08	7,09	7,38	7,51	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5840	5590	6560	6900	6680	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5340	4940	5270	6250	6280	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	555	760	599	337	341	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	2010	2005	2555	2430	2340	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	1980	1815	2390	2235	2255	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5470	4950	5405	5640	5525	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	4320	3950	4460	4415	4795	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	21,0	20,2	17,5	21,7	13,2	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	2345	2310	2070	2180	2540	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	32,9	30,2	31,3	36,0	22,3	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15. (continuação 2)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		13	14	15	16	17	18
Prop. Teórica de Lix.	%	70	70	70	70	70	80
Proporção Real de Lix.*	%	74,5	72,7	73,0	79,1	76,9	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8
Volume de Gás Gerado	mL	425	465	575	705	630	880
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1755	1765	1685	1858	1791	-
pH Afl.	-	8,25	8,25	8,12	8,12	8,13	8,17
pH Efl.	-	7,54	7,54	7,75	7,64	7,61	7,66
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8060	8320	8570	8680	8650	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7310	8090	8290	8310	8000	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1157	524	488	491	467	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3160	3125	3030	3440	3165	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	2965	2850	2765	3155	2890	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5910	5955	5270	5970	5960	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	5480	5030	3335	4310	4585	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	7,3	15,5	36,7	27,8	23,1	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	2945	3105	2505	2815	3070	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	2515	2180	570	1155	1695	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	14,6	29,8	77,2	59,0	44,8	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15. (continuação 3)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		19	20	21	22	23	24
Prop. Teórica de Lix.	%	80	80	90	90	90	100
Proporção Real de Lix.*	%	86,1	83,7	-	90,5	85,7	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	24,7	24,7	25,3	23,8	22,7	24,0
Volume de Gás Gerado	mL	785	940	815	905	680	800
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2058	2000	-	2117	1979	-
pH Afl.	-	8,11	8,03	8,07	8,04	8,12	8,15
pH Efl.	-	7,66	7,71	7,74	7,72	7,78	7,75
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9330	9130	-	10610	10380	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8470	8770	-	10080	9580	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	450	567	-	651	538	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3660	3360	-	4285	3575	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3440	3130	-	3885	3225	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	6495	6015	-	7095	5745	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	4935	4335	-	5120	4595	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	24,0	27,9	-	27,8	20,0	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3055	2885	-	3210	2520	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1495	1205	-	1235	1370	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	51,1	58,2	-	61,5	45,6	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.9: Resultados do acompanhamento do reator 15. (continuação 4)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		25	26	27	28	29	30
Prop. Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.*	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Volume de Gás Gerado	mL	1175	1000	975	1150	1080	895
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2310	2325	-	2335	-	-
pH Afl.	-	8,01	8,07	8,04	7,97	7,96	8,12
pH Efl.	-	7,75	7,79	7,72	7,75	7,80	7,80
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11710	11280	-	11670	-	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11040	10810	-	11260	-	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	706	635	-	1468	-	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4290	4465	-	6005	-	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	4030	4020	-	5630	-	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7165	7240	-	8770	-	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹	5210	5245	-	6390	-	-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%	27,3	27,6	-	27,1	-	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3135	3220	-	3140	-	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹	1180	1225	-	760	-	-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%	62,4	62,0	-	75,8	-	-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.10: Resultados do acompanhamento do reator 16.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	-	9	74	160	165	103
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	2366	-	2358	-
pH Afl.	-	-	-	7,84	-	8,48	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	10610	-	11380	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	796	-	779	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	3755	-	3900	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	3475	-	3585	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	6500	-	6410	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.10: Resultados do acompanhamento do reator 16. (continuação)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	60	60	60	70
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	70	110	55	50	0	0
N-amoniacal Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2315	2285	2320	2350	2363	-
pH Afl.	-	7,91	7,88	7,83	7,91	8,02	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11660	10820	10280	10920	10620	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1067	1412	932	528	565	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3865	3725	3980	3810	3875	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3810	3370	3720	3505	3735	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7305	6680	6815	6910	7005	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.*	%	-	-	50,4	-	56,5	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL						
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	1192	-	1332	-
pH Afl.	-	-	-	7,89	-	8,53	-
pH Efl.	-						
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	5300	-	6000	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹						
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	401	-	440	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1890	-	2205	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	1750	-	2025	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	4775	-	4700	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹						
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%						
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹						
Efic. de Rem. DQO Etanol	%						

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Prop. Teórica de Lix.	%	50	50	60	60	60	70
Proporção Real de Lix.*	%	52,0	53,9	64,2	63,8	60,4	-
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL						
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1203	1231	1491	1499	1427	-
pH Afl.	-	7,95	8,06	7,88	7,96	8,07	-
pH Efl.	-						
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5840	5590	6560	6900	6680	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹						
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	555	760	599	337	341	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	2010	2005	2555	2430	2340	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	1980	1815	2390	2235	2255	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5470	4950	5405	5640	5525	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹						-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%						-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹						-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%						-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17. (continuação 2)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		13	14	15	16	17	18
Prop. Teórica de Lix.	%	70	70	70	70	70	80
Proporção Real de Lix.*	%	74,5	72,7	73,0	79,1	76,9	-
Temp. Média da Batelada	°C	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8
Volume de Gás Gerado	mL						
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1755	1765	1685	1858	1791	-
pH Afl.	-	8,25	8,25	8,12	8,12	8,13	8,17
pH Efl.	-						
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	8060	8320	8570	8680	8650	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹						-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1157	524	488	491	467	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3160	3125	3030	3440	3165	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	2965	2850	2765	3155	2890	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	5910	5955	5270	5970	5960	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹						-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%						-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	2945	3105	2505	2815	3070	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹						-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%						-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17. (continuação 3)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		19	20	21	22	23	24
Prop. Teórica de Lix.	%	80	80	90	90	90	100
Proporção Real de Lix.*	%	86,1	83,7	-	90,5	85,7	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	24,7	24,7	25,3	23,8	22,7	24,0
Volume de Gás Gerado	mL						
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2058	2000	-	2117	1979	-
pH Afl.	-	8,11	8,03	8,07	8,04	8,12	8,15
pH Efl.	-						
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9330	9130	-	10610	10380	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹						-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	450	567	-	651	538	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3660	3360	-	4285	3575	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3440	3130	-	3885	3225	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	6495	6015	-	7095	5745	-
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹						-
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%						-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3055	2885	-	3210	2520	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹						-
Efic. de Rem. DQO Etanol	%						-

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.11: Resultados do acompanhamento do reator 17. (continuação 4)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		25	26	27	28	29	30
Prop. Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.*	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temp. Média da Batelada	°C	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Volume de Gás Gerado	mL						
N-amoniaco Afl.*	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2310	2325	-	2335	-	-
pH Afl.	-	8,01	8,07	8,04	7,97	7,96	8,12
pH Efl.	-						
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11710	11280	-	11670	-	-
Alcalinidade Total Efl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹						
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	706	635	-	1468	-	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4290	4465	-	6005	-	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	4030	4020	-	5630	-	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7165	7240		8770		
DQO Filtr. Efl.	mg.L ⁻¹						
Efic. de Rem de DQO Filtr.	%						
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3135	3220	-	3140	-	-
DQO Adic. Residual	mg.L ⁻¹						
Efic. de Rem. DQO Etanol	%						

* Calculado tomando-se por base a diluição da DQO filtrada, quando diluído.

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18.

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		1	2	3	4	5	6
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	23,3	23,7	24,0	23,3	24,7	22,3
Volume de Gás Gerado	mL	-	355	320	315	415	340
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	2366	-	2358	-
pH Afl.	-	-	-	7,84	-	8,48	-
pH Efl.	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	-	-	10610	-	11380	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	796	-	779	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	3755	-	3900	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	3475	-	3585	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	-	-	6500	-	6410	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	-	-	3025	-	2825	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		7	8	9	10	11	12
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	18,5	22,7	18,7	20,7	20,7	18,3
Volume de Gás Gerado	mL	235	280	270	230	-	190
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2315	2285	2320	2350	2363	-
pH Afl.	-	7,91	7,88	7,83	7,91	8,02	-
pH Efl.	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11660	10820	10280	10920	10620	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1067	1412	932	528	565	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	3865	3725	3980	3810	3875	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3810	3370	3720	3505	3735	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7305	6680	6815	6910	7005	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3495	3310	3015	3405	3270	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18. (continuação 2)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		13	14	15	16	17	18
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	23,7	25,0	22,0	25,0	23,7	23,8
Volume de Gás Gerado	mL	240	370	800	945	880	975
N-amoniacal Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2356	2428	2310	2350	2330	-
pH Afl.	-	8,17	8,17	8,03	8,05	8,08	8,12
pH Efl.	-	-	-	-	-	-	7,68
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10930	11760	11760	11230	11650	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1553	720	669	621	607	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4240	4300	4150	4350	4120	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3980	3920	3790	3990	3760	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	6925	7025	6285	6805	6830	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	2945	3105	2505	2815	3070	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18. (continuação 3)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		19	20	21	22	23	24
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	24,7	24,7	25,3	23,8	22,7	24,0
Volume de Gás Gerado	mL	1190	1220	1215	1100	1040	1235
N-amoniaco Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2390	2390	-	2340	2310	-
pH Afl.	-	8,06	7,97	8,02	7,97	8,09	8,15
pH Efl.	-	7,68	7,69	7,73	7,67	7,79	7,74
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11040	11240	-	11620	11690	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	522	678	-	720	628	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4250	4015	-	4735	4175	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	3995	3740	-	4295	3765	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7050	6625	-	7505	6285	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3055	2885	-	3210	2520	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

Tabela I.12: Resultados do acompanhamento do reator 18. (continuação 4)

Parâmetro	Unidade	Batelada					
		25	26	27	28	29	30
Proporção de Lixiviado	%	100	100	100	100	100	100
Temp. Média da Batelada	°C	28,8	26,2	25,7	24,7	21,5	21,3
Volume de Gás Gerado	mL	1260	1275	1325	1300	1385	1300
N-amoniaco Afl.	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2310	2325	-	2335	-	-
pH Afl.	-	8,01	8,07	8,04	7,97	7,96	8,12
pH Efl.	-	7,78	7,75	7,72	7,69	7,79	7,71
Alcalinidade Total Afl.	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11710	11280	-	11670	-	-
Ac. Voláteis Totais Afl.	mg Ac.Acét..L ⁻¹	706	635	-	1468	-	-
DQO Total Afl.	mg.L ⁻¹	4290	4465	-	6005	-	-
DQO Filtr. Afl.	mg.L ⁻¹	4030	4020	-	5630	-	-
DQO Filtr. Afl. (Lix.+Etanol)	mg.L ⁻¹	7165	7240	-	8770	-	-
DQO Adic. como Etanol**	mg.L ⁻¹	3135	3220	-	3140	-	-

** Calculado tomando-se por base os valores de DQO filtrada, antes e depois da adição de etanol.

APÊNDICE J

Análise dos resultados do Teste 2, realizado em batelada, com reatores em escala reduzida.

J.1 – Reator 01

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 01 foi inoculado com lodo proveniente do fundo de uma lagoa de lixiviados, que estava sendo esvaziada no aterro sanitário de São Carlos-SP. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2 (50%), tendo como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

As Figuras J.1.1 (a) a J.1.3 (b) apresentam os resultados da operação desse reator.

A Figura J.1.1 (a) apresenta os resultados das variações do pH desse reator. Nota-se, por essa figura, que o pH do efluente desse reator foi ligeiramente menor que o pH do afluente, durante praticamente todo o experimento. Certamente, esse fato foi resultado do aumento da concentração de ácidos no efluente, provocado pela acidificação do etanol.

O acompanhamento das variações da alcalinidade total desse reator é apresentado na Figura J.1.1 (b). Nota-se, por essa figura, que o reator consumiu uma pequena parcela da alcalinidade total durante todo o período de operação.

A Figura J.1.2 (a) apresenta os resultados da variação da DQO do lixiviado no sistema e a Figura J.1.2 (b) apresenta o acompanhamento da parcela de DQO referente ao etanol adicionado. Nota-se, por essa figura, que a parcela correspondente ao residual de DQO, devido ao etanol adicionado, apresenta uma queda praticamente contínua, a partir da décima sétima batelada até o final. A Figura J.1.3 (a) apresenta o acompanhamento da eficiência de remoção de DQO e temperatura média na batelada. Nota-se, por essa figura, que o sistema apresentou uma melhora contínua de eficiência a partir da décima sexta batelada, mantendo-se até o fim do experimento.

Figura J.1.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluente e efluente.

Figura J.1.2: (a) Variação da DQO do líquido e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.

Figura J.1.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

A Figura J.1.3 (b) apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido durante as bateladas esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se também que, a partir da décima quinta batelada, o sistema apresentou uma melhora praticamente contínua em seu desempenho, com relação à produção de gás. Observa-se também que, principalmente nas primeiras bateladas, a variação de temperatura influenciava fortemente o desempenho desse reator, mas com a adaptação da biomassa esse efeito passou a ter menos influência. Nota-se, por fim, que mesmo com o aumento progressivo da porcentagem de líquido na composição do substrato, o reator continuou melhorando o seu desempenho, mostrando que a biomassa pode se adaptar ao líquido, mesmo com elevadas concentrações de N-amoniaco. Esses resultados mostram que, para esse inóculo, nessas condições, a diluição inicial do líquido com adição de etanol parece ter favorecido adaptação da biomassa.

J.2 – Reator 02

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 02 foi inoculado com lodo proveniente de uma caixa de passagem de lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2 (50%), tendo como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

Esse reator foi operado somente por duas bateladas, e devido à sua insignificante produção de gás, se comparado aos demais, teve sua operação interrompida. Esse reator produziu apenas 5 mL de gás na primeira batelada e 10 mL de gás na segunda batelada.

J.3 – Reator 03

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 03 foi inoculado com estrume bovino fresco. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2, tendo como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

Esse reator foi operado somente por duas bateladas, e devido à sua insignificante produção de gás, se comparado aos demais, teve sua operação interrompida. Esse reator produziu apenas 49 mL de gás na primeira batelada e 45 mL de gás na segunda batelada.

J.4 – Reator 04

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 04 foi inoculado com estrume bovino fresco. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado sem diluição, tendo como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

Esse reator foi operado somente por duas bateladas, e devido à sua insignificante produção de gás, se comparado aos demais, teve sua operação interrompida. Esse reator produziu apenas 32 mL de gás na primeira batelada e 30 mL de gás na segunda batelada.

J.5 – Reator 05

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 05 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2 (50%), tendo como

fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

As Figuras J.5.1 (a) a J.5.3 (b) apresentam os resultados da operação desse reator.

A Figura J.5.1 (a) apresenta os resultados do acompanhamento das variações do pH desse reator. Nota-se, por essa figura, que o pH do efluente desse reator foi ligeiramente menor que o pH do afluente, durante praticamente todo o experimento. Certamente, esse fato é resultado do aumento da concentração de ácidos no efluente, provocado pela acidificação do etanol.

O acompanhamento da alcalinidade total desse reator é apresentado na Figura J.5.1 (b). Nota-se, por essa figura, que o reator consome uma pequena parcela da alcalinidade total durante todo o período de operação.

A Figura J.5.2 (a) apresenta o acompanhamento da DQO do lixiviado no sistema e a Figura J.5.2 (b) apresenta o acompanhamento da parcela de DQO referente ao etanol adicionado. Nota-se, por essa figura, que a parcela correspondente ao residual de DQO, devido ao etanol adicionado, não apresentou nenhuma queda significativa até o final do experimento. A Figura J.5.3 (a) apresenta o acompanhamento da eficiência de remoção de DQO e temperatura média na batelada. Nota-se, por essa figura, que o sistema apresentou uma queda pequena, mas contínua de sua eficiência ao longo de todo o período do experimento.

A Figura J.5.3 (b) apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido, durante as bateladas, esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se também que, a partir da oitava batelada, quando começou a se aumentar a concentração de lixiviado no substrato, a produção de gás do sistema teve uma ligeira queda, que foi parcialmente recuperada nas três últimas bateladas. Observa-se também que, principalmente nas primeiras bateladas, a variação de temperatura influenciava fortemente o desempenho desse reator, e esse efeito se manteve mesmo em menor escala até o fim do experimento com esse inóculo. Nota-se, por fim, que neste caso, o aumento progressivo da porcentagem de lixiviado na composição do substrato fez com que o desempenho do reator fosse piorando, tendo uma melhora significativa somente nas últimas bateladas. Esses resultados mostram que, para esse inóculo, nessas condições, a diluição inicial do lixiviado com adição de etanol parece ter sido positiva com relação à adaptação da biomassa, principalmente nas primeiras bateladas, e mesmo com o aumento da concentração de lixiviado, até o lixiviado sem diluição, a partir da vigésima terceira semana, o sistema conseguiu se recuperar.

Figura J.5.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluente e efluente.

Figura J.5.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.

Figura J.5.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.6 – Reator 06

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 06 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2, sem receber nenhuma fonte de Fósforo, mas recebendo adição de 4,0 mL de etanol 43° INPM como substrato adicional.

As Figuras J.6.1 (a) a J.6.3 (b) apresentam os resultados da operação desse reator.

A Figura J.6.1 (a) apresenta os resultados do acompanhamento das variações do pH desse reator. Nota-se, por essa figura, que o pH do efluente desse reator foi ligeiramente menor que o pH do afluente durante praticamente todo o experimento. Certamente, esse fato é resultado do aumento da concentração de ácidos no efluente, provocado pela acidificação do etanol.

O acompanhamento da alcalinidade total desse reator é apresentado na Figura J.6.1 (b). Nota-se, por essa figura, que o reator consome uma pequena parcela da alcalinidade total durante todo o período de operação.

A Figura J.6.2 (a) apresenta o acompanhamento da DQO do lixiviado no sistema e a Figura J.6.2 (b) apresenta o acompanhamento da parcela de DQO referente ao etanol adicionado. Nota-se por essa figura que a parcela correspondente ao residual de DQO, devido ao etanol adicionado, não apresentou nenhuma queda muito significativa até o final do experimento a não ser na vigésima oitava batelada. A Figura J.6.3 (a) apresenta o acompanhamento da eficiência de remoção de DQO e temperatura média na batelada. Nota-se, por essa figura, que o sistema apresentou uma queda pequena, mas contínua de sua eficiência ao longo de todo o período do experimento, com uma ligeira recuperação a partir da vigésima terceira batelada.

A Figura J.6.3 (b) apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido, durante as bateladas, esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se também que, o sistema só apresentou uma queda significativa na geração de gás, a partir da décima quinta batelada, sendo que a partir da vigésima terceira batelada, o sistema apresentou uma melhora praticamente contínua da geração de gás até o final do experimento. Observa-se também que, principalmente nas primeiras bateladas, a variação de temperatura influenciou fortemente o desempenho desse reator, e esse efeito se manteve mesmo em menor escala até o fim do experimento com esse inóculo. Nota-se, por fim que, neste caso, o aumento progressivo da porcentagem de lixiviado, na composição do substrato, fez com que o desempenho do reator piorasse entre a décima quinta e a vigésima terceira batelada, mas o sistema se recuperou nas últimas bateladas. Esses resultados mostram que, para esse inóculo, nessas condições, a diluição inicial do lixiviado com adição de etanol parece ter favorecido adaptação da biomassa, principalmente nas primeiras bateladas, e mesmo com o aumento da concentração de lixiviado, até o lixiviado sem diluição, a partir da vigésima terceira semana, o sistema conseguiu se recuperar bem.

Figura J.6.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluente e efluente.

Figura J.6.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.

Figura J.6.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.7 – Reator 07

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 07 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2, recebendo uma gota de detergente comum como fonte de Fósforo, mas sem adição de etanol como substrato adicional.

A Figura J.7.1 apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido, durante as bateladas, esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se que o sistema produziu uma pequena quantidade de gás até a oitava batelada e a partir daí o sistema faliu. Nota-se, portanto que, neste caso, a adição de um substrato complementar para alimentação dos microrganismos é fundamental e que, mesmo se diluindo o lixiviado, se nenhum substrato complementar for adicionado, o sistema pode não partir.

Figura J.7.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.8 – Reator 08

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 08 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2, não recebendo nenhuma fonte de Fósforo, e nem adição de etanol como substrato adicional.

A Figura J.8.1 apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido, durante as bateladas, esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se o sistema produziu uma pequena quantidade de gás até a oitava batelada e a partir daí o sistema faliu. Nota-se, portanto que, neste caso, a adição de um substrato complementar para alimentação dos microrganismos é fundamental e que, mesmo se diluindo o lixiviado, se nenhum substrato complementar for adicionado, o sistema pode não partir.

Figura J.8.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.9 – Reator 09

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 09 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi totalmente realizada com lixiviado sem diluição, tendo como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

A Figura J.9.1 apresenta as medidas do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido, durante as bateladas, esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se que o sistema começou produzindo uma quantidade razoável de gás nas primeiras bateladas, mas com queda praticamente contínua até a décima primeira batelada. A partir da décima segunda batelada, o sistema já começou a esboçar uma melhora contínua da produção de gás, podendo-se dizer que a partir dessa batelada o sistema iniciou a sua partida. A partir da décima oitava batelada, o sistema passou a produzir mais e 1000 mL de gás por batelada, superando nesse período final até a produção de gás dos outros reatores, que receberam inicialmente o lixiviado diluído.

Figura J.9.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.10 – Reator 10

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 10 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre, fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi totalmente realizada com lixiviado sem diluição, não tendo sido adicionada nenhuma fonte de Fósforo ao substrato, mas recebendo adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

As Figuras J.10.1 (a) a J.10.3 (b) apresentam os resultados da operação desse reator.

A Figura J.10.1 (a) apresenta os resultados do acompanhamento das variações do pH desse reator. Nota-se, por essa figura, que o pH do efluente desse reator foi ligeiramente menor que o pH do afluente durante todo o experimento. Certamente esse fato, foi resultado do aumento da concentração de ácidos no efluente, provocado pela acidificação do etanol.

O acompanhamento da alcalinidade total desse reator é apresentado na Figura J.10.1 (b). Nota-se, por essa figura, que o reator consome uma pequena parcela da alcalinidade total durante praticamente todo o período de operação.

A Figura J.10.2 (a) apresenta o acompanhamento da DQO do lixiviado no sistema e a Figura J.10.2 (b) apresenta o acompanhamento da parcela de DQO referente ao etanol adicionado. Nota-se, por essa figura, que a parcela correspondente ao residual de DQO, devido ao etanol adicionado, apresentou uma queda praticamente contínua a partir da décima terceira batelada até o final. A Figura J.10.3 (a) apresenta o acompanhamento da eficiência de remoção de DQO e temperatura média na batelada. Nota-se, por essa figura, que o sistema apresenta uma melhora contínua de eficiência a partir da décima terceira batelada até o fim do experimento.

A Figura J.10.3 (b) apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido, durante as bateladas, esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se que o sistema começou produzindo uma quantidade razoável de gás nas primeiras bateladas, mas com queda praticamente contínua até a décima batelada. A partir da décima segunda batelada, o sistema já começou a esboçar uma melhora contínua da produção de gás, podendo-se dizer que, a partir dessa batelada, o sistema iniciou a sua partida. A partir da décima oitava batelada, o sistema passou a produzir mais e 1000 mL de gás por batelada, superando nesse período final, até a produção de gás dos outros reatores, que receberam inicialmente o lixiviado diluído.

Figura J.10.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural afluente e efluente.

Figura J.10.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.

Figura J.10.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.11 – Reator 11

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 11 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi totalmente realizada com lixiviado sem diluição, tendo como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum, mas não foi feita nenhuma adição etanol como substrato adicional.

Esse reator foi operado somente por duas bateladas, e devido à sua insignificante produção de gás, se comparado aos demais, teve sua operação interrompida. Esse reator produziu apenas 20 mL de gás na primeira batelada e 25 mL de gás na segunda batelada.

J.12 – Reator 12

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 12 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi totalmente realizada com lixiviado sem diluição, não tendo recebido nenhuma fonte de adicional de Fósforo e nem a adição etanol como substrato adicional.

Esse reator foi operado somente por duas bateladas, e devido à sua insignificante produção de gás, se comparado aos demais, teve sua operação interrompida. Esse reator produziu apenas 17 mL de gás na primeira batelada e 23 mL de gás na segunda batelada.

J.13 – Reator 13

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 13 funcionou como um branco, com relação a inóculo e lixiviado, pois não foi inoculado e como substrato recebeu somente água da torneira. A operação desse reator foi realizada com água tendo como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

Esse reator foi operado somente por duas bateladas e como não produziu gás algum, teve sua operação interrompida.

J.14 – Reator 14

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 14 funcionou como um branco, com relação a inóculo, pois não foi inoculado e como substrato recebeu o lixiviado do aterro com diluição de 1:2. A operação desse reator foi realizada tendo como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

Esse reator foi operado somente por duas bateladas, e como não produziu gás algum, teve sua operação interrompida.

J.15 – Reator 15

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 15 foi inoculado com lodo proveniente do fundo de uma lagoa de lixiviados, que estava sendo esvaziada no aterro sanitário de São Carlos-SP. O inóculo desse reator foi imobilizado em pedaços de espuma de poliuretano picados. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2, tendo recebido como fonte de Fósforo a adição de uma gota de detergente comum e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

As Figuras J.15.1 (a) a J.15.3 (b) apresentam os resultados da operação desse reator.

A Figura J.15.1 (a) apresenta os resultados do acompanhamento das variações do pH desse reator. Nota-se, por essa figura, que o pH do efluente desse reator foi ligeiramente menor que o pH do afluente durante todo o experimento. Certamente, esse fato foi resultado do aumento da concentração de ácidos no efluente, provocado pela acidificação do etanol.

O acompanhamento da alcalinidade total desse reator é apresentado na Figura J.15.1 (b). Nota-se por essa figura que o reator consome uma pequena parcela da alcalinidade total durante todo o período de operação.

A Figura J.15.2 (a) apresenta o acompanhamento da DQO do lixiviado no sistema e a Figura J.15.2 (b) apresenta o acompanhamento da parcela de DQO referente ao etanol adicionado. Nota-se, por essa figura, que a parcela correspondente ao residual de DQO devido ao etanol adicionado apresenta uma queda a partir da décima terceira batelada, porém com um pequeno aumento entre as bateladas quinze e dezessete, voltando a cair continuamente a partir daí até o final do experimento. A Figura J.15.3 (a) apresenta o acompanhamento da eficiência de remoção de DQO e temperatura média na batelada. Nota-se, por essa figura, que a partir da décima sétima batelada o sistema praticamente estabiliza a sua eficiência com relação à remoção de DQO do substrato, mas apresenta uma ligeira melhora com relação à remoção da DQO do etanol adicionado, principalmente nas últimas bateladas.

A Figura J.15.3 (b) apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se por esta figura que a temperatura média do líquido durante as bateladas esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se também que, a partir da décima segunda batelada, o sistema apresentou uma melhora praticamente contínua em seu desempenho, com relação à produção de gás. Nota-se, por fim, que mesmo com o aumento progressivo da porcentagem de lixiviado na composição do substrato, o reator continuou melhorando o seu desempenho, mostrando que a biomassa pode se adaptar ao lixiviado, mesmo com elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal. Esses resultados mostram que, para esse inóculo, nessas condições, a diluição inicial do lixiviado com adição de etanol, parece ter sido positiva com relação à adaptação da biomassa. Acredita-se também que, o desempenho desse reator só não foi melhor, pois com se tinha que agitar muito o reator para

liberação do gás das espumas, também se desprendia muita biomassa das espumas, que acabavam sendo descartadas com o efluente desse reator.

Figura J.15.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluyente e efluente.

Figura J.15.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.

Figura J.15.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.16 – Reator 16

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 16 foi inoculado com lodo proveniente do fundo de uma lagoa de lixiviados, que estava sendo esvaziada no aterro sanitário de São Carlos-SP. O inóculo desse reator foi imobilizado em pedaços de espuma de poliuretano picados. A operação desse reator foi totalmente realizada com lixiviado sem diluição, tendo recebido como fonte de Fósforo a adição de K_2HPO_4 na proporção 5:1 entre N e P e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

A Figura J.16.1 apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido durante as bateladas esteve sempre entre 17 e 30 °C. A operação desse reator foi realizada da batelada dois à treze, ou seja, em dose bateladas. Até a batelada cinco, o sistema até ameaçou uma produção significativa de gás, mas da batelada cinco até a onze, a queda da produção de gás foi contínua com uma ligeira recuperação na batelada oito, chegando a zero e não se recuperando mais a partir da batelada onze. Depois da décima terceira batelada, a operação desse reator foi interrompida, devido à não geração de gás.

Figura J.16.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.17 – Reator 17

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 17 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi iniciada com lixiviado diluído em 1:2, tendo recebido como fonte de Fósforo a adição de K_2HPO_4 na proporção 5:1 entre N e P e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

A operação desse reator também começou a partir da batelada 2. As Figuras J.17.1 (a) a J.17.3 (b) apresentam os resultados da operação desse reator.

A Figura J.17.1 (a) apresenta os resultados do acompanhamento das variações do pH desse reator. Nota-se, por essa figura, que o pH do efluente desse reator foi ligeiramente menor que o pH do afluente durante todo o experimento. Certamente, esse fato foi resultado do aumento da concentração de ácidos no efluente, provocado pela acidificação do etanol.

O acompanhamento da alcalinidade total desse reator é apresentado na Figura J.17.1 (b). Nota-se, por essa figura, que o reator consumiu uma pequena parcela da alcalinidade total durante praticamente todo o período de operação.

A Figura J.17.2 (a) apresenta o acompanhamento da DQO do lixiviado no sistema, e a Figura J.17.2 (b) apresenta o acompanhamento da parcela de DQO referente ao etanol adicionado. Nota-se, por essa figura, que a parcela correspondente ao residual de DQO, devido ao etanol adicionado, não apresentou nenhuma queda muito significativa até o final do experimento, tendo até subido na vigésima sexta batelada. A Figura J.17.3 (a) apresenta o acompanhamento da eficiência de remoção de DQO e temperatura média na batelada. Nota-se, por essa figura, que o sistema apresentou uma pequena queda, mas contínua de sua eficiência ao longo de todo o período do experimento.

A Figura J.17.3 (b) apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido, durante as bateladas, esteve sempre entre 17 e 30 °C. Observa-se também que, em média, esse sistema não apresentou nenhuma grande tendência de aumento ou diminuição da produção de gás, tendo apresentado somente uma ligeira tendência de queda da produção de gás, apesar das variações apresentadas. Nota-se, por fim que, neste caso, que o aumento progressivo da porcentagem de lixiviado na composição do substrato, fez com que o desempenho do reator fosse piorando muito pouco, e apresentando uma melhora pouco significativa a partir da vigésima terceira batelada.

Figura J.17.1: (a) Variação do pH e (b) Alcalinidade total natural, afluente e efluente.

Figura J.17.2: (a) Variação da DQO do lixiviado e (b) DQO do etanol, adicionada e residual.

Figura J.17.3: (a) Eficiência de remoção de DQO e (b) Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

J.18 – Reator 18

Como pode ser observado na Tabela 5.2.2.1, o reator 18 foi inoculado com lodo granular proveniente da avícola, que estava armazenado nos tambores mantidos ao ar livre fora do galpão do experimento. A operação desse reator foi totalmente realizada com lixiviado sem diluição, tendo recebido como fonte de Fósforo a adição de K_2HPO_4 na proporção 5:1 entre N e P e adição de 4,0 mL de etanol 46° INPM como substrato adicional.

A operação desse reator também começou a partir da batelada 2. A Figura J.18.1 apresenta o acompanhamento do volume de gás gerado e da temperatura média nas bateladas. Nota-se, por esta figura, que a temperatura média do líquido, durante as bateladas, esteve sempre entre 17 e 30 °C.

Figura J.18.1: Volume de gás gerado e temperatura média na batelada.

Observa-se pela Figura J.18.1 que o sistema começou produzindo uma quantidade pequena, porém razoável de gás nas primeiras bateladas, mas com uma ligeira queda até a décima segunda batelada. A partir da décima segunda batelada, o sistema já começou a esboçar uma melhora contínua da produção de gás, podendo-se dizer que, a partir dessa batelada o sistema iniciou a sua partida. A partir da décima nona batelada, o sistema passou a produzir mais e 1000 mL de gás por batelada, superando nesse período final, até a produção de gás dos outros reatores, que receberam inicialmente o lixiviado diluído.

APÊNDICE K

Teste 3, realizado em batelada, com reatores em escala reduzida.

Tabela K.1: Síntese dos resultados do Teste 3. (Continua)

Parâmetro	Unidade	Batelada							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Temp. Média	°C	25,6	24,8	25,3	26,4	25,4	23,1	24,8	23,8
Etanol Adicionado	mL.L ⁻¹	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	1,0
Etanol Adicionado	mg.L ⁻¹	1705	1705	1705	1705	1705	1279	853	426
AVT Afl.	mg.L ⁻¹	1060	1144	953	833	794	770	868	1244
pH Afl.	mg.L ⁻¹	7,96	8,08	7,97	7,76	7,72	8,04	8,03	7,88
Vol. Total de Gás									
Reator 01	mL.Bat. ⁻¹	1835	1855	2110	1780	1950	1220	1055	1255
Reator 05	mL.Bat. ⁻¹	1137	1640	1745	1755	1965	1235	1040	1105
Reator 06	mL.Bat. ⁻¹	1002	1535	1750	1760	1990	1195	1040	1115
Reator 09	mL.Bat. ⁻¹	1085	1790	1755	1825	2060	1315	1075	1070
Reator 10	mL.Bat. ⁻¹	1193	1790	1785	1765	2040	1285	1085	1070
Reator 15	mL.Bat. ⁻¹	1065	1315	1325	1555	1820	1000	985	870
Reator 17	mL.Bat. ⁻¹	925	1425	1585	1630	1860	1155	1015	1095
Reator 18	mL.Bat. ⁻¹	807	1430	1580	1605	1755	1135	955	970
Reator Controle	mL.Bat. ⁻¹	381	234	278	398	581	-	-	-
Média (s/ contr.)	mL.Bat. ⁻¹	1131	1598	1704	1709	1930	1193	1031	1069

OBS: O etanol utilizado foi o de uso doméstico 46° INPM (54° GL).

Tabela K.1: Síntese dos resultados do Teste 3. (continuação)

Parâmetro	Unidade	Batelada							
		9	10	11	12	13	14	15	16
Temp. Média	°C	24,0	25,1	24,8	25,5	25,1	24,9	26,6	-
Etanol Adicionado	mL.L ⁻¹	1,0	1,0	1,0	0	0	0	0	-
Etanol Adicionado	mg.L ⁻¹	426	426	426	0	0	0	0	-
AVT Afl.	mg.L ⁻¹	1034	678	455	494	2415	5027	1367	-
pH Afl.	mg.L ⁻¹	7,71	8,04	7,77	7,67	7,44	7,15	7,68	-
Vol. Total de Gás									
Reator 01	mL.Bat. ⁻¹	725	503	550	418	2260	3135	850	-
Reator 05	mL.Bat. ⁻¹	645	432	530	396	2070	3025	935	-
Reator 06	mL.Bat. ⁻¹	650	439	535	410	1970	3010	935	-
Reator 09	mL.Bat. ⁻¹	735	483	600	447	2250	3240	1030	-
Reator 10	mL.Bat. ⁻¹	710	456	575	410	2160	3010	1005	-
Reator 15	mL.Bat. ⁻¹	810	360	540	450	1485	2310	1145	-
Reator 17	mL.Bat. ⁻¹	650	460	565	417	1925	3090	875	-
Reator 18	mL.Bat. ⁻¹	625	389	522	398	1990	2915	925	-
Reator Controle	mL.Bat. ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Média (s/ contr.)	mL.Bat. ⁻¹	694	440	552	418	2014	2967	963	-

OBS: O etanol utilizado foi o de uso doméstico 46° INPM.

a K.2: Resultados do acompanhamento diário do Teste 3. (Continua)

data	1							2						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Temp. [°C]	25,5	25,5	26,5	25,0	25,0	25,7	26,0	25,0	25,0	24,2	24,5	24,6	24,8	25,4
Factor	Volume [mL.dia ⁻¹]							Volume [mL.dia ⁻¹]						
01	155	225	350	350	300	250	205	300	425	340	285	210	170	125
05	62	75	115	175	225	245	240	125	275	275	260	250	250	205
06	52	60	115	190	175	200	210	125	225	225	235	250	250	225
09	55	75	110	165	205	225	250	125	295	275	300	300	275	220
10	55	78	135	215	220	225	265	130	290	295	290	295	275	215
15	40	50	125	185	200	240	225	80	190	210	225	210	225	175
17	50	55	110	165	175	180	190	115	200	220	220	225	225	220
18	37	50	90	140	150	160	180	100	205	210	220	235	240	220
Control	53	70	100	43	35	40	40	40	63	28	27	25	26	25
data	3							4						
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	27	28
Temp. [°C]	25,1	25,4	25,0	25,0	25,0	25,7	25,8	26,5	25,0	24,7	25,4	27,4	27,8	28,1
Factor	Volume [mL.dia ⁻¹]							Volume [mL.dia ⁻¹]						
01	350	500	425	300	235	175	125	530	425	285	200	150	115	75
05	150	350	400	310	230	175	130	250	525	325	260	190	125	80
06	165	350	350	325	260	175	125	225	500	375	275	190	120	75
09	135	300	440	325	260	185	110	220	575	400	280	175	110	65
10	155	400	425	340	225	155	85	200	555	425	265	170	90	60
15	50	100	250	250	250	250	175	100	300	290	300	240	175	150
17	165	335	300	275	210	170	130	200	430	325	250	135	175	115
18	135	285	330	275	215	190	150	180	410	310	260	215	140	90
Control	35	80	38	30	30	34	31	45	75	48	50	60	60	60
data	5							6						
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Temp. [°C]	29,0	25,5	25,1	25,0	25,0	24,4	24,0	24,0	23,8	22,5	22,5	21,8	22,8	24,0
Factor	Volume [mL.dia ⁻¹]							Volume [mL.dia ⁻¹]						
01	580	500	300	225	160	110	75	205	325	235	170	125	90	70
05	330	615	400	275	175	85	85	100	270	285	225	160	110	85
06	320	600	410	290	185	110	75	110	260	255	225	160	100	85
09	390	640	425	275	165	100	65	90	255	330	265	175	115	85
10	405	650	425	275	150	85	50	100	280	325	250	155	100	75
15	225	325	315	315	270	240	130	45	110	160	180	185	185	135
17	260	500	350	300	210	140	100	125	235	225	200	155	115	100
18	295	450	310	260	205	135	100	80	225	235	210	160	125	100
Control	85	80	75	78	90	85	88	-	-	-	-	-	-	-
data	7							8						
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
Temp. [°C]	25,3	26,1	25,1	25,1	24,7	24,1	23,0	23,5	24,0	23,5	24,4	23,9	23,8	23,3
Factor	Volume [mL.dia ⁻¹]							Volume [mL.dia ⁻¹]						
01	155	235	225	155	130	85	70	250	265	225	175	140	110	90
05	160	265	215	160	115	75	50	150	265	210	150	135	110	85
06	150	275	215	160	115	75	50	150	250	225	160	135	110	85
09	185	290	230	160	105	65	40	175	280	210	150	110	85	60
10	200	335	215	150	90	60	35	175	280	215	150	110	75	65
15	75	175	175	170	175	140	75	50	120	150	160	160	150	80
17	120	240	200	170	130	90	65	130	225	215	175	150	115	85
18	110	215	190	150	135	90	65	150	185	190	135	125	105	80
Control	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE L

Teste 4, realizado em batelada, com reatores em escala reduzida.

Tabela L.1: Síntese dos resultados do Teste 4.

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		1	2	3	4	5	6	7
Temperatura Média na Batelada	°C	25,1	22,1	25,4	25,0	21,8	22,8	24,7
Etanol Adicionado*	mL.L ⁻¹	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Etanol Adicionado*	mg.L ⁻¹	1116	1116	1116	1116	1116	1116	1116
DQO _{Total} do Lixiv. Aflu. (todos)	mg.L ⁻¹	4750	4750	4750	4750	4750	4750	4750
pH Afluente (1, 2, 3 e 4)	-	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10
pH Afluente (5)	-	8,10	8,10	8,10	8,13	8,13	8,13	8,13
pH Afluente (6)	-	8,10	8,10	8,10	8,18	8,18	8,18	8,18
pH Afluente (7)	-	8,10	8,10	8,10	8,25	8,25	8,25	8,25
pH Afluente (8)	-	8,10	8,10	8,10	7,47	7,47	7,47	7,47
pH Afluente (9)	-	8,10	8,10	8,10	7,76	7,76	7,76	7,76
AVT do Lixiviado Aflu. (todos)	mg.L ⁻¹	574	574	574	574	574	574	574
N-amoniacoal Aflu. (1, 2, 3, 4 e 5)	mg N.L ⁻¹	2839	2839	2839	2839	2839	2839	2839
N-amoniacoal Afluente (6)	mg N.L ⁻¹	2839	2839	2839	4256	4256	4256	4256
N-amoniacoal Afluente (7)	mg N.L ⁻¹	2839	2839	2839	4256	4256	4256	4256
N-amoniacoal Afluente (8)	mg N.L ⁻¹	2839	2839	2839	776	776	776	776
N-amoniacoal Afluente (9)	mg N.L ⁻¹	2839	2839	2839	1047	1047	1047	1047
Na ⁺ Afluente (1, 2, 3, 4, 6 e 9)	mg.L ⁻¹	2241	2241	2241	2241	2241	2241	2241
Na ⁺ Afluente (5)	mg.L ⁻¹	2241	2241	2241	3362	3362	3362	3362
Na ⁺ Afluente (7)	mg.L ⁻¹	2241	2241	2241	3362	3362	3362	3362
Na ⁺ Afluente (8)	mg.L ⁻¹	2241	2241	2241	3923	3923	3923	3923
K ⁺ Afluente (todos)	mg.L ⁻¹	2141	2141	2141	2141	2141	2141	2141
Ca ⁺⁺ Afluente (todos)	mg.L ⁻¹	52	52	52	52	52	52	52
Mg ⁺⁺ Afluente (todos)	mg.L ⁻¹	115	115	115	115	115	115	115
Vol. Total de Gás								
Reator 01 (Controle 1 – 100 % lix.)	mL.Bat. ⁻¹	391	820	970	800	810	775	815
Reator 02 (Controle 2 – 100 % lix.)	mL.Bat. ⁻¹	369	790	940	975	835	730	790
Reator 03 (25 % lix.)	mL.Bat. ⁻¹	366	915	965	965	835	790	830
Reator 04 (50 % lix.)	mL.Bat. ⁻¹	373	810	990	875	845	780	820
Reator 05 (50 % lix.+Na ⁺) [*]	mL.Bat. ⁻¹	338	875	970	830	820	750	805
Reator 06 (50 % lix.+NH ₄ ⁺) [▼]	mL.Bat. ⁻¹	419	865	975	870	930	745	830
Reator 07 (50 % lix.+Na ⁺ +NH ₄ ⁺) ^{*▼}	mL.Bat. ⁻¹	360	795	965	835	900	720	835
Reator 08 (<i>Stripping</i>) [*]	mL.Bat. ⁻¹	367	870	975	1010	935	890	855
Reator 09 (Fervura por 15 min.) [*]	mL.Bat. ⁻¹	373	865	950	980	925	935	850

* O etanol utilizado foi o etanol combustível 92,8° INPM.

^{*} Reposição da concentração de sódio até a concentração original, antes da diluição.

[▼] Reposição da concentração de N-amoniacoal até a concentração original, antes da diluição.

^{*} Adição de NaOH até pH igual a 9,0 antes do *stripping* e posterior adição de H₃PO₄ para baixar o pH.

[♦] Reposição do volume evaporado com água deionizada e posterior adição de H₃PO₄ para baixar o pH.

Tabela L.2: Resultados do acompanhamento diário do Teste 4.

Batelada	1					2				
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temp. [°C]	25,2	25,4	24,7	24,8	25,6	21,2	22,3	21,8	22,3	22,7
Reator	Volume [mL.dia ⁻¹]					Volume [mL.dia ⁻¹]				
R1	11	90	110	80	100	180	265	150	125	100
R2	14	90	100	75	90	175	255	145	120	95
R3	11	85	110	70	90	200	325	160	130	100
R4	13	90	105	75	90	175	255	150	125	105
R5	8	75	105	70	80	180	320	150	125	100
R6	14	110	115	80	100	190	310	135	125	105
R7	10	90	100	75	85	175	260	135	125	100
R8	12	90	100	75	90	185	300	150	135	100
R9	13	90	105	70	95	190	305	145	125	100

Batelada	3					4				
Dia	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temp. [°C]	23,5	25,6	26,0	26,1	26,0	24,3	25,1	25,6	24,2	25,7
Reator	Volume [mL.dia ⁻¹]					Volume [mL.dia ⁻¹]				
R1	260	325	200	105	80	275	275	125	65	60
R2	230	310	190	120	90	330	275	115	230	105
R3	230	325	215	110	85	275	300	150	160	80
R4	275	315	215	100	85	330	275	135	65	70
R5	260	310	210	105	85	310	260	130	65	65
R6	260	320	210	105	80	310	300	125	75	60
R7	260	315	200	105	85	305	260	135	65	70
R8	260	325	205	105	80	315	310	190	105	90
R9	255	305	200	105	85	300	310	185	100	85

Batelada	5					6				
Dia	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temp. [°C]	23,2	22,7	23,0	20,1	20,0	25,6	24,5	23,0	20,5	20,5
Reator	Volume [mL.dia ⁻¹]					Volume [mL.dia ⁻¹]				
R1	235	240	165	120	50	310	190	125	85	65
R2	230	245	150	110	100	290	175	115	80	70
R3	220	245	175	130	65	320	180	130	90	70
R4	255	245	160	125	60	315	190	125	85	65
R5	240	245	160	125	50	290	190	120	85	65
R6	295	355	160	75	45	335	185	100	75	50
R7	300	350	125	85	40	300	175	110	75	60
R8	250	250	240	135	60	345	225	150	95	75
R9	275	275	180	135	60	400	235	145	85	70

Batelada	7					-				
Dia	31	32	33	34	35	-	-	-	-	-
Temp. [°C]	24,4	23,6	24,7	25,2	25,5	-	-	-	-	-
Reator	Volume [mL.dia ⁻¹]					Volume [mL.dia ⁻¹]				
R1	280	220	150	105	60	-	-	-	-	-
R2	275	210	135	100	70	-	-	-	-	-
R3	280	215	155	110	70	-	-	-	-	-
R4	285	225	145	105	60	-	-	-	-	-
R5	270	225	145	105	60	-	-	-	-	-
R6	310	235	135	95	55	-	-	-	-	-
R7	300	250	140	90	55	-	-	-	-	-
R8	300	245	135	110	65	-	-	-	-	-
R9	310	235	135	110	60	-	-	-	-	-

APÊNDICE M

Resultados numéricos da segunda etapa de operação do ASBR (R1).

Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1).

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		1	2	3	4	5	6	7
Proporção Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.	%	50,1	66,8	50,6	52,7	51,8	49,2	52,9
Temperatura Média	°C	20,9	18,3	22,6	22,5	22,1	23,6	24,8
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	1492	1492	1492	1492	1492	2238	1492
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	1870	2630	1885	2100	2745	2030	2100
Efluente	mg.L ⁻¹	7275	5610	3320	1880	2545	2170	2235
Efic. de Rem.	%	0	0	0	10,5	7,3	0	0
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	1690	2495	1760	1890	1910	1880	2070
Efluente	mg.L ⁻¹	5985	5260	3045	1730	2490	1980	2270
Efic. de Rem.	%	0	0	0	8,5	0	0	0
pH								
Afluente	-	8,06	8,11	8,17	8,13	8,1	8,14	8,02
Efluente	-	7,15	7,37	7,65	7,87	7,89	7,89	8,04
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	676	449	303	220	178	179	200
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	5089	4806	1786	201	539	198	237
Efic. de Rem.	%	0	0	0	8,4	0	0	0
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5600	5580	5450	5880	5750	5580	5680
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	4270	4680	4430	5120	5620	5720	5810
Remoção	%	23,8	16,1	18,7	12,9	2,3	0	0
Geração	%	0	0	0	0	0	2,5	2,3
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		1	2	3	4	5	6	7
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	4,40	5,02	4,46	4,56	4,57	6,10	4,69
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	0	0,99	2,12	3,23	2,66	4,59	2,96
Efic. de Rem.	%	0	19,7	47,7	70,9	58,3	75,1	63,0
Nitrogênio Amoniacal								
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	1578	-	1280	-	1146	-
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
ST Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
STF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
STF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
STV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
STV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SST Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SST Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 2.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		8	9	10	11	12	13	14
Proporção Teórica de Lix.	%	60	60	80	80	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	59,5	61,9	72,9	64,4	100,0	100,0	100,0
Temperatura Média	°C	22,9	24,7	26,0	22,1	24,1	25,6	25,7
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	2984	2984	2984	2984	2984	2984	2984
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	2450	2530	3080	4615	6185	5050	5340
Efluente	mg.L ⁻¹	3215	2735	3680	5955	6185	7475	5795
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	2260	2385	2820	4310	5680	5000	4985
Efluente	mg.L ⁻¹	3125	2375	3080	5515	5445	6095	4730
Efic. de Rem.	%	0	0,4	0	0	4,1	0	5,1
pH								
Afluente	-	8,06	8,15	8,10	7,96	8,22	8,12	8,05
Efluente	-	7,95	7,90	7,88	7,87	7,86	7,94	7,93
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	191	357	356	1264	2781	953	1001
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	766	209	653	2376	2836	2744	1131
Efic. de Rem.	%	0	41,6	0	0	0	0	0
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	6380	6730	7730	8480	10800	11030	11720
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	6220	6590	7890	8190	9760	10940	11290
Remoção	%	2,5	2,1	0	3,4	9,6	0,8	3,7
Geração	%	0	0	2,1	0	0	0	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,77
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	1,90
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,12
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,14
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,04
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,04
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,50
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,50
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	7,25
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	11,01
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,23
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,27
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,04
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,79
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,08
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,15
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 2.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		8	9	10	11	12	13	14
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	7,95	8,04	8,38	9,52	10,57	10,05	10,04
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	5,55	6,22	6,02	5,29	6,40	5,38	6,41
Efic. de Rem.	%	69,9	77,4	71,8	55,6	60,5	53,5	63,9
Nitrogênio Amoniacal								
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1392	-	1695	-	2370	-	2406
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	13687
ST Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	14150
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	3,4
STF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	10022
STF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	10117
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0,9
STV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	3665
STV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	4033
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	10,0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	370
SST Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	915
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	147,3
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	104
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	346
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	232,7
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	266
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	569
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	113,9
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	13317
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	13235
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0,6
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	9918
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	9771
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	1,5
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	3399
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	3464
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	1,9

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 3.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada				
		15	16	17	18	19
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temperatura Média	°C	24,9	25,6	26,0	24,8	22,6
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	2984	2984	2984	2984	2984
DQO Total						
Afluente	mg.L ⁻¹	5100	5080	4830	4475	4125
Efluente	mg.L ⁻¹	5865	5465	5045	5075	5830
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
DQO Filtrada						
Afluente	mg.L ⁻¹	4935	4785	4705	4070	3870
Efluente	mg.L ⁻¹	4815	4425	4665	4730	4455
Efic. de Rem.	%	2,4	7,5	0,9	0	0
pH						
Afluente	-	8,12	8,15	8,12	7,99	8,10
Efluente	-	7,91	8,01	7,92	7,87	7,97
Ac. Voláteis Totais (titul.)						
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1093	810	648	622	593
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1112	797	953	1242	1353
Efic. de Rem.	%	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
Alcalinidade Total						
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11720	11340	10950	10400	9180
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11490	10830	10710	10300	9270
Remoção	%	2,0	4,5	2,2	1,0	0
Geração	%	0	0	0	0	1,0
Metais						
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,61	-	0,40	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	1,69	-	0,52	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,15	-	0,16	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,14	-	0,15	-
Efic. de Rem.	%	-	6,7	-	6,3	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,04	-	0,04	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,05	-	0,03	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	25,0	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,51	-	0,45	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,52	-	0,47	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	5,15	-	5,22	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	9,65	-	5,43	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,16	-	0,20	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,22	-	0,19	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	5,0	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,04	-	0,03	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,58	-	0,16	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,05	-	ND	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,12	-	0,02	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela M.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de Operação do ASBR (R1). (continuação 3.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada				
		15	16	17	18	19
Carga Orgânica Filtr.**						
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	10,00	9,88	9,82	9,33	9,18
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	6,31	6,49	6,25	5,71	5,77
Efic. de Rem.	%	63,1	65,7	63,6	61,2	62,8
Nitrogênio Amoniacal						
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	2332	-	2137	-
Sólidos						
ST Afl.	mg.L ⁻¹	13453	13112	13581	11636	11383
ST Efl.	mg.L ⁻¹	14243	13413	13632	12377	13444
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Arraste	%	5,9	2,3	0,4	6,4	18,1
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9923	9268	10114	8925	8399
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9930	9164	9998	9061	8373
Efic. de Rem.	%	0	1,1	1,1	0	0,3
Arraste	%	0,1	0	0	1,5	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3530	3844	3467	2711	2984
STV Efl.	mg.L ⁻¹	4313	4249	3634	3316	5071
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Arraste	%	22,2	10,5	4,8	22,3	69,9
SST Afl.	mg.L ⁻¹	239	238	164	147	243
SST Efl.	mg.L ⁻¹	1409	1367	661	439	1636
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Arraste	%	489,5	474,4	303,0	198,6	573,3
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	61	59	41	40	53
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	400	406	191	98	500
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Arraste	%	555,7	588,1	365,9	145,0	843,4
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	179	178	123	107	190
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	1009	961	470	340	1136
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Arraste	%	463,7	439,9	282,1	217,8	497,9
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	13214	12875	13417	11489	11140
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	12834	12046	12971	11938	11808
Efic. de Rem.	%	2,9	6,4	3,3	0	0
Arraste	%	0	0	0	3,9	6,0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9862	9209	10073	8885	8346
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9530	8758	9807	8963	7873
Efic. de Rem.	%	3,4	4,9	2,6	0	5,7
Arraste	%	0	0	0	0,9	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	3351	3666	3344	2604	2794
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3304	3288	3164	2976	3935
Efic. de Rem.	%	1,4	10,3	5,4	0	0
Arraste	%	0	0	0	14,3	40,8

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

APÊNDICE N

Resultados gráficos e discussão dos resultados de acompanhamento de sólidos e metais da segunda etapa de operação do ASBR (R1).

N.1 - Resultados Gráficos e Discussão dos Resultados de Acompanhamento de Sólidos e Metais da Segunda Etapa de Operação do ASBR (R1)

As Figuras N.1.1 (a) a N.1.9 (b) apresentam as concentrações e as porcentagens de remoção ou de arraste de sólidos em R1. Nota-se, que o acompanhamento desses parâmetros só foi iniciado a partir da batelada 14, que foi logo depois que se iniciou (batelada 12) a aplicação de lixiviados sem diluição, como substrato afluente do reator.

Na Figura N.1.1 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais afluente e efluente em R1 e na Figura N.1.1 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste de sólidos totais. Nota-se, por essas figuras, que durante todo o período analisado houve arraste de sólidos totais para o efluente do reator. A Figura N.1.2 (a) apresenta as concentrações de sólidos totais fixos no afluente e no efluente de R1 e a Figura N.1.2 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de STF. Nota-se, por essas figuras, que praticamente não houve diferença entre as concentrações de afluentes e efluentes.

Figura N.1.1: (a) Sólidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de ST.

Figura N.1.9: (a) Sólidos totais fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STF.

Na Figura N.1.3 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais voláteis afluente e efluente em R1 e na Figura N.1.3 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste de STV. Nota-se, por essas figuras, que durante todo o período analisado, houve arraste de STV para o efluente do reator, aumentando-se consideravelmente na batelada 29, onde se verificou que o lodo já não se sedimentava muito bem e os grânulos estavam se desagregando, formando um material floculento de difícil sedimentação, além dos próprios grânulos que flotavam.

Figura N.1.3: (a) Sólidos totais voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STV.

A Figura N.1.4 (a) apresenta as concentrações de sólidos suspensos totais no afluente e no efluente de R1 e a Figura N.1.4 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de SST. Nota-se, por essas figuras, o grande arraste de SST ocorrido em todo o período analisado que, certamente, foi provocado por arraste de biomassa. Nota-se também, pelas Figuras N.1.5 (a) a N.1.6 (b), que o comportamento também se manteve para os SSF e SSV.

Figura N.1.4: (a) Sólidos suspensos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SST.

Figura N.1.5: (a) Sólidos suspensos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSF.

Figura N.1.6: (a) Sólidos suspensos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSV.

A Figura N.1.7 (a) apresenta as concentrações de sólidos dissolvidos totais no afluente e no efluente de R1 e a Figura N.1.7 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de SDT. Nota-se, por essas figuras, que da batelada 14 à 17, o sistema removeu SDT em pequenas quantidades, mas daí em diante o sistema começou a apresentar arraste de SDT.

Na Figura N.1.8 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos fixos no afluente e no efluente de R1 e a Figura N.1.8 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de SDF. Nota-se, por essas figuras, que com exceção da batelada 18, o sistema removeu SDF em pequenas quantidades durante todo o período analisado.

A Figura N.1.9 (a) apresenta as concentrações de sólidos dissolvidos voláteis no afluente e no efluente de R1 e a Figura N.1.9 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de SDV. Nota-se, por essas figuras, que ocorreu remoção de SDV, somente nas bateladas 15, 16 e 17. Observa-se também que na última batelada ocorreu um grande arraste de SDT, que foi da ordem de 40%.

Figura N.1.7: (a) Sólidos dissolvidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDT.

Figura N.1.8: (a) Sólidos dissolvidos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDF.

Figura N.1.9: (a) Sólidos dissolvidos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDV.

As Figuras N.1.10 (a) a N.1.13 (b) apresentam o acompanhamento das concentrações de metais nas bateladas 14, 16 e 18.

A Figura N.1.10 (a) apresenta as concentrações de Zinco afluente e efluente em R1. Nota-se, por essa figura, que nas três bateladas analisadas, houve arraste de Zinco para o efluente do reator. No caso do Chumbo, apresentado na Figura N.1.10 (b), ocorreu um pequeno arraste, somente na batelada 14, seguido de pequenas remoções nas bateladas 16 e 18.

A concentração de Cádmio no afluente foi constante nas três bateladas analisadas, porém, quanto ao efluente, ocorreu um pequeno arraste na batelada 15 e uma pequena remoção na batelada 18, como apresentado na Figura N.1.11 (a). Com relação ao Níquel, como apresentado na Figura N.1.11 (b), as concentrações no afluente e no efluente foram praticamente iguais.

(a)

(b)

Figura N.1.10: (a) Zinco afluente e efluente e (b) Chumbo afluente e efluente.

(a)

(b)

Figura N.1.11: (a) Cádmio afluente e efluente e (b) Níquel afluente e efluente.

Na Figura N.1.12 (a) são apresentadas as concentrações de Ferro no afluente e no efluente, onde se nota um considerável arraste nas bateladas 14 e 16 e um arraste muito pequeno na batelada 18. A Figura N.1.12 (b) apresenta as concentrações de Manganês, que apresentou comportamento semelhante ao do Ferro, porém com uma pequena remoção de Manganês na batelada 18.

Figura N.1.12: (a) Ferro afluente e efluente e (b) Manganês afluente e efluente.

As Figuras N.1.13 (a) e N.1.13 (b) apresentam respectivamente as concentrações de Cobre e Cromo no afluente e no efluente do reator R1. Para esses dois metais foi observado arraste nas três bateladas analisadas, sendo que o arraste foi maior nas bateladas 14 e 16 e menor na batelada 18.

Com relação aos metais, de forma geral, este sistema apresentou arraste, provavelmente devido ao arraste de sólidos de lodo de inóculo.

Figura N.1.13: (a) Cobre afluente e efluente e (b) Cromo afluente e efluente.

APÊNDICE O

Resultados dos perfis de concentração realizados na segunda etapa de operação do ASBR (R1).

Tabela O.1: Resultados do primeiro perfil temporal de concentração realizado no ASBR (R1) na segunda etapa de operação (Batelada 07).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura	°C	24,0	25,0	25,0	24,5	24,0	24,5	25,0	25,5
pH	-	8,02	7,41	7,69	7,90	7,95	7,97	8,02	8,04
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5680	5410	5500	5820	5780	5750	5750	5810
Ácidos Voláteis Totais*	mg Ac. Acét..L ⁻¹	201	1981	950	238	367	293	275	238
DQO _{Total} Lix. sem Diluição	mg.L ⁻¹	3965							
DQO _{Filtr.} Lix. sem Diluição	mg.L ⁻¹	3910							
DQO _{Filtr.} Lix. Diluído 50%	mg.L ⁻¹	2070							
Etanol Adicionado	L	2,0	-	-	-	-	-	-	-
DQO _{Filtr.} Lix. Dil. 50% + Etanol	mg.L ⁻¹	4470	3695	2820	2070	2220	2245	2295	2270
Remoção de DQO _{Filtr.}	%	0	17,3	36,9	53,7	50,3	49,8	48,7	49,2

* AVT obtidos por titulação.

Tabela O.2: Resultados do segundo perfil temporal de concentração realizado no ASBR (R1) na segunda etapa de operação (Batelada 16).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]								
		0	1	2	3	3	4	5	6	7
Temperatura	°C	27,0	25,9	25,8	25,1	25,1	25,0	25,4	26,0	26,1
pH	-	8,15	7,79	7,89	7,92	7,92	7,74	7,79	7,92	8,01
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11340	10740	10910	11050	11050	10630	10830	10950	10830
Ácidos Voláteis Totais*	mg Ac. Acét..L ⁻¹	810	2978	2262	1446	1446	3171	2021	1316	797
DQO _{Total} Lix. sem Diluição	mg.L ⁻¹	5080								
DQO _{Filtr.} Lix. sem Diluição	mg.L ⁻¹	4785								
Etanol Adicionado	L	2,0	-	-	-	2,0	-	-	-	-
DQO _{Filtr.} Lix. + Etanol	mg.L ⁻¹	7320	6785	5770	5390	7420	6865	5780	5350	4425
Remoção de DQO _{Filtr.}	%	0	7,3	21,2	26,4	0	7,5	22,1	27,9	40,4

* AVT obtidos por titulação.

APÊNDICE P

Resultados da segunda etapa de operação do ASBBR (R3).

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (Continua)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		1	2	3	4	5	6	7
Tempo de Reação	dias	7	7	7	7	7	7	7
Proporção Teórica de Lix.	%	50	50	50	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.	%	61,0	66,8	61,3	64,7	69,1	60,5	59,3
Temperatura Mínima	°C	18,5	15,0	19,0	21,3	20,0	23,0	24,0
Temperatura Média	°C	20,7	17,8	21,7	22,0	21,7	23,4	24,6
Temperatura Máxima	°C	23,0	21,0	24,0	24,5	23,0	24,0	25,5
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	1492	1492	1492	1492	1492	2238	1492
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	2270	2630	2240	2530	3155	2390	2350
Efluente	mg.L ⁻¹	10660	9310	7550	7170	4875	4485	2825
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	2055	2495	2130	2320	2550	2310	2320
Efluente	mg.L ⁻¹	9875	8585	7020	6285	4315	3830	2345
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
pH								
Afluente	-	8,06	8,11	8,35	8,20	8,19	8,23	8,08
Efluente	-	7,02	7,08	7,56	7,83	7,96	7,94	8,15
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	630	449	295	196	206	280	396
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	9270	9162	6933	4897	2579	2301	488
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	5600	5580	5750	6530	7100	6950	7090
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	4880	4940	4630	5100	6280	6230	6800
Remoção	%	12,9	11,5	19,5	21,9	11,5	10,4	4,1
Geração	%	0	0	0	0	0	0	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		1	2	3	4	5	6	7
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	4,62	4,94	4,67	4,81	4,98	6,36	4,81
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	0	0	0	0,19	1,81	3,55	3,09
Efic. de Rem.	%	0	0	0	4,0	36,3	55,7	64,2
N-Amônia								
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	1578	-	1570	-	1410	-
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	41,3	-	57,6	-	64,7	-
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
ST Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
STF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
STF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
STV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
STV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SST Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SST Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	-
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,277	0,171	0,131	0,078	0,065	0,117	0,168
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,870	0,984	0,918	0,683	0,529	0,513	0,173
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	0,306	0,180	0,138	0,085	0,081	0,121	0,171
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	0,939	1,067	0,988	0,779	0,598	0,601	0,208
STV/ST Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 2.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		8	9	10	11	12	13	14
Tempo de Reação	dias	7	7	7	7	7	7	7
Proporção Teórica de Lix.	%	60	60	70	70	80	80	100
Proporção Real de Lix.	%	73,9	74,8	81,3	75,9	89,6	88,0	100,0
Temperatura Mínima	°C	21,0	23,0	25,0	19,0	21,0	25,0	24,5
Temperatura Média	°C	22,5	24,4	25,8	21,1	23,6	25,4	25,4
Temperatura Máxima	°C	25,0	25,5	27,0	25,5	25,0	26,0	26,0
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	2984	2984	2984	2984	2984	2984	2984
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	3045	3325	3435	5440	5445	4590	5340
Efluente	mg.L ⁻¹	5190	4035	3855	5415	4125	4870	4605
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0,5	24,2	0	13,8
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	2810	2885	3145	5080	5090	4400	4985
Efluente	mg.L ⁻¹	4720	3725	3480	5070	3825	4165	4120
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0,2	24,9	5,3	17,4
pH								
Afluente	-	8,10	8,22	8,20	8,01	8,23	8,20	8,05
Efluente	-	7,98	8,02	8,00	7,99	8,03	8,05	7,97
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	259	339	450	1660	2380	941	1001
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	2447	1266	895	1893	1342	867	797
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	43,6	7,9	20,4
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7990	8220	9000	8960	9740	10720	11720
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7020	7470	8340	8570	9520	10380	11150
Remoção	%	12,1	9,1	7,3	4,4	2,3	3,2	4,9
Geração	%	0	0	0	0	0	0	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,77
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,59
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	23,4
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,12
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,15
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,04
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,04
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,50
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,52
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	7,25
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	17,68
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,23
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,26
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,04
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,05
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,08
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	0,29
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 2.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		8	9	10	11	12	13	14
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	8,28	8,34	8,53	9,95	9,96	9,45	9,88
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	4,81	5,60	5,97	6,22	7,15	6,39	6,85
Efic. de Rem.	%	58,1	67,2	70,0	62,6	71,8	67,6	69,4
N-Amoniacal								
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1729	-	1890	-	2124	-	2406
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	77,6	-	101,4	-	121,7	-	125,0
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	13687
ST Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	13055
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	4,6
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	10022
STF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	9589
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	4,3
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	3665
STV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	3466
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	5,4
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	370
SST Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	473
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	27,8
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	104
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	165
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	58,7
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	266
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	308
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	15,8
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	13317
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	12582
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	5,5
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	9918
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	9424
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	5,0
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	3399
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	3158
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	7,1
Arraste	%	-	-	-	-	-	-	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,085	0,102	0,131	0,305	0,437	0,205	0,187
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,471	0,314	0,232	0,350	0,325	0,178	0,173
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	0,092	0,117	0,143	0,327	0,468	0,214	0,201
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	0,518	0,340	0,257	0,373	0,351	0,208	0,193
STV/ST Afl.	-	-	-	-	-	-	-	0,268
STV/ST Efl.	-	-	-	-	-	-	-	0,265

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 3.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		15	16	17	18	19	20	21
Tempo de Reação	dias	7	7	7	7	7	7	7
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temperatura Mínima	°C	24,2	24,9	25,2	22,1	22,1	23,7	23,5
Temperatura Média	°C	24,7	25,4	25,9	24,5	22,6	25,3	24,1
Temperatura Máxima	°C	26,0	26,1	27,5	26,4	23,0	26,9	24,7
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	2984	2984	2984	2984	2984	2984	2984
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	5100	5080	4830	4475	4125	4880	4385
Efluente	mg.L ⁻¹	4745	4930	4380	3875	3865	2940	2680
Efic. de Rem.	%	7,0	3,0	9,3	13,4	6,3	39,8	38,9
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	4935	4785	4705	4070	3870	4470	4190
Efluente	mg.L ⁻¹	4275	4210	4070	3750	3555	2865	2405
Efic. de Rem.	%	13,4	12,0	13,5	7,9	8,1	35,9	42,6
pH								
Afluente	-	8,12	8,15	8,12	7,99	8,10	7,81	8,01
Efluente	-	8,05	8,02	8,00	8,00	7,94	7,92	7,84
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1093	810	648	622	593	1227	964
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	686	482	482	370	500	159	55
Efic. de Rem.	%	37,3	40,5	25,7	40,5	15,6	87,0	94,3
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11720	11340	10950	10400	9180	6090	6410
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11330	10980	10730	10370	9320	6390	6680
Remoção	%	3,3	3,2	2,0	0,3	0	0	0
Geração	%	0	0	0	0	1,5	4,9	4,2
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,61	-	0,40	-	0,30	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,51	-	0,36	-	0,25	-
Efic. de Rem.	%	-	16,4	-	10,0	-	16,7	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,15	-	0,16	-	0,01	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,12	-	0,11	-	0,09	-
Efic. de Rem.	%	-	20,0	-	31,3	-	0	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,04	-	0,04	-	ND	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,03	-	0,02	-	0,02	-
Efic. de Rem.	%	-	25,0	-	50,0	-	0	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,51	-	0,45	-	0,12	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,46	-	0,48	-	0,28	-
Efic. de Rem.	%	-	9,8	-	0	-	0	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	5,15	-	5,22	-	19,37	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	14,02	-	8,58	-	15,05	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	22,3	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,16	-	0,20	-	0,73	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,20	-	0,17	-	0,38	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	15,0	-	47,9	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,04	-	0,03	-	0,02	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,04	-	0,03	-	0,03	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0,0	-	0	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,05	-	ND	-	ND	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,25	-	0,12	-	ND	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 3.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		15	16	17	18	19	20	21
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	9,84	9,73	9,68	9,21	9,06	9,50	9,30
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	6,70	6,64	6,68	6,45	6,45	7,40	7,53
Efic. de Rem.	%	68,1	68,2	69,1	70,1	71,2	77,8	81,0
N-Amoniacal								
Afluenta	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	2332	-	2137	-	1264	-
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	140,6	-	112,0	-	52,1	-
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	13453	13112	13581	11636	11383	8401	8631
ST Efl.	mg.L ⁻¹	13395	13178	12901	11742	11561	6597	8053
Efic. de Rem.	%	0,4	0	5,0	0	0	21,5	6,7
Arraste	%	0	0,5	0	0,9	1,6	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9923	9268	10114	8925	8399	4701	5554
STF Efl.	mg.L ⁻¹	10045	9442	9784	8680	8549	4078	5697
Efic. de Rem.	%	0	0	3,3	2,7	0	13,3	0
Arraste	%	1,2	1,9	0	0	1,8	0	2,6
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3530	3844	3467	2711	2984	3700	3077
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3350	3736	3117	3062	3012	2519	2356
Efic. de Rem.	%	5,1	2,8	10,1	0	0	31,9	23,4
Arraste	%	0	0	0	12,9	0,9	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	239	238	164	147	243	229	208
SST Efl.	mg.L ⁻¹	496	384	386	274	513	303	354
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	107,5	61,3	135,4	86,4	111,1	32,3	70,2
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	61	59	41	40	53	50	49
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	168	116	138	92	177	117	142
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	175,4	96,6	236,6	130,0	234,0	134,0	189,8
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	179	178	123	107	190	179	159
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	328	268	248	182	337	186	212
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	83,2	50,6	101,6	70,1	77,4	3,9	33,3
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	13214	12875	13417	11489	11140	8172	8423
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	12899	12794	12515	11468	11048	6294	7699
Efic. de Rem.	%	2,4	0,6	6,7	0,2	0,8	23,0	8,6
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9862	9209	10073	8885	8346	4651	5505
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9877	9326	9646	8588	8372	3961	5555
Efic. de Rem.	%	0	0	4,2	3,3	0	14,8	0
Arraste	%	0,2	1,3	0	0	0,3	0	0,9
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	3351	3666	3344	2604	2794	3521	2918
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3022	3468	2869	2880	2675	2333	2144
Efic. de Rem.	%	9,8	5,4	14,2	0	4,3	33,7	26,5
Arraste	%	0	0	0	10,6	0	0	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,214	0,159	0,134	0,139	0,144	0,251	0,220
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,144	0,098	0,110	0,096	0,129	0,054	0,021
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	0,222	0,169	0,138	0,153	0,153	0,274	0,230
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	0,160	0,114	0,118	0,099	0,141	0,055	0,023
STV/ST Afl.	-	0,262	0,293	0,255	0,233	0,262	0,440	0,357
STV/ST Efl.	-	0,250	0,284	0,242	0,261	0,261	0,382	0,293

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 4.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		22	23	24	25	26	27	28
Tempo de Reação	dias	7	7	7	7	7	7	7
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temperatura Mínima	°C	23,7	24,0	23,8	24,7	24,2	26,0	23,3
Temperatura Média	°C	24,4	25,5	24,7	25,6	25,2	26,8	25,8
Temperatura Máxima	°C	25,8	26,2	25,6	26,1	26,1	27,8	28,1
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	4,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0	0
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	2984	4476	4476	4476	4476	0	0
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	3145	2745	2880	7865	7050	13040	11080
Efluente	mg.L ⁻¹	2410	2655	2795	3170	3335	3815	3435
Efic. de Rem.	%	23,4	3,3	3,0	59,7	52,7	70,7	69,0
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	2995	2655	2615	7095	6280	12330	10405
Efluente	mg.L ⁻¹	2145	2410	2470	2705	3045	3490	2965
Efic. de Rem.	%	28,4	9,2	5,5	61,9	51,5	71,7	71,5
pH								
Afluente	-	7,89	8,05	7,76	7,74	7,65	7,66	7,78
Efluente	-	8,01	7,84	7,83	7,88	7,98	8,05	8,15
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	456	129	192	4283	1924	7611	6304
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	18	81	166	304	203	241	185
Efic. de Rem.	%	96,0	37,3	13,5	92,9	89,4	96,8	97,1
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7770	7510	7280	8190	8700	9210	9420
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7280	7280	7210	8230	8570	9380	9210
Remoção	%	6,3	3,1	1,0	0	1,5	0	2,2
Geração	%	0	0	0	0,5	0	1,8	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,30	-	0,33	-	0,53	-	0,21
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	0,14	-	0,22	-	0,38	-	0,43
Efic. de Rem.	%	53,3	-	33,3	-	28,3	-	0
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,08	-	0,09	-	0,23	-	0,16
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,11	-	0,03	-	0,20	-	0,15
Efic. de Rem.	%	0	-	66,7	-	13,0	-	6,3
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	ND	-	0,02	-	0,07	-	0,07
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,03	-	ND	-	0,06	-	0,07
Efic. de Rem.	%	0	-	100	-	14,3	-	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,32	-	0,22	-	0,91	-	0,84
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,25	-	0,14	-	0,80	-	0,85
Efic. de Rem.	%	21,9	-	36,4	-	12,1	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	9,62	-	12,38	-	30,78	-	28,5
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	5,18	-	9,80	-	25,72	-	27,3
Efic. de Rem.	%	46,2	-	20,8	-	16,4	-	4,2
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,35	-	0,39	-	1,24	-	0,74
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,16	-	0,26	-	0,45	-	0,33
Efic. de Rem.	%	54,3	-	33,3	-	63,7	-	55,4
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,03	-	0,02	-	0,08	-	0,06
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,03	-	0,03	-	0,09	-	0,09
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	0,08	-	ND	-	0,25	-	0,11
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	ND	-	0,04	-	0,38	-	0,31
Efic. de Rem.	%	100	-	0	-	0	-	0

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 4.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		22	23	24	25	26	27	28
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	8,42	11,28	11,25	14,54	13,94	9,06	7,65
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	6,84	9,51	9,43	12,55	11,70	6,50	5,47
Efic. de Rem.	%	81,3	84,3	83,9	86,3	83,9	71,7	71,5
N-Amoniacal								
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1428		1376		1661		1866
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	1828
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	2,0
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	82,6	-	54,7	-	91,2	-	149,4
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	9208	8623	8857	12797	12377	16186	18142
ST Efl.	mg.L ⁻¹	8512	8581	8561	10232	10111	11084	11002
Efic. de Rem.	%	7,6	0,5	3,3	20,0	18,3	31,5	39,4
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	6215	6293	5812	7972	7343	9434	9149
STF Efl.	mg.L ⁻¹	6223	6321	6106	7364	7297	8017	8121
Efic. de Rem.	%	0	0	0	7,6	0,6	15,0	11,2
Arraste	%	0,1	0,4	5,1	0	0	0	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	2993	2330	3045	4825	5034	6752	8993
STV Efl.	mg.L ⁻¹	2289	2260	2455	2868	2814	3067	2881
Efic. de Rem.	%	23,5	3,0	19,4	40,6	44,1	54,6	68,0
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	268	158	248	896	712	1455	404
SST Efl.	mg.L ⁻¹	100	214	286	620	562	710	687
Efic. de Rem.	%	62,7	0	0	30,8	21,1	51,2	0
Arraste	%	0	35,4	15,3	0	0	0	70,0
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	54	34	34	352	228	710	114
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	19	48	70	263	247	314	294
Efic. de Rem.	%	64,8	0	0	25,3	0	55,8	0
Arraste	%	0	41,2	105,9	0	8,3	0	157,9
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	214	124	214	544	484	745	290
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	81	166	216	357	315	397	393
Efic. de Rem.	%	62,1	0	0	34,4	34,9	46,7	0
Arraste	%	0	33,9	0,9	0	0	0	35,5
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	8940	8465	8609	11901	11665	14731	17738
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	8412	8367	8275	9612	9549	10374	10315
Efic. de Rem.	%	5,9	1,2	3,9	19,2	18,1	29,6	41,8
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	6161	6259	5778	7620	7115	8724	9035
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	6204	6273	6036	7101	7050	7703	7827
Efic. de Rem.	%	0	0	0	6,8	0,9	11,7	13,4
Arraste	%	0,7	0,2	4,5	0	0	0	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	2779	2206	2831	4281	4550	6007	8703
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	2208	2094	2239	2511	2499	2670	2488
Efic. de Rem.	%	20,5	5,1	20,9	41,3	45,1	55,6	71,4
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,145	0,047	0,067	0,545	0,273	0,584	0,569
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,007	0,031	0,060	0,096	0,061	0,063	0,054
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	0,152	0,049	0,074	0,604	0,306	0,617	0,606
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	0,008	0,034	0,067	0,112	0,067	0,069	0,062
STV/ST Afl.	-	0,325	0,270	0,344	0,377	0,407	0,417	0,496
STV/ST Efl.	-	0,269	0,263	0,287	0,280	0,278	0,277	0,262

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 5.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		29	30	31	32	33	34	35
Tempo de Reação	dias	7	7	7	5	5	5	5
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temperatura Mínima	°C	22,8	27,0	23,0	24,0	24,3	24,0	24,0
Temperatura Média	°C	24,1	27,0	25,4	24,4	25,1	24,5	24,3
Temperatura Máxima	°C	25,3	27,1	27,8	24,9	26,4	25,1	24,8
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	8535	4970	10485	7855	11310	8765	6755
Efluente	mg.L ⁻¹	3280	3190	3865	4205	4770	4480	4895
Efic. de Rem.	%	61,6	35,8	63,1	46,5	57,8	48,9	27,5
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	7540	4890	10155	7490	10780	8380	6390
Efluente	mg.L ⁻¹	2943	3000	3675	3865	4375	4070	4553
Efic. de Rem.	%	61,0	38,7	63,8	48,4	59,4	51,4	28,7
pH								
Afluente	-	8,12	8,27	7,97	8,30	7,87	8,01	7,97
Efluente	-	8,26	8,34	8,26	8,19	8,02	8,09	8,22
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	4561	1453	4431	3708	4609	3467	1798
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	296	174	296	634	545	470	482
Efic. de Rem.	%	93,5	88,0	93,3	82,9	88,2	86,4	73,2
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9490	9590	10710	10920	11400	11340	11700
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9590	9500	10690	10990	11340	11500	11590
Remoção	%	0	0,9	0,2	0	0,5	0	0,9
Geração	%	1,1	0	0	0,6	0	1,4	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,30	0,38	1,13	0,69	1,37	0,86	1,19
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	0,44	0,37	-	0,64	-	0,84	0,86
Efic. de Rem.	%	0	2,6	-	7,2	-	2,3	27,7
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,18	0,16	0,37	0,32	0,35	0,34	0,29
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,13	0,1	-	0,28	-	0,34	0,29
Efic. de Rem.	%	27,8	37,5	-	12,5	-	0	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,11	0,09	0,11	0,09	0,11	0,02	0,02
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,09	0,09	-	0,05	-	0,02	0,02
Efic. de Rem.	%	18,2	0	-	44,4	-	0	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,51	0,47	0,58	0,54	0,64	0,63	0,69
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,50	0,52	-	0,53	-	0,58	0,64
Efic. de Rem.	%	2,0	0	-	1,9	-	7,9	7,2
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	20,40	17,22	22,74	6,71	24,67	11,00	16,17
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	24,87	16,94	-	15,53	-	15,48	11,09
Efic. de Rem.	%	0	1,6	-	0	-	0	31,4
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,71	0,64	0,60	0,35	0,78	0,39	0,39
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,27	0,20	-	0,21	-	0,21	0,19
Efic. de Rem.	%	62,0	68,8	-	40,0	-	46,2	51,3
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,04	0,02	0,11	0,07	0,09	0,07	0,10
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,08	0,08	-	0,10	-	0,09	0,07
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	0	30,0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	ND	ND	0,15	0,11	0,16	0,19	0,24
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	0,19	-	0,24	0,28
Efic. de Rem.	%	-	-	-	0	-	0	0

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 5.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		29	30	31	32	33	34	35
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	5,54	3,59	7,46	5,51	7,92	6,16	4,70
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	3,38	1,39	4,76	2,66	4,71	3,17	1,35
Efic. de Rem.	%	61,0	38,7	63,8	48,4	59,4	51,4	28,7
N-Amoniacal								
Afluenta	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1870	1875	2171	2183	2322	2357	2377
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1655	1817	-	-	-	-	-
Efic. de Rem.	%	11,5	3,1	-	-	-	-	-
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	163,9	229,1	178,3	175,1	127,6	148,7	191,6
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	13543	11766	15303	14104	16023	15220	14158
ST Efl.	mg.L ⁻¹	11351	11858	12277	12244	13203	13911	13085
Efic. de Rem.	%	16,2	0	19,8	13,2	17,6	8,6	7,6
Arraste	%	0	0,8	0	0	0	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	8511	8144	10030	9087	10108	10081	10055
STF Efl.	mg.L ⁻¹	8782	8167	9039	8962	9903	9679	10010
Efic. de Rem.	%	0	0	9,9	1,4	2,0	4,0	0,4
Arraste	%	3,2	0,3	0	0	0	0	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	5032	3622	5273	5017	5915	5139	4103
STV Efl.	mg.L ⁻¹	2569	3691	3238	3282	3300	4233	3075
Efic. de Rem.	%	48,9	0	38,6	34,6	44,2	17,6	25,1
Arraste	%	0	1,9	0	0	0	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	230	246	665	336	573	322	609
SST Efl.	mg.L ⁻¹	493	314	396	408	581	456	426
Efic. de Rem.	%	0	0	40,5	0	0	0	30,0
Arraste	%	114,1	27,6	0	21,4	1,2	41,7	0
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	67	69	186	88	163	110	165
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	217	134	156	158	192	136	128
Efic. de Rem.	%	0	0	16,1	0	0	0	22,4
Arraste	%	222,2	94,2	0	79,5	17,3	23,5	0
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	163	177	469	248	410	212	443
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	276	180	240	250	389	321	298
Efic. de Rem.	%	0	0	48,8	0	5,1	0	32,7
Arraste	%	69,3	1,7	0	0,8	0	51,2	0
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	13313	11520	14648	13768	15450	14898	13549
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	10858	11544	11881	11836	12753	13455	12659
Efic. de Rem.	%	18,4	0	18,9	14,0	17,5	9,7	6,6
Arraste	%	0	0,2	0	0	0	0	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	8444	8075	9844	8999	9945	9971	9890
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	8565	8033	8883	8804	9842	9543	9882
Efic. de Rem.	%	0	0,5	9,8	2,2	1,0	4,3	0,1
Arraste	%	1,4	0	0	0	0	0	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	4869	3445	4804	4769	5505	4927	3660
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	2293	3511	2998	3032	2911	3912	2777
Efic. de Rem.	%	52,9	0	37,6	36,4	47,1	20,6	24,1
Arraste	%	0	1,9	0	0	0	0	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,534	0,292	0,423	0,472	0,408	0,396	0,266
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,090	0,054	0,077	0,151	0,114	0,105	0,098
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	0,605	0,297	0,436	0,495	0,428	0,414	0,281
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	0,101	0,058	0,081	0,164	0,124	0,116	0,106
STV/ST Afl.	-	0,372	0,308	0,345	0,356	0,369	0,338	0,290
STV/ST Efl.	-	0,226	0,311	0,264	0,268	0,250	0,304	0,235

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 6.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		36	37	38	39	40	41	42
Tempo de Reação	dias	5	5	5	5	5	5	5
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temperatura Mínima	°C	19,2	21,5	17,3	20,1	21,7	15,6	15,0
Temperatura Média	°C	21,4	22,7	21,7	21,0	23,0	19,8	18,9
Temperatura Máxima	°C	23,9	23,4	23,9	21,3	24,6	22,7	19,7
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	0	0	2	1	1	1	1
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	0	0	1492	746	746	746	746
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	6125	5310	5100	5260	5385	5390	5085
Efluente	mg.L ⁻¹	4700	4670	5445	5000	4980	5085	4825
Efic. de Rem.	%	23,3	12,1	0	4,9	7,5	5,7	5,1
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	5430	4825	4950	5185	5300	5245	4930
Efluente	mg.L ⁻¹	4565	4270	4825	4705	4690	4975	4650
Efic. de Rem.	%	15,9	11,5	2,5	9,3	11,5	5,1	5,7
pH								
Afluente	-	7,91	7,98	7,95	8,05	8,03	7,95	8,00
Efluente	-	8,24	8,26	8,13	8,16	8,14	8,33	8,27
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1390	908	760	730	760	730	619
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	545	519	1101	630	511	574	556
Efic. de Rem.	%	60,8	42,9	0,0	13,7	32,7	21,3	10,2
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11790	11990	12150	12080	12130	12800	11140
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11490	11700	11420	11720	11840	11850	11240
Remoção	%	2,5	2,4	6,0	3,0	2,4	7,4	0
Geração	%	0	0	0	0	0	0	0,9
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	1,16	-	1,15	-	1,08	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,89	-	1,04	-	1,02	-
Efic. de Rem.	%	-	23,3	-	9,6	-	5,6	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,25	-	ND	-	0,27	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,30	-	ND	-	0,14	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	-	-	48,1	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,06	-	0,05	-	0,08	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,08	-	0,06	-	0,08	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,72	-	0,72	-	0,54	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,75	-	0,71	-	0,60	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	1,4	-	0	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	12,80	-	14,87	-	13,82	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	11,16	-	11,50	-	14,30	-
Efic. de Rem.	%	-	12,8	-	22,7	-	0	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,21	-	0,20	-	0,15	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,13	-	0,14	-	0,11	-
Efic. de Rem.	%	-	38,1	-	30,0	-	26,7	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,07	-	0,07	-	0,06	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,06	-	0,09	-	0,06	-
Efic. de Rem.	%	-	14,3	-	0	-	0	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,20	-	ND	-	ND	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,32	-	ND	-	ND	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	-	-	-	-

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 6.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada							
		36	37	38	39	40	41	42	
Carga Orgânica Filtr.**									
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	3,99	3,55	6,75	5,37	5,45	5,41	5,18	
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,64	0,41	3,20	1,91	2,00	1,75	1,76	
Efic. de Rem.	%	15,9	11,5	47,4	35,5	36,7	32,4	34,0	
N-Amoniacal									
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2416	2394	2470	2418	2528	2526	2330	
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	2428	2436	2462	2366	
Efic. de Rem.	%	-	-	-	0	3,6	2,5	0	
N-Amônia Livre Máximo		mg NH ₃ -N.L ⁻¹	169,8	178,0	153,0	143,1	153,7	147,4	114,1
Sólidos									
ST Afl.	mg.L ⁻¹	19379	14803	14670	14284	14891	13546	12240	
ST Efl.	mg.L ⁻¹	15546	13800	15209	13399	13328	13534	12504	
Efic. de Rem.	%	19,8	6,8	0	6,2	10,5	0,1	0	
Arraste	%	0	0	3,7	0	0	0	2,2	
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9373	9675	9270	9687	10118	9757	8728	
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9646	9613	9595	9771	9870	9724	9336	
Efic. de Rem.	%	0	0,6	0	0	2,5	0,3	0	
Arraste	%	2,9	0	3,5	0,9	0	0	7,0	
STV Afl.	mg.L ⁻¹	10006	5128	5400	4597	4773	3789	3512	
STV Efl.	mg.L ⁻¹	5900	4187	5614	3628	3458	3810	3168	
Efic. de Rem.	%	41,0	18,4	0	21,1	27,6	0	9,8	
Arraste	%	0	0	4,0	0	0	0,6	0	
SST Afl.	mg.L ⁻¹	463	396	278	342	340	311	333	
SST Efl.	mg.L ⁻¹	364	376	513	381	333	379	415	
Efic. de Rem.	%	21,3	5,1	0	0	2,1	0	0	
Arraste	%	0	0	84,4	11,4	0	21,9	24,6	
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	135	102	68	95	86	73	90	
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	134	132	180	100	98	104	118	
Efic. de Rem.	%	0,7	0	0	0	0	0	0	
Arraste	%	0	29,4	164,7	5,3	14,0	42,5	31,1	
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	328	294	210	247	255	238	243	
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	230	244	333	281	236	275	298	
Efic. de Rem.	%	29,9	17,0	0	0	7,5	0	0	
Arraste	%	0	0	58,3	13,8	0	15,5	22,6	
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	18916	14407	14392	13942	14551	13235	11908	
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	15182	13424	14697	13018	12995	13155	12089	
Efic. de Rem.	%	19,7	6,8	0	6,6	10,7	0,6	0	
Arraste	%	0	0	2,1	0	0	0	1,5	
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9238	9573	9202	9592	10032	9684	8638	
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9512	9481	9415	9671	9772	9620	9219	
Efic. de Rem.	%	0	1,0	0	0	2,6	0,7	0	
Arraste	%	3,0	0	2,3	0,8	0	0	6,7	
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	9678	4834	5190	4350	4518	3551	3270	
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	5670	3943	5282	3347	3222	3535	2871	
Efic. de Rem.	%	41,4	18,4	0	23,1	28,7	0,5	12,2	
Arraste	%	0	0	1,8	0	0	0	0	
Relações									
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,227	0,171	0,149	0,139	0,141	0,135	0,122	
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,116	0,111	0,202	0,126	0,103	0,113	0,115	
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	0,256	0,188	0,153	0,141	0,143	0,139	0,126	
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	0,119	0,121	0,228	0,134	0,109	0,115	0,120	
STV/ST Afl.	-	0,516	0,346	0,368	0,322	0,321	0,280	0,287	
STV/ST Efl.	-	0,380	0,303	0,369	0,271	0,259	0,282	0,253	

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 7.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		43	44	45	46	47	48	49
Tempo de Reação	dias	5	5	5	5	5	5	5
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temperatura Mínima	°C	15,2	18,4	20,1	20,6	19,7	19,9	22,1
Temperatura Média	°C	18,8	20,0	21,7	21,7	21,3	20,6	23,7
Temperatura Máxima	°C	20,1	20,4	26,2	22,3	26,0	21,7	29,1
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	1	1	2	2	3	3	3
Etanol Adicionado	g.Bat. ⁻¹	746	746	1492	1492	2238	2238	2238
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	4930	4765	4820	4750	4580	4625	4555
Efluente	mg.L ⁻¹	4750	4625	4895	4710	4715	4915	4715
Efic. de Rem.	%	3,7	2,9	0	0,8	0	0	0
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	4825	4605	4385	4375	4305	4375	4295
Efluente	mg.L ⁻¹	4625	4250	4270	4250	4315	4200	4275
Efic. de Rem.	%	4,1	7,7	2,6	2,9	0	4,0	0,5
pH								
Afluente	-	8,04	8,01	7,98	8,14	7,99	8,18	7,93
Efluente	-	8,26	8,19	8,16	8,19	8,16	8,15	8,16
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	630	556	537	574	574	537	556
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	600	537	619	648	593	686	537
Efic. de Rem.	%	4,7	3,3	0	0	0	0	3,3
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11400	13340	13140	13100	13440	13180	13420
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11250	13120	12940	12900	13120	12960	13100
Remoção	%	1,3	1,6	1,5	1,5	2,4	1,7	2,4
Geração	%	0	0	0	0	0	0	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	2,07	-	0,61	-	0,45	-	0,48
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	2,15	-	0,74	-	0,73	-	0,65
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,45	-	0,25	-	0,10	-	0,20
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,54	-	0,28	-	0,14	-	0,17
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	15,0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,04	-	0,07	-	0,05	-	0,03
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,11	-	0,06	-	0,04	-	0,07
Efic. de Rem.	%	0	-	14,3	-	20,0	-	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,60	-	0,55	-	0,56	-	0,57
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,62	-	0,60	-	0,54	-	0,66
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	3,6	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	7,57	-	6,87	-	6,76	-	6,56
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	16,50	-	17,36	-	19,40	-	12,37
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,24	-	0,18	-	0,19	-	0,20
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,26	-	0,25	-	0,31	-	0,30
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,06	-	0,04	-	0,01	-	0,02
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,08	-	0,07	-	0,05	-	0,04
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	0,14	-	0,36	-	0,11	-	0,12
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	0,37	-	0,39	-	0,46	-	0,00
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	100,0

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível..

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 7.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		43	44	45	46	47	48	49
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	5,10	4,94	6,33	6,32	7,83	7,88	7,82
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	1,70	1,82	3,19	3,20	4,66	4,79	4,68
Efic. de Rem.	%	33,4	36,8	50,4	50,6	59,5	60,8	59,8
N-Amoniacal								
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2422	2859	2836	2859	2839	2828	2853
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2356	2778	2758	2772	2761	2766	2792
Efic. de Rem.	%	2,7	2,8	2,8	3,0	2,7	2,2	2,1
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	116,2	164,9	152,4	166,8	148,4	163,5	184,1
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	12589	14502	13625	16184	12668	12508	12803
ST Efl.	mg.L ⁻¹	12400	13964	15153	14274	13082	12934	13093
Efic. de Rem.	%	1,5	3,7	0	11,8	0	0	0
Arraste	%	0	0	11,2	0	3,3	3,4	2,3
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9072	9437	9486	9456	9507	9255	9558
STF Efl.	mg.L ⁻¹	8904	9282	9348	9410	9482	9505	9724
Efic. de Rem.	%	1,9	1,6	1,5	0,5	0,3	0	0
Arraste	%	0	0	0	0	0	2,7	1,7
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3517	5065	4139	6728	3161	3253	3245
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3496	4682	5805	4864	3600	3429	3369
Efic. de Rem.	%	0,6	7,6	0	27,7	0	0	0
Arraste	%	0	0	40,3	0	13,9	5,4	3,8
SST Afl.	mg.L ⁻¹	258	447,5	244	290	230	256	248
SST Efl.	mg.L ⁻¹	368	353	500	515	696	656	541
Efic. de Rem.	%	0	21,1	0	0	0	0	0
Arraste	%	42,6	0	104,9	77,6	202,6	156,3	118,1
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	68	150	58	94	56	66	60
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	124	104	188	191	278	246	195
Efic. de Rem.	%	0	30,7	0	0	0	0	0
Arraste	%	82,4	0	224,1	103,2	396,4	272,7	225,0
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	190	297,5	186	196	174	190	188
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	244	249	312	324	419	410	346
Efic. de Rem.	%	0	16,3	0	0	0	0	0
Arraste	%	28,4	0	67,7	65,3	140,8	115,8	84,0
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	12331	14055	13381	15894	12438	12252	12555
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	12032	13611	14653	13759	12386	12278	12552
Efic. de Rem.	%	2,4	3,2	0	13,4	0,4	0	0
Arraste	%	0	0	9,5	0	0	0,2	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9004	9287	9428	9362	9451	9189	9498
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	8780	9178	9160	9219	9204	9259	9529
Efic. de Rem.	%	2,5	1,2	2,8	1,5	2,6	0	0
Arraste	%	0	0	0	0	0	0,8	0,3
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	3327	4768	3953	6532	2987	3063	3057
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3252	4433	5493	4540	3181	3019	3023
Efic. de Rem.	%	2,3	7,0	0	30,5	0	1,4	1,1
Arraste	%	0	0	39,0	0	6,5	0	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,128	0,117	0,111	0,121	0,125	0,116	0,122
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,126	0,116	0,126	0,138	0,126	0,139	0,114
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	0,131	0,121	0,123	0,131	0,133	0,123	0,129
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	0,130	0,126	0,145	0,153	0,137	0,163	0,126
STV/ST Afl.	-	0,279	0,349	0,304	0,416	0,250	0,260	0,253
STV/ST Efl.	-	0,270	0,339	0,295	0,411	0,240	0,250	0,243

OBS: ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 8.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		50	51	52	53	54	55	56
Tempo de Reação	dias	5	5	5	5	5	5	5
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temperatura Mínima	°C	24,0	24,0	21,9	23,2	20,8	22,2	24,9
Temperatura Média	°C	24,6	25,7	23,2	24,7	23,7	23,2	25,2
Temperatura Máxima	°C	24,9	29,2	23,8	27,0	26,9	24,0	25,6
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	3	3	3	3	3	***	***
Etanol/Ácidos*** Adic.	g.Bat. ⁻¹	2238	2238	2238	2238	2238	4361	4361
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	4600	4915	4430	4750	4790	5210	4950
Efluente	mg.L ⁻¹	4840	4945	4765	4805	4830	4265	4865
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	18,1	1,7
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	4515	4640	4440	4695	4585	5155	4610
Efluente	mg.L ⁻¹	4305	4520	4165	4550	4500	4250	4635
Efic. de Rem.	%	4,7	2,6	6,2	3,1	1,9	17,6	0
pH								
Afluente	-	8,06	7,95	8,11	7,98	8,02	8,08	8,08
Efluente	-	8,11	8,15	8,19	8,15	8,25	8,16	8,14
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	313	441	331	331	348	1158	684
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	372	424	302	337	348	331	578
Efic. de Rem.	%	0	3,8	9,0	0	0	71,4	15,5
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13260	13500	13540	13460	13320	11500	11000
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13020	13380	13060	13020	13020	11940	11280
Remoção	%	1,8	0,9	3,5	3,3	2,3	0	0
Geração	%	0	0	0	0	0	3,8	2,5
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,79	-	0,52	0,41	-	0,53
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,85	-	0,46	0,45	-	0,53
Efic. de Rem.	%	-	0	-	11,5	0	-	0
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,13	-	0,06	0,03	-	0,18
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,10	-	0,05	0,02	-	0,20
Efic. de Rem.	%	-	23,1	-	16,7	33,3	-	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,05	-	ND	ND	-	0,03
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,06	-	ND	ND	-	0,07
Efic. de Rem.	%	-	0	-	-	-	-	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,45	-	0,34	0,36	-	0,37
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,50	-	0,36	0,40	-	0,43
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	0	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	7,95	-	11,78	5,98	-	7,36
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	17,64	-	30,72	17,20	-	16,35
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	0	-	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,19	-	0,16	0,18	-	0,31
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,32	-	0,23	0,18	-	0,23
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	0	-	25,8
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,06	-	0,05	0,06	-	0,06
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,08	-	0,06	0,07	-	0,09
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	0	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,39	-	0,39	0,44	-	0,33
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,56	-	0,72	0,54	-	0,52
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	0	-	0

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível; *** 3 L de Acét. + 1 L de Prop. + 0,25 L de Butir..

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 8.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		50	51	52	53	54	55	56
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	7,98	8,07	7,93	8,11	8,03	8,24	8,66
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	4,82	4,75	4,86	4,77	4,73	5,12	5,25
Efic. de Rem.	%	60,4	58,8	61,4	58,8	58,8	62,1	60,6
N-Amoniacal								
Afluenta	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2800	2864	2859	2873	2884	2682	2486
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2769	2789	2803	2797	2789	2622	2486
Efic. de Rem.	%	1,1	2,6	2,0	2,6	3,3	2,2	0
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	184,8	206,8	184,3	208,8	193,6	186	187,7
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	12760	13259	13212	12888	13027	11830	12189
ST Efl.	mg.L ⁻¹	13193	13577	13437	13460	14916	11672	13667
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	1,3	0
Arraste	%	3,4	2,4	1,7	4,4	14,5	0	12,1
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9255	9545	9590	9528	9183	8249	8120
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9691	10031	9553	9552	10065	8629	8287
Efic. de Rem.	%	0	0	0,4	0	0	0	0
Arraste	%	4,7	5,1	0	0,3	9,6	4,6	2,1
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3505	3714	3622	3360	3844	3581	4069
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3502	3546	3884	3908	4851	3043	5380
Efic. de Rem.	%	0,1	4,5	0	0	0	15,0	0
Arraste	%	0	0	7,2	16,3	26,2	0	32,2
SST Afl.	mg.L ⁻¹	292	232	232	200	226	240	264
SST Efl.	mg.L ⁻¹	621	452	442	400	374	352	354
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	112,7	94,8	90,5	100,0	65,5	46,7	34,1
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	78	48	56	34	48	40	72
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	262	165	169	151	132	168	144
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	235,9	243,8	201,8	344,1	175,0	320,0	100,0
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	214	184	176	166	178	200	192
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	359	286	273	249	242	184	210
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	8,0	0
Arraste	%	67,8	55,4	55,1	50,0	36,0	0	9,4
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	12468	13027	12980	12688	12801	11590	11925
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	12572	13125	12995	13060	14542	11320	13313
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	2,3	0
Arraste	%	0,8	0,8	0,1	2,9	13,6	0	11,6
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9177	9497	9534	9494	9135	8209	8048
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9429	9866	9384	9401	9933	8461	8143
Efic. de Rem.	%	0	0	1,6	1,0	0	0	0
Arraste	%	2,7	3,9	0	0	8,7	3,1	1,2
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	3291	3530	3446	3194	3666	3381	3877
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3143	3260	3611	3659	4609	2859	5170
Efic. de Rem.	%	4,5	7,6	0	0	0	15,4	0
Arraste	%	0	0	4,8	14,6	25,7	0	33,4
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,068	0,090	0,075	0,070	0,073	0,222	0,138
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,077	0,086	0,063	0,070	0,072	0,078	0,119
AVT/DQO _{Filtr.} Afl.	-	0,069	0,095	0,075	0,071	0,076	0,225	0,148
AVT/DQO _{Filtr.} Efl.	-	0,086	0,094	0,072	0,074	0,077	0,078	0,125
STV/ST Afl.	-	0,275	0,280	0,274	0,261	0,295	0,303	0,334
STV/ST Efl.	-	0,265	0,261	0,289	0,290	0,325	0,261	0,394

OBS: ** Considerando-se o etanol ou ácidos voláteis adicionados.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 9.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		57	58	59	60	61	62	63
Tempo de Reação	dias	5	5	5	5	5	5	5
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	50	50	50	50
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	59,2	55,1	53,0	54,1
Temperatura Mínima	°C	23,9	24,9	24,1	24,1	24,0	25,0	24,9
Temperatura Média	°C	24,8	25,4	25,0	25,1	25,0	25,8	25,1
Temperatura Máxima	°C	25,2	26,7	25,3	25,8	26,0	27,8	25,8
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	***	***	***	***	***	***	***
Etanol/Ácidos*** Adic.	g.Bat. ⁻¹	4361	4361	4361	4361	4361	4361	4361
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	4645	4715	4865	4905	4825	5055	5295
Efluente	mg.L ⁻¹	4555	4690	4755	3185	3080	3030	3275
Efic. de Rem.	%	1,9	0,5	2,3	35,1	36,2	40,1	38,1
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	4435	4520	4695	4675	4815	4825	4975
Efluente	mg.L ⁻¹	4385	4400	4530	2950	2840	2755	2845
Efic. de Rem.	%	1,1	2,7	3,5	36,9	41,0	42,9	42,8
pH								
Afluente	-	8,19	8,10	8,17	8,11	8,20	8,04	8,18
Efluente	-	8,17	8,22	8,22	8,33	8,38	8,38	8,38
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	278	402	383	628	618	627	650
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	348	296	367	407	364	426	368
Efic. de Rem.	%	0	26,3	4,4	35,1	41,1	32,0	43,4
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11930	12290	12780	13390	13150	13620	13550
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11630	11980	12140	13970	14300	14410	14860
Remoção	%	2,5	2,5	5,0	0	0	0	0
Geração	%	0	0	0	4,3	8,7	5,8	9,7
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,64	0,46	0,66	0,43	0,67	0,55	0,71
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	0,58	0,43	0,65	0,31	0,54	0,49	0,54
Efic. de Rem.	%	9,4	6,5	1,5	27,9	19,4	10,9	23,9
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,22	0,13	0,20	0,13	0,23	0,26	0,25
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,25	0,15	0,21	0,10	0,15	0,18	0,25
Efic. de Rem.	%	0	0	0	23,1	34,8	30,8	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,06	0,06	ND	0,06	0,02	0,03	0,04
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,06	0,07	ND	0,06	ND	0,03	0,04
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	100,0	0	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,46	0,45	0,47	0,43	0,53	0,42	0,51
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,46	0,50	0,50	0,27	0,37	0,33	0,40
Efic. de Rem.	%	0	0	0	37,2	30,2	21,4	21,6
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	10,88	5,53	5,66	11,27	5,64	6,27	6,58
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	19,37	17,60	14,30	16,67	15,97	13,03	13,19
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,26	0,20	0,20	0,21	0,18	0,17	0,17
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,26	0,22	0,20	0,21	0,19	0,17	0,19
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,05	0,04	0,05	ND	0,04	0,04	0,06
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,07	0,05	0,07	0,03	0,07	0,07	0,07
Efic. de Rem.	%	0	0	0	-	0	0	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	0,43	ND	0,18	0,70	0,25	0,26	0,24
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	0,54	0,77	0,50	0,75	0,35	0,26	0,21
Efic. de Rem.	%	0	-	0	0	0	0	12,5

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível; *** 3 L de Acét. + 1 L de Prop. + 0,25 L de Butir..

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 9.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		57	58	59	60	61	62	63
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	8,53	8,59	8,72	8,70	8,81	8,81	8,92
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	5,30	5,36	5,39	6,53	6,72	6,79	6,83
Efic. de Rem.	%	62,2	62,3	61,8	75,1	76,3	77,0	76,6
N-Amoniacal								
Afluenta	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2559	2752	2867	2912	2948	2981	2988
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2532	2647	2758	2768	2771	2794	2811
Efic. de Rem.	%	1,1	3,8	3,8	4,9	6,0	6,3	5,9
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	199	228	242	299	353	347	337
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	11438	11856	12492	12814	13042	12916	13268
ST Efl.	mg.L ⁻¹	11610	12108	12338	11234	10540	10588	10982
Efic. de Rem.	%	0	0	1,2	12,3	19,2	18,0	17,2
Arraste	%	1,5	2,1	0	0	0	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	8076	8558	8902	9110	8656	9196	9240
STF Efl.	mg.L ⁻¹	7956	8518	8842	8076	8210	9018	8194
Efic. de Rem.	%	1,5	0,5	0,7	11,4	5,2	1,9	11,3
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3362	3298	3590	3704	4386	3720	4028
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3654	3590	3496	3158	2330	2570	2788
Efic. de Rem.	%	0	0	2,6	14,7	46,9	30,9	30,8
Arraste	%	8,7	8,9	0	0	0	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	238	198	224	234	208	206	232
SST Efl.	mg.L ⁻¹	364	380	334	348	340	308	356
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	52,9	91,9	49,1	48,7	63,5	49,5	53,4
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	70	66	62	72	48	62	60
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	162	176	138	148	158	146	158
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	131,4	166,7	122,6	105,6	229,2	135,5	163,3
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	168	132	162	162	160	144	172
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	202	204	196	200	182	162	198
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	20,2	54,5	21,0	23,5	13,8	12,5	15,1
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	11200	11658	12268	12580	12834	12710	13036
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	11246	11728	12004	10886	10200	10280	10626
Efic. de Rem.	%	0	0	2,2	13,5	20,5	19,1	18,5
Arraste	%	0,4	0,6	0	0	0	0	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	8006	8492	8840	9038	8608	9134	9180
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	7794	8342	8704	7928	8052	7872	8036
Efic. de Rem.	%	2,6	1,8	1,5	12,3	6,5	13,8	12,5
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	3194	3166	3428	3542	4226	3576	3856
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3452	3386	3300	2958	2148	2408	2590
Efic. de Rem.	%	0	0	3,7	16,5	49,2	32,7	32,8
Arraste	%	8,1	6,9	0	0	0	0	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,060	0,085	0,079	0,128	0,128	0,124	0,123
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,076	0,063	0,077	0,128	0,118	0,141	0,112
AVT/DQO _{Filtr.} Afl.	-	0,063	0,089	0,082	0,134	0,128	0,130	0,131
AVT/DQO _{Filtr.} Efl.	-	0,079	0,067	0,081	0,138	0,128	0,155	0,129
STV/ST Afl.	-	0,294	0,278	0,287	0,289	0,336	0,288	0,304
STV/ST Efl.	-	0,315	0,296	0,283	0,281	0,221	0,243	0,254

OBS: ** Considerando-se o etanol ou ácidos voláteis adicionados.

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 10.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada				
		64	65	66	67	68
Tempo de Reação	dias	6	6	6	6	6
Proporção Teórica de Lix.	%	100	100	100	100	100
Proporção Real de Lix.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Temperatura Mínima	°C	25,0	25,3	22,0	25,8	25,2
Temperatura Média	°C	25,7	25,9	24,6	26,1	26,0
Temperatura Máxima	°C	26,9	26,7	28,0	26,5	26,7
Etanol Adic. (93,2 INPM)*	L.Bat. ⁻¹	***	***	***	***	***
Etanol/Ácidos*** Adic.	g.Bat. ⁻¹	4361	4361	4361	4361	4361
DQO Total						
Afluente	mg.L ⁻¹	5200	5120	5555	5440	5445
Efluente	mg.L ⁻¹	4640	5170	5620	5445	5410
Efic. de Rem.	%	10,8	0	0	0	0,6
DQO Filtrada						
Afluente	mg.L ⁻¹	4915	4750	5405	5175	5165
Efluente	mg.L ⁻¹	4490	4740	5610	5165	5210
Efic. de Rem.	%	8,6	0,2	0	0,2	0
pH						
Afluente	-	8,19	8,19	8,18	8,17	8,19
Efluente	-	8,40	8,44	8,41	8,41	8,45
Ac. Voláteis Totais (titul.)						
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	472	472	437	489	684
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	489	665	648	684	648
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	5,2
Alcalinidade Total						
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13310	12990	11520	11340	11420
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	18020	18230	16740	16070	16940
Remoção	%	0	0	0	0	0
Geração	%	35,4	40,3	45,3	41,7	48,3
Metais						
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,77	0,82	1,06	0,93	0,79
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	0,74	0,86	1,00	0,88	0,88
Efic. de Rem.	%	3,9	0	5,7	5,4	0
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,31	0,26	0,19	0,33	0,30
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,29	0,21	0,18	0,32	0,32
Efic. de Rem.	%	6,5	19,2	5,3	3,0	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,05	0,04	0,08	0,04	0,02
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,06	0,05	0,08	0,04	0,03
Efic. de Rem.	%	0	0	0,0	0,0	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,57	0,48	0,67	0,51	0,57
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,55	0,48	0,59	0,57	0,63
Efic. de Rem.	%	3,5	0,0	11,9	0	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	6,68	6,87	5,26	6,20	5,67
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	15,70	15,04	7,21	9,59	13,50
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,17	0,17	0,16	0,22	0,10
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,16	0,13	0,12	0,15	0,16
Efic. de Rem.	%	5,9	23,5	25,0	31,8	0
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,06	0,04	0,03	0,09	0,08
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,07	0,05	0,06	0,08	0,09
Efic. de Rem.	%	0	0	0	11,1	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	0,24	0,32	0,19	0,22	0,32
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	0,26	0,52	0,27	0,45	0,46
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0

OBS: ND = Não detectado; * Etanol combustível; *** 3 L de Acét. + 1 L de Prop. + 0,25 L de Butir..

Tabela P.1: Resultados experimentais da Etapa 2 de operação do ASBBR (R3). (continuação 10.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada				
		64	65	66	67	68
Carga Orgânica Filtr.**						
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	8,88	8,76	9,24	9,07	9,06
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	5,58	5,27	5,12	5,27	5,23
Efic. de Rem.	%	62,8	60,2	55,4	58,1	57,7
N-Amoniacal						
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2998	2857	2503	2511	2533
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	4357	4519	3998	4080	4259
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	573	633	499	569	634
Sólidos						
ST Afl.	mg.L ⁻¹	12910	13118	13568	13320	13299
ST Efl.	mg.L ⁻¹	12232	12774	12966	13375	13472
Efic. de Rem.	%	5,3	2,6	4,4	0	0
Arraste	%	0	0	0	0,4	1,3
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9868	9544	9394	9412	9230
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9454	9308	9178	9528	10008
Efic. de Rem.	%	4,2	2,5	2,3	0	0
Arraste	%	0	0	0	1,2	8,4
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3042	3574	4174	3908	4069
STV Efl.	mg.L ⁻¹	2778	3466	3788	3847	3464
Efic. de Rem.	%	8,7	3,0	9,2	1,6	14,9
Arraste	%	0	0	0	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	220	202	244	224	236
SST Efl.	mg.L ⁻¹	308	276	304	290	332
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Arraste	%	40,0	36,6	24,6	29,5	40,7
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	72	54	66	54	66
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	126	126	110	98	118
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Arraste	%	75,0	133,3	66,7	81,5	78,8
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	148	148	178	170	170
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	182	150	194	192	214
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0
Arraste	%	23,0	1,4	9,0	12,9	25,9
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	12690	12916	13224	13096	13063
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	11924	12498	12662	13085	13140
Efic. de Rem.	%	6,0	3,2	4,2	0,1	0
Arraste	%	0	0	0	0	0,6
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9796	9490	9328	9358	9164
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9328	9182	9068	9430	9890
Efic. de Rem.	%	4,8	3,2	2,8	0	0
Arraste	%	0	0	0	0,8	7,9
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	2894	3426	3996	3738	3899
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	2596	3316	3594	3655	3250
Efic. de Rem.	%	10,3	3,2	10,1	2,2	16,6
Arraste	%	0	0	0	0	0
Relações						
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	0,091	0,092	0,079	0,090	0,126
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	0,105	0,129	0,115	0,126	0,120
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	0,096	0,099	0,081	0,094	0,132
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	0,109	0,140	0,116	0,132	0,124
STV/ST Afl.	-	0,236	0,272	0,308	0,293	0,306
STV/ST Efl.	-	0,227	0,271	0,292	0,288	0,257

OBS: ** Considerando-se o etanol ou ácidos voláteis adicionados.

APÊNDICE Q

Resultados gráficos e discussão dos resultados de acompanhamento de sólidos e metais da segunda etapa de operação do ASBBR (R3).

Q.1 - Resultados Gráficos e Discussão dos Resultados de Acompanhamento de Sólidos e Metais da Segunda Etapa de Operação do ASBBR (R3)

As Figuras Q.1.1 (a) a Q.1.9 (b) apresentam as concentrações e as porcentagens de remoção ou de arraste de sólidos em R3. Considerou-se como arraste a ocorrência de concentrações de sólidos maiores no efluente do que as determinadas no afluente. Nota-se, que o acompanhamento desses parâmetros só foi iniciado a partir da batelada 14, que foi quando se iniciou a aplicação de lixiviados sem diluição como substrato afluente no reator.

Na Figura Q.1.1 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais afluente e efluente em R3 e na Figura Q.1.1 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste de sólidos totais. Nota-se, por essas figuras, que durante esse o período o sistema apresentou uma tendência de remoção de sólidos totais, sendo que somente em algumas bateladas, pede-se observar algum arraste. A máxima eficiência observada para sólidos totais foi da ordem de 40%, mas na grande maioria das vezes esteve sempre abaixo dos 20%.

Figura Q.1.1: (a) Sólidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de ST.

A Figura Q.1.2 (a) apresenta as concentrações de sólidos totais fixos no afluente e no efluente de R3 e a Figura Q.1.2 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de STF. Nota-se, por essas figuras, que praticamente não houve diferença entre as concentrações de afluentes e efluentes, oscilaram entre pequenas remoções e pequenos arrastes de STF da ordem de $\pm 10\%$.

Na Figura Q.1.3 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais voláteis afluente e efluente em R3 e na Figura Q.1.3 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste de STV. Nota-se, por essas figuras, que quase durante todo o período analisado, houve remoção de STV. A máxima eficiência foi observada na batelada 28, chegando próxima de 70%, mas na maior parte do tempo foi inferior a 40%.

Figura Q.1.2: (a) Sólidos totais fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STF.

Figura Q.1.3: (a) Sólidos totais voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STV.

A Figura Q.1.4 (a) apresenta as concentrações de sólidos suspensos totais no afluente e no efluente de R3 e a Figura Q.1.4 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de SST. Nota-se, por essas figuras, que durante o período analisado houve mais arraste do que remoção de SST, devido provavelmente ao arraste da biomassa da espuma. Nota-se, pelas Figuras Q.1.5 (a) a Q.1.6 (b), que o comportamento se também manteve para os SSF e SSV.

A Figura Q.1.7 (a) apresenta as concentrações de sólidos dissolvidos totais no afluente e no efluente de R3 e a Figura Q.1.7 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de SDT. Nota-se, por essas figuras, que praticamente todo o período, o sistema removeu SDT. A máxima eficiência observada foi pouco superior a 40% e na grande maioria das bateladas as eficiências ficaram abaixo dos 20%. As maiores eficiências notadas, depois da batelada 60, ocorreram devido à diluição do lixiviado para realização dos perfis temporais de concentração.

Na Figura Q.1.8 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos fixos no afluente e no efluente de R3 e a Figura Q.1.8 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de SDF.

Nota-se, por essas figuras, que o sistema apresentou uma tendência ligeiramente maior de remoção de SDF, mas mesmo assim apresentou alternância entre arraste e remoção.

Figura Q.1.4: (a) Sólidos suspensos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SST.

Figura Q.1.5: (a) Sólidos suspensos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSF.

Figura Q.1.6: (a) Sólidos suspensos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSV.

Figura Q.1.7: (a) Sólidos dissolvidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDT.

Figura Q.1.8: (a) Sólidos dissolvidos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDF.

A Figura Q.1.9 (a) apresenta as concentrações de sólidos dissolvidos voláteis no afluente e no efluente de R3 e a Figura Q.1.9 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste de SDV. Nota-se, por essas figuras, que ocorreu remoção de SDV na grande maioria das bateladas. A máxima eficiência observada foi da ordem de 70%, mas em geral, as eficiências ficaram quase sempre abaixo dos 40%.

A Figura Q.1.10 apresenta as relações STV/ST do afluente e do efluente do ASBBR (R3) e a eficiência do reator em termos de DQO_{Total} . Nota-se, pela figura, que quando a eficiência do sistema aumentou, ocorreu também um maior distanciamento entre as curvas das relações STV/ST do afluente e do efluente, sendo que no efluente as variações foram bem menores, mostrando que, provavelmente, o tratamento do lixiviado faz a relação se reduzir e também se estabilizar.

Figura Q.1.9: (a) Sólidos dissolvidos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDV.

Figura Q.1.10: Relações STV/ST afluente, efluente e eficiência de remoção de DQO_{Total} .

As Figuras Q.1.11 (a) a Q.1.18 (b) apresentam o acompanhamento das concentrações de metais, da batelada 14 à 57. Nota-se que, em muitos casos ocorreram arraste de metais, que provavelmente tiveram como origem o material argiloso que também compunha o inóculo proveniente do fundo da lagoa de lixiviados.

A Figura Q.1.11 (a) apresenta as concentrações de Zinco afluente e efluente em R3 e a Figura Q.1.11 (b) apresenta as porcentagens de remoção e arraste de Zinco. Nota-se, por essas figuras, que em geral, o sistema apresentou remoção de Zinco com exceção de algumas poucas bateladas, onde ocorreu algum arraste. A máxima remoção observada foi superior a 50%, porém o arraste máximo observado foi superior a 100%.

Com relação ao Chumbo, a Figura Q.1.12 (a) apresenta as suas concentrações afluente e efluente em R3 e a Figura Q.1.12 (b) apresenta as suas porcentagens de remoção e arraste. Nota-se, por essas figuras, que o sistema apresentou uma maior tendência de remoção do que de arraste de Chumbo. A máxima remoção observada foi superior a 65%, porém o arraste máximo observado foi muito superior a 100%.

Figura Q.1.11: (a) Zinco afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Zinco.

Figura Q.1.12: (a) Chumbo afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Chumbo.

A Figura Q.1.13 (a) apresenta as concentrações de Cádmio afluente e efluente em R3 e a Figura Q.1.13 (b) apresenta as porcentagens de remoção e arraste de Cádmio. Nota-se, por essas figuras, que em geral, o sistema apresentou alguma remoção de Cádmio. A máxima remoção observada foi de 100%, porém o arraste máximo observado foi superior a 150%.

Na Figura Q.1.14 (a) são apresentadas as concentrações de Níquel afluente e efluente em R3 e a Figura Q.1.14 (b) apresenta as porcentagens de remoção e arraste de Níquel. Nota-se, por essas figuras, que em geral, o sistema não apresentou remoção de Níquel com alternância entre pequenas remoções e pequenos arrastes.

A Figura Q.1.15 (a) apresenta as concentrações de Ferro afluente e efluente em R3 e a Figura Q.1.15 (b) apresenta as porcentagens de remoção e arraste de Ferro. Nota-se, por essas figuras, que em geral, o sistema apresentou pouca remoção de Ferro com alguns picos de grande arraste. A máxima remoção observada foi de quase 50%, porém o arraste máximo observado foi superior a 150%.

Figura Q.1.13: (a) Cádmio afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cádmio.

Figura Q.1.14: (a) Níquel afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Níquel.

Figura Q.1.15: (a) Ferro afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Ferro.

Na Figura Q.1.16 (a) são apresentadas as concentrações de Manganês afluente e efluente em R3 e na Figura Q.1.16 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção e arraste de Manganês. Nota-se, por essas figuras, que em geral, o sistema apresenta uma boa remoção desse metal com arraste

somente em três bateladas. A máxima remoção observada foi superior a 65%, e o arraste máximo observado foi de 25%.

A Figura Q.1.17 (a) apresenta as concentrações de Cobre afluente e efluente em R3 e a Figura Q.1.17 (b) apresenta as porcentagens de remoção e arraste de Cobre. Nota-se, por essas figuras, que em geral, o sistema apresentou somente arraste deste metal. A máxima remoção observada foi de 30%, porém o arraste máximo observado foi de 300%.

Na Figura Q.1.18 (a) são apresentadas as concentrações de Cromo afluente e efluente em R3 e na Figura Q.1.18 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção e arraste de Cromo. Nota-se, por essas figuras, que em geral, o sistema não apresenta remoção desse metal, com exceção de uma única batelada, onde ocorreu remoção total. O arraste máximo observado foi de 400% para o Cromo.

Figura Q.1.16: (a) Manganês afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Manganês.

Figura Q.1.17: (a) Cobre afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cobre.

(a)

(b)

Figura Q.1.18: (a) Cromo afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cromo.

APÊNDICE R

Resultados dos perfis de concentração realizados na segunda etapa de operação do ASBBR (R3).

Tabela R.1: Resultados do **primeiro** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 07).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura	°C	23,0	25,0	25,0	24,0	24,0	24,0	25,0	25,5
pH	-	8,08	7,48	7,74	7,94	8,04	8,08	8,14	8,15
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7090	6180	6410	6620	6690	6750	6800	6800
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹								
AVT**	mg Ac. Acét..L ⁻¹	494	2499	1709	1370	1045	777	621	565
DQO _{Total} Lix. sem Diluição	mg.L ⁻¹	3965	-	-	-	-	-	-	-
DQO _{Filtr.} Lix. sem Diluição	mg.L ⁻¹	3910	-	-	-	-	-	-	-
DQO _{Filtr.} Lix. Diluído 50%	mg.L ⁻¹	2320							
Etanol Adicionado	L	2,0	-	-	-	-	-	-	-
DQO _{Filtr.} Lix. Dil. 50% + Etanol	mg.L ⁻¹	5610	4570	3745	3320	3070	2830	2585	2345
Remoção de DQO _{Filtr.}	%	0	18,5	33,2	40,8	45,3	49,6	53,9	58,2

* AVT obtidos por titulação; ** Com correção.

Tabela R.2: Resultados do **segundo** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 16).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]								
		0	1	2	3	3	4	5	6	7
Temperatura	°C	27	25,2	25	24,9	24,9	25	25,3	26	26,1
pH	-	8,15	7,88	7,97	8,02	8,02	7,86	7,88	7,97	8,02
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11340	10660	10780	10930	10930	10510	10860	10800	10980
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹									
AVT**	mg Ac. Acét..L ⁻¹	942	2415	1604	1096	1096	2372	1322	904	692
DQO _{Total} Lix. sem Diluição	mg.L ⁻¹	5080	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO _{Filtr.} Lix. sem Diluição	mg.L ⁻¹	4785	-	-	-	-	-	-	-	-
Etanol Adicionado	L	2,0	-	-	-	2,0	-	-	-	-
DQO _{Filtr.} Lix. + Etanol	mg.L ⁻¹	7965	6625	5585	4825	8030	6300	5435	4545	4210
Remoção de DQO _{Filtr.}	%	0	16,8	29,9	39,4	0	21,5	32,3	43,4	47,6

* AVT obtidos por titulação; ** Com correção.

Tabela R.3: Resultados do **terceiro** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 28).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura	°C	26,6	28,1	27,0	26,1	25,9	24,9	24,5	23,3
pH	-	7,78	7,96	8,04	8,06	8,16	8,08	8,21	8,15
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9420	9300	9380	9370	9350	9350	9370	9210
Mat. Orgânica									
Etanol Adic.	L	0	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	3630	1780	980	580	424	360	340	330
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	6304	2873	1390	648	359	241	203	185
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	11080	6985	4995	3970	3520	3340	3285	3435
Rem. DQO_{Total}	%	0	37,0	54,9	64,2	68,2	69,9	70,4	69,0
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	10405	6225	4365	3560	3185	3070	3050	2965
Rem. DQO_{Filtr.}	%	0	40,2	58,0	65,8	69,4	70,5	70,7	71,5
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	4710	3233	2917	2645	2412	2668	2552	2399
Nitrogênio									
N-Total (NTK)	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2075	2047	-	2028	-	2009	-	1990
N-Orgânico	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	209	241	-	224	-	184	-	162
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1866	1806	-	1804	-	1825	-	1828
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	69	112	124	122	148	117	149	121
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	23,7	-	-	-	-	-	-	19,2
Enxofre									
S-Sulfato	mg SO ₄ .L ⁻¹	ND	-	-	-	-	-	-	ND
S-Sulfeto	mg S.L ⁻¹	ND	-	-	-	-	-	-	ND
Cloretos	mg.L ⁻¹	2750	2925	2950	2800	2775	2850	2950	2650
Condutividade	μS.m ⁻¹	38750	34550	35450	36250	35750	37650	36900	36650
Sólidos									
ST	mg.L ⁻¹	18142	12821	11768	11232	10931	11020	10686	11002
STF	mg.L ⁻¹	9149	8225	8073	8075	8394	8159	8092	8121
STV	mg.L ⁻¹	8993	4596	3695	3157	2537	2861	2594	2881
SST	mg.L ⁻¹	404	961	623	547	428	359	276	687
SSF	mg.L ⁻¹	280	361	227	213	171	132	78	294
SSV	mg.L ⁻¹	124	600	396	333	257	227	198	393
SDT	mg.L ⁻¹	17738	11860	11145	10685	10503	10661	10410	10315
SDF	mg.L ⁻¹	8869	7864	7846	7862	8223	8027	8014	7827
SDV	mg.L ⁻¹	8869	3996	3299	2824	2280	2634	2396	2488
Metais									
Zinco	mg.L ⁻¹	0,21	0,62	0,39	0,31	0,28	0,22	0,21	0,43
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,16	0,16	0,15	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,07
Níquel	mg.L ⁻¹	0,84	0,86	0,86	0,83	0,78	0,77	0,78	0,85
Ferro	mg.L ⁻¹	28,50	41,18	27,00	23,12	17,30	14,53	13,24	27,30
Manganês	mg.L ⁻¹	0,74	0,46	0,26	0,19	0,12	0,11	0,11	0,33
Cobre	mg.L ⁻¹	0,06	0,09	0,09	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
Cromo	mg.L ⁻¹	0,11	0,27	0,29	0,24	0,22	0,18	0,17	0,31
Sódio	mg.L ⁻¹	1867	-	-	-	-	-	-	1985
Potássio	mg.L ⁻¹	1809	-	-	-	-	-	-	1923
Cálcio	mg.L ⁻¹	380	-	-	-	-	-	-	62
Magnésio	mg.L ⁻¹	240	-	-	-	-	-	-	180
Relações									
AVT/DQO_{Total}	-	0,569	0,411	0,278	0,163	0,102	0,072	0,062	0,054
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,606	0,462	0,318	0,182	0,113	0,078	0,067	0,062
STV/ST	-	0,496	0,358	0,314	0,281	0,232	0,260	0,243	0,262
Biodegr._{Total} **	%	69,0	50,8	31,2	13,5	2,4	0	0	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	71,5	52,4	32,1	16,7	6,9	3,4	2,8	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.4: Resultados do **quarto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 29).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura	°C	23,3	23,2	22,8	23,5	24,7	25,0	25,3	25,2
pH	-	8,12	8,15	8,23	8,19	8,27	8,27	8,21	8,26
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9490	9500	9590	9670	9670	9720	9690	9590
Mat. Orgânica									
Etanol Adic.	L	0	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	2690	1710	1090	742	572	460	406	390
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	4561	2744	1594	949	634	426	326	296
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	8535	6510	5315	4450	3915	3500	3340	3280
Rem. DQO _{Total}	%	0	23,7	37,7	47,9	54,1	59,0	60,9	61,6
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	7540	5705	4610	3730	3365	3190	3120	2943
Rem. DQO _{Filtr.}	%	0	24,3	38,9	50,5	55,4	57,7	58,6	61,0
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	4960	3472	2718	2142	1924	1980	1750	1748
Nitrogênio									
N-Total (NTK)	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
N-Orgânico	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1870	-	-	-	-	-	-	1655
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	116	121	138	130	164	164	145	157
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Enxofre									
S-Sulfato	mg SO ₄ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
S-Sulfeto	mg S.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2750	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos									
ST	mg.L ⁻¹	13543	12683	11976	11693	11327	11386	10879	11351
STF	mg.L ⁻¹	8511	8532	8453	8374	8756	8259	8230	8782
STV	mg.L ⁻¹	5032	4151	3523	3319	2571	3127	2649	2569
SST	mg.L ⁻¹	230	578	481	471	330	250	194	493
SSF	mg.L ⁻¹	67	213	179	170	104	75	56	217
SSV	mg.L ⁻¹	163	366	303	301	226	175	139	276
SDT	mg.L ⁻¹	13313	12105	11495	11222	10997	11136	10685	10858
SDF	mg.L ⁻¹	8444	8320	8274	8204	8652	8184	8174	8565
SDV	mg.L ⁻¹	4869	3785	3220	3018	2345	2952	2510	2293
Metais									
Zinco	mg.L ⁻¹	0,30	-	-	-	-	-	-	0,44
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,18	-	-	-	-	-	-	0,13
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,11	-	-	-	-	-	-	0,09
Níquel	mg.L ⁻¹	0,51	-	-	-	-	-	-	0,50
Ferro	mg.L ⁻¹	20,40	-	-	-	-	-	-	24,87
Manganês	mg.L ⁻¹	0,71	-	-	-	-	-	-	0,27
Cobre	mg.L ⁻¹	0,04	-	-	-	-	-	-	0,08
Cromo	mg.L ⁻¹	ND	-	-	-	-	-	-	ND
Sódio	mg.L ⁻¹	1920	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	1923	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	76	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	415	-	-	-	-	-	-	-
Relações									
AVT/DQO _{Total}	-	0,534	0,421	0,300	0,213	0,162	0,122	0,098	0,090
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,605	0,481	0,346	0,254	0,188	0,134	0,104	0,101
STV/ST	-	0,372	0,327	0,294	0,284	0,227	0,275	0,243	0,226
Biodegr. _{Total} **	%	61,6	49,6	38,3	26,3	16,2	6,3	1,8	0
Biodegr. _{Filtr.} **	%	61,0	48,4	36,2	21,1	12,5	7,7	5,7	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.5: Resultados do **quinto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 30).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura	°C	27,0	27,0	27,1	27,1	27,0	27,0	27,0	27,0
pH	-	8,27	8,23	8,29	8,30	8,30	8,34	8,29	8,34
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9590	9610	9640	9610	9530	9590	9510	9500
Mat. Orgânica									
Etanol Adic.	L	0	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	1014	660	444	360	342	330	320	324
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	1453	797	396	241	207	185	166	174
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	4970	3970	3540	3300	3195	3280	3130	3190
Rem. DQO_{Total}	%	0	20,1	28,8	33,6	35,7	34,0	37,0	35,8
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4890	3685	3380	3250	3160	3055	3140	3000
Rem. DQO_{Filtr.}	%	0	24,6	30,9	33,5	35,4	37,5	35,8	38,7
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2393	1863	1886	1739	1852	1897	1704	1636
Nitrogênio									
N-Total (NTK)	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
N-Orgânico	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1875	-	-	-	-	-	-	1817
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	203	186	211	215	212	229	206	227
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Enxofre									
S-Sulfato	mg SO ₄ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
S-Sulfeto	mg S.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2650	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos									
ST	mg.L ⁻¹	11766	11807	11586	11480	11210	10994	12698	11858
STF	mg.L ⁻¹	8144	8188	8181	8439	8452	7961	7744	8167
STV	mg.L ⁻¹	3622	3619	3405	3041	2758	3033	4954	3691
SST	mg.L ⁻¹	246	328	232	175	144	136	119	314
SSF	mg.L ⁻¹	69	116	71	42	42	40	36	134
SSV	mg.L ⁻¹	177	212	162	133	102	96	83	180
SDT	mg.L ⁻¹	11520	11479	11354	11305	11066	10858	12579	11544
SDF	mg.L ⁻¹	8075	8072	8110	8397	8410	7921	7708	8033
SDV	mg.L ⁻¹	3445	3407	3243	2908	2656	2937	4871	3511
Metais									
Zinco	mg.L ⁻¹	0,38	0,41	0,37	0,42	0,29	0,27	0,23	0,37
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,16	0,10	0,14	0,15	0,17	0,16	0,17	0,10
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,09	0,07	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09
Níquel	mg.L ⁻¹	0,47	0,48	0,48	0,15	0,50	0,16	0,48	0,52
Ferro	mg.L ⁻¹	17,22	17,38	12,20	11,03	8,82	7,93	6,52	16,94
Manganês	mg.L ⁻¹	0,64	0,34	0,19	0,14	0,13	0,12	0,11	0,20
Cobre	mg.L ⁻¹	0,02	0,07	0,03	0,03	0,06	0,04	0,02	0,08
Cromo	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sódio	mg.L ⁻¹	1877	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	1865	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	85	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	220	-	-	-	-	-	-	-
Relações									
AVT/DQO_{Total}	-	0,292	0,201	0,112	0,073	0,065	0,056	0,053	0,054
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,297	0,216	0,117	0,074	0,066	0,061	0,053	0,058
STV/ST	-	0,308	0,307	0,294	0,265	0,246	0,276	0,390	0,311
Biodegr._{Total} **	%	35,8	19,6	9,9	3,3	0,2	2,7	0	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	38,7	18,6	11,2	7,7	5,1	1,8	4,5	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.6: Resultados do **sexto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 31).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura	°C	27,0	27,8	27,2	26,1	24,8	24,1	23,4	23,0
pH	-	7,97	8,05	8,05	8,04	8,10	-	-	8,26
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10710	10470	10640	10670	10810	-	-	10690
Mat. Orgânica									
Etanol Adic.	L	0	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	2620	1891	1210	800	424	-	-	390
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	4431	3079	1817	1056	359	-	-	296
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	10485	7750	6220	5085	4180	-	-	3865
Rem. DQO_{Total}	%	0	26,1	40,7	51,5	60,1	-	-	63,1
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	10155	7375	5835	4820	3980	-	-	3675
Rem. DQO_{Filtr.}	%	0	27,4	42,5	52,5	60,8	-	-	63,8
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	5952	4444	3516	3416	2320	-	-	2158
Nitrogênio									
N-Total (NTK)	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
N-Orgânico	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2171	-	-	-	-	-	-	-
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	125	156	150	137	143	-	-	178
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Enxofre									
S-Sulfato	mg SO ₄ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
S-Sulfeto	mg S.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2460	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos									
ST	mg.L ⁻¹	15303	13822	13053	12509	12234	-	-	12277
STF	mg.L ⁻¹	10030	9573	9748	9389	9452	-	-	9039
STV	mg.L ⁻¹	5273	4249	3305	3120	2782	-	-	3238
SST	mg.L ⁻¹	655	618	497	373	336	-	-	396
SSF	mg.L ⁻¹	186	175	152	115	86	-	-	156
SSV	mg.L ⁻¹	469	442	344	258	250	-	-	240
SDT	mg.L ⁻¹	14648	13204	12556	12137	11898	-	-	11881
SDF	mg.L ⁻¹	9844	9398	9596	9274	9366	-	-	8883
SDV	mg.L ⁻¹	4804	3807	2961	2863	2532	-	-	2998
Metais									
Zinco	mg.L ⁻¹	1,13	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,37	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,11	-	-	-	-	-	-	-
Níquel	mg.L ⁻¹	0,58	-	-	-	-	-	-	-
Ferro	mg.L ⁻¹	22,74	-	-	-	-	-	-	-
Manganês	mg.L ⁻¹	0,60	-	-	-	-	-	-	-
Cobre	mg.L ⁻¹	0,11	-	-	-	-	-	-	-
Cromo	mg.L ⁻¹	0,15	-	-	-	-	-	-	-
Sódio	mg.L ⁻¹	2340	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	2483	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	14	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	160	-	-	-	-	-	-	-
Relações									
AVT/DQO_{Total}	-	0,423	0,397	0,292	0,208	0,086	-	-	0,077
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,436	0,418	0,311	0,219	0,090	-	-	0,081
STV/ST	-	0,345	0,307	0,253	0,249	0,227	-	-	0,264
Biodegr._{Total} **	%	63,1	50,1	37,9	24,0	7,5	-	-	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	63,8	50,2	37,0	23,8	7,7	-	-	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.7: Resultados do **sétimo** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 33).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]					
		0	1	2	3	4	5
Temperatura	°C	24,9	26,4	25,6	24,9	24,3	24,7
pH	-	7,87	7,92	7,92	7,88	7,94	8,02
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11400	11270	11390	11490	11340	11370
Mat. Orgânica							
Etanol Adic.	L	0	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	2716	1754	1174	824	630	524
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	4609	2825	1750	1101	741	545
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	11310	7985	6400	5475	5030	4770
Rem. DQO_{Total}	%	0	29,4	43,4	51,6	55,5	57,8
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	10780	7610	5980	5215	4645	4375
Rem. DQO_{Filtr.}	%	0	29,4	44,5	51,6	56,9	59,4
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio							
N-Total (NTK)	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N-Orgânico	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2322	-	-	-	-	-
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	93	115	109	95	104	128
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Enxofre							
S-Sulfato	mg SO ₄ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
S-Sulfeto	mg S.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2660	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Sólidos							
ST	mg.L ⁻¹	16023	14592	13658	13131	13112	13203
STF	mg.L ⁻¹	10108	9723	9835	9737	10001	9903
STV	mg.L ⁻¹	5915	4869	3823	3394	3111	3300
SST	mg.L ⁻¹	573	702	543	330	312	581
SSF	mg.L ⁻¹	163	177	151	106	102	192
SSV	mg.L ⁻¹	410	525	391	224	210	389
SDT	mg.L ⁻¹	15450	13890	13115	12801	12800	12753
SDF	mg.L ⁻¹	9945	9546	9684	9631	9899	9842
SDV	mg.L ⁻¹	5505	4344	3432	3170	2901	2911
Metais							
Zinco	mg.L ⁻¹	1,37	-	-	-	-	-
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,35	-	-	-	-	-
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,11	-	-	-	-	-
Níquel	mg.L ⁻¹	0,64	-	-	-	-	-
Ferro	mg.L ⁻¹	24,67	-	-	-	-	-
Manganês	mg.L ⁻¹	0,78	-	-	-	-	-
Cobre	mg.L ⁻¹	0,09	-	-	-	-	-
Cromo	mg.L ⁻¹	0,16	-	-	-	-	-
Sódio	mg.L ⁻¹	2168	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	2712	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	15	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	150	-	-	-	-	-
Relações							
AVT/DQO_{Total}	-	0,408	0,354	0,273	0,201	0,147	0,114
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,428	0,371	0,293	0,211	0,160	0,124
STV/ST	-	0,369	0,334	0,280	0,258	0,237	0,250
Biodegr._{Total} **	%	57,8	40,3	25,5	12,9	5,2	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	59,4	42,5	26,8	16,1	5,8	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.8: Resultados do **oitavo** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 34).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]					
		0	1	2	3	4	5
Temperatura	°C	24,3	25,1	24,8	24,2	24,0	24,5
pH	-	8,01	8,02	8,07	8,02	8,06	8,09
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11340	11400	11490	11450	11520	11500
Mat. Orgânica							
Etanol Adic.	L	0	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	2100	1350	940	650	550	484
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	3467	2076	1316	778	593	470
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	8765	6990	5695	5025	4610	4480
Rem. DQO_{Total}	%	0	20,3	35,0	42,7	47,4	48,9
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	8380	6310	5095	4675	4280	4070
Rem. DQO_{Filtr.}	%	0	24,7	39,2	44,2	48,9	51,4
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3680	3058	2579	2746	2554	2673
Nitrogênio							
N-Total (NTK)	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N-Orgânico	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2357	-	-	-	-	-
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	123	133	145	125	135	149
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Enxofre							
S-Sulfato	mg SO ₄ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
S-Sulfeto	mg S.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2440	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Sólidos							
ST	mg.L ⁻¹	15220	14005	17930	15738	14188	13911
STF	mg.L ⁻¹	10081	9702	9855	9823	9594	9679
STV	mg.L ⁻¹	5139	4303	8075	5915	4594	4233
SST	mg.L ⁻¹	322	411	415	310	323	456
SSF	mg.L ⁻¹	110	127	158	96	137	136
SSV	mg.L ⁻¹	212	284	258	214	186	321
SDT	mg.L ⁻¹	14898	13594	17515	15428	13865	13455
SDF	mg.L ⁻¹	9971	9575	9698	9727	9457	9543
SDV	mg.L ⁻¹	4927	4019	7818	5701	4408	3912
Metais							
Zinco	mg.L ⁻¹	0,86	-	-	-	-	0,84
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,34	-	-	-	-	0,34
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,02	-	-	-	-	0,02
Níquel	mg.L ⁻¹	0,63	-	-	-	-	0,58
Ferro	mg.L ⁻¹	11,00	-	-	-	-	15,48
Manganês	mg.L ⁻¹	0,39	-	-	-	-	0,21
Cobre	mg.L ⁻¹	0,07	-	-	-	-	0,09
Cromo	mg.L ⁻¹	0,19	-	-	-	-	0,24
Sódio	mg.L ⁻¹	2763	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	2461	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	113	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	160	-	-	-	-	-
Relações							
AVT/DQO_{Total}	-	0,396	0,297	0,231	0,155	0,129	0,105
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,414	0,329	0,258	0,166	0,139	0,116
STV/ST	-	0,338	0,307	0,450	0,376	0,324	0,304
Biodegr._{Total} **	%	48,9	35,9	21,3	10,8	2,8	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	51,4	35,5	20,1	12,9	4,9	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.9: Resultados do **nono** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 35).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]					
		0	1	2	3	4	5
Temperatura	°C	24,0	24,8	24,2	24,2	24,3	24,0
pH	-	7,97	8,05	8,10	8,15	8,20	8,22
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11700	11790	11790	11720	11690	11590
Mat. Orgânica							
Etanol Adic.	L	0	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	1200	850	650	550	496	490
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	1798	1149	778	593	493	482
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	6755	5835	5285	5105	4845	4895
Rem. DQO_{Total}	%	0	13,6	21,8	24,4	28,3	27,5
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	6390	5610	5145	4875	4720	4553
Rem. DQO_{Filtr.}	%	0	12,2	19,5	23,7	26,1	28,7
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3217	2920	2718	2807	2646	2748
Nitrogênio							
N-Total (NTK)	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N-Orgânico	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2377	-	-	-	-	-
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	112	140	150	167	187	192
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Enxofre							
S-Sulfato	mg SO ₄ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
S-Sulfeto	mg S.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2760	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Sólidos							
ST	mg.L ⁻¹	14158	13547	13369	13267	13265	13085
STF	mg.L ⁻¹	10055	9974	9992	9962	10016	10010
STV	mg.L ⁻¹	4103	3573	3377	3305	3249	3075
SST	mg.L ⁻¹	609	352	314	340	306	426
SSF	mg.L ⁻¹	165	104	82	78	76	128
SSV	mg.L ⁻¹	443	248	232	262	230	298
SDT	mg.L ⁻¹	13549	13195	13055	12927	12959	12659
SDF	mg.L ⁻¹	9890	9870	9910	9884	9940	9882
SDV	mg.L ⁻¹	3660	3325	3145	3043	3019	2777
Metais							
Zinco	mg.L ⁻¹	1,19	-	-	-	-	0,86
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,29	-	-	-	-	0,29
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,02	-	-	-	-	0,02
Níquel	mg.L ⁻¹	0,69	-	-	-	-	0,64
Ferro	mg.L ⁻¹	16,17	-	-	-	-	11,09
Manganês	mg.L ⁻¹	0,39	-	-	-	-	0,19
Cobre	mg.L ⁻¹	0,10	-	-	-	-	0,07
Cromo	mg.L ⁻¹	0,24	-	-	-	-	0,28
Sódio	mg.L ⁻¹	2991	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	2539	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	92	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	190	-	-	-	-	-
Relações							
AVT/DQO_{Total}	-	0,266	0,197	0,147	0,116	0,102	0,098
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,281	0,205	0,151	0,122	0,104	0,106
STV/ST	-	0,290	0,264	0,253	0,249	0,245	0,235
Biodegr._{Total} **	%	27,5	16,1	7,4	4,1	0	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	28,7	18,8	11,5	6,6	3,5	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.10: Resultados do **décimo** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 37).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]					
		0	1	2	3	4	5
Temperatura	°C	24,7	23,4	22,3	22,2	22,1	21,5
pH	-	7,98	8,10	8,14	8,20	8,22	8,26
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11990	11820	11970	11740	11690	11700
Mat. Orgânica							
Etanol Adic.	L	0	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	720	640	570	550	540	510
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	908	760	630	593	574	519
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	5310	5015	4705	4710	4660	4670
Rem. DQO_{Total}	%	0	5,6	11,4	11,3	12,2	12,1
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4825	4630	4515	4410	4350	4270
Rem. DQO_{Filtr.}	%	0	4,0	6,4	8,6	9,8	11,5
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2806	2737	2815	2625	2639	2596
Nitrogênio							
N-Total (NTK)	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N-Orgânico	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2394	-	-	-	-	-
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	121	143	145	164	170	178
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Enxofre							
S-Sulfato	mg SO ₄ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
S-Sulfeto	mg S.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2660	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Sólidos							
ST	mg.L ⁻¹	14803	16640	13850	13754	13770	13800
STF	mg.L ⁻¹	9675	9774	10069	9966	9697	9613
STV	mg.L ⁻¹	5128	6866	3781	3788	4073	4187
SST	mg.L ⁻¹	396	413	264	286	292	376
SSF	mg.L ⁻¹	102	91	66	58	70	132
SSV	mg.L ⁻¹	294	321	198	228	222	244
SDT	mg.L ⁻¹	14407	16227	13586	13468	13478	13424
SDF	mg.L ⁻¹	9573	9683	10003	9908	9627	9481
SDV	mg.L ⁻¹	4834	6545	3583	3560	3851	3943
Metais							
Zinco	mg.L ⁻¹	1,16	-	-	-	-	0,89
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,25	-	-	-	-	0,30
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,06	-	-	-	-	0,08
Níquel	mg.L ⁻¹	0,72	-	-	-	-	0,75
Ferro	mg.L ⁻¹	12,80	-	-	-	-	11,16
Manganês	mg.L ⁻¹	0,21	-	-	-	-	0,13
Cobre	mg.L ⁻¹	0,07	-	-	-	-	0,06
Cromo	mg.L ⁻¹	0,20	-	-	-	-	0,32
Sódio	mg.L ⁻¹	2837	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	2539	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Relações							
AVT/DQO_{Total}	-	0,171	0,151	0,134	0,126	0,123	0,111
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,188	0,164	0,140	0,134	0,132	0,121
STV/ST	-	0,346	0,413	0,273	0,275	0,296	0,303
Biodegr._{Total} **	%	12,1	6,9	0,7	0,8	0	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	11,5	7,8	5,4	3,2	1,8	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.11: Resultados do **décimo primeiro** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 51).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]								
		0	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Temperatura	°C	29,2	29,2	27,3	26,0	25,2	25,0	25,0	24,0	25,0
pH	-	7,95	7,95	7,63	7,80	7,96	8,02	8,09	8,12	8,15
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13500	13500	12880	12760	13040	13280	13380	13320	13380
Mat. Orgânica										
Etanol Adic.	L	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	468	468	2340	1507	945	837	477	459	459
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	441	441	3912	2367	1325	1125	457	424	424
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	4915	11165	8980	7365	6325	5610	5085	4880	4945
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	19,6	34,0	43,3	49,8	54,5	56,3	55,7
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4640	10220	7790	6730	5900	5255	4610	4690	4520
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	23,8	34,1	42,3	48,6	54,9	54,1	55,8
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio										
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2864	2864	-	-	-	-	-	-	2789
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	182	182	79	105	141	159	184	182	207
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2725	2725	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos										
ST	mg.L ⁻¹	13259	13298	15345	15409	15748	13490	13700	14338	13577
STF	mg.L ⁻¹	9545	9647	9825	9744	9715	9887	9875	9720	10031
STV	mg.L ⁻¹	3714	3651	5520	5665	6033	3603	3825	4618	3546
SST	mg.L ⁻¹	232	380	782	720	649	555	366	282	452
SSF	mg.L ⁻¹	48	136	253	272	234	190	105	62	165
SSV	mg.L ⁻¹	184	244	529	448	415	365	261	220	286
SDT	mg.L ⁻¹	13027	12918	14563	14689	15099	12935	13334	14056	13125
SDF	mg.L ⁻¹	9497	9511	9572	9472	9481	9697	9770	9658	9866
SDV	mg.L ⁻¹	3530	3407	4991	5217	5618	3238	3564	4398	3260
Metais										
Zinco	mg.L ⁻¹	0,79	-	-	-	-	-	-	-	0,85
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,13	-	-	-	-	-	-	-	0,10
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,06
Níquel	mg.L ⁻¹	0,45	-	-	-	-	-	-	-	0,50
Ferro	mg.L ⁻¹	7,95	-	-	-	-	-	-	-	17,64
Manganês	mg.L ⁻¹	0,19	-	-	-	-	-	-	-	0,32
Cobre	mg.L ⁻¹	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,08
Cromo	mg.L ⁻¹	0,39	-	-	-	-	-	-	-	0,56
Sódio	mg.L ⁻¹	2456	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	2224	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	53	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	120	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações										
AVT/DQO_{Total}	-	0,090	0,039	0,436	0,321	0,210	0,201	0,090	0,087	0,086
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,095	0,043	0,502	0,352	0,225	0,214	0,099	0,090	0,094
STV/ST	-	0,280	0,275	0,360	0,368	0,383	0,267	0,279	0,322	0,261
Biodegr._{Total} **	%	-	55,7	44,9	32,9	21,8	11,9	2,8	0	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	55,8	42,0	32,8	23,4	14,0	2,0	3,6	0,0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.12: Resultados do **décimo segundo** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 53).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]								
		0	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Temperatura	°C	27,0	27,0	25,4	24,0	23,3	23,2	24,0	25,0	25,1
pH	-	7,98	7,98	7,68	7,74	7,97	8,02	8,08	8,08	8,15
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13460	13460	12180	12340	12760	12900	12980	13060	13020
Mat. Orgânica										
Etanol Adic.	L	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	409	409	2309	1710	1140	779	447	428	412
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	331	331	3854	2744	1687	1017	402	367	337
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	4750	10640	8665	7475	6355	5690	4865	5005	4805
Rem. DQO _{Total}	%	-	0	18,6	29,7	40,3	46,5	54,3	53,0	54,8
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4695	10430	8355	7045	6015	5145	4645	4565	4550
Rem. DQO _{Filtr.}	%	-	0	19,9	32,5	42,3	50,7	55,5	56,2	56,4
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio										
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2873	2873	-	-	-	-	-	-	2797
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	169	169	78	80	127	141	169	179	209
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	7,5	-	-	-	-	-	-	-	11,3
Cloretos	mg.L ⁻¹	2800	2800	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos										
ST	mg.L ⁻¹	12888	13034	14995	15341	14055	13507	13255	12935	13460
STF	mg.L ⁻¹	9528	9611	9566	9592	9315	9915	9494	9694	9552
STV	mg.L ⁻¹	3360	3423	5429	5749	4740	3592	3761	3241	3908
SST	mg.L ⁻¹	200	438	865	685	593	511	396	293	400
SSF	mg.L ⁻¹	34	172	322	253	200	149	129	76	151
SSV	mg.L ⁻¹	166	266	543	432	393	362	267	217	249
SDT	mg.L ⁻¹	12688	12596	14130	14656	13462	12996	12859	12642	13060
SDF	mg.L ⁻¹	9494	9439	9244	9339	9115	9766	9365	9618	9401
SDV	mg.L ⁻¹	3194	3157	4886	5317	4347	3230	3494	3024	3659
Metais										
Zinco	mg.L ⁻¹	0,52	-	-	-	-	-	-	-	0,46
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,05
Cádmio	mg.L ⁻¹	ND	-	-	-	-	-	-	-	ND
Níquel	mg.L ⁻¹	0,34	-	-	-	-	-	-	-	0,36
Ferro	mg.L ⁻¹	11,78	-	-	-	-	-	-	-	30,72
Manganês	mg.L ⁻¹	0,16	-	-	-	-	-	-	-	0,23
Cobre	mg.L ⁻¹	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,06
Cromo	mg.L ⁻¹	0,39	-	-	-	-	-	-	-	0,72
Sódio	mg.L ⁻¹	2778	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	2101	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	54	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	115	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações										
AVT/DQO _{Total}	-	0,070	0,031	0,445	0,367	0,265	0,179	0,083	0,073	0,070
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,071	0,032	0,461	0,389	0,280	0,198	0,087	0,080	0,074
STV/ST	-	0,261	0,263	0,362	0,375	0,337	0,266	0,284	0,251	0,290
Biodegr. _{Total} **	%	-	54,8	44,5	35,7	24,4	15,6	1,2	4,0	0
Biodegr. _{Filtr.} **	%	-	56,4	45,5	35,4	24,4	11,6	2,0	0,3	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.13: Resultados do **décimo terceiro** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 54).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]								
		0	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Temperatura	°C	26,9	26,9	26,4	26,0	25,4	24,7	22,3	21,6	20,8
pH	-	8,02	8,02	7,77	7,83	8,00	8,04	8,16	8,19	8,25
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13320	13320	12240	12440	12820	12980	13060	13020	13000
Mat. Orgânica										
Etanol Adic.	L	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	418	418	2252	1549	1007	722	418	437	418
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	348	348	3749	2445	1440	912	348	383	348
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	4790	10835	8660	7060	6100	5425	4995	4705	4830
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	20,1	34,8	43,7	49,9	53,9	56,6	55,4
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4585	10660	7905	6635	5760	5000	4740	4580	4500
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	25,8	37,8	46,0	53,1	55,5	57,0	57,8
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio										
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2884	2884	-	-	-	-	-	-	2789
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	183	183	102	113	157	163	179	181	194
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2600	2600	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos										
ST	mg.L ⁻¹	13027	14182	15362	17572	18067	16115	16089	14262	14916
STF	mg.L ⁻¹	9183	9352	9448	9369	9652	9289	9614	9679	10065
STV	mg.L ⁻¹	3844	4830	5914	8203	8415	6826	6475	4583	4851
SST	mg.L ⁻¹	226	336	804	740	587	519	321	258	374
SSF	mg.L ⁻¹	48	104	254	245	193	162	74	58	132
SSV	mg.L ⁻¹	178	232	550	495	393	357	247	200	242
SDT	mg.L ⁻¹	12801	13846	14558	16832	17480	15596	15768	14004	14542
SDF	mg.L ⁻¹	9135	9248	9194	9124	9459	9127	9540	9621	9933
SDV	mg.L ⁻¹	3666	4598	5364	7708	8022	6469	6228	4383	4609
Metais										
Zinco	mg.L ⁻¹	0,41	-	-	-	-	-	-	-	0,45
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,02
Cádmio	mg.L ⁻¹	ND	-	-	-	-	-	-	-	ND
Níquel	mg.L ⁻¹	0,36	-	-	-	-	-	-	-	0,40
Ferro	mg.L ⁻¹	5,98	-	-	-	-	-	-	-	17,20
Manganês	mg.L ⁻¹	0,18	-	-	-	-	-	-	-	0,18
Cobre	mg.L ⁻¹	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,07
Cromo	mg.L ⁻¹	0,44	-	-	-	-	-	-	-	0,54
Sódio	mg.L ⁻¹	2763	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	2090	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	64	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	105	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações										
AVT/DQO_{Total}	-	0,073	0,032	0,433	0,346	0,236	0,168	0,070	0,081	0,072
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,076	0,033	0,474	0,369	0,250	0,182	0,073	0,084	0,077
STV/ST	-	0,295	0,341	0,385	0,467	0,466	0,424	0,402	0,321	0,325
Biodegr._{Total} **	%	-	55,4	44,2	31,6	20,8	11,0	3,3	0	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	57,8	43,1	32,2	21,9	10,0	5,1	1,7	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

Tabela R.14: Resultados do **décimo quarto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 56).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]									
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Temperatura	°C	24,9	24,9	24,9	25,0	25,0	25,1	25,2	24,9	25,3	25,6
pH	-	8,06	6,79	7,31	7,65	7,80	7,93	8,00	8,06	8,09	8,14
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11000	9640	9840	10180	10500	10900	11000	11180	11320	11280
Mat. Orgânica											
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	599	3762	3325	2673	1948	1412	1207	817	646	542
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	684	6549	5738	4529	3185	2191	1811	1088	771	578
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	4950	12495	11200	10450	8635	7330	6455	5670	5160	4865
Rem. DQO _{Total}	%	-	0	10,4	16,4	30,9	41,3	48,3	54,6	58,7	61,1
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4610	11910	10390	9325	7720	6665	6020	5330	4995	4635
Rem. DQO _{Filtr.}	%	-	0	12,8	21,7	35,2	44,0	49,5	55,2	58,1	61,1
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio											
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2486	2486	-	-	-	-	-	-	-	2486
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	151	9	28	61	86	115	135	151	165	188
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2140	2140	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos											
ST	mg.L ⁻¹	12189	15871	14915	14305	13686	13232	12956	12385	12296	13667
STF	mg.L ⁻¹	8120	8562	8497	8697	8372	8493	8424	8456	8312	8287
STV	mg.L ⁻¹	4069	7309	6418	5608	5314	4739	4532	3929	3984	5380
SST	mg.L ⁻¹	264	336	512	558	538	476	408	294	280	354
SSF	mg.L ⁻¹	72	104	180	220	205	171	134	92	100	144
SSV	mg.L ⁻¹	192	232	333	339	333	304	274	202	180	210
SDT	mg.L ⁻¹	11925	15535	14403	13747	13149	12756	12548	12091	12016	13313
SDF	mg.L ⁻¹	8048	8458	8317	8477	8167	8322	8290	8364	8212	8143
SDV	mg.L ⁻¹	3877	7077	6085	5269	4982	4435	4258	3727	3804	5170
Metais											
Zinco	mg.L ⁻¹	0,53	0,53	-	-	0,80	-	0,62	0,53	0,47	0,53
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,18	0,18	-	-	0,22	-	0,22	0,19	0,18	0,20
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,03	0,03	-	-	0,03	-	0,04	0,04	0,06	0,07
Níquel	mg.L ⁻¹	0,37	0,37	-	-	0,40	-	0,41	0,41	0,43	0,43
Ferro	mg.L ⁻¹	7,36	7,36	-	-	21,83	-	17,20	10,98	7,67	16,35
Manganês	mg.L ⁻¹	0,31	0,31	-	-	0,35	-	0,28	0,20	0,16	0,23
Cobre	mg.L ⁻¹	0,06	0,06	-	-	0,09	-	0,08	0,07	0,07	0,09
Cromo	mg.L ⁻¹	0,33	0,33	-	-	0,58	-	0,52	0,42	0,45	0,52
Sódio	mg.L ⁻¹	1835	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	1662	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações											
AVT/DQO _{Total}	-	0,138	0,524	0,512	0,433	0,369	0,299	0,281	0,192	0,149	0,119
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,148	0,550	0,552	0,486	0,413	0,329	0,301	0,204	0,154	0,125
STV/ST	-	0,334	0,461	0,430	0,392	0,388	0,358	0,350	0,317	0,324	0,394
Biodegr. _{Total} **	%	-	61,1	56,6	53,4	43,7	33,6	24,6	14,2	5,7	0
Biodegr. _{Filtr.} **	%	-	61,1	55,4	50,3	40,0	30,5	23,0	13,0	7,2	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.15: Resultados do **décimo quinto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 57).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]									
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Temperatura	°C	23,9	23,9	24,2	24,5	24,8	25,0	25,0	25,0	25,0	25,2
pH	-	8,19	6,82	7,30	7,66	7,83	7,94	8,01	8,09	8,11	8,17
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11930	10090	10600	10830	11070	11330	11490	11610	11630	11630
Mat. Orgânica											
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	380	3629	2917	2698	1843	1349	1045	671	399	418
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	278	6302	4982	4576	2990	2074	1511	817	313	348
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	4645	12475	11365	10500	8460	7090	6215	5290	4565	4555
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	8,9	15,8	32,2	43,2	50,2	57,6	63,4	63,5
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4435	11975	11030	9990	8240	6870	6015	5025	4380	4385
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	7,9	16,6	31,2	42,6	49,8	58,0	63,4	63,4
CT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3406	4928	4746	4484	4212	3958	3772	3616	3462	3428
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1164	3392	3080	2658	2246	1887	1595	1409	1039	1012
CIT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2242	1536	1666	1826	1966	2071	2177	2207	2423	2416
Nitrogênio											
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2559	2559	-	-	-	-	-	-	-	2532
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	187	9	26	61	91	117	136	162	169	195
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	7,9	7,9	-	-	-	-	-	-	-	11,6
Cloretos	mg.L ⁻¹	2260	2260	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos											
ST	mg.L ⁻¹	11438	14864	14152	13970	13114	12416	12374	11660	11510	11610
STF	mg.L ⁻¹	8076	8388	8474	8490	8358	8308	8234	8458	8222	7956
STV	mg.L ⁻¹	3362	6476	5678	5480	4756	4108	4140	3202	3288	3654
SST	mg.L ⁻¹	238	300	462	523	535	409	344	278	276	364
SSF	mg.L ⁻¹	70	100	172	209	227	164	128	108	82	162
SSV	mg.L ⁻¹	168	200	290	314	308	244	216	170	194	202
SDT	mg.L ⁻¹	11200	14564	13690	13447	12579	12007	12030	11382	11234	11246
SDF	mg.L ⁻¹	8006	8288	8302	8281	8131	8144	8106	8350	8140	7794
SDV	mg.L ⁻¹	3194	6276	5388	5166	4448	3864	3924	3032	3094	3452
Metais											
Zinco	mg.L ⁻¹	0,64	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
Níquel	mg.L ⁻¹	0,46	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46
Ferro	mg.L ⁻¹	10,88	-	-	-	-	-	-	-	-	19,37
Manganês	mg.L ⁻¹	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26
Cobre	mg.L ⁻¹	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07
Cromo	mg.L ⁻¹	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54
Sódio	mg.L ⁻¹	1942	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	1772	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações											
AVT/DQO_{Total}	-	0,060	0,505	0,438	0,436	0,353	0,293	0,243	0,154	0,069	0,076
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,063	0,526	0,452	0,458	0,363	0,302	0,251	0,163	0,071	0,079
STV/ST	-	0,294	0,436	0,401	0,392	0,363	0,331	0,335	0,275	0,286	0,315
Biodegr._{Total} **	%	-	63,5	59,9	56,6	46,2	35,8	26,7	13,9	0,2	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	63,4	60,2	56,1	46,8	36,2	27,1	12,7	0	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.16: Resultados do **décimo sexto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 58).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]									
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Temperatura	°C	26,7	26,7	26,4	26,1	25,6	25,1	24,9	25,0	25,1	25,0
pH	-	8,10	6,89	7,42	7,68	7,90	8,02	8,10	8,15	8,18	8,22
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	12290	10720	10930	11230	11370	11700	11910	12050	11980	11980
Mat. Orgânica											
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	447	3192	2926	2438	1748	1163	836	589	458	390
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	402	5492	4998	4094	2814	1729	1123	665	422	296
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	4715	11745	10950	9625	7770	6790	5775	5235	4760	4690
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	6,8	18,1	33,8	42,2	50,8	55,4	59,5	60,1
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4520	11570	10670	9235	7510	6440	5620	4920	4585	4400
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	7,8	20,2	35,1	44,3	51,4	57,5	60,4	62,0
CT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3618	5120	4830	4632	4270	4022	3846	3666	3606	3544
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1178	3438	3028	2856	2267	1866	1661	1290	1194	1168
CIT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2440	1682	1802	1776	2003	2156	2185	2376	2412	2376
Nitrogênio											
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2752	2752	-	-	-	-	-	-	-	2647
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	205	14	44	78	123	153	179	199	212	228
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	7,7	7,7	-	-	-	-	-	-	-	11,8
Cloretos	mg.L ⁻¹	2560	2560	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos											
ST	mg.L ⁻¹	11856	15444	15174	14326	13762	12580	12674	12394	12122	12108
STF	mg.L ⁻¹	8558	8678	8722	8672	8476	8520	8738	8466	8700	8518
STV	mg.L ⁻¹	3298	6766	6452	5654	5286	4060	3936	3928	3422	3590
SST	mg.L ⁻¹	198	386	500	549	529	400	348	272	258	380
SSF	mg.L ⁻¹	66	136	190	221	200	154	116	92	82	176
SSV	mg.L ⁻¹	132	250	310	328	329	246	232	180	176	204
SDT	mg.L ⁻¹	11658	15058	14674	13777	13233	12180	12326	12122	11864	11728
SDF	mg.L ⁻¹	8492	8542	8532	8451	8276	8366	8622	8374	8618	8342
SDV	mg.L ⁻¹	3166	6516	6142	5326	4957	3814	3704	3748	3246	3386
Metais											
Zinco	mg.L ⁻¹	0,46	-	-	-	0,53	-	0,45	0,33	0,38	0,43
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,13	-	-	-	0,11	-	0,12	0,13	0,14	0,15
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,06	-	-	-	0,06	-	0,07	0,06	0,06	0,07
Níquel	mg.L ⁻¹	0,45	-	-	-	0,47	-	0,43	0,41	0,43	0,50
Ferro	mg.L ⁻¹	5,53	-	-	-	25,30	-	17,68	11,25	13,76	17,60
Manganês	mg.L ⁻¹	0,20	-	-	-	0,33	-	0,20	0,16	0,14	0,22
Cobre	mg.L ⁻¹	0,04	-	-	-	0,08	-	0,06	0,05	0,01	0,05
Cromo	mg.L ⁻¹	ND	-	-	-	0,66	-	0,83	0,67	0,37	0,77
Sódio	mg.L ⁻¹	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	1828	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações											
AVT/DQO_{Total}	-	0,085	0,468	0,456	0,425	0,362	0,255	0,194	0,127	0,089	0,063
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,089	0,475	0,468	0,443	0,375	0,269	0,200	0,135	0,092	0,067
STV/ST	-	0,278	0,438	0,425	0,395	0,384	0,323	0,311	0,317	0,282	0,296
Biodegr._{Total} **	%	-	60,1	57,2	51,3	39,6	30,9	18,8	10,4	1,5	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	62,0	58,8	52,4	41,4	31,7	21,7	10,6	4,0	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.17: Resultados do **décimo sétimo** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 59).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]									
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Temperatura	°C	24,1	24,1	24,4	24,7	25,0	25,1	25,2	25,3	25,0	25,3
pH	-	8,17	6,88	7,42	7,75	7,90	8,05	8,10	8,17	8,19	8,22
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	12780	11350	11470	11580	11840	12050	12260	12240	12260	12140
Mat. Orgânica											
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	437	3582	3164	2670	1653	1305	942	621	532	428
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	383	6215	5440	4524	2638	1993	1320	724	559	367
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	4865	11720	10870	10065	7735	6920	6005	5150	4885	4755
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	7,3	14,1	34,0	41,0	48,8	56,1	58,3	59,4
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4695	11580	10755	9610	7265	6510	5720	5065	4590	4530
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	7,1	17,0	37,3	43,8	50,6	56,3	60,4	60,9
CT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3788	5290	5098	4904	4555	4266	4077	3844	3762	3646
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1266	3569	3245	2829	2287	1991	1723	1436	1335	1251
CIT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2522	1721	1853	2075	2268	2275	2354	2408	2427	2395
Nitrogênio											
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2867	2867	-	-	-	-	-	-	-	2758
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	209	12	40	86	123	171	191	221	224	242
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	8,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	11,7
Cloretos	mg.L ⁻¹	2340	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos											
ST	mg.L ⁻¹	12492	17230	15518	14742	13874	13374	13140	12772	12250	12338
STF	mg.L ⁻¹	8902	9034	9104	9070	8754	8936	8718	8900	8790	8842
STV	mg.L ⁻¹	3590	8196	6414	5672	5120	4438	4422	3872	3460	3496
SST	mg.L ⁻¹	224	304	464	545	639	458	376	310	244	334
SSF	mg.L ⁻¹	62	98	162	211	237	170	132	102	78	138
SSV	mg.L ⁻¹	162	206	302	334	403	288	244	208	166	196
SDT	mg.L ⁻¹	12268	16926	15054	14197	13235	12916	12764	12462	12006	12004
SDF	mg.L ⁻¹	8840	8936	8942	8859	8517	8766	8586	8798	8712	8704
SDV	mg.L ⁻¹	3428	7990	6112	5338	4717	4150	4178	3664	3294	3300
Metais											
Zinco	mg.L ⁻¹	0,66	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21
Cádmio	mg.L ⁻¹	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND
Níquel	mg.L ⁻¹	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50
Ferro	mg.L ⁻¹	5,66	-	-	-	-	-	-	-	-	14,30
Manganês	mg.L ⁻¹	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20
Cobre	mg.L ⁻¹	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07
Cromo	mg.L ⁻¹	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50
Sódio	mg.L ⁻¹	2121	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	1865	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações											
AVT/DQO_{Total}	-	0,079	0,530	0,500	0,449	0,341	0,288	0,220	0,141	0,115	0,077
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,082	0,537	0,506	0,471	0,363	0,306	0,231	0,143	0,122	0,081
STV/ST	-	0,287	0,476	0,413	0,385	0,369	0,332	0,337	0,303	0,282	0,283
Biodegr._{Total} **	%	-	59,4	56,3	52,8	38,5	31,3	20,8	7,7	2,7	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	60,9	57,9	52,9	37,6	30,4	20,8	10,6	1,3	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.18: Resultados do **décimo oitavo** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 60).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]									
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Diluição Teór.	%	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50
NH₄HCO₃ Adc.	kg	-	4,75	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO₃ Adic.	kg	-	3,70	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	24,1	24,1	24,3	24,5	24,8	25,0	25,3	25,8	25,6	25,0
pH	-	8,11	7,75	7,92	7,98	8,08	8,11	8,20	8,25	8,28	8,33
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13390	13780	13430	13410	13670	13760	13850	14160	14090	13970
Mat. Orgânica											
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	475	3430	2939	2641	1993	1435	1020	523	390	346
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	651	6129	5219	4666	3465	2430	1661	740	493	411
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	4905	10085	9190	8100	6845	5830	4685	3590	3255	3185
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	8,9	19,7	32,1	42,2	53,5	64,4	67,7	68,4
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4675	9650	8860	7805	6445	5385	4400	3395	3130	2950
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	8,2	19,1	33,2	44,2	54,4	64,8	67,6	69,4
CT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CIT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio											
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2912	2909	2876	-	-	-	-	-	-	2768
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	187	84	124	143	180	194	238	271	283	299
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2640	-	-	-	-	-	-	-	-	1800
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos											
ST	mg.L ⁻¹	12814	13520	13110	12814	12432	11696	11302	10932	10864	11234
STF	mg.L ⁻¹	9110	8254	8318	8124	8096	7710	8052	8236	8156	8076
STV	mg.L ⁻¹	3704	5266	4792	4690	4336	3986	3250	2696	2708	3158
SST	mg.L ⁻¹	234	326	442	487	502	451	396	282	222	348
SSF	mg.L ⁻¹	72	124	171	193	196	186	156	102	88	148
SSV	mg.L ⁻¹	162	202	271	294	306	265	240	180	134	200
SDT	mg.L ⁻¹	12580	13194	12668	12327	11930	11245	10906	10650	10642	10886
SDF	mg.L ⁻¹	9038	8130	8147	7931	7900	7524	7896	8134	8068	7928
SDV	mg.L ⁻¹	3542	5064	4521	4396	4030	3721	3010	2516	2574	2958
Metais											
Zinco	mg.L ⁻¹	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
Níquel	mg.L ⁻¹	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27
Ferro	mg.L ⁻¹	11,27	-	-	-	-	-	-	-	-	16,67
Manganês	mg.L ⁻¹	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21
Cobre	mg.L ⁻¹	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03
Cromo	mg.L ⁻¹	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75
Sódio	mg.L ⁻¹	2098	2168	-	-	-	-	-	-	-	2168
Potássio	mg.L ⁻¹	1932	1077	-	-	-	-	-	-	-	1209
Cálcio	mg.L ⁻¹	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações											
AVT/DQO_{Total}	-	0,133	0,608	0,568	0,576	0,506	0,417	0,355	0,206	0,151	0,129
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,139	0,635	0,589	0,598	0,538	0,451	0,378	0,218	0,158	0,139
STV/ST	-	0,289	0,389	0,366	0,366	0,349	0,341	0,288	0,247	0,249	0,281
Biodegr._{Total} **	%	-	68,4	65,3	60,7	53,5	45,4	32,0	11,3	2,2	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	69,4	66,7	62,2	54,2	45,2	33,0	13,1	5,8	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.19: Resultados do **décimo nono** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 61).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]									
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Diluição Teór.	%	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50
NH ₄ HCO ₃ Adc.	kg	-	4,75	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO ₃ Adic.	kg	-	3,70	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	25,1	25,1	24,8	24,6	24,2	24,0	24,0	25,0	25,9	26,0
pH	-	8,20	8,08	8,14	8,18	8,21	8,24	8,29	8,29	8,33	8,38
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13150	13740	13810	13870	13990	14040	14200	14410	14370	14300
Mat. Orgânica											
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	460	3411	3154	2765	2147	1568	1197	648	399	323
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	623	6094	5618	4896	3751	2677	1989	971	510	369
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	4825	9990	9445	8620	7070	6005	4900	3810	3140	3080
Rem. DQO _{Total}	%	-	0	5,5	13,7	29,2	39,9	51,0	61,9	68,6	69,2
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4815	9270	8705	7850	6565	5595	4660	3470	2980	2840
Rem. DQO _{Filtr.}	%	-	0	6,1	15,3	29,2	39,6	49,7	62,6	67,9	69,4
CT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3920	5176	5045	4883	4531	4227	4036	3792	3622	3582
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1281	3060	2825	2533	2144	1721	1409	1034	812	783
CIT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2639	2116	2220	2350	2387	2506	2627	2758	2810	2799
Nitrogênio											
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2948	2958	-	-	2903	-	-	-	-	2771
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	245	190	208	222	232	240	268	282	321	353
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	7,0	7,0	-	-	-	-	-	-	-	9,1
Cloretos	mg.L ⁻¹	2600	-	-	-	-	-	-	-	-	1440
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos											
ST	mg.L ⁻¹	13042	13298	13084	12870	12398	11778	11352	10690	10608	10540
STF	mg.L ⁻¹	8656	8112	7998	8067	7946	7778	7972	8120	7994	8210
STV	mg.L ⁻¹	4386	5186	5086	4803	4452	4000	3380	2570	2614	2330
SST	mg.L ⁻¹	208	300	363	398	418	350	336	256	174	340
SSF	mg.L ⁻¹	48	122	141	163	174	138	146	92	66	158
SSV	mg.L ⁻¹	160	178	222	235	244	212	190	164	108	182
SDT	mg.L ⁻¹	12834	12998	12721	12472	11980	11428	11016	10434	10434	10200
SDF	mg.L ⁻¹	8608	7990	7857	7904	7772	7640	7826	8028	7928	8052
SDV	mg.L ⁻¹	4226	5008	4864	4568	4208	3788	3190	2406	2506	2148
Metais											
Zinco	mg.L ⁻¹	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	ND
Níquel	mg.L ⁻¹	0,53	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37
Ferro	mg.L ⁻¹	5,64	-	-	-	-	-	-	-	-	15,97
Manganês	mg.L ⁻¹	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19
Cobre	mg.L ⁻¹	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07
Cromo	mg.L ⁻¹	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35
Sódio	mg.L ⁻¹	2290	2290	-	-	-	-	-	-	-	2290
Potássio	mg.L ⁻¹	1942	1032	-	-	-	-	-	-	-	1108
Cálcio	mg.L ⁻¹	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações											
AVT/DQO _{Total}	-	0,129	0,610	0,595	0,568	0,530	0,446	0,406	0,255	0,162	0,120
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,129	0,657	0,645	0,624	0,571	0,478	0,427	0,280	0,171	0,130
STV/ST	-	0,289	0,389	0,366	0,366	0,349	0,341	0,288	0,247	0,249	0,281
Biodegr. _{Total} **	%	-	69,2	67,4	64,3	56,4	48,7	37,1	19,2	1,9	0
Biodegr. _{Filtr.} **	%	-	69,4	67,4	63,8	56,7	49,2	39,1	18,2	4,7	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.20: Resultados do vigésimo perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 62).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]									
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Diluição Teór.	%	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50
NH ₄ HCO ₃ Adc.	kg	-	4,75	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO ₃ Adic.	kg	-	3,70	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	27,8	27,8	27,2	26,7	26,0	25,4	25,1	25,0	25,0	25,6
pH	-	8,04	8,02	8,13	8,18	8,22	8,27	8,30	8,35	8,37	8,38
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13620	13830	13850	13880	14270	14370	14410	14530	14460	14410
Mat. Orgânica											
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	460	3401	2936	2580	1862	1330	967	538	371	352
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	623	6075	5213	4553	3222	2236	1563	767	458	423
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	5055	9690	8815	7780	6355	5235	4290	3415	3055	3030
Rem. DQO _{Total}	%	-	0	9,0	19,7	34,4	46,0	55,7	64,8	68,5	68,7
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4825	9455	8570	7375	6085	4870	4000	3285	2920	2755
Rem. DQO _{Filtr.}	%	-	0	9,4	22,0	35,6	48,5	57,7	65,3	69,1	70,9
CT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3794	5052	4828	4630	4302	4050	3872	3524	3544	3444
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1283	2989	2664	2467	1934	1551	1274	760	818	778
CIT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2511	2063	2164	2163	2368	2499	2598	2764	2726	2666
Nitrogênio											
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2981	2958	2942	-	-	-	-	-	-	2794
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	210	199	241	257	266	283	294	321	331	347
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-	12,5
Cloretos	mg.L ⁻¹	2600	-	-	-	-	-	-	-	-	1380
Condutividade	µS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos											
ST	mg.L ⁻¹	12916	13538	13256	12814	12200	11332	11226	10672	10380	10588
STF	mg.L ⁻¹	9196	8034	7812	7966	7472	8100	7760	7612	8024	8018
STV	mg.L ⁻¹	3720	5504	5444	4848	4728	3232	3466	3060	2356	2570
SST	mg.L ⁻¹	206	306	382	368	376	314	296	224	186	308
SSF	mg.L ⁻¹	62	112	160	150	156	128	114	78	60	146
SSV	mg.L ⁻¹	144	194	222	218	220	186	182	146	126	162
SDT	mg.L ⁻¹	12710	13232	12874	12446	11824	11018	10930	10448	10194	10280
SDF	mg.L ⁻¹	9134	7922	7652	7816	7316	7972	7646	7534	7964	7872
SDV	mg.L ⁻¹	3576	5310	5222	4630	4508	3046	3284	2914	2230	2408
Metais											
Zinco	mg.L ⁻¹	0,55	0,54	-	-	0,59	-	0,51	0,47	0,41	0,49
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,26	0,22	-	-	0,22	-	0,2	0,2	0,23	0,18
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,03	0,05	-	-	0,04	-	0,03	0,04	0,04	0,03
Níquel	mg.L ⁻¹	0,42	0,36	-	-	0,34	-	0,34	0,35	0,32	0,33
Ferro	mg.L ⁻¹	6,27	11,28	-	-	13,96	-	10,4	7,21	5,52	13,03
Manganês	mg.L ⁻¹	0,17	0,19	-	-	0,22	-	0,15	0,11	0,08	0,17
Cobre	mg.L ⁻¹	0,04	0,05	-	-	0,06	-	0,06	0,05	0,05	0,07
Cromo	mg.L ⁻¹	0,26	0,27	-	-	0,26	-	0,25	0,21	0,20	0,26
Sódio	mg.L ⁻¹	2417	2417	-	-	-	-	-	-	-	2378
Potássio	mg.L ⁻¹	2090	1100	-	-	-	-	-	-	-	1116
Cálcio	mg.L ⁻¹	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações											
AVT/DQO _{Total}	-	0,123	0,627	0,591	0,585	0,507	0,427	0,364	0,225	0,150	0,139
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,129	0,643	0,608	0,617	0,530	0,459	0,391	0,234	0,157	0,153
STV/ST	-	0,288	0,407	0,411	0,378	0,388	0,285	0,309	0,287	0,227	0,243
Biodegr. _{Total} **	%	-	68,7	65,6	61,1	52,3	42,1	29,4	11,3	0,8	0
Biodegr. _{Filtr.} **	%	-	70,9	67,9	62,6	54,7	43,4	31,1	16,1	5,7	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.21: Resultados do **vigésimo primeiro** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 63).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]									
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Diluição Teór.	%	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50
NH ₄ HCO ₃ Adc.	kg	-	4,75	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO ₃ Adic.	kg	-	3,70	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	25,8	25,8	25,6	25,4	25,1	25,0	25,0	24,9	25,0	25,0
pH	-	8,18	8,10	8,17	8,22	8,26	8,29	8,31	8,35	8,37	8,38
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13550	13920	14060	14040	14390	14630	14840	15120	14840	14860
Mat. Orgânica											
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	475	3316	3006	2679	1989	1488	1049	570	352	323
AVT* corrigido	mg Ac. Acét..L ⁻¹	651	5918	5343	4737	3458	2529	1715	827	423	369
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	5295	10175	9585	8655	7145	6010	4930	3715	3395	3275
Rem. DQO _{Total}	%	-	0	5,8	14,9	29,8	40,9	51,5	63,5	66,6	67,8
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4975	10180	9305	8025	6715	5575	4550	3475	2995	2845
Rem. DQO _{Filtr.}	%	-	0	8,6	21,2	34,0	45,2	55,3	65,9	70,6	72,1
CT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3950	5078	4836	4670	4370	4106	3866	3604	3536	3502
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1319	3335	2997	2415	2001	1589	1196	833	771	756
CIT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2631	1743	1839	2255	2369	2517	2670	2771	2765	2746
Nitrogênio											
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2988	2998	2962	-	-	-	-	-	-	2811
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	249	211	238	260	276	291	301	322	333	337
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	13,7	13,7	-	-	-	-	-	-	-	13,8
Cloretos	mg.L ⁻¹	2620	-	-	-	-	-	-	-	-	1460
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos											
ST	mg.L ⁻¹	13268	13774	13540	13106	12050	11654	11322	11178	10672	10982
STF	mg.L ⁻¹	9240	8164	8068	8120	8320	7902	7976	8078	7926	8194
STV	mg.L ⁻¹	4028	5610	5472	4986	3730	3752	3346	3100	2746	2788
SST	mg.L ⁻¹	232	320	344	352	350	330	306	250	194	356
SSF	mg.L ⁻¹	60	110	126	138	126	132	116	102	64	158
SSV	mg.L ⁻¹	172	210	218	214	224	198	190	148	130	198
SDT	mg.L ⁻¹	13036	13454	13196	12754	11700	11324	11016	10928	10478	10626
SDF	mg.L ⁻¹	9180	8054	7942	7982	8194	7770	7860	7976	7862	8036
SDV	mg.L ⁻¹	3856	5400	5254	4772	3506	3554	3156	2952	2616	2590
Metais											
Zinco	mg.L ⁻¹	0,71	0,58	-	-	0,64	-	0,56	0,48	0,44	0,54
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,25	0,25	-	-	0,28	-	0,27	0,29	0,28	0,25
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,04	0,02	-	-	0,05	-	0,03	0,05	0,04	0,04
Níquel	mg.L ⁻¹	0,51	0,33	-	-	0,38	-	0,36	0,38	0,38	0,40
Ferro	mg.L ⁻¹	6,58	8,38	-	-	13,87	-	10,8	6,89	5,36	13,19
Manganês	mg.L ⁻¹	0,17	0,17	-	-	0,20	-	0,16	0,11	0,09	0,19
Cobre	mg.L ⁻¹	0,06	0,08	-	-	0,08	-	0,08	0,04	0,04	0,07
Cromo	mg.L ⁻¹	0,24	0,24	-	-	0,26	-	0,26	0,15	0,10	0,21
Sódio	mg.L ⁻¹	2483	2496	-	-	-	-	-	-	-	2578
Potássio	mg.L ⁻¹	2162	1170	-	-	-	-	-	-	-	1162
Cálcio	mg.L ⁻¹	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações											
AVT/DQO _{Total}	-	0,123	0,582	0,557	0,547	0,484	0,421	0,348	0,223	0,124	0,113
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,131	0,581	0,574	0,590	0,515	0,454	0,377	0,238	0,141	0,130
STV/ST	-	0,304	0,407	0,404	0,380	0,310	0,322	0,296	0,277	0,257	0,254
Biodegr. _{Total} **	%	-	67,8	65,8	62,2	54,2	45,5	33,6	11,8	3,5	0
Biodegr. _{Filtr.} **	%	-	72,1	69,4	64,5	57,6	49,0	37,5	18,1	5,0	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.22: Resultados do **vigésimo segundo** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 64).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
NH ₄ HCO ₃ Adc.	kg	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO ₃ Adic.	kg	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	26,4	26,4	26,2	26,0	25,8	25,5	25,1	25,0	26,9	25,3	25,2
pH	-	8,19	8,12	8,14	8,19	8,26	8,29	8,32	8,34	8,36	8,38	8,40
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13310	18560	18210	18020	18020	18140	18210	18650	18370	18140	18020
Mat. Orgânica												
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	485	3544	3122	2841	2271	1729	1378	851	618	517	494
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	472	6144	5362	4841	3784	2779	2128	1151	719	532	489
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	5200	11805	10965	10315	8760	7535	6715	5565	4975	4765	4640
Rem. DQO _{Total}	%	-	0	7,1	12,6	25,8	36,2	43,1	52,9	57,9	59,6	60,7
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4915	11780	10660	9870	8135	7175	6460	5310	4775	4425	4490
Rem. DQO _{Filtr.}	%	-	0	9,5	16,2	30,9	39,1	45,2	54,9	59,5	62,4	61,9
CT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CIT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio												
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2998	4986	4842	4757	4665	4586	4547	4485	4432	4419	4357
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	265	380	380	410	459	471	485	495	573	539	550
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	12,6	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-	12,5
Cloretos	mg.L ⁻¹	2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos												
ST	mg.L ⁻¹	12910	15738	15144	14732	15274	13940	13594	12482	12660	12070	12232
STF	mg.L ⁻¹	9868	9666	9420	9412	9144	9514	9336	9496	9292	9408	9454
STV	mg.L ⁻¹	3042	6072	5724	5320	6130	4426	4258	2986	3368	2662	2778
SST	mg.L ⁻¹	220	290	316	336	336	302	298	262	218	204	308
SSF	mg.L ⁻¹	72	102	124	134	128	98	110	92	74	76	126
SSV	mg.L ⁻¹	148	188	192	202	208	204	188	170	144	128	182
SDT	mg.L ⁻¹	12690	15448	14828	14396	14938	13638	13296	12220	12442	11866	11924
SDF	mg.L ⁻¹	9796	9564	9296	9278	9016	9416	9226	9404	9218	9332	9328
SDV	mg.L ⁻¹	2894	5884	5532	5118	5922	4222	4070	2816	3224	2534	2596
Metais												
Zinco	mg.L ⁻¹	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,74
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
Níquel	mg.L ⁻¹	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55
Ferro	mg.L ⁻¹	6,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,7
Manganês	mg.L ⁻¹	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16
Cobre	mg.L ⁻¹	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07
Cromo	mg.L ⁻¹	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26
Sódio	mg.L ⁻¹	2698	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2763
Potássio	mg.L ⁻¹	2193	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1913
Cálcio	mg.L ⁻¹	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações												
AVT/DQO _{Total}	-	0,091	0,520	0,489	0,469	0,432	0,369	0,317	0,207	0,145	0,112	0,105
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,096	0,522	0,503	0,490	0,465	0,387	0,329	0,217	0,151	0,120	0,109
STV/ST	-	0,236	0,386	0,378	0,361	0,401	0,318	0,313	0,239	0,266	0,221	0,227
Biodegr. _{Total} **	%	-	60,7	57,7	55,0	47,0	38,4	30,9	16,6	6,7	2,6	0
Biodegr. _{Filtr.} **	%	-	61,9	57,9	54,5	44,8	37,4	30,5	15,4	6,0	0	0

* AVT obtidos por tilulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.23: Resultados do **vigésimo terceiro** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 65).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
NH₄HCO₃ Adc.	kg	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO₃ Adic.	kg	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	26,7	26,7	26,2	25,7	25,3	25,5	25,8	26,0	25,8	25,9	25,6
pH	-	8,19	8,10	8,18	8,21	8,24	8,30	8,33	8,36	8,40	8,42	8,44
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	12990	18180	18030	17940	18230	18210	18480	18540	18480	18280	18230
Mat. Orgânica												
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	485	3667	3344	3088	2557	2071	1695	1140	798	633	589
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	472	6372	5773	5299	4314	3413	2716	1687	1053	747	665
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	5120	11875	11295	10705	9720	8490	7585	6280	5695	5250	5170
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	4,9	9,9	18,1	28,5	36,1	47,1	52,0	55,8	56,5
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	4750	11280	10805	10195	8825	7915	7095	5940	5270	4835	4740
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	4,2	9,6	21,8	29,8	37,1	47,3	53,3	57,1	58,0
CT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	4006	6596	6454	6328	6004	5776	5576	5292	5032	4916	4894
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1301	3582	3382	3220	2825	2477	2113	1749	1543	1382	1296
CIT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2705	3014	3072	3108	3179	3299	3463	3543	3489	3534	3598
Nitrogênio												
N-Amoniacal	mg NH ₃ .N.L ⁻¹	2857	4846	4793	4761	4765	4709	4665	4634	4590	4537	4519
N-Am. Livre	mg NH ₃ .N.L ⁻¹	257	361	409	420	436	494	530	567	601	622	633
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	14,3	14,3	-	-	-	-	-	-	-	-	13,9
Cloretos	mg.L ⁻¹	2820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos												
ST	mg.L ⁻¹	13118	15696	16360	15762	15866	14400	14068	13782	13250	12692	12774
STF	mg.L ⁻¹	9544	9346	9186	9188	9120	9286	9304	8688	8888	9120	9308
STV	mg.L ⁻¹	3574	6350	7174	6574	6746	5114	4764	5094	4362	3572	3466
SST	mg.L ⁻¹	202	304	346	336	318	300	298	300	248	230	276
SSF	mg.L ⁻¹	54	106	114	106	108	72	90	114	88	74	126
SSV	mg.L ⁻¹	148	198	232	230	210	228	208	186	160	156	150
SDT	mg.L ⁻¹	12916	15392	16014	15426	15548	14100	13770	13482	13002	12462	12498
SDF	mg.L ⁻¹	9490	9240	9072	9082	9012	9214	9214	8574	8800	9046	9182
SDV	mg.L ⁻¹	3426	6152	6942	6344	6536	4886	4556	4908	4202	3416	3316
Metais												
Zinco	mg.L ⁻¹	0,82	0,79	-	-	0,45	-	0,62	0,57	0,33	0,33	0,86
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,26	0,21	-	-	0,25	-	0,23	0,23	0,22	0,26	0,21
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,04	0,05	-	-	0,06	-	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05
Níquel	mg.L ⁻¹	0,48	0,48	-	-	0,51	-	0,49	0,36	0,47	0,47	0,48
Ferro	mg.L ⁻¹	6,87	10,60	-	-	11,58	-	9,95	8,44	7,42	6,43	15,04
Manganês	mg.L ⁻¹	0,17	0,21	-	-	0,17	-	0,15	0,05	0,09	0,07	0,13
Cobre	mg.L ⁻¹	0,04	0,04	-	-	0,06	-	0,03	0,06	0,04	0,04	0,05
Cromo	mg.L ⁻¹	0,32	0,50	-	-	0,42	-	0,45	0,51	0,55	0,23	0,52
Sódio	mg.L ⁻¹	2662	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2867
Potássio	mg.L ⁻¹	2182	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2162
Cálcio	mg.L ⁻¹	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações												
AVT/DQO_{Total}	-	0,092	0,537	0,511	0,495	0,444	0,402	0,358	0,269	0,185	0,142	0,129
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,099	0,565	0,534	0,520	0,489	0,431	0,383	0,284	0,200	0,154	0,140
STV/ST	-	0,272	0,405	0,439	0,417	0,425	0,355	0,339	0,370	0,329	0,281	0,271
Biodegr._{Total} **	%	-	56,5	54,2	51,7	46,8	39,1	31,8	17,7	9,2	1,5	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	58,0	56,1	53,5	46,3	40,1	33,2	20,2	10,1	2,0	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.24: Resultados do **vigésimo quarto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 66).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
NH ₄ HCO ₃ Adc.	kg	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO ₃ Adic.	kg	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	28,0	28,0	26,8	25,3	23,0	21,5	22,0	24,0	25,0	25,2	24,7
pH	-	8,18	8,12	8,15	8,18	8,21	8,25	8,28	8,33	8,36	8,39	8,41
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11520	16700	16340	16660	16600	16660	16500	16800	16800	16720	16740
Mat. Orgânica												
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	466	3369	3173	2869	2455	2176	1900	1364	925	710	580
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	437	5820	5456	4893	4125	3608	3096	2102	1288	889	648
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	5555	12470	12005	11440	10480	9900	8715	7370	6410	5920	5620
Rem. DQO _{Total}	%	-	0	3,7	8,3	16,0	20,6	30,1	40,9	48,6	52,5	54,9
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	5405	11945	11435	11095	9955	9295	8210	6965	6105	5780	5610
Rem. DQO _{Filtr.}	%	-	0	4,3	7,1	16,7	22,2	31,3	41,7	48,9	51,6	53,0
CT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CIT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio												
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2503	4262	4242	4228	4202	4141	4139	4104	4058	4032	3998
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	240	360	353	341	310	301	332	416	467	499	499
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	2700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos												
ST	mg.L ⁻¹	13568	16180	15976	15584	14746	14676	13904	13672	13432	12772	12966
STF	mg.L ⁻¹	9394	9280	9232	9356	9250	9360	8568	9048	9066	9714	9178
STV	mg.L ⁻¹	4174	6900	6744	6228	5496	5316	5336	4624	4366	3058	3788
SST	mg.L ⁻¹	244	370	358	320	324	312	304	292	260	250	304
SSF	mg.L ⁻¹	66	118	130	92	102	108	94	86	72	90	110
SSV	mg.L ⁻¹	178	252	228	228	222	204	210	206	188	160	194
SDT	mg.L ⁻¹	13324	15810	15618	15264	14422	14364	13600	13380	13172	12522	12662
SDF	mg.L ⁻¹	9328	9162	9102	9264	9148	9252	8474	8962	8994	9624	9068
SDV	mg.L ⁻¹	3996	6648	6516	6000	5274	5112	5126	4418	4178	2898	3594
Metais												
Zinco	mg.L ⁻¹	1,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08
Níquel	mg.L ⁻¹	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59
Ferro	mg.L ⁻¹	5,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,21
Manganês	mg.L ⁻¹	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12
Cobre	mg.L ⁻¹	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
Cromo	mg.L ⁻¹	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27
Sódio	mg.L ⁻¹	3054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3022
Potássio	mg.L ⁻¹	2060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1942
Cálcio	mg.L ⁻¹	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações												
AVT/DQO _{Total}	-	0,079	0,467	0,455	0,428	0,394	0,364	0,355	0,285	0,201	0,150	0,115
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,081	0,487	0,477	0,441	0,414	0,388	0,377	0,302	0,211	0,154	0,116
STV/ST	-	0,308	0,426	0,422	0,400	0,373	0,362	0,384	0,338	0,325	0,239	0,278
Biodegr. _{Total} **	%	-	54,9	53,2	50,9	46,4	43,2	35,5	23,7	12,3	5,1	0
Biodegr. _{Filtr.} **	%	-	53,0	50,9	49,4	43,6	39,6	31,7	19,5	8,1	2,9	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.25: Resultados do **vigésimo quinto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 67).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
NH₄HCO₃ Adc.	kg	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO₃ Adic.	kg	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	25,8	25,8	25,8	25,8	25,9	25,9	25,9	25,9	26,3	26,2	26,5
pH	-	8,17	8,11	8,16	8,20	8,23	8,27	8,30	8,35	8,37	8,40	8,41
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11340	15970	15990	15950	15970	16110	16330	16190	16170	16140	16070
Mat. Orgânica												
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	494	3560	3177	3072	2603	2081	1710	1176	859	730	599
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	489	6174	5464	5269	4399	3432	2744	1754	1166	927	684
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	5440	12530	11665	11290	10255	9125	8060	6925	6040	5715	5445
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	6,9	9,9	18,2	27,2	35,7	44,7	51,8	54,4	56,5
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	5175	12200	11440	10935	9685	8485	7815	6565	5870	5410	5165
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	6,2	10,4	20,6	30,5	35,9	46,2	51,9	55,7	57,7
CT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	4146	6870	6588	6468	6308	5936	5776	5472	5264	5200	5154
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1358	3734	3434	3318	2983	2548	2261	1916	1600	1501	1410
CIT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2788	3136	3154	3150	3325	3388	3515	3556	3664	3699	3744
Nitrogênio												
N-Amoniacal	mg NH ₃ .N.L ⁻¹	2511	4279	4259	4242	4232	4196	4189	4163	4120	4094	4080
N-Am. Livre	mg NH ₃ .N.L ⁻¹	205	307	340	368	394	424	451	496	524	549	569
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	14,6	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	14,9
Cloretos	mg.L ⁻¹	2840	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos												
ST	mg.L ⁻¹	13320	16118	16118	16034	15034	14732	14322	13744	13778	13300	13375
STF	mg.L ⁻¹	9412	9530	9300	9574	9296	9336	9414	9510	8898	9566	9528
STV	mg.L ⁻¹	3908	6588	6818	6460	5738	5396	4908	4234	4880	3734	3847
SST	mg.L ⁻¹	224	322	312	320	334	314	302	282	244	244	290
SSF	mg.L ⁻¹	54	94	90	108	106	80	96	78	58	64	98
SSV	mg.L ⁻¹	170	228	222	212	228	234	206	204	186	180	192
SDT	mg.L ⁻¹	13096	15796	15806	15714	14700	14418	14020	13462	13534	13056	13085
SDF	mg.L ⁻¹	9358	9436	9210	9466	9190	9256	9318	9432	8840	9502	9430
SDV	mg.L ⁻¹	3738	6360	6596	6248	5510	5162	4702	4030	4694	3554	3655
Metais												
Zinco	mg.L ⁻¹	0,93	1,02	-	-	0,97	-	0,96	0,91	0,89	1,01	0,88
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,33	0,32	-	-	0,33	-	0,35	0,28	0,38	0,41	0,32
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,04	0,04	-	-	0,04	-	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04
Níquel	mg.L ⁻¹	0,51	0,56	-	-	0,58	-	0,59	0,57	0,55	0,54	0,57
Ferro	mg.L ⁻¹	6,20	9,29	-	-	8,44	-	7,79	7,04	5,93	5,32	9,59
Manganês	mg.L ⁻¹	0,22	0,25	-	-	0,20	-	0,18	0,16	0,14	0,13	0,15
Cobre	mg.L ⁻¹	0,09	0,10	-	-	0,10	-	0,1	0,07	0,07	0,07	0,08
Cromo	mg.L ⁻¹	0,22	0,45	-	-	0,43	-	0,41	0,42	0,30	0,32	0,45
Sódio	mg.L ⁻¹	2705	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2620
Potássio	mg.L ⁻¹	2245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2162
Cálcio	mg.L ⁻¹	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações												
AVT/DQO_{Total}	-	0,090	0,493	0,468	0,467	0,429	0,376	0,340	0,253	0,193	0,162	0,126
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,094	0,506	0,478	0,482	0,454	0,404	0,351	0,267	0,199	0,171	0,132
STV/ST	-	0,293	0,409	0,423	0,403	0,382	0,366	0,343	0,308	0,354	0,281	0,319
Biodegr._{Total} **	%	-	56,5	53,3	51,8	46,9	40,3	32,4	21,4	9,9	4,7	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	57,7	54,9	52,8	46,7	39,1	33,9	21,3	12,0	4,5	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.26: Resultados do **vigésimo sexto** perfil temporal de concentração realizado no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação (Batelada 68).

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
NH₄HCO₃ Adc.	kg	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaHCO₃ Adic.	kg	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	26,5	26,5	26,4	26,2	25,8	25,4	25,2	26,0	26,7	26,0	25,5
pH	-	8,19	8,12	8,18	8,23	8,28	8,33	8,36	8,39	8,43	8,43	8,45
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11420	16190	16240	16350	16610	16690	16830	17070	17070	16990	16940
Mat. Orgânica												
Acidos Adic.*	L	-	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	599	3724	3439	3074	2527	2029	1619	1064	760	675	580
AVT* corrig.	mg Ac. Acét..L ⁻¹	684	6478	5950	5273	4259	3335	2575	1546	982	825	648
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	5445	12665	11795	11020	9850	8520	7760	6590	5900	5550	5410
Rem. DQO_{Total}	%	-	0	6,9	13,0	22,2	32,7	38,7	48,0	53,4	56,2	57,3
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	5165	12170	11540	10780	9625	8405	7620	6225	5635	5395	5210
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	0	5,2	11,4	20,9	30,9	37,4	48,8	53,7	55,7	57,2
CT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	4195	7092	6908	6760	6470	6178	5962	5688	5476	5368	5330
COT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	1467	3846	3580	3355	2914	2458	2241	1811	1593	1503	1516
CIT_{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	2728	3246	3328	3405	3556	3720	3721	3877	3883	3865	3814
Nitrogênio												
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2533	4437	4427	4408	4394	4381	4368	4335	4318	4285	4259
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	225	340	383	418	451	486	509	563	634	603	605
Fósforo	mg PO ₃ .L ⁻¹	15,0	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	15,8
Cloretos	mg.L ⁻¹	2820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μS.m ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos												
ST	mg.L ⁻¹	13299	16694	16566	16164	15572	14850	14462	13674	13620	13098	13472
STF	mg.L ⁻¹	9230	9662	9592	9726	9634	9478	9736	9784	9592	9716	10008
STV	mg.L ⁻¹	4069	7032	6974	6438	5938	5372	4726	3890	4028	3382	3464
SST	mg.L ⁻¹	236	286	342	362	356	342	310	312	274	262	332
SSF	mg.L ⁻¹	66	126	94	106	116	110	96	86	70	68	118
SSV	mg.L ⁻¹	170	160	248	256	240	232	214	226	204	194	214
SDT	mg.L ⁻¹	13063	16408	16224	15802	15216	14508	14152	13362	13346	12836	13140
SDF	mg.L ⁻¹	9164	9536	9498	9620	9518	9368	9640	9698	9522	9648	9890
SDV	mg.L ⁻¹	3899	6872	6726	6182	5698	5140	4512	3664	3824	3188	3250
Metais												
Zinco	mg.L ⁻¹	0,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,88
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03
Níquel	mg.L ⁻¹	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63
Ferro	mg.L ⁻¹	5,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,5
Manganês	mg.L ⁻¹	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16
Cobre	mg.L ⁻¹	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09
Cromo	mg.L ⁻¹	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46
Sódio	mg.L ⁻¹	2620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2662
Potássio	mg.L ⁻¹	2162	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2224
Cálcio	mg.L ⁻¹	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relações												
AVT/DQO_{Total}	-	0,126	0,511	0,504	0,478	0,432	0,391	0,332	0,235	0,166	0,149	0,120
AVT/DQO_{Filtr.}	-	0,132	0,532	0,516	0,489	0,442	0,397	0,338	0,248	0,174	0,153	0,124
STV/ST	-	0,306	0,421	0,421	0,398	0,381	0,362	0,327	0,284	0,296	0,258	0,281
Biodegr._{Total} **	%	-	57,3	54,1	50,9	45,1	36,5	30,3	17,9	8,3	2,5	0
Biodegr._{Filtr.} **	%	-	57,2	54,9	51,7	45,9	38,0	31,6	16,3	7,5	3,4	0

* AVT obtidos por titulação; ** Biodegradabilidade em termos de DQO; ND = Não detectado.

* Adicionados 3,0 L de Ác. Acético + 1,0 L de Ác. Propiônico + 0,25 L de Ác. Butírico.

Tabela R.27: Resultados perfis temporais 11, 12 e 13 de concentração de ácidos voláteis, analisados por cromatografia, realizados no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação.

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
Perfil 11												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	24	160	-	1650	-	1076	514	ND	ND	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	ND	53	-	57	36	42	39	38	ND	36	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	18	19	-	17	14	15	15	15	14	14	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	27	27	-	29	27	26	26	26	27	26	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	29	37	-	34	27	31	30	27	28	27	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	2	ND	ND	ND	1	ND	ND	-
Perfil 12												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	521	-	3924	2669	1360	660	ND	ND	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	ND	42	-	64	51	51	41	38	ND	ND	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	14	15	-	17	14	15	14	15	14	15	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	27	26	-	29	27	27	26	26	26	27	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	27	31	-	38	31	37	30	27	26	27	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	1	ND	-	1	ND	ND	ND	1	ND	ND	-
Perfil 13												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	908	-	3827	1774	998	55	ND	ND	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	37	51	-	51	61	44	40	44	ND	37	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	14	14	-	15	16	14	14	17	15	14	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	26	27	-	27	27	26	26	26	27	26	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	27	35	-	33	41	33	31	28	27	27	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	ND	1	ND	ND	1	ND	ND	-
Média dos Perfis												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	8	530	-	3134	2221	1144	410	0	0	0	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	12	49	-	57	49	46	40	40	0	24	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	15	16	-	16	15	15	14	16	14	14	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	27	27	-	29	27	27	26	26	27	26	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	28	34	-	35	33	33	30	28	27	27	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	0	0	-	1	0	0	0	1	0	0	-

ND = Não Detectado

Tabela R.28: Resultados perfis temporais 14, 15, 16 e 17 de concentração de ácidos voláteis, analisados por cromatografia, realizados no ASBRR (R3) na segunda etapa de operação.

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
Perfil 14												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	447	3112	3791	4134	2483	1286	849	312	231	188	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	33	485	1113	1352	1284	1006	1005	692	373	153	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	8	23	11	20	15	10	3	ND	ND	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	3	149	180	149	87	41	12	ND	ND	ND	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	37	9	5	21	7	ND	ND	ND	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	2	24	18	25	26	8	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Perfil 15												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	71	5835	4046	3404	1893	992	734	258	ND	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	18	2155	1761	1175	1414	1088	715	328	11	12	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	16	10	39	31	3	ND	ND	ND	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	ND	446	457	215	185	69	6	ND	ND	ND	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	5	1	50	42	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	8	8	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Perfil 16												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	51	3263	4224	3123	1576	1006	573	185	5	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	14	1164	1028	1062	1051	642	482	134	22	12	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	10	30	9	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	4	283	183	144	91	14	ND	1	2	ND	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	24	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	4	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Perfil 17												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	5526	3971	2390	900	1280	49	195	7	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	3	1847	1476	898	91	831	54	192	26	9	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	19	16	9	13	ND	1	ND	ND	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	ND	403	341	124	6	19	ND	2	2	ND	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Média dos Perfis												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	142	4434	4008	3263	1713	1141	551	238	61	47	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	17	1413	1345	1122	960	892	564	336	108	46	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	0	2	15	12	25	17	3	1	0	0	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	2	320	290	158	92	36	5	1	1	0	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	0	0	11	3	20	16	2	0	0	0	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	0	1	6	5	9	8	2	0	0	0	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

ND = Não Detectado

Tabela R.29: Resultados perfis temporais 18, 19, 20 e 21 de concentração de ácidos voláteis, analisados por cromatografia, realizados no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação.

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
Perfil 18												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	3365	3986	3770	1839	1873	944	248	11	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	41	1145	1509	1169	1211	793	542	165	29	10	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	5	1	32	8	2	ND	2	ND	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	8	275	349	163	153	27	4	ND	4	ND	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	22	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	2	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Perfil 19												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	4991	4620	3930	2624	1928	1251	362	53	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	14	1465	1370	1273	1071	812	526	184	23	10	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	2	10	22	4	1	1	ND	ND	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	5	304	234	197	121	4	8	3	1	ND	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Perfil 20												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	4706	4350	3577	2205	1320	906	227	ND	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	2	1369	1202	1231	926	609	457	14	17	18	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	9	17	7	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	ND	281	206	181	73	16	1	ND	ND	3	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Perfil 21												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	4772	3238	3123	2228	1783	805	29	25	ND	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	7	1380	1090	1118	1153	641	346	15	13	7	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	2	2	30	6	8	ND	ND	ND	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	ND	295	243	168	136	23	7	ND	ND	ND	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	20	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
Média dos Perfis												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	0	4459	4048	3600	2224	1726	977	216	23	0	-
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	16	1340	1293	1198	1090	714	468	95	21	11	-
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	0	0	2	6	25	6	3	0	1	0	-
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	3	289	258	177	121	17	5	1	1	1	-
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	-
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

ND = Não Detectado

Tabela R.30: Resultados perfis temporais 22, 23, 24, 25 e 26 de concentração de ácidos voláteis, analisados por cromatografia, realizados no ASBBR (R3) na segunda etapa de operação.

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]										
		0	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
Perfil 22												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	4378	3778	3694	2391	1534	1337	446	140	ND	ND
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	10	1038	1230	1118	738	914	559	223	42	11	10
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	1	5	10	37	9	7	ND	ND	ND
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	ND	241	243	194	80	68	12	3	1	ND	ND
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	33	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Perfil 23												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	30	3237	4767	4057	2471	2410	1423	894	341	36	ND
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	11	1125	1393	1119	857	838	692	463	112	20	18
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	1	22	10	3	ND	ND	ND	4
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	9	301	263	181	117	55	37	2	ND	ND	3
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	286	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	64	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Perfil 24												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	5466	3902	2934	2987	2124	1743	1071	419	195	94
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	6	1205	1166	1498	1504	767	627	597	209	113	35
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	1	28	36	10	9	12	7	7	4
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	ND	246	237	327	204	52	23	6	3	4	2
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	4	32	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Perfil 25												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	4624	3524	2111	2256	2165	1378	830	290	130	5
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	9	1278	1670	897	928	1187	681	436	131	46	14
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	ND	10	16	18	32	14	ND	1	ND	ND
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	ND	278	433	192	118	102	24	1	ND	ND	ND
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	38	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Perfil 26												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	ND	4192	3621	3288	2133	1171	886	462	213	68	ND
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	9	2018	1287	1077	1255	723	645	493	148	47	14
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	ND	8	4	2	28	18	14	8	1	3	ND
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	ND	541	249	157	135	39	13	3	1	3	ND
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Média dos Perfis												
Ac. Acético	mg.L ⁻¹	6	4380	3918	3217	2447	1881	1353	740	281	86	20
Ac. Propiônico	mg.L ⁻¹	9	1333	1349	1142	1056	886	641	443	128	48	18
Ac. Isobutírico	mg.L ⁻¹	0	2	3	11	23	22	10	5	2	2	1
Ac. Butírico	mg.L ⁻¹	2	321	285	210	131	63	22	3	1	1	1
Ac. Isovalérico	mg.L ⁻¹	57	0	0	1	9	14	0	0	0	0	0
Ac. Valérico	mg.L ⁻¹	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ac. Capróico	mg.L ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ND = Não Detectado

APÊNDICE S

Gráficos das relações STV/ST e AVT/DQO dos Perfis 3 a 10 do ASBBR (R3).

S.1 – Relação STV/ST

As Figuras S.1.1 a S.1.8 apresentam os resultados de relações STV/ST de oito perfis temporais de concentração (perfis 3 a 10), que foram realizados com lixiviados que apresentavam diferentes graus de biodegradabilidade anaeróbica. Correlacionando a biodegradabilidade anaeróbica, obtida através da DQO_{Total} , com as relações STV/ST encontradas, foram realizados ajustes lineares entre esses parâmetros.

Figura S.1.1: (a) Biodegradabilidade anaeróbica em termos de DQO_{Total} e relação STV/ST do perfil 3, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST no perfil 3.

Figura S.1.2: (a) Biodegradabilidade anaeróbica em termos de DQO_{Total} e relação STV/ST do perfil 4, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST no perfil 4.

(a)

(b)

Figura S.1.3: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação STV/ST do perfil 5, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST no perfil 5.

(a)

(b)

Figura S.1.4: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação STV/ST do perfil 6, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST no perfil 6.

(a)

(b)

Figura S.1.5: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação STV/ST do perfil 7, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST no perfil 7.

Figura S.1.6: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação STV/ST do perfil 8, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST no perfil 8.

Figura S.1.7: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação STV/ST do perfil 9, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST no perfil 9.

Figura S.1.8: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação STV/ST do perfil 10, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação STV/ST no perfil 10.

S.2 – Relação AVT/DQO

A Figura S.2.1 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 3, e a Figura S.2.1 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 3. A Figura S.2.2 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 3, e a Figura S.2.2 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 3.

Figura S.2.1: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 3, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 3.

Figura S.2.2: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 3, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 3.

A Figura S.2.3 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 4, e a Figura S.2.3 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 4. A Figura S.2.4 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 4, e a Figura S.2.4 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 4.

(a)

(b)

Figura S.2.3: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 4, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 4.

(a)

(b)

Figura S.2.4: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 4, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 4.

A Figura S.2.5 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 5, e a Figura S.2.5 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 5. A Figura S.2.6 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 5, e a Figura S.2.6 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 5.

Figura S.2.5: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 5, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 5.

Figura S.2.6: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 5, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 5.

A Figura S.2.7 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 6, e a Figura S.2.7 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 6. A Figura S.2.8 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 6, e a Figura S.2.8 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 6.

(a)

(b)

Figura S.2.7: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 6, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 6.

(a)

(b)

Figura S.2.8: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 6, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 6.

A Figura S.2.9 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 7, e a Figura S.2.9 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 7. A Figura S.2.10 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 7, e a Figura S.2.10 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 7.

(a)

(b)

Figura S.2.9: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 7, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 7.

(a)

(b)

Figura S.2.10: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 7, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 7.

A Figura S.2.11 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 8, e a Figura S.2.11 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 8. A Figura S.2.12 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 8, e a Figura S.2.12 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 8.

(a)

(b)

Figura S.2.11: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 8, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 8.

(a)

(b)

Figura S.2.12: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 8, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 8.

A Figura S.2.13 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 9, e a Figura S.2.13 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 9. A Figura S.2.14 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 9, e a Figura S.2.14 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 9.

Figura S.2.13: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 9, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 9.

Figura S.2.14: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 9, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 9.

A Figura S.2.15 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 10, e a Figura S.2.15 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 10. A Figura S.2.16 (a) apresenta a biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 10, e a Figura S.2.16 (b) apresenta a relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 10.

Figura S.2.15: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de $DQO_{Filtr.}$ e relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ do perfil 10, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de $DQO_{Filtr.}$ e a relação $AVT/DQO_{Filtr.}$ no perfil 10.

Figura S.2.16: (a) Biodegradabilidade anaeróbia em termos de DQO_{Total} e relação AVT/DQO_{Total} do perfil 10, e (b) Relação entre a biodegradabilidade em termos de DQO_{Total} e a relação AVT/DQO_{Total} no perfil 10.

APÊNDICE T

Modelagem matemática dos resultados de crescimento da biomassa do ASBBR (R3).

Tabela T.1: Resultados da modelagem matemática do crescimento celular do ASBBR (R3). (continua)

Ba t.	Carga Org. Removida (dMs/dt) [kgDQO.Bat ⁻¹]	Crescimento (Y _{X/S} *dMs/dt) [gSTV.Bat ⁻¹]	SSV _{aflu.} [mg.L ⁻¹]	SSV _{effu.} [mg.L ⁻¹]	Arraste de SSV [mg.L ⁻¹]	Massa Arrast. como SSV [g.Bat. ⁻¹]	Massa Amostr. (M _X) [g]	Massa Calcul. (M _X) [g]	Conc. Calcul. (C _X) [mg.L ⁻¹]
Nº									
1	0,000	0,00	-	-	86	64,16	7167	7167	9607
2	0,000	0,00	-	-	86	64,16	-	7103	9521
3	0,000	0,00	-	-	86	64,16	-	7039	9435
4	0,194	4,88	-	-	86	64,16	-	6975	9349
5	1,811	45,57	-	-	86	64,16	-	6915	9270
6	3,545	89,20	-	-	86	64,16	-	6897	9245
7	3,090	77,74	-	-	86	64,16	-	6922	9278
8	4,813	121,09	-	-	86	64,16	-	6935	9297
9	5,599	140,88	-	-	86	64,16	-	6992	9373
10	5,971	150,22	-	-	86	64,16	-	7069	9476
11	6,224	156,60	-	-	86	64,16	-	7155	9591
12	7,147	179,80	-	-	86	64,16	-	7247	9715
13	6,390	160,76	-	-	86	64,16	-	7363	9870
14	6,853	172,41	266	308	42	31,33	-	7460	10000
15	6,702	168,61	179	328	149	111,15	7619	7601	10189
16	6,639	167,04	178	268	90	67,14	-	7658	10266
17	6,684	168,15	123	248	125	93,25	-	7758	10400
18	6,452	162,33	107	182	75	55,95	-	7833	10500
19	6,448	162,24	190	337	147	109,66	-	7939	10643
20	7,397	186,09	179	186	7	5,22	-	7992	10713
21	7,529	189,42	159	212	53	39,54	-	8173	10956
22	6,842	172,13	214	81	-133	-99,22	-	8323	11156
23	9,505	239,15	124	166	42	31,33	-	8594	11520
24	9,432	237,30	214	216	2	1,49	-	8802	11799
25	12,552	315,79	544	357	-187	-139,50	-	9038	12115
26	11,703	294,44	484	315	-169	-126,07	-	9493	12725
27	6,497	163,47	745	397	-348	-259,61	-	9914	13289
28	5,468	137,58	290	393	103	76,84	-	10337	13856
29	3,379	85,01	163	276	113	84,30	-	10397	13937
30	1,389	34,95	177	180	3	2,24	10556	10398	13938
31	4,763	119,83	469	240	-229	-170,83	-	10431	13982
32	2,664	67,03	248	250	2	1,49	-	10721	14372
33	4,708	118,44	410	389	-21	-15,67	-	10787	14460
34	3,168	79,70	212	321	109	81,31	-	10921	14639
35	1,350	33,97	443	298	-145	-108,17	-	10919	14637
36	0,636	16,00	328	230	-98	-73,11	-	11062	14828
37	0,408	10,26	294	244	-50	-37,30	-	11151	14947
38	3,200	80,52	210	333	123	91,76	-	11198	15011
39	1,907	47,98	247	281	34	25,36	-	11187	14996
40	2,003	50,38	255	236	-19	-14,17	-	11210	15026

$$Y_{X/S} = 0,02516 \text{ gSTV} \cdot \text{gDQOremovida}^{-1}$$

$$M_{Xi} = 7.167 \text{ gSTV}$$

OBS: Os resultados em verde foram os valores tomados como base para cálculo dos valores dos parâmetros estimados em vermelho. Os resultados em azul foram os valores tomados como base para cálculo dos valores dos parâmetros estimados em roxo. Os valores em laranja são estimativas da carga orgânica adicionada como etanol (2,0 L por batelada), considerada totalmente consumida pelo sistema.

Tabela T.1: Resultados da modelagem matemática do crescimento celular do ASBBR (R3).
(continuação)

Ba t.	Carga Org. Removida (dMs/dt) [kgDQO.Bat ⁻¹]	Crescimento (Y _{X/S} *dMs/dt) [gSTV.Bat ⁻¹]	SSV _{aflu.} [mg.L ⁻¹]	SSV _{eflu.} [mg.L ⁻¹]	Arraste de SSV [mg.L ⁻¹]	Massa Arrast. como SSV [g.Bat. ⁻¹]	Massa Amostr. (M _X) [g]	Massa Calcul. (M _X) [g]	Conc. Calcul. (C _X) [mg.L ⁻¹]
Nº									
41	1,753	44,10	238	275	37	27,60	-	11274	15113
42	1,760	44,28	243	298	55	41,03	-	11291	15135
43	1,701	42,80	190	244	54	40,28	-	11294	15139
44	1,815	45,67	298	249	-49	-36,55	-	11296	15143
45	3,193	80,33	186	312	126	94,00	-	11379	15253
46	3,200	80,52	196	324	128	95,49	-	11365	15235
47	4,655	117,12	174	419	245	182,77	-	11350	15215
48	4,791	120,54	190	410	220	164,12	-	11284	15127
49	4,677	117,68	188	346	158	117,87	-	11241	15068
50	4,817	121,19	214	359	145	108,17	-	11241	15068
51	4,751	119,53	184	286	102	76,09	-	11254	15085
52	4,865	122,39	176	273	97	72,36	-	11297	15144
53	4,769	119,99	166	249	83	61,92	-	11347	15211
54	4,725	118,88	178	242	64	47,74	-	11405	15288
55	5,120	128,81	200	184	-16	-11,94	-	11476	15384
56	5,249	132,05	192	210	18	13,43	-	11617	15572
57	5,304	133,44	168	202	34	25,36	-	11736	15731
58	5,355	134,73	132	204	72	53,71	-	11844	15876
59	5,388	135,56	162	196	34	25,36	-	11925	15985
60	6,535	164,41	162	200	38	28,35	-	12035	16133
61	6,719	169,03	160	182	22	16,41	-	12171	16315
62	6,788	170,79	144	162	18	13,43	-	12324	16520
63	6,833	171,90	172	198	26	19,40	-	12481	16731
64	5,579	140,37	148	182	34	25,36	-	12634	16935
65	5,274	132,70	148	150	2	1,49	-	12749	17089
66	5,116	128,72	178	194	16	11,94	-	12880	17265
67	5,274	132,70	170	192	22	16,41	-	12997	17422
68	5,234	131,68	170	214	44	32,82	-	13113	17577
69	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13212	17710
70	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13245	17755
71	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13279	17800
72	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13312	17845
73	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13346	17890
74	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13379	17935
75	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13413	17980
76	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13446	18024
77	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13480	18069
78	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13513	18114
79	3,200	80,51	-	-	63	47,00	-	13547	18159
80	3,200	80,51	-	-	63	47,00	13504	13580	18204

$$Y_{X/S} = 0,02516 \text{ gSTV} \cdot \text{gDQOremovida}^{-1}$$

$$M_{Xi} = 7.167 \text{ gSTV}$$

OBS: Os resultados em verde foram os valores tomados como base para cálculo dos valores dos parâmetros estimados em vermelho. Os resultados em azul foram os valores tomados como base para cálculo dos valores dos parâmetros estimados em roxo. Os valores em laranja são estimativas da carga orgânica adicionada como etanol (2,0 L por batelada), considerada totalmente consumida pelo sistema.

APÊNDICE U

Modelagem matemática dos resultados dos perfis temporais do ASBBR (R3).

U.1 – Código Fonte dos Algoritmos de Solução dos Modelos Integral e Diferencial

A seguir são apresentados as interfaces nas planilhas e os códigos fonte dos dois algoritmos desenvolvidos pelo pesquisador, que foram programados em Visual Basic® em “macros” do aplicativo MS-Excel® para solução do modelo tanto na forma integral, quanto diferencial.

U.1.1 – Código Fonte do Algoritmos da Solução do Modelo na Forma Integral

A Figura U.1.1.1 apresenta a interface da planilha elaborada pelo pesquisador para solução do modelo matemático na forma integral.

Figura U.1.1.1: Interface da planilha elaborada pelo pesquisador para solução do modelo matemático na forma integral.

Código Fonte:

Sub Principal()

Dim i, j, k, w, n, ni, nc, m, u, mdcn As Integer

Dim md, fc As Single

Dim cx, a, b, c, an, bn, cn, pa, pb, pc, pai, pbi, pci As Double

Dim pontos(), pty() As Double

Dim ai(), bi(), ci() As Double

Dim abc(27, 3), desvio(27) As Double

n = Cells(4, 3) 'número de pontos

nc = Cells(6, 3) 'número de ciclos de iterações

ReDim pontos(n, 2), pty(n, 27) As Double

ReDim ai(nc + 1), bi(nc + 1), ci(nc + 1) As Double

```

For i = 1 To n      'leitura dos dados de entrada
    pontos(i, 1) = Cells(10 + i, 3)
    pontos(i, 2) = Cells(10 + i, 4)
Next i

mdcn = Cells(3, 10) 'modelo cinético
cx = Cells(2, 3)    'Cx - concentração de biomassa como STV em mg/L
a = Cells(3, 6)     'Ks - constante cinética do modelo de monod ou k1 - constante cinética de primeira ordem
b = Cells(4, 6)     'umax/Yxs - parâmetro cinético de monod
c = Cells(5, 6)     'Csr - concentração residual de substrato
pai = Cells(3, 7)   'passo a inicial(intervalo de variação)
pbi = Cells(4, 7)   'passo b inicial
pci = Cells(5, 7)   'passo c inicial
ni = Cells(5, 3)    'número máximo de iterações

fc = Cells(6, 13)   'fator de convergência

For i = 1 To n      'iniciando matriz dos pontos y calculados
    For j = 1 To 27
        pty(i, j) = 0
    Next j
Next i

ai(1) = a           'iniciando vetor de progresso dos resultados ao longo dos ciclos
bi(1) = b
ci(1) = c
For i = 2 To nc + 1
    ai(i) = 0
    bi(i) = 0
    ci(i) = 0
Next i

u = 1
pa = pai
pb = pbi
pc = pci
Cells(3, 8) = pa
Cells(4, 8) = pb
Cells(5, 8) = pc
Do While u <= nc    'inicio da rotina principal repetida nc ciclos
Cells(2, 13) = u    'imprime nc
m = 0              'inicio da rotina principal
Do While m < ni
    Call passo(a, pa, b, pb, c, pc, abc)
    Select Case mdcn
        Case 1 'Modelo cinético de primeira ordem
            Call calculo1(pontos, pty, abc, cx, n)
        Case 2 'Modelo cinético de Monod
            Call calculo2(pontos, pty, abc, cx, n)
    End Select
    Call calculo(desvio, pty, pontos, n)
    Call minimo_desvio(desvio, k)
    For i = 1 To n
        Cells(10 + i, 5) = pty(i, k)
    Next i

    an = a
    bn = b
    cn = c

    a = abc(k, 1)
    b = abc(k, 2)
    c = abc(k, 3)
    Cells(3, 6) = a
    Cells(4, 6) = b
    Cells(5, 6) = c
    Cells(3, 7) = pa
    Cells(4, 7) = pb
    Cells(5, 7) = pc
    pa = pa - (pa / fc) * (an / (a + 1E-16))
    pb = pb - (pb / fc) * (bn / (b + 1E-16))
    pc = pc - (pc / fc) * (cn / (c + 1E-16))
    Cells(4, 13) = desvio(k)
    m = m + 1
    Cells(3, 13) = m
Loop
u = u + 1
ai(u) = a
bi(u) = b
ci(u) = c
pa = Abs(ai(u) - ai(u - 1)) / 3
pb = Abs(pa * (bi(u) / ai(u)))
pc = Abs(ci(u) - ci(u - 1)) / 3
Cells(3, 8) = pa
Cells(4, 8) = pb
Cells(5, 8) = pc

```

Loop

End Sub

Sub passo(a, pa, b, pb, c, pc, abc)

'Combinação de casos de passos entre a, b, c

For i = 1 To 9

abc(i, 1) = a

abc(i + 9, 1) = a + pa

abc(i + 18, 1) = a - pa

Next

For i = 1 To 3

For j = 1 To 3

abc(9 * i + j - 9, 2) = b

abc(9 * i + j - 6, 2) = b + pb

abc(9 * i + j - 3, 2) = b - pb

Next j

Next i

For i = 1 To 9

abc(3 * i - 2, 3) = c

abc(3 * i - 1, 3) = c + pc

abc(3 * i, 3) = c - pc

Next

End Sub

Sub calculo1(pontos, pty, abc, cx, n)

'Solução do modelo de primeira ordem na forma integral

cso = pontos(1, 2)

For j = 1 To 27

For i = 1 To n

pty(i, j) = ((cso - abc(j, 3)) * Exp(-abc(j, 1) * cx * pontos(i, 1))) + abc(j, 3)

Next i

Next j

End Sub

Sub calculo2(pontos, pty, abc, cx, n)

'Solução do modelo de Monod integral por método numérico (Newton-Raphson)

Dim i, j, k, m As Integer

Dim dif, dtdcs, csi, ks, uy, csr, cso, aux As Double

Dim csmod(), tmod() As Double

ReDim csmod(n), tmod(n) As Double

cso = pontos(1, 2)

For j = 1 To 27

For m = 1 To n

csmod(m) = pontos(m, 2)

tmod(m) = 0

Next m

For i = 1 To n

k = 1

dif = cso

Do While dif > 0.00000001 Or k < 100

ks = abc(j, 1)

uy = abc(j, 2)

csr = abc(j, 3)

aux = csmod(i) - csr

If aux > 0 Then

tmod(i) = -(ks * Log((csmod(i) - csr) / (cso - csr)) + (csmod(i) - cso)) / (uy * cx)

dtdcs = -((ks + (csmod(i) - csr)) / (csmod(i) - csr)) / (uy * cx)

csi = csmod(i) - ((tmod(i) - pontos(i, 1)) / dtdcs)

dif = Abs(csi - csmod(i))

csmod(i) = csi

k = k + 1

Else

csmod(i) = 0

dif = 0

k = 101

End If

Loop

pty(i, j) = csmod(i)

Next i

Next j

End Sub

```

Sub calculo(desvio, pty, pontos, n)
'Somatório dos desvios ao quadrado

Dim aux As Double

For j = 1 To 27
    aux = 0
    For i = 1 To n
        aux = aux + (pty(i, j) - pontos(i, 2)) ^ 2
    Next i
    desvio(j) = aux
Next j

End Sub

Sub minimo_desvio(desvio, k)
'Encontra o desvio mínimo e dá a ele o endereço k

Dim min As Double

k = 1
For j = 2 To 27
    min = desvio(1)
    If desvio(j) < min Then
        min = desvio(j)
        k = j
    End If
Next j

End Sub

```

U.1.2 – Código Fonte do Algoritmos da Solução do Modelo na Forma Diferencial

A Figura U.1.1.2 apresenta a interface da planilha elaborada pelo pesquisador para solução do modelo matemático na forma diferencial.

Figura U.1.1.2: Interface da planilha elaborada pelo pesquisador para solução do modelo matemático na forma diferencial.

Código Fonte:

Sub Principal()

Dim i, j, k, w, n, ni, nc, m, u, mdcn As Integer
 Dim md, fc As Single
 Dim cx, a, b, c, an, bn, cn, pa, pb, pc, pai, pbi, pci, dt As Double
 Dim ai(), bi(), ci() As Double
 Dim pontos(), pty() As Double

Dim abc(27, 3), desvio(27) As Double

n = Cells(4, 3) 'número de pontos
 nc = Cells(6, 3) 'número de ciclos

ReDim pontos(n, 2), pty(n, 27) As Double
 ReDim ai(nc + 1), bi(nc + 1), ci(nc + 1) As Double

For i = 1 To n 'leitura dos dados de entrada
 pontos(i, 1) = Cells(10 + i, 3)
 pontos(i, 2) = Cells(10 + i, 4)
 Next i

mdcn = Cells(3, 10) 'modelo cinético
 cx = Cells(2, 3) 'Cx - concentração de biomassa como STV em mg/L
 dt = Cells(3, 3) 'Intervalo de tempo para integração (h de RK-4)
 a = Cells(3, 6) 'Ks - constante cinética do modelo de monod ou k1b - constante cinética de primeira ordem
 b = Cells(4, 6) 'umax/Yxs - parâmetro cinético de monod
 c = Cells(5, 6) 'Csr - concentração residyal de substrato
 pai = Cells(3, 7) 'passo a inicial(intervalo de variação)
 pbi = Cells(4, 7) 'passo b inicial
 pci = Cells(5, 7) 'passo c inicial
 ni = Cells(5, 3) 'número máximo de iterações
 fc = Cells(6, 13) 'fator de convergência

For i = 1 To n 'iniciando matriz dos pontos y calculados
 For j = 1 To 27
 pty(i, j) = 0
 Next j
 Next i

ai(1) = a
 bi(1) = b
 ci(1) = c
 For i = 2 To nc + 1
 ai(i) = 0
 bi(i) = 0
 ci(i) = 0
 Next i

u = 1
 pa = pai
 pb = pbi
 pc = pci
 Cells(3, 8) = pa
 Cells(4, 8) = pb
 Cells(5, 8) = pc
 Do While u <= nc
 Cells(2, 13) = u 'imprime nc
 m = 0 'inicio da rotina principal
 Do While m < ni
 Call passo(a, pa, b, pb, c, pc, abc)
 Select Case mdcn
 Case 1 'Modelo cinético de primeira ordem
 Call calculo1(pontos, pty, abc, cx, n, dt)
 Case 2 'Modelo cinético de Monod
 Call calculo2(pontos, pty, abc, cx, n, dt)
 End Select
 Call calculo(desvio, pty, pontos, n)
 Call minimo_desvio(desvio, k)
 For i = 1 To n
 Cells(10 + i, 5) = pty(i, k)
 Next i

an = a
 bn = b
 cn = c

a = abc(k, 1)
 b = abc(k, 2)
 c = abc(k, 3)
 Cells(3, 6) = a
 Cells(4, 6) = b
 Cells(5, 6) = c
 Cells(3, 7) = pa

```

Cells(4, 7) = pb
Cells(5, 7) = pc
pa = pa - (pa / fc) * (an / (a + 1E-16))
pb = pb - (pb / fc) * (bn / (b + 1E-16))
pc = pc - (pc / fc) * (cn / (c + 1E-16))
Cells(4, 13) = desvio(k)
m = m + 1
Cells(3, 13) = m
Loop
u = u + 1
ai(u) = a
bi(u) = b
ci(u) = c
pa = Abs(ai(u) - ai(u - 1)) / 3
pb = Abs(pa * (bi(u) / ai(u)))
pc = Abs(ci(u) - ci(u - 1)) / 3
Cells(3, 8) = pa
Cells(4, 8) = pb
Cells(5, 8) = pc
Loop

End Sub

Sub passo(a, pa, b, pb, c, pc, abc)
'Combinação de casos de passos entre a, b, c
For i = 1 To 9
    abc(i, 1) = a
    abc(i + 9, 1) = a + pa
    abc(i + 18, 1) = a - pa
Next

For i = 1 To 3
    For j = 1 To 3
        abc(9 * i + j - 9, 2) = b
        abc(9 * i + j - 6, 2) = b + pb
        abc(9 * i + j - 3, 2) = b - pb
    Next j
Next i

For i = 1 To 9
    abc(3 * i - 2, 3) = c
    abc(3 * i - 1, 3) = c + pc
    abc(3 * i, 3) = c - pc
Next

End Sub

Sub calculo1(pontos, pty, abc, cx, n, dt)
'Solução do modelo deferencial pelo método de Runge-Kutta de quarta ordem

Dim i, j, k, m As Integer
Dim k1b, csr, cso, k1, k2, k3, k4, aux1, aux2 As Double
Dim csmod(), tmod() As Double

z = Int((pontos(n, 1) - pontos(1, 1)) / dt) + 1

ReDim csmod(z), tmod(z) As Double

For i = 1 To z
    csmod(i) = 0
    tmod(i) = 0
Next i

cso = pontos(1, 2)

For j = 1 To 27
    k1b = abc(j, 1)
    csr = abc(j, 3)
    k = 2
    For i = 2 To z
        tmod(1) = pontos(1, 1)
        csmod(1) = cso
        k1 = dt * (-k1b * cx * (((csmod(i - 1) - csr)))
        k2 = dt * (-k1b * cx * (((csmod(i - 1) + (k1 / 2)) - csr)))
        k3 = dt * (-k1b * cx * (((csmod(i - 1) + (k2 / 2)) - csr)))
        k4 = dt * (-k1b * cx * (((csmod(i - 1) + k3) - csr)))
        csmod(i) = csmod(i - 1) + ((k1 + (2 * k2) + (2 * k3) + k4) / 6)
        tmod(i) = tmod(i - 1) + dt
        pty(1, j) = cso
        aux1 = pontos(k, 1) - tmod(i)
        aux2 = dt / 10
        If aux1 < aux2 Then
            pty(k, j) = csmod(i)
            k = k + 1
        End If
    Next i
Next j

```

```

Next j

End Sub

Sub calculo2(pontos, pty, abc, cx, n, dt)
'Solução do modelo deferencial pelo método de Runge-Kutta de quarta ordem

Dim i, j, k, m As Integer
Dim ks, uy, csr, cso, k1, k2, k3, k4, aux1, aux2 As Double
Dim csmod(), tmod() As Double

z = Int((pontos(n, 1) - pontos(1, 1)) / dt) + 1

ReDim csmod(z), tmod(z) As Double

For i = 1 To z
    csmod(i) = 0
    tmod(i) = 0
Next i

cso = pontos(1, 2)

For j = 1 To 27
    ks = abc(j, 1)
    uy = abc(j, 2)
    csr = abc(j, 3)
    k = 2
    For i = 2 To z
        tmod(1) = pontos(1, 1)
        csmod(1) = cso
        k1 = dt * (-uy * cx * ((csmod(i - 1) - csr) / (ks + (csmod(i - 1) - csr))))
        k2 = dt * (-uy * cx * (((csmod(i - 1) + (k1 / 2)) - csr) / (ks + ((csmod(i - 1) + (k1 / 2)) - csr))))
        k3 = dt * (-uy * cx * (((csmod(i - 1) + (k2 / 2)) - csr) / (ks + ((csmod(i - 1) + (k2 / 2)) - csr))))
        k4 = dt * (-uy * cx * (((csmod(i - 1) + k3) - csr) / (ks + ((csmod(i - 1) + k3) - csr))))
        csmod(i) = csmod(i - 1) + ((k1 + (2 * k2) + (2 * k3) + k4) / 6)
        tmod(i) = tmod(i - 1) + dt
        pty(1, j) = cso
        aux1 = pontos(k, 1) - tmod(i)
        aux2 = dt / 10
        If aux1 < aux2 Then
            pty(k, j) = csmod(i)
            k = k + 1
        End If
    Next i
Next j

End Sub

Sub calculo(desvio, pty, pontos, n)
'Somatório dos desvios ao quadrado

Dim aux As Double

For j = 1 To 27
    aux = 0
    For i = 1 To n
        aux = aux + (pty(i, j) - pontos(i, 2)) ^ 2
    Next i
    desvio(j) = aux
Next j

End Sub

Sub minimo_desvio(desvio, k)
'Encontra o desvio mínimo e dá a ele o endereço k

Dim min As Double

k = 1
For j = 2 To 27
    min = desvio(1)
    If desvio(j) < min Then
        min = desvio(j)
        k = j
    End If
Next j

End Sub

```

Tabela U.1: Resultados da modelagem matemática do **terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	3	Temp. =	25,8	°C	Substr. =	DQO	Total		
Batel. =	28	C _X =	13856	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	11080								
0	11080	11080	11080	11080	11080	11080	11080	11080	
0,25									
0,5									
1	6985	7431	7198	7222	7100	7021	7002	7021	
1,5									
2	4995	5253	4983	4939	4935	4928	4955	4927	
3	3970	4145	3939	3887	3933	3972	3988	3974	
4	3520	3643	3510	3488	3514	3566	3546	3567	
5	3340	3431	3346	3351	3348	3398	3347	3399	
6	3285	3344	3285	3306	3284	3331	3258	3331	
7	3435	3309	3262	3292	3259	3303	3219	3304	
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	7	0; 6 e 7	0 e 7	6 e 7	7	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	12909,8	12029,8	8549,2	15718,3	22799,4	48024,4	23231,0	22372,2
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,85148	0,87459	0,69984	1,09148	1,50292	2,81387	1,52662	1,48161
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3285	3249	3285	3244	3285	3187	3285	3291
r ²	-	0,996154	0,998769	0,998578	0,999243	0,999414	0,999206	0,999413	0,999414
Σ(C _{Si} -C _S) ²	-	339355,76	76479,74	88418,14	49287,24	30735,21	50483,20	30724,53	30659,77
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		15161,6	13754,8	12215,9	14400,9	15170,1	17067,0	15217,3	15099,9
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-3,79	-0,91	-1,21	-0,91	-0,91	-1,21	-0,91	-0,91
	Aceitação	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.1: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela P.2: Resultados da modelagem matemática do **terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	3	Temp. =	25,8	°C	Substr. =	DQO	Total	
Batel. =	28	C _X =	13856	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	11080							
0	11080	11080	11080	11080	11080	11080	11080	11080
0,25								
0,5								
1	6985	6892	6924	6985	6900	6892	6924	6892
1,5								
2	4995	4954	4965	5041	4966	4954	4965	4965
3	3970	4057	4043	4119	4071	4057	4042	4042
4	3520	3642	3608	3681	3657	3642	3607	3607
5	3340	3450	3403	3473	3465	3450	3403	3403
6	3285	3361	3306	3374	3376	3361	3306	3306
7	3435	3320	3261	3327	3335	3320	3261	3261
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	6	6	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,562x10 ⁻⁵	5,430x10 ⁻⁵	5,378x10 ⁻⁵	5,562x10 ⁻⁵	5,562x10 ⁻⁵	5,431x10 ⁻⁵	5,561x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3285	3220	3285	3300	3285	3220	3220
r ²	-	0,998935	0,999007	0,998982	0,998935	0,998934	0,999007	0,998935
Σ(C _{Si} -C _s) ²	-	64098,18	52334,25	87189,16	70837,23	64098,14	52333,78	64098,51
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,06	-2,06	-1,97	-2,06	-2,06	-2,06	-2,06
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.2: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.3: Resultados da modelagem matemática do **terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	3	Temp. =	25,8	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	28	C _X =	13856	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	10405								
0	10405	10405	10405	10405	10405	10405	10405	10405	
0,25									
0,5									
1	6225	6227	6449	6916	6434	6227	6228	6228	
1,5									
2	4365	4350	4344	4954	4331	4360	4359	4358	
3	3560	3544	3478	3934	3471	3555	3554	3553	
4	3185	3205	3176	3428	3174	3213	3212	3213	
5	3070	3065	3079	3185	3079	3069	3069	3071	
6	3050	3006	3049	3069	3049	3009	3008	3011	
7	2965	2982	3039	3014	3040	2983	2983	2986	
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	6 e 7	-	0 e 7	0 e 7	-	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	71044,4	9797,0	28636,9	9812,6	92842,6	89858,3	89836,6	82109,7
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	4,52933	0,82955	1,56014	0,83476	5,82636	5,64755	5,64626	5,18844
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2965	3035	2965	3036	2965	2965	2965	2968
r ²		0,999938	0,998822	0,989472	0,998881	0,999938	0,999939	0,999939	0,999939
Σ(C _{Si} -C _s) ²		3158,04	63171,81	1038225,2	58609,58	2889,74	2887,45	2887,45	2864,58
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		15685,4	11810,0	18355,3	11755,0	15934,9	15911,0	15910,8	15825,5
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,36	-0,36	∞	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.3: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.4: Resultados da modelagem matemática do **terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	3	Temp. =	25,8	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	28	C _X =	13856	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	10405							
0	10405	10405	10405	10405	10405	10405	10405	10405
0,25								
0,5								
1	6225	6198	6205	6266	6198	6198	6205	6198
1,5								
2	4365	4370	4372	4429	4374	4370	4372	4370
3	3560	3575	3571	3615	3584	3575	3571	3575
4	3185	3230	3222	3253	3241	3230	3222	3230
5	3070	3080	3069	3093	3093	3080	3069	3080
6	3050	3015	3003	3022	3028	3015	3003	3015
7	2965	2987	2974	2990	3000	2987	2974	2987
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste								
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	6,016x10 ⁻⁵	5,982x10 ⁻⁵	5,866x10 ⁻⁵	6,034x10 ⁻⁵	6,016x10 ⁻⁵	5,982x10 ⁻⁵	6,016x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2965	2951	2965	2979	2965	2951	2965
r ²	-	0,999906	0,999910	0,999843	0,999900	0,999906	0,999910	0,999906
Σ(C _{Si} -C _S) ²	-	4840,57	4234,63	15339,02	6768,06	4840,51	4234,64	4840,51
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-0,91	-1,21	-1,58	-0,91	-0,91	-1,21	-0,91
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.4: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste g e (b) ajuste h .

Tabela U.5: Resultados da modelagem matemática do **quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	4	Temp. =	24,1	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	29	C _X =	13937	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	8535								
0	8535	8535	8535	8535	8535	8535	8535	8535	
0,25									
0,5									
1	6510	6886	6774	6721	6627	6612	6558	6621	
1,5								6557	
2	5315	5492	5391	5299	5263	5256	5265	5265	
3	4450	4445	4421	4324	4371	4386	4434	4379	
4	3915	3795	3827	3761	3833	3873	3905	3863	
5	3500	3477	3507	3485	3528	3590	3571	3580	
6	3340	3349	3351	3363	3362	3439	3360	3432	
7	3280	3303	3278	3313	3274	3361	3228	3356	
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 7	0	7	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2273,8	4168,7	3563,3	8619,9	8454,8	69176,0	7721,1	70683,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,17974	0,24672	0,23842	0,40919	0,41441	2,33995	0,38828	2,38787
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3280	3220	3280	3178	3280	3008	3280	3007
r ²		0,994675	0,997435	0,996953	0,998847	0,998429	0,999459	0,998365	0,999458
Σ(C _{Si} -C _S) ²		188414,86	84279,00	86086,63	30634,59	44304,89	13158,46	43881,89	13158,41
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		12650,5	16896,5	14945,5	21065,8	20402,0	29563,0	19885,4	29601,1
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,06	-1,21	-2,06	-1,21	-2,06	-1,21	-2,06	-1,21
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.5: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.6: Resultados da modelagem matemática do **quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	4	Temp. =	24,1	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	29	C _X =	13937	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	8535							
0	8535	8535	8535	8535	8535	8535	8535	8535
0,25								
0,5								
1	6510	6431	6542	6057	6540	6431	6542	6431
1,5								
2	5315	5170	5263	4747	5255	5170	5263	5170
3	4450	4413	4442	4055	4426	4413	4442	4413
4	3915	3960	3914	3690	3892	3959	3914	3959
5	3500	3688	3576	3497	3548	3687	3576	3687
6	3340	3524	3359	3394	3326	3524	3359	3524
7	3280	3427	3219	3340	3182	3427	3219	3427
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	7	7	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,669x10 ⁻⁵	3,180x10 ⁻⁵	4,577x10 ⁻⁵	3,151x10 ⁻⁵	3,669x10 ⁻⁵	3,180x10 ⁻⁵	3,669x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3280	2969	3280	2923	3280	2969	3280
r ²		0,996888	0,999436	0,981675	0,999428	0,996884	0,999436	0,996884
Σ(C _{Si} -C _s) ²		121268,92	13637,19	740714,92	17636,21	121268,75	13637,09	121268,75
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,91	-1,21	-3,04	-0,91	-2,91	-1,21	-2,91
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.6: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.7: Resultados da modelagem matemática do **quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	4		Temp. =	24,1	°C		Substr.	DQO	Filtr.
Batel. =	29		C _X =	13937	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	7540								
0	7540	7540	7540	7540	7540	7540	7540	7540	
0,25									
0,5									
1	5705	5564	5794	5628	5765	5747	5741	5741	
1,5									
2	4610	4430	4529	4479	4506	4546	4531	4531	
3	3730	3785	3755	3810	3749	3814	3796	3796	
4	3365	3419	3362	3429	3364	3400	3384	3384	
5	3190	3212	3189	3214	3192	3178	3166	3166	
6	3120	3095	3120	3094	3120	3062	3054	3054	
7	2943	3028	3093	3027	3091	3003	2998	2998	
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 7	0 e 7	7	-	-	-	
Unidade Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada									
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	180355,9	3670,5	36818,9	4169,3	9193,6	8482,0	8480,4	8454,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	7,413	0,25587	1,55781	0,27884	0,45847	0,43132	0,43126	0,43033
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2943	3076	2943	3072	2943	2943	2943	2943
r ²	-	0,996935	0,998171	0,998026	0,998140	0,998890	0,998898	0,998898	0,998898
Σ(C _{Si} -C _S) ²	-	66488,29	37654,86	41921,66	36688,95	21225,09	20112,08	20112,08	20111,90
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		24329,7	14345,2	23635,0	14952,3	20052,8	19665,2	19664,2	19646,6
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,21	-0,36	-1,21	0,15	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.7: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.8: Resultados da modelagem matemática do **quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil = Batel. =	4 29	Temp. = C _x =	24,1 13937	°C mg.L ⁻¹	Substr.	DQO	Filtr.		
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	7540	7540	7540	7540	7540	7540	7540	7540	7540
0,25									
0,5									
1	5705	5608	5660	5552	5662	5607	5660	5607	5660
1,5									
2	4610	4487	4527	4424	4536	4487	4528	4487	4528
3	3730	3838	3845	3783	3860	3838	3845	3838	3845
4	3365	3462	3433	3420	3456	3462	3434	3462	3434
5	3190	3244	3186	3214	3213	3244	3186	3244	3186
6	3120	3117	3036	3097	3068	3117	3037	3117	3037
7	2943	3044	2946	3030	2981	3044	2947	3044	2947
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	7	7	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,913x10 ⁻⁵	3,635x10 ⁻⁵	4,064x10 ⁻⁵	3,671x10 ⁻⁵	3,914x10 ⁻⁵	3,635x10 ⁻⁵	3,914x10 ⁻⁵	3,635x10 ⁻⁵
C _{SR}	mgDQO.L ⁻¹	2943	2810	2943	2850	2943	2811	2943	2811
r ²	-	0,997584	0,998177	0,996672	0,998185	0,997581	0,998178	0,997581	0,998178
Σ(C _{Si} -C _s) ²	-	58718,61	33744,22	72697,32	37364,45	58718,25	33744,22	58718,25	33744,22
Testes Estatísticos									
Rand.	Z Aceitação	-1,21 sim	-1,21 sim	-1,21 sim	-1,21 sim	-1,21 sim	-1,21 sim	-1,21 sim	-1,21 sim
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.8: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.9: Resultados da modelagem matemática do **quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	5	Temp. =	27,0	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	30	C _X =	13938	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4970								
0	4970	4970	4970	4970	4970	4970	4970	4970	
0,25									
0,5									
1	3970	4022	4004	4001	3989	4048	3984	3987	
1,5									
2	3540	3524	3537	3515	3519	3586	3521	3530	
3	3300	3294	3331	3294	3299	3356	3303	3316	
4	3195	3197	3243	3198	3198	3242	3201	3217	
5	3280	3157	3206	3158	3151	3185	3153	3170	
6	3130	3141	3191	3142	3130	3157	3130	3149	
7	3190	3134	3185	3135	3120	3143	3119	3139	
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	5 e 7	-	0; 5; 6 e 7	0; 5 e 7	6 e 7	5 e 7	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4799,6	8355,0	7047,7	28893,4	94138,1	9055597,5	230705885	11854,6
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,31728	0,53499	0,44781	1,62583	4,76354	490,807	12639,3	0,75527
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3130	3181	3130	3112	3130	3110	3130	3174
r ²		0,994160	0,995466	0,994904	0,994689	0,991755	0,994694	0,994930	0,995626
Σ(C _{Si} -C _S) ²		21412,08	13582,92	19599,81	22286,27	25308,44	21831,08	16132,48	12058,13
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		15127,3	15617,1	15738,1	17771,5	19762,2	18450,4	18253,0	15695,8
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,49	0,49	0,49	-0,91	-0,91	0,49	0,49	0,49
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.9: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.10: Resultados da modelagem matemática do **quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	5	Temp. =	27,0	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	30	C _X =	13938	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4970							
0	4970	4970	4970	4970	4970	4970	4970	4970
0,25								
0,5								
1	3970	3987	3968	4155	3957	3987	3968	3987
1,5								
2	3540	3529	3523	3702	3519	3530	3523	3530
3	3300	3316	3325	3449	3329	3316	3325	3316
4	3195	3217	3237	3308	3247	3217	3237	3217
5	3280	3170	3198	3229	3211	3170	3198	3170
6	3130	3149	3181	3185	3196	3149	3181	3149
7	3190	3139	3173	3161	3189	3139	3173	3139
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	6	6	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,479x10 ⁻⁵	5,821x10 ⁻⁵	4,194x10 ⁻⁵	6,009x10 ⁻⁵	5,479x10 ⁻⁵	5,821x10 ⁻⁵	5,479x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3130	3167	3130	3184	3130	3167	3130
r ²		0,994932	0,995549	0,978794	0,995394	0,994930	0,995549	0,994930
Σ(C _{Si} -C _s) ²		16132,41	12272,77	101693,06	13194,59	16132,41	12272,70	16132,41
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	0,49 sim	-0,36 sim	-0,91 sim	-0,36 sim	0,49 sim	-0,36 sim	0,49 sim
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.10: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.11: Resultados da modelagem matemática do **quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	5	Temp. =	27,0	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	30	C _X =	13938	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4890								
0	4890	4890	4890	4890	4890	4890	4890	4890	
0,25									
0,5									
1	3685	3943	4017	6175	5459	3868	3840	3750	
1,5									
2	3380	3471	3522	7035	5887	3366	3356	3333	
3	3250	3235	3270	7791	6260	3148	3164	3181	
4	3160	3117	3151	8494	6602	3058	3093	3125	
5	3055	3059	3096	9164	6924	3023	3068	3104	
6	3140	3029	3072	9811	7231	3009	3060	3097	
7	3000	3015	3061	10440	7527	3003	3057	3094	
Soluções Múltiplas	sim	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	6 e 7	-	0; 5; 6 e 7	0	6 e 7	6 e 7	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1,082x10 ²²	5045,1	-1523,6	-1615,2	6168,0	5093,1	7288507,1	7385813,2
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	5,395x10 ¹⁷	0,2958	-0,03548	-0,01387	0,4177	0,3856	441,4178	533,2087
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3000	3052	3000	2718	3000	3055	3000	3093
r ²		0,972874	0,963404	0,741147	0,731642	0,980372	0,984635	0,986768	0,990599
Σ(C _{Si} -C _S) ²		89560,04	141069,29	205797959	82540229	72703,07	46369,38	53463,88	25663,81
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		20058,6	17055,8	42942,5	116452,8	14766,6	13208,2	16511,6	13851,6
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,36	0,15	∞	∞	-1,97	-0,36	-1,97	-0,36
	Aceitação	sim	sim	não	não	não	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.11: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.12: Resultados da modelagem matemática do **quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	5	Temp. =	27,0	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	30	C _X =	13938	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4890							
0	4890	4890	4890	4890	4890	4890	4890	4890
0,25								
0,5								
1	3685	3812	3750	4050	3731	3813	3750	3813
1,5								
2	3380	3349	3333	3584	3338	3349	3333	3349
3	3250	3150	3181	3324	3206	3150	3181	3150
4	3160	3065	3125	3180	3161	3065	3125	3065
5	3055	3028	3105	3100	3146	3028	3105	3028
6	3140	3012	3097	3056	3141	3012	3097	3012
7	3000	3005	3095	3031	3139	3005	3095	3005
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	7	5 e 7	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	6,057x10 ⁻⁵	7,220x10 ⁻⁵	4,216x10 ⁻⁵	7,776x10 ⁻⁵	6,055x10 ⁻⁵	7,218x10 ⁻⁵	6,055x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3000	3093	3000	3138	3000	3093	3000
r ²		0,986783	0,990601	0,953718	0,989721	0,986771	0,990601	0,986771
Σ(C _{Si} -C _s) ²		53449,18	25659,06	190861,29	33289,44	53449,12	25659,23	53449,12
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-1,97	-0,36	-1,58	-1,97	-1,97	-0,36	-1,97
	Aceitação	não	sim	sim	não	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.12: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.13: Resultados da modelagem matemática do **sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	6	Temp. =	25,4	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	31	C _X =	13982	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	10485								
0	10485	10485	10485	10485	10485	10485	10485	10485	
0,25									
0,5									
1	7750	8164	8024	8212	7983	7899	7877	7877	
1,5									
2	6220	6237	6125	6480	6066	6084	6091	6091	
3	5085	4893	4895	5302	4844	4975	4991	4991	
4	4180	4205	4261	4597	4232	4383	4373	4373	
5									
6									
7	3865	3871	3864	3941	3866	3909	3801	3908	3801
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 7	0	7	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2417,6	3941,8	4746,8	3898,8	7495,8	11000,2	7249,2	11004,1
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,24064	0,30663	0,34813	0,31097	0,45045	0,56984	0,44075	0,56998
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3865	3846	3865	3851	3865	3723	3865	3723
r ²		0,994650	0,996355	0,994965	0,996091	0,997069	0,997393	0,997057	0,997393
Σ(C _{Si} -C _S) ²		209151,62	126503,72	507780,55	138612,82	96366,05	82952,10	96290,28	82952,07
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		10046,5	12855,2	13635,1	12537,5	16640,7	19304,0	16447,4	19306,1
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,22	-0,44	∞	-1,53	-1,53	-0,44	-1,53	-0,44
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.13: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.14: Resultados da modelagem matemática do **sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	6	Temp. =	25,4	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	31	C _X =	13982	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	10485							
0	10485	10485	10485	10485	10485	10485	10485	10485
0,25								
0,5								
1	7750	7750	7644	7741	7280	7726	7644	7741
1,5								
2	6220	6220	6023	6078	5627	6076	6022	6077
3	5085	5085	5097	5069	4774	5091	5097	5069
4	4180	4180	4568	4458	4334	4501	4568	4458
5								
6								
7	3865	3865	3996	3727	3929	3813	3996	3727
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	7	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,009x10 ⁻⁵	3,580x10 ⁻⁵	4,733x10 ⁻⁵	3,681x10 ⁻⁵	4,010x10 ⁻⁵	3,580x10 ⁻⁵	4,010x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3865	3517	3865	3626	3865	3517	3865
r ²		0,994614	0,996305	0,985045	0,996239	0,994609	0,996305	0,994609
Σ(C _{Si} -C _s) ²		218097,70	117023,69	696862,44	127250,28	218097,32	117023,68	218097,32
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,62	-1,22	-2,62	-1,53	-2,62	-1,22	-2,62
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.14: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.15: Resultados da modelagem matemática do **sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	6 31	Temp. = C _x =	25,4 13982	°C mg.L ⁻¹	Substr.	DQO	Filtr.		
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	10155								
0	10155	10155	10155	10155	10155	10155	10155	10155	
0,25									
0,5									
1	7375	7775	7711	7546	7588	7484	7463	7463	
1,5									
2	5835	5877	5845	5699	5721	5730	5742	5742	
3	4820	4625	4653	4602	4590	4710	4725	4725	
4	3980	4005	4048	4060	4032	4173	4160	4160	
5									
6									
7	3675	3683	3674	3697	3676	3725	3616	3723	
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 7	0	7	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2939,1	3975,5	5701,6	4928,5	10693,0	17871,3	10202,4	17871,0
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,2664	0,30891	0,39666	0,36072	0,59742	0,85880	0,57735	0,85880
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3675	3657	3675	3657	3675	3529	3675	3529
r ²		0,994603	0,995960	0,996805	0,996603	0,997633	0,997971	0,997616	0,997971
Σ(C _{Si} -C _S) ²		200882,26	145656,80	102301,58	114192,42	74864,04	61282,67	74762,49	61282,67
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		11032,7	12869,4	14374,0	13663,0	17898,6	20809,6	17671,1	20809,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,22	-0,44	-1,53	-1,53	-1,53	-0,44	-1,53	-0,44
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.15: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.16: Resultados da modelagem matemática do **sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	6	Temp. =	25,4	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	31	C _X =	13982	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	10155							
0	10155	10155	10155	10155	10155	10155	10155	10155
0,25								
0,5								
1	7375	7295	7375	6982	7361	7294	7375	7294
1,5								
2	5835	5697	5739	5362	5738	5697	5739	5697
3	4820	4804	4777	4536	4795	4804	4777	4804
4	3980	4306	4210	4114	4248	4306	4210	4306
5								
6								
7	3675	3785	3565	3733	3637	3785	3565	3785
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	7	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,165x10 ⁻⁵	3,792x10 ⁻⁵	4,811x10 ⁻⁵	3,884x10 ⁻⁵	4,166x10 ⁻⁵	3,792x10 ⁻⁵	4,166x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3675	3400	3675	3488	3675	3400	3675
r ²		0,996265	0,997476	0,989169	0,997415	0,996261	0,997476	0,996261
Σ(C _{Si} -C _s) ²		144055,59	76071,08	479938,32	83168,73	144055,19	76070,94	144055,19
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	-2,62 não	-0,44 sim	-2,62 não	-1,22 sim	-2,62 não	-0,44 sim	-2,62 não
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.16: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.17: Resultados da modelagem matemática do **sétimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	7 33	Temp. = C _X =	25,1 14460	°C mg.L ⁻¹		Substr.	DQO	Total	
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	11310								
0	11310	11310	11310	11310	11310	11310	11310	11310	
0,25									
0,5									
1	7985	8192	8080	8100	8006	8027	8037	8047	
1,5									
2	6400	6352	6381	6306	6361	6319	6347	6302	
3	5475	5439	5488	5435	5495	5488	5474	5458	
4	5030	5039	5018	5048	5027	5098	5024	5072	
5	4770	4876	4772	4885	4770	4919	4792	4902	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim*	não	não	sim	sim*	sim	sim*	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	10350,2	7316121,5	14367,8	-46511,6	34006,5	8858822,9	21996,2	8807265,3
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,67934	325,427	0,89267	-1,88651	1,86643	405,319	1,2768	403,024
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4770	4498	4770	4453	4770	4544	4770	4544
r ²		0,998457	0,999737	0,998871	0,999924	0,999169	0,999809	0,999053	0,999809
Σ(C _{Si} -C _S) ²		57592,44	9693,30	37054,45	2377,03	35465,38	6026,39	32782,43	6026,68
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		15235,7	22481,6	16095,3	24654,8	18220,1	21856,4	17227,6	21852,9
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,53	0,65	-1,53	0,65	-1,22	-1,53	-1,53	-1,53
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.17: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.18: Resultados da modelagem matemática do sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	7			Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Total
Batel. =	33			C _X =	14460	mg.L ⁻¹			
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	11310								
0	11310	11310	11310	11310	11310	11310	11310	11310	11310
0,25									
0,5									
1	7985	7961	7998	7801	8039	7945	8036	7945	8036
1,5									
2	6400	6327	6338	6175	6345	6311	6346	6311	6346
3	5475	5530	5507	5421	5468	5518	5474	5518	5474
4	5030	5141	5091	5072	5014	5133	5024	5133	5024
5	4770	4951	4882	4910	4779	4946	4791	4946	4791
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,962x10 ⁻⁵	4,781x10 ⁻⁵	5,318x10 ⁻⁵	4,552x10 ⁻⁵	4,998x10 ⁻⁵	4,573x10 ⁻⁵	4,998x10 ⁻⁵	4,573x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4770	4673	4770	4527	4770	4543	4770	4543
r ²		0,998985	0,999556	0,997011	0,999811	0,998835	0,999810	0,998835	0,999810
Σ(C _{Si} -C _S) ²		53882,39	21311,15	108808,64	6269,76	53098,88	5998,81	53098,88	5998,80
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,62	-1,22	-2,62	-1,53	-2,62	-1,53	-2,62	-1,53
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.18: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.19: Resultados da modelagem matemática do **sétimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	7 33	Temp. = C _X =	25,1 14460	°C mg.L ⁻¹	Substr.	DQO	Filtr.		
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	10780								
0	10780	10780	10780	10780	10780	10780	10780	10780	
0,25									
0,5									
1	7610	7861	7731	7714	7596	7627	7649	7649	
1,5									
2	5980	6039	6062	5963	6027	5971	5995	5995	
3	5215	5091	5149	5086	5164	5143	5121	5121	
4	4645	4664	4650	4683	4666	4741	4659	4659	
5	4375	4488	4376	4506	4372	4549	4415	4415	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim*	não	não	sim	sim*	sim	sim*	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	8363,9	10339694,2	14326,6	-24201,4	43474,5	9889489,6	23480,1	9966398,7
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,55371	431,282	0,85731	-0,82502	2,25559	436,495	1,30498	439,946
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4375	4046	4375	3925	4375	4142	4375	4142
r ²		0,997397	0,999283	0,998511	0,999815	0,998882	0,999582	0,998734	0,999582
Σ(C _{Si} -C _S) ²		95228,34	25823,68	46474,64	5450,45	44952,90	12448,37	40802,25	12448,45
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		15105,2	23974,3	16711,2	29334,3	19274,1	22656,6	17992,7	22653,7
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,22	-1,22	-1,53	0,65	-1,53	-1,22	-1,53	-1,22
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.19: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.20: Resultados da modelagem matemática do sétimo perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	7	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	33	C _X =	14460	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	10780							
0	10780	10780	10780	10780	10780	10780	10780	10780
0,25								
0,5								
1	7610	7557	7649	7430	7655	7557	7649	7557
1,5								
2	5980	5956	5995	5832	5994	5956	5995	5956
3	5215	5160	5121	5070	5111	5160	5121	5160
4	4645	4765	4659	4706	4641	4765	4659	4765
5	4375	4569	4415	4533	4391	4569	4415	4569
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,838x10 ⁻⁵	4,411x10 ⁻⁵	5,120x10 ⁻⁵	4,369x10 ⁻⁵	4,838x10 ⁻⁵	4,411x10 ⁻⁵	4,838x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4375	4141	4375	4108	4375	4141	4375
r ²		0,998561	0,999583	0,996935	0,999579	0,998559	0,999583	0,998559
Σ(C _{Si} -C _s) ²		58389,88	12416,80	104202,03	13408,93	58389,82	12416,87	58389,82
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,62	-1,22	-2,62	-1,53	-2,62	-1,22	-2,62
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.20: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.21: Resultados da modelagem matemática do **oitavo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	8	Temp. =	24,5	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	34	C _x =	14639	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	8765								
0	8765	8765	8765	8765	8765	8765	8765	8765	
0,25									
0,5									
1	6990	7074	7017	7004	6992	6989	6976	6976	
1,5									
2	5695	5758	5740	5692	5724	5712	5725	5725	
3	5025	4956	4978	4933	4978	4980	4991	4991	
4	4610	4617	4619	4618	4623	4655	4631	4631	
5	4480	4515	4479	4518	4479	4537	4475	4475	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1828,3	2960,4	2198,0	3371,8	2838,5	4080,9	2631,2	4083,9
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,17823	0,22294	0,19775	0,24098	0,22511	0,26808	0,21649	0,26819
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4480	4404	4480	4396	4480	4372	4480	4372
r ²		0,998986	0,999664	0,999286	0,999770	0,999562	0,999807	0,999521	0,999807
Σ(C _{Si} -C _S) ²		17071,18	5075,12	10246,03	3232,98	7699,42	2685,94	7389,67	2685,92
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		10258,1	13278,9	11115,0	13992,0	12609,4	15222,7	12153,9	15227,6
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,22	-0,44	-1,53	-0,44	-0,44	0,65	-1,22	0,65
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.21: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.22: Resultados da modelagem matemática do **oitavo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	8	Temp. =	24,5	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	34	C _X =	14639	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	8765							
0	8765	8765	8765	8765	8765	8765	8765	8765
0,25								
0,5								
1	6990	6745	6884	6456	6882	6745	6884	6745
1,5								
2	5695	5677	5751	5391	5754	5677	5751	5677
3	5025	5113	5068	4900	5078	5113	5068	5113
4	4610	4815	4656	4674	4673	4815	4656	4815
5	4480	4657	4408	4569	4431	4657	4408	4657
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,355x10 ⁻⁵	3,460x10 ⁻⁵	5,288x10 ⁻⁵	3,499x10 ⁻⁵	4,355x10 ⁻⁵	3,460x10 ⁻⁵	4,355x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4480	4032	4480	4068	4480	4032	4480
r ²		0,993440	0,998375	0,979181	0,998390	0,993441	0,998375	0,993441
Σ(C _{Si} -C _S) ²		141152,26	23432,24	405268,32	24390,14	141152,26	23432,29	141152,26
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,62	-1,53	-2,62	-1,53	-2,62	-1,53	-2,62
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.22: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.23: Resultados da modelagem matemática do **oitavo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	8 34	Temp. = C _X =	24,5 14639	°C mg.L ⁻¹	Substr.	DQO	Filtr.		
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0									
0	8380	8380	8380	8380	8380	8380	8380	8380	
0,25									
0,5									
1	6310	6383	6359	6312	6251	6287	6289	6289	
1,5									
2	5095	5195	5237	5162	5203	5160	5177	5177	
3	4675	4580	4613	4581	4621	4593	4586	4586	
4	4280	4292	4267	4303	4280	4317	4272	4295	
5	4070	4165	4074	4176	4075	4186	4105	4170	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim*	não	não	sim	sim*	sim	sim*	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada									
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	8219,6	148752423	13898,5	-14863,3	21548,7	9346150,5	13127,1	9404411,8
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,48586	5974,0237	0,76164	-0,47934	1,12148	403,6647	0,73182	406,17607
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4070	3834	4070	3748	4070	3916	4070	3916
r ²		0,997920	0,998218	0,998306	0,998650	0,998325	0,998771	0,998224	0,998771
Σ(C _{Si} -C _S) ²		33507,53	26532,69	25138,69	18083,21	26440,23	16378,80	24574,25	16378,78
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		16917,6	24899,9	18248,1	31007,8	19214,5	23153,3	17937,6	23153,5
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,22	-1,53	-1,22	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.23: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.24: Resultados da modelagem matemática do **oitavo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	8	Temp. =	24,5	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	34	C _X =	14639	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0								
0	8380	8380	8380	8380	8380	8380	8380	8380
0,25								
0,5								
1	6310	6228	6288	6175	6292	6228	6289	6228
1,5								
2	5095	5151	5177	5098	5176	5151	5177	5151
3	4675	4611	4586	4572	4579	4611	4586	4611
4	4280	4341	4272	4315	4259	4341	4272	4341
5	4070	4206	4105	4190	4088	4206	4105	4190
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,724x10 ⁻⁵	4,318x10 ⁻⁵	4,896x10 ⁻⁵	4,275x10 ⁻⁵	4,724x10 ⁻⁵	4,317x10 ⁻⁵	4,317x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4070	3916	4070	3892	4070	3916	4070
r ²		0,997864	0,998771	0,996971	0,998760	0,997864	0,998771	0,997864
Σ(C _{Si} -C _S) ²		36000,46	16375,26	44515,90	16899,61	36000,46	16375,23	36000,46
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.24: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.25: Resultados da modelagem matemática do **nono** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	9	Temp. =	24,3	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	35	C _X =	14637	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	6755								
0	6755	6755	6755	6755	6755	6755	6755	6755	
0,25									
0,5									
1	5835	5832	5915	5823	5699	5819	5831	5831	
1,5									
2	5285	5331	5407	5326	5332	5323	5309	5302	
3	5105	5077	5101	5077	5106	5074	5044	5040	
4	4845	4954	4915	4955	4948	4954	4919	4924	
5	4895	4896	4804	4897	4832	4896	4862	4877	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim*	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 4	0	4	-	-	-	
Unidade Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada									
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	8583,0	20283590,2	10877,8	-2619,9	11223,7	5313,3	3342,7	5333,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,45006	698,64935	0,56086	-0,03388	0,58021	0,29841	0,21283	0,29931
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4845	4633	4845	4392	4845	4817	4845	4817
r ²		0,995861	0,989310	0,995746	0,987315	0,995688	0,995938	0,995830	0,995938
Σ(C _{Si} -C _S) ²		14834,81	34638,68	14791,70	35381,70	14446,05	10850,82	11190,58	10850,81
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		19070,8	29032,6	19394,9	77328,8	19344,2	17805,4	15706,0	17819,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,44	-0,44	-0,44	-1,53	-0,44	0,65	-0,44	0,65
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.25: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.26: Resultados da modelagem matemática do **nono** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	9		Temp. =	24,3	°C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	35		C _X =	14637	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	6755								
0	6755	6755	6755	6755	6755	6755	6755	6755	6755
0,25									
0,5									
1	5835	5784	5813	5782	5813	5784	5813	5784	5813
1,5									
2	5285	5306	5318	5304	5318	5306	5318	5306	5318
3	5105	5072	5058	5070	5057	5072	5058	5072	5058
4	4845	4956	4922	4955	4920	4956	4922	4956	4922
5	4895	4900	4850	4899	4847	4900	4850	4900	4850
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	4	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,853x10 ⁻⁵	4,401x10 ⁻⁵	4,868x10 ⁻⁵	4,384x10 ⁻⁵	4,853x10 ⁻⁵	4,402x10 ⁻⁵	4,853x10 ⁻⁵	4,402x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4845	4771	4845	4767	4845	4771	4845	4771
r ²		0,994593	0,995637	0,994521	0,995632	0,994594	0,995637	0,994594	0,995637
Σ(C _{Si} -C _S) ²		16633,41	11680,80	16646,49	11691,62	16633,41	11680,59	16633,41	11680,60
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,44	0,65	-0,44	0,65	-0,44	0,65	-0,44	0,65
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.26: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.27: Resultados da modelagem matemática do **nono** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	9	Temp. =	24,3	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	35	C _X =	14637	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	6390								
0	6390	6390	6390	6390	6390	6390	6390	6390	
0,25									
0,5									
1	5610	5619	5659	5615	5594	5612	5622	5622	
1,5									
2	5145	5145	5188	5142	5164	5142	5152	5152	
3	4875	4871	4883	4871	4888	4873	4865	4865	
4	4720	4721	4687	4722	4697	4724	4689	4689	
5	4553	4641	4560	4642	4560	4644	4581	4581	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim*	não	não	sim	sim*	sim	sim*	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	6569,6	6700411,6	7405,2	-4233,5	8422,6	9766523,2	3485,9	9519399,1
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,29683	200,44407	0,33042	-0,07172	0,36983	328,05233	0,17942	319,85592
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4553	4329	4553	4137	4553	4412	4553	4412
r ²		0,997721	0,998210	0,997631	0,999418	0,997614	0,999125	0,997399	0,999125
Σ(C _{Si} -C _S) ²		7815,18	5478,11	7937,13	1369,20	8298,34	2071,18	6394,28	2071,26
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		22132,5	33427,8	22411,5	59028,2	22774,2	29771,2	19428,7	29761,5
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,53	-1,22	-1,53	-0,44	-1,53	-1,53	-1,53	-1,53
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.27: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.28: Resultados da modelagem matemática do **nono** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	9	Temp. =	24,3	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	35	C _X =	14637	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	6390							
0	6390	6390	6390	6390	6390	6390	6390	6390
0,25								
0,5								
1	5610	5578	5622	5574	5632	5578	5622	5578
1,5								
2	5145	5125	5152	5120	5168	5125	5152	5125
3	4875	4872	4865	4868	4884	4872	4865	4872
4	4720	4731	4689	4728	4710	4731	4689	4731
5	4553	4653	4581	4650	4603	4653	4581	4653
6								
7								
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,984x10 ⁻⁵	3,358x10 ⁻⁵	4,016x10 ⁻⁵	3,350x10 ⁻⁵	3,984x10 ⁻⁵	3,358x10 ⁻⁵	3,358x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4553	4412	4553	4435	4553	4412	4553
r ²		0,996327	0,999125	0,996057	0,999127	0,996327	0,999125	0,996327
Σ(C _{Si} -C _s) ²		11428,37	2070,39	11518,14	3749,91	11428,37	2070,35	11428,37
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,62	∞	-2,62	-1,22	-2,62	-1,53	-2,62
	Aceitação	não	não	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.28: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.29: Resultados da modelagem matemática do **décimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	10		Temp. =	22,7	°C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	37		C _X =	14947	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5310								
0	5310	5310	5310	5310	5310	5310	5310	5310	5310
0,25									
0,5									
1	5015	4921	4958	4887	4877	4991	4982	5009	5007
1,5									
2	4705	4765	4786	4759	4763	4794	4760	4709	4706
3	4710	4702	4711	4706	4712	4704	4677	4713	4709
4	4660	4677	4680	4682	4687	4673	4662	4660	4660
5	4670	4667	4668	4670	4674	4664	4660	4670	4670
6									
7									
Soluções Múltiplas	sim*	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 4	0	4	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1,813x10 ¹⁵	2230,7	-1305,0	-920,9	523,0	230,8	0,83808	0,84166
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	1,107x10 ¹¹	0,13966	-0,06354	-0,03856	0,04491	0,03284	0,02018	0,02028
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4660	4647	4660	4648	4660	4660	4660	4656
r ²		0,965277	0,973494	0,946211	0,936960	0,977766	0,984879	0,999853	0,999866
Σ(C _{Si} -C _S) ²		12777,77	10253,53	19832,48	23034,31	8704,25	5334,63	63,89	60,31
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		16375,9	15972,4	20538,2	23882,3	11645,5	7028,0	41,5	41,5
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,65	-1,53	-0,44	-3,27	0,65	0,65	-3,27	-0,44
	Aceitação	sim	sim	sim	não	sim	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.29: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.30: Resultados da modelagem matemática do **décimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	10		Temp. =	22,7	°C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	37		C _X =	14947	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5310								
0	5310	5310	5310	5310	5310	5310	5310	5310	5310
0,25									
0,5									
1	5015	4941	4952	4928	4951	4941	4952	4941	4952
1,5									
2	4705	4781	4782	4771	4785	4781	4782	4781	4782
3	4710	4712	4702	4706	4708	4712	4702	4712	4702
4	4660	4683	4664	4679	4672	4683	4664	4683	4664
5	4670	4670	4646	4668	4656	4670	4646	4670	4646
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	4	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,617x10 ⁻⁵	5,010x10 ⁻⁵	5,920x10 ⁻⁵	5,167x10 ⁻⁵	5,619x10 ⁻⁵	5,011x10 ⁻⁵	5,619x10 ⁻⁵	5,011x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4660	4630	4660	4642	4660	4630	4660	4630
r ²		0,968713	0,969943	0,966805	0,969994	0,968705	0,969944	0,968705	0,969944
Σ(C _{Si} -C _s) ²		11846,48	10616,59	12219,74	10831,27	11846,47	10616,61	11846,47	10616,61
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,53	0,65	0,65	0,65	-1,53	0,65	-1,53	0,65
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.30: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.31: Resultados da modelagem matemática do **décimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	10	Temp. =	22,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	37	C _X =	14947	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4825								
0	4825	4825	4825	4825	4825	4825	4825	4825	
0,25									
0,5									
1	4630	4643	4652	4637	4629	4639	4644	4644	
1,5									
2	4515	4506	4518	4502	4511	4504	4510	4510	
3	4410	4411	4415	4411	4419	4412	4410	4410	
4	4350	4350	4336	4353	4341	4353	4336	4335	
5	4270	4314	4274	4318	4273	4318	4281	4299	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim*	não	não	sim	sim*	sim	sim*	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	727,7	1028927,6	1145,1	-4987,0	1030,9	9340659,6	331,2	9513792,0
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,03148	17,82553	0,0443	-0,000718	0,04056	186,51846	0,02004	189,80341
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4270	4066	4270	0	4270	4123	4270	4123
r ²		0,932732	0,997141	0,991271	0,999119	0,991804	0,997467	0,992423	0,997469
Σ(C _{Si} -C _S) ²		2206,31	745,04	2537,29	182,61	2525,30	543,53	1626,43	543,49
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		23116,3	57722,1	25848,8	6945682,5	25416,7	50079,0	16526,9	50124,5
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,22	-1,22	-1,22	-0,44	-1,22	-1,53	-1,53	-1,53
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.31: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.32: Resultados da modelagem matemática do **décimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	10	Temp. =	22,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	37	C _X =	14947	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4825							
0	4825	4825	4825	4825	4825	4825	4825	4825
0,25								
0,5								
1	4630	4618	4644	4619	4644	4618	4644	4618
1,5								
2	4515	4489	4510	4489	4509	4489	4510	4489
3	4410	4407	4410	4408	4409	4407	4410	4407
4	4350	4356	4336	4356	4335	4356	4336	4356
5	4270	4324	4281	4324	4279	4324	4281	4324
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,116x10 ⁻⁵	1,992x10 ⁻⁵	3,111x10 ⁻⁵	1,974x10 ⁻⁵	3,116x10 ⁻⁵	1,992x10 ⁻⁵	3,116x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4270	4122	4270	4117	4270	4122	4270
r ²		0,903041	0,997473	0,985422	0,997493	0,985315	0,997474	0,985315
Σ(C _{Si} -C _S) ²		3798,54	543,74	3799,04	550,28	3798,54	543,66	3798,54
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,62	-1,53	-2,62	-1,53	-2,62	-1,53	-2,62
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.32: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.33: Resultados da modelagem matemática do **décimo primeiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	11	Temp. =	25,7	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	51	C _X =	15085	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4915								
0	11165	11165	11165	11165	11165	11165	11165	11165	
0,25									
0,5	8980	8707	8866	8977	9008	8985	8978	8988	
1	7365	7210	7392	7366	7453	7372	7374	7373	
1,5	6325	6299	6447	6292	6407	6293	6300	6291	
2	5610	5744	5842	5642	5745	5639	5641	5635	
3	5085	5200	5204	5082	5110	5079	5058	5076	
4	4880	4999	4943	4931	4899	4929	4892	4928	
5	4945	4924	4835	4893	4832	4892	4848	4892	
6									
7									
Soluções Múltiplas	sim*	sim*.	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0; 4 e 5	0 e 5	4 e 5	5	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	722893344	58868285,6	8102,4	12072,9	7790,8	8887,0	7609,4	7419,1
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	47543,7214	3470,62183	0,74988	0,98322	0,72908	0,78914	0,71777	0,7069
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4880	4760	4880	4801	4880	4832	4880	4887
r ²		0,996955	0,997537	0,999794	0,998927	0,999799	0,999727	0,999802	0,999803
Σ(C _{Si} -C _S) ²		144889,06	112640,62	7409,81	47238,96	7193,55	11969,30	7154,09	7079,49
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		15204,8	16961,9	10804,9	12278,9	10685,8	11261,6	10601,4	10495,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,06	-1,97	1,33	-3,79	0,49	1,33	0,49	0,49
	Aceitação	não	não	sim	não	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.33: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.34: Resultados da modelagem matemática do **décimo primeiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	11		Temp. =	25,7	°C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	51		C _X =	15085	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4915								
0	11165	11165	11165	11165	11165	11165	11165	11165	11165
0,25									
0,5	8980	8762	8809	8725	8813	8762	8809	8762	8809
1	7365	7278	7316	7233	7314	7277	7316	7277	7316
1,5	6325	6361	6369	6319	6359	6361	6369	6361	6369
2	5610	5795	5768	5761	5750	5794	5769	5794	5769
3	5085	5229	5146	5210	5115	5229	5147	5229	5147
4	4880	5013	4896	5003	4857	5013	4897	5013	4897
5	4945	4931	4796	4926	4753	4931	4797	4931	4797
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	4	5	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	6,388x10 ⁻⁵	6,041x10 ⁻⁵	6,514x10 ⁻⁵	5,975x10 ⁻⁵	6,389x10 ⁻⁵	6,042x10 ⁻⁵	6,389x10 ⁻⁵	6,042x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4880	4728	4880	4681	4880	4729	4880	4729
r ²		0,997534	0,997778	0,997181	0,997696	0,997532	0,997779	0,997532	0,997779
Σ(C _{Si} -C _s) ²		129226,23	84855,62	136232,09	89819,41	129225,54	84856,02	129225,54	84856,02
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,06	-2,06	-2,06	-2,06	-2,06	-2,06	-2,06	-2,06
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.34: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.35: Resultados da modelagem matemática do **décimo primeiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	11		Temp. =	25,7	°C		Substr.	DQO	Filtr.
Batel. =	51		C _X =	15085	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4640								
0	10220	10220	10220	10220	10220	10220	10220	10220	10220
0,25									
0,5	7790	8360	8410	8151	7838	7968	7980	7968	7981
1	6730	6932	7009	6636	6499	6606	6615	6605	6615
1,5	5900	5933	6012	5653	5712	5782	5783	5781	5783
2	5255	5300	5364	5087	5238	5283	5276	5283	5276
3	4610	4733	4753	4647	4772	4799	4779	4799	4778
4	4690	4574	4568	4547	4594	4622	4594	4622	4593
5	4520	4534	4517	4526	4557	4525	4557	4557	4525
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim*	sim*	sim*	sim*	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0; 4 e 5	0 e 5	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	6180,0	6501,4	6217,7	-38432,0	9359854,9	9375792,9	9250934,4	9598600,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,57039	0,5679	0,6459	-2,41814	623,91217	615,86274	616,95887	630,22003
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4520	4498	4520	4483	4520	4485	4520	4484
r ²		0,990820	0,989025	0,992812	0,995854	0,996313	0,996410	0,996308	0,996411
Σ(C _{Si} -C _S) ²		396817,52	521091,24	250822,58	126913,80	103768,84	101236,29	103765,85	101236,07
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		10834,7	11448,1	9626,4	15893,2	15001,9	15223,8	14994,4	15230,6
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,58	-3,04	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
	Aceitação	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.35: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.36: Resultados da modelagem matemática do **décimo primeiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	11	Temp. =	25,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	51	C _X =	15085	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4640							
0	10220	10220	10220	10220	10220	10220	10220	10220
0,25								
0,5	7790	7967	7980	7901	7980	7967	7980	7967
1	6730	6605	6615	6526	6614	6605	6615	6605
1,5	5900	5781	5783	5710	5781	5781	5783	5781
2	5255	5283	5276	5226	5274	5283	5276	5283
3	4610	4799	4779	4768	4776	4799	4779	4799
4	4690	4622	4594	4607	4591	4622	4594	4622
5	4520	4557	4526	4551	4522	4557	4526	4557
6								
7								
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	6,667x10 ⁻⁵	6,565x10 ⁻⁵	6,924x10 ⁻⁵	6,561x10 ⁻⁵	6,667x10 ⁻⁵	6,565x10 ⁻⁵	6,565x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4520	4485	4520	4481	4520	4485	4520
r ²		0,996309	0,996412	0,995710	0,996414	0,996309	0,996412	0,996309
Σ(C _{Si} -C _s) ²		103737,79	101189,22	123962,94	101226,05	103737,77	101189,10	103737,77
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.36: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.37: Resultados da modelagem matemática do **décimo segundo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	12	Temp. =	24,7	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	53	C _X =	15211	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4750								
0	10640	10640	10640	10640	10640	10640	10640	10640	
0,25									
0,5	8665	8829	8875	8862	8664	8802	8787	8791	8810
1	7475	7438	7461	7374	7213	7368	7360	7364	7371
1,5	6355	6441	6417	6247	6229	6339	6348	6347	6336
2	5690	5774	5717	5507	5612	5663	5690	5680	5663
3	4865	5097	5048	4898	5040	5020	5066	5036	5043
4	5005	4862	4851	4775	4863	4825	4874	4833	4867
5	4805	4785	4799	4754	4812	4770	4820	4773	4822
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim
t Excluídos do Ajuste	-	-	0; 4 e 5	0	4	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	8500,3	5332,5	3219,0	9147,5	6465,3	6959,6	7188,1	5670,0
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,64884	0,48329	0,38579	0,75567	0,55975	0,59298	0,59922	0,52136
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4750	4781	4750	4791	4750	4799	4750	4807
r ²		0,996767	0,997099	0,997058	0,996173	0,997305	0,997261	0,997247	0,997342
Σ(C _{Si} -C _S) ²		117489,42	106406,76	150865,23	141446,59	88953,45	85770,97	88230,98	83840,87
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		13100,8	11033,7	8343,9	12105,2	11550,3	11736,7	11995,8	10875,4
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,21	-1,21	-0,91	-0,91	-0,91	-0,36	-0,91	-0,36
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.37: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.38: Resultados da modelagem matemática do **décimo segundo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	12		Temp. =	24,7	°C	Substr.	DQO	Total
Batel. =	53		C _X =	15211	mg.L ⁻¹			
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4750							
0	10640	10640	10640	10640	10640	10640	10640	10640
0,25								
0,5	8665	8586	8626	8422	8615	8586	8626	8586
1	7475	7248	7285	7040	7279	7248	7285	7285
1,5	6355	6377	6392	6177	6396	6377	6392	6392
2	5690	5810	5797	5640	5813	5809	5797	5809
3	4865	5200	5138	5096	5173	5199	5138	5199
4	5005	4941	4845	4884	4895	4941	4845	4895
5	4805	4831	4715	4802	4773	4831	4715	4773
6								
7								
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,638x10 ⁻⁵	5,346x10 ⁻⁵	6,212x10 ⁻⁵	5,456x10 ⁻⁵	5,639x10 ⁻⁵	5,347x10 ⁻⁵	5,639x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4750	4612	4750	4679	4750	4612	4750
r ²		0,994716	0,994962	0,991725	0,994980	0,994714	0,994963	0,994714
Σ(C _{Si} -C _s) ²		189124,72	158416,88	350390,14	166045,52	189124,29	158416,67	189124,29
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-1,21	-2,06	-1,58	-2,06	-1,21	-2,06	-1,21
	Aceitação	sim	não	sim	não	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.38: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.39: Resultados da modelagem matemática do **décimo segundo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	12	Temp. =	24,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	53	C _X =	15211	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4695								
0	10430	10430	10430	10430	10430	10430	10430	10430	
0,25									
0,5	8355	8564	8586	8515	8495	8497	8492	8497	
1	7045	7019	7082	6956	6940	6974	6973	6974	
1,5	6015	5879	5978	5833	5833	5901	5905	5901	
2	5145	5172	5273	5151	5161	5240	5243	5239	
3	4645	4652	4692	4652	4659	4702	4695	4701	
4	4565	4564	4567	4565	4565	4580	4566	4580	
5	4550	4552	4543	4552	4550	4556	4539	4556	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	3062,4	3822,3	3375,5	3715,8	4636,9	4906,4	4632,2	5347,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,39901	0,4311	0,42663	0,44917	0,4973	0,51181	0,49702	0,53581
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4550	4538	4550	4547	4550	4532	4550	4508
r ²		0,998244	0,998404	0,998082	0,998121	0,998499	0,998544	0,998499	0,998569
Σ(C _{Si} -C _S) ²		63651,01	74657,18	66585,30	64458,87	50356,82	48201,53	50356,77	47171,11
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		7675,0	8866,4	7912,0	8272,6	9324,2	9586,4	9319,9	9980,2
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,36	-0,91	-1,97	-1,21	-1,97	-1,21	-1,97	-1,21
	Aceitação	sim	sim	não	sim	não	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.39: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.40: Resultados da modelagem matemática do **décimo segundo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	12	Temp. =	24,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	53	C _X =	15211	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4695							
0	10430	10430	10430	10430	10430	10430	10430	10430
0,25								
0,5	8355	8212	8280	7538	8264	8212	8279	8212
1	7045	6831	6887	6068	6879	6831	6887	6887
1,5	6015	5971	5985	5322	5993	5971	5984	5984
2	5145	5435	5400	4942	5427	5435	5400	5435
3	4645	4893	4777	4651	4834	4893	4777	4893
4	4565	4683	4515	4576	4591	4683	4515	4683
5	4550	4602	4405	4557	4492	4602	4405	4602
6								
7								
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	6,225x10 ⁻⁵	5,710x10 ⁻⁵	8,901x10 ⁻⁵	5,880x10 ⁻⁵	6,226x10 ⁻⁵	5,711x10 ⁻⁵	6,226x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4550	4326	4550	4423	4550	4326	4550
r ²		0,994914	0,995814	0,961271	0,995807	0,994911	0,995815	0,994911
Σ(C _{Si} -C _s) ²		230408,40	137592,11	2143517,05	155551,08	230408,17	137591,52	230408,17
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,91	-1,97	-2,91	-2,06	-2,91	-1,97	-2,91
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.40: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.41: Resultados da modelagem matemática do **décimo terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	13	Temp. =	23,7	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	54	C _X =	15288	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4790								
0	10835	10835	10835	10835	10835	10835	10835	10835	
0,25									
0,5	8660	8631	8484	8570	8549	8634	8636	8651	
1	7060	7219	6962	7059	7072	7085	7087	7084	
1,5	6100	6315	6034	6103	6133	6080	6079	6064	
2	5425	5736	5494	5521	5542	5472	5467	5458	
3	4995	5128	5017	4976	4942	4930	4917	4943	
4	4705	4879	4871	4793	4711	4769	4752	4768	
5	4830	4776	4827	4734	4622	4723	4704	4769	
6									
7									
Soluções Múltiplas	sim*	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0; 4 e 5	0	4 e 5	5	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4,486x10 ¹⁷	20675,5	21925,0	82508,3	11513,1	11745,2	11248,4	8861,4
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	2,615x10 ¹³	1,64546	1,61938	5,19554	0,95780	0,96751	0,94137	0,80191
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4705	4809	4705	4567	4705	4685	4705	4757
r ²		0,997055	0,998192	0,999003	0,997973	0,999325	0,999274	0,999333	0,999420
Σ(C _{Si} -C _S) ²		220194,70	77760,45	34891,80	73275,38	23649,47	27632,01	23625,23	19310,91
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		17154,7	12565,2	13539,1	15880,6	12020,4	12139,6	11949,0	11050,4
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,97	-2,06	-0,36	-0,36	1,33	1,33	1,33	1,33
	Aceitação	não	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.41: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.42: Resultados da modelagem matemática do **décimo terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	13			Temp. =	23,7	°C	Substr.	DQO	Total
Batel. =	54			C _X =	15288	mg.L ⁻¹			
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4790								
0	10835	10835	10835	10835	10835	10835	10835	10835	10835
0,25									
0,5	8660	8476	8500	8664	8490	8476	8500	8476	8500
1	7060	7024	7044	7261	7037	7024	7044	7024	7044
1,5	6100	6132	6135	6356	6136	6132	6135	6132	6135
2	5425	5583	5569	5771	5578	5582	5569	5582	5569
3	4995	5037	4995	5150	5017	5037	4995	5037	4995
4	4705	4831	4771	4890	4802	4831	4771	4831	4771
5	4830	4753	4684	4782	4720	4753	4684	4753	4684
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	4	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	6,357x10 ⁻⁵	6,174x10 ⁻⁵	5,721x10 ⁻⁵	6,259x10 ⁻⁵	6,358x10 ⁻⁵	6,174x10 ⁻⁵	6,358x10 ⁻⁵	6,174x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4705	4629	4705	4668	4705	4629	4705	4629
r ²		0,997908	0,997917	0,996529	0,997951	0,997908	0,997917	0,997908	0,997917
Σ(C _{Si} -C _S) ²		84639,27	73272,01	286340,71	76236,00	84639,15	73272,28	84639,15	73272,28
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,06	-0,36	-3,79	-2,06	-2,06	-0,36	-2,06	-0,36
	Aceitação	não	sim	não	não	não	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.42: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.43: Resultados da modelagem matemática do **décimo terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	13	Temp. =	23,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	54	C _X =	15288	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4585								
0	10660	10660	10660	10660	10660	10660	10660	10660	
0,25									
0,5	7905	8042	8342	7939	7897	8027	8031	8031	
1	6635	6537	6780	6466	6465	6520	6522	6522	
1,5	5760	5671	5801	5638	5659	5656	5656	5656	
2	5000	5173	5221	5163	5186	5162	5159	5159	
3	4740	4723	4706	4727	4733	4717	4710	4710	
4	4580	4574	4551	4578	4565	4571	4562	4562	
5	4500	4524	4505	4527	4502	4523	4513	4513	
6									
7									
Soluções Múltiplas	sim	sim	não	não	sim*	sim*	sim*	sim*	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	3,633x10 ⁷	15674,1	-52493,4	-26281,2	9240822,8	9475530,7	9385448,7	9475815,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	2,630x10 ³	1,26875	-3,64724	-1,66833	674,32451	688,44797	685,0259	688,46475
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4500	4486	4500	4464	4500	4489	4500	4489
r ²		0,997978	0,994765	0,997802	0,997777	0,997960	0,997972	0,997959	0,997972
Σ(C _{Si} -C _S) ²		67349,99	264299,99	72109,79	74082,63	66432,09	66141,84	66431,15	66141,84
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		13812,0	12354,0	14392,6	15753,0	13703,8	13763,6	13700,9	13763,7
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,36	-1,97	-0,36	-0,91	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
	Aceitação	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.43: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.44: Resultados da modelagem matemática do **décimo terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	13		Temp. =	23,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.
Batel. =	54		C _X =	15288	mg.L ⁻¹			
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4585							
0	10660	10660	10660	10660	10660	10660	10660	10660
0,25								
0,5	7905	8027	8031	8047	8034	8027	8031	8031
1	6635	6519	6522	6543	6524	6519	6522	6522
1,5	5760	5656	5656	5677	5656	5656	5656	5656
2	5000	5162	5159	5178	5156	5162	5159	5159
3	4740	4717	4710	4725	4704	4717	4710	4710
4	4580	4571	4562	4575	4555	4571	4562	4562
5	4500	4523	4513	4525	4505	4523	4513	4513
6								
7								
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada						
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	7,296x10 ⁻⁵	7,262x10 ⁻⁵	7,219x10 ⁻⁵	7,239x10 ⁻⁵	7,296x10 ⁻⁵	7,262x10 ⁻⁵	7,262x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4500	4489	4500	4481	4500	4489	4500
r ²		0,997960	0,997973	0,997979	0,997978	0,997960	0,997973	0,997960
Σ(C _{Si} -C _S) ²		66405,51	66109,51	68136,90	66249,79	66405,50	66109,45	66405,50
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.44: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.45: Resultados da modelagem matemática do **décimo quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	14	Temp. =	25,2	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	56	C _X =	15572	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4950								
0	12495	12495	12495	12495	12495	12495	12495	12495	
0,25	11200	11309	11260	11298	11281	11327	11325	11326	
0,5	10450	10272	10219	10256	10253	10295	10295	10295	
1	8635	8604	8600	8589	8649	8618	8621	8621	
1,5	7330	7398	7448	7391	7500	7394	7397	7397	
2	6455	6554	6629	6554	6679	6534	6535	6535	
3	5670	5592	5631	5599	5671	5563	5550	5546	
4	5160	5171	5126	5177	5155	5148	5120	5135	
5	4865	4992	4871	4997	4892	4978	4940	4971	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim*	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	22608,6	5,129x10 ¹¹	25413,0	3105590,1	17822,8	19446,5	16065,5	19440,9
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	1,28547	2,243x10 ⁷	1,42135	133,81988	1,06103	1,12569	0,97955	1,12543
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4865	4609	4865	4616	4865	4815	4865	4815
r ²		0,998796	0,998390	0,998751	0,998293	0,998829	0,998848	0,998828	0,998848
Σ(C _{Si} -C _S) ²		81304,48	105072,25	85499,15	125238,19	75061,17	72684,49	74241,05	72684,82
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		17587,8	22866,3	17879,5	23207,2	16797,6	17275,2	16400,9	17274,2
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,62	-0,76	-0,62	0,00	-0,76	-0,76	-0,76	-0,76
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.45: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.46: Resultados da modelagem matemática do **décimo quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	14	Temp. =	25,2	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	56	C _X =	15572	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4950							
0	12495	12495	12495	12495	12495	12495	12495	12495
0,25	11200	11212	11254	11138	11252	11211	11254	11254
0,5	10450	10144	10208	10023	10206	10144	10208	10208
1	8635	8517	8584	8352	8582	8517	8584	8584
1,5	7330	7392	7431	7222	7430	7392	7431	7431
2	6455	6613	6611	6459	6614	6613	6613	6611
3	5670	5702	5616	5593	5624	5702	5616	5616
4	5160	5266	5114	5198	5126	5266	5114	5114
5	4865	5057	4861	5017	4875	5057	4861	4861
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,731x10 ⁻⁵	4,394x10 ⁻⁵	5,028x10 ⁻⁵	4,413x10 ⁻⁵	4,731x10 ⁻⁵	4,394x10 ⁻⁵	4,394x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4865	4603	4865	4622	4865	4603	4603
r ²		0,998029	0,998408	0,996728	0,998420	0,998028	0,998408	0,998028
Σ(C _{Si} -C _S) ²		185478,40	103523,74	308136,79	103965,74	185478,28	103523,44	103523,44
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	-2,16 não	-1,44 sim	-1,44 sim	-0,76 sim	-2,16 não	-1,44 sim	-2,16 não
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.46: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.47: Resultados da modelagem matemática do **décimo quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	14	Temp. =	25,2	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	56	C _X =	15572	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4610								
0	11910	11910	11910	11910	11910	11910	11910	11910	
0,25	10390	10982	10688	10366	10297	10523	10517	10523	
0,5	9325	10107	9665	9236	9196	9399	9391	9399	
1	7720	8537	8095	7700	7735	7752	7744	7751	
1,5	6665	7246	6997	6728	6798	6671	6667	6671	
2	6020	6261	6228	6084	6152	5962	5964	5970	
3	5330	5145	5314	5342	5351	5191	5203	5191	
4	4995	4757	4867	4980	4909	4860	4877	4860	
5	4635	4648	4648	4799	4654	4718	4739	4718	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim*	não	não	sim*	sim*	sim*	sim*	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	-	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4446,1	4,412x10 ¹⁶	-21669,4	-14441,9	9824716,5	9428431,6	9848453,4	9404432,2
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,39356	2,024x10 ¹²	-0,92609	-0,46699	532,23738	514,96188	533,53922	525,37231
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4610	4438	4610	4282	4610	4635	4610	4704
r ²		0,981823	0,995469	0,999449	0,998849	0,999049	0,999063	0,999049	0,999020
Σ(C _{Si} -C _S) ²		2117397,4	515254,14	44103,29	68767,36	71758,70	65179,34	71758,10	57350,59
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		11297,1	21794,6	23398,8	30925,5	18459,3	18309,0	18458,7	17900,5
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,16	-2,16	-1,53	-1,44	-2,27	-2,27	-2,27	-2,29
	Aceitação	não	não	sim	sim	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.47: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.48: Resultados da modelagem matemática do **décimo quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	14	Temp. =	25,2	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	56	C _X =	15572	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4610							
0	11910	11910	11910	11910	11910	11910	11910	11910
0,25	10390	10522	10502	10633	10525	10523	10502	10502
0,5	9325	9399	9370	9580	9401	9399	9370	9370
1	7720	7751	7725	7994	7749	7751	7725	7725
1,5	6665	6671	6660	6914	6663	6671	6660	6660
2	6020	5962	5970	6178	5948	5962	5970	5970
3	5330	5192	5235	5337	5167	5192	5235	5235
4	4995	4860	4927	4947	4829	4860	4927	4927
5	4635	4718	4797	4766	4683	4718	4797	4797
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,415x10 ⁻⁵	5,583x10 ⁻⁵	4,938x10 ⁻⁵	5,374x10 ⁻⁵	5,415x10 ⁻⁵	5,583x10 ⁻⁵	5,583x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4610	4704	4610	4571	4610	4704	4610
r ²		0,999051	0,999022	0,997798	0,999023	0,999051	0,999022	0,999051
Σ(C _{Si} -C _S) ²		71501,02	57195,55	305405,33	86277,82	71501,01	57195,27	71501,01
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-2,27	-2,29	-1,73	-2,29	-2,27	-2,29	-2,27
	Aceitação	não	não	sim	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.48: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.49: Resultados da modelagem matemática do **décimo quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	15	Temp. =	24,8	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	57	C _X =	15731	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4645								
0	12475	12475	12475	12475	12475	12475	12475	12475	
0,25	11365	11618	11265	11341	11325	11356	11346	11346	
0,5	10500	10777	10136	10313	10287	10326	10313	10313	
1	8460	9155	8168	8582	8548	8553	8550	8550	
1,5	7090	7652	6660	7268	7229	7180	7193	7193	
2	6215	6344	5649	6323	6275	6192	6212	6212	
3	5290	4809	4781	5253	5171	5119	5115	5115	
4	4565	4568	4594	4815	4698	4732	4689	4689	
5	4555	4556	4561	4650	4509	4609	4539	4539	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0; 4 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1268,8	4362,8	11126,9	13146,8	7451,2	9041,6	7296,8	9039,0
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,25486	0,49141	0,72584	0,80539	0,57306	0,63643	0,56602	0,63633
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4555	4554	4555	4389	4555	4463	4555	4463
r ²		0,989082	0,994238	0,998676	0,998569	0,998597	0,998661	0,998585	0,998661
Σ(C _{si} -C _s) ²		1187631,1	993257,75	166732,46	111259,68	107802,35	100119,03	107718,20	100119,09
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		4978,4	8878,1	15329,7	16323,5	13002,5	14206,7	12891,4	14204,9
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,73	-3,24	-1,44	-0,76	-1,53	-0,62	-1,53	-0,62
	Aceitação	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.49: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.50: Resultados da modelagem matemática do **décimo quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	15	Temp. =	24,8	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	57	C _X =	15731	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4645							
0	12475	12475	12475	12475	12475	12475	12475	12475
0,25	11365	11142	11218	11078	11212	11141	11218	11218
0,5	10500	10033	10149	9928	10141	10032	10148	10148
1	8460	8343	8464	8200	8459	8343	8464	8464
1,5	7090	7175	7245	7028	7248	7175	7245	7245
2	6215	6367	6362	6232	6376	6367	6362	6362
3	5290	5422	5260	5327	5295	5422	5260	5260
4	4565	4970	4682	4910	4734	4969	4683	4683
5	4555	4753	4380	4718	4444	4753	4380	4380
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	4 e 5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,688x10 ⁻⁵	4,106x10 ⁻⁵	4,934x10 ⁻⁵	4,172x10 ⁻⁵	4,688x10 ⁻⁵	4,107x10 ⁻⁵	4,107x10 ⁻⁵
C _{SR}	mgDQO.L ⁻¹	4555	4046	4555	4130	4555	4047	4047
r ²		0,996511	0,997207	0,995105	0,997333	0,996509	0,997209	0,996509
Σ(C _{Si} -C _s) ²		532790,72	236108,88	628874,30	244549,96	532790,36	236109,20	236109,20
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,09	-0,76	-3,06	-2,29	-3,09	-0,76	-3,09
	Aceitação	não	sim	não	não	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.50: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.51: Resultados da modelagem matemática do **décimo quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	15	Temp. =	24,8	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	57	C _X =	15731	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4435								
0	11975	11975	11975	11975	11975	11975	11975	11975	
0,25	11030	11107	10995	10941	10903	10920	10921	10921	
0,5	9990	10264	10068	9987	9929	9947	9949	9967	
1	8240	8676	8402	8332	8274	8265	8271	8278	
1,5	6870	7261	7030	7032	7000	6954	6957	6944	
2	6015	6092	5993	6077	6067	6001	5995	5970	
3	5025	4752	4859	4999	4979	4950	4910	4908	
4	4380	4429	4500	4586	4514	4562	4493	4536	
5	4385	4386	4411	4446	4331	4436	4350	4424	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0; 4 e 5	0	4	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2046,5	4177,4	7223,2	10907,3	7088,2	7593,3	6042,1	7596,9
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,28388	0,39612	0,53154	0,68497	0,53782	0,55251	0,49122	0,55267
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4380	4384	4380	4219	4380	4281	4380	4281
r ²		0,994903	0,998658	0,999284	0,999211	0,999300	0,999312	0,999216	0,999313
Σ(C _{Si} -C _S) ²		506467,34	102341,47	93282,14	63681,46	63429,85	49554,38	58512,29	49554,30
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		7209,0	10545,8	13589,2	15923,8	13179,5	13743,3	12300,2	13745,8
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,73	-1,44	-1,44	-0,76	-1,53	-0,62	-1,53	-0,62
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.51: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.52: Resultados da modelagem matemática do **décimo quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	15			Temp. =	24,8	°C	Substr.	DQO	Filtr.
Batel. =	57			C _X =	15731	mg.L ⁻¹			
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4435								
0	11975	11975	11975	11975	11975	11975	11975	11975	
0,25	11030	10710	10790	10621	10784	10710	10790	10790	
0,5	9990	9656	9778	9509	9769	9656	9777	9777	
1	8240	8046	8173	7844	8169	8046	8173	8173	
1,5	6870	6927	7002	6719	7007	6927	7002	7002	
2	6015	6149	6147	5960	6163	6149	6147	6147	
3	5025	5234	5068	5100	5107	5234	5067	5067	
4	4380	4792	4492	4709	4550	4792	4492	4492	
5	4385	4579	4186	4530	4257	4579	4186	4186	
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	
t Excluídos do Ajuste		-	-	4 e 5	-	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,631x10 ⁻⁵	4,001x10 ⁻⁵	4,991x10 ⁻⁵	4,074x10 ⁻⁵	4,631x10 ⁻⁵	4,002x10 ⁻⁵	4,002x10 ⁻⁵	
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4380	3836	4380	3930	4380	3836	4380	
r ²		0,996821	0,997647	0,994384	0,997801	0,996821	0,997648	0,996821	
Σ(C _{Si} -C _S) ²		523450,99	196370,07	715757,73	206803,95	523450,97	196369,37	523450,97	
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-3,09	-2,29	-3,09	-2,29	-3,09	-2,29	-3,09	
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não	
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	

NSA = Não se aplica.

Figura U.52: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.53: Resultados da modelagem matemática do **décimo sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	16	Temp. =	25,4	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	58	C _X =	15876	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4715								
0	11745	11745	11745	11745	11745	11745	11745	11745	
0,25	10950	10737	10662	10717	10721	10635	10636	10640	
0,5	9625	9797	9664	9767	9774	9629	9630	9635	
1	7770	8151	7952	8124	8138	7948	7948	7949	
1,5	6790	6861	6659	6858	6875	6712	6711	6705	
2	5775	5945	5784	5968	5982	5878	5876	5868	
3	5235	5033	4967	5067	5066	5056	5054	5057	
4	4760	4771	4747	4789	4774	4794	4793	4810	
5	4690	4709	4696	4715	4694	4719	4719	4742	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4589,5	5131,2	5441,9	5633,8	7328,6	7258,8	7258,7	6711,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,43221	0,48783	0,4748	0,47988	0,59589	0,59239	0,59239	0,56763
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4690	4681	4690	4665	4690	4690	4690	4718
r ²		0,995270	0,996882	0,995712	0,995413	0,997158	0,997153	0,997153	0,997173
Σ(C _{Si} -C _S) ²		295518,68	206443,66	271302,63	289533,49	181860,61	181848,83	181848,44	180854,72
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		10618,7	10518,4	11461,5	11740,0	12298,6	12253,4	12253,2	11823,7
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,08	0,00	-1,08	-1,08	0,21	0,21	0,21	0,21
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.53: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.54: Resultados da modelagem matemática do **décimo sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	16	Temp. =	25,4	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	58	C _X =	15876	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4715							
0	11745	11745	11745	11745	11745	11745	11745	11745
0,25	10950	10444	10495	10377	10487	10444	10495	10495
0,5	9625	9384	9457	9274	9447	9384	9457	9457
1	7770	7813	7882	7669	7877	7812	7882	7882
1,5	6790	6767	6798	6625	6803	6767	6797	6797
2	5775	6072	6051	5948	6069	6072	6050	6050
3	5235	5302	5183	5221	5224	5302	5182	5182
4	4760	4961	4771	4914	4829	4961	4771	4771
5	4690	4810	4576	4785	4644	4810	4576	4576
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	4 e 5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,134x10 ⁻⁵	4,701x10 ⁻⁵	5,431x10 ⁻⁵	4,791x10 ⁻⁵	5,134x10 ⁻⁵	4,702x10 ⁻⁵	5,134x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4690	4400	4690	4482	4690	4400	4690
r ²		0,995739	0,995318	0,994944	0,995571	0,995739	0,995321	0,995739
Σ(C _{Si} -C _s) ²		463578,58	339976,38	551626,61	350319,98	463578,52	339975,89	463578,52
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-1,44	-0,76	-1,44	-0,76	-1,44	-0,76	-1,44
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.54: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.55: Resultados da modelagem matemática do **décimo sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	16	Temp. =	25,4	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	58	C _X =	15876	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4520								
0	11570	11570	11570	11570	11570	11570	11570	11570	
0,25	10670	10302	10240	10402	10400	10367	10369	10374	
0,5	9235	9221	9113	9376	9378	9310	9312	9318	
1	7510	7556	7398	7727	7745	7619	7619	7619	
1,5	6440	6423	6258	6554	6581	6430	6428	6421	
2	5620	5677	5531	5759	5783	5642	5638	5629	
3	4920	4895	4805	4914	4909	4838	4834	4836	
4	4585	4588	4541	4588	4551	4548	4546	4562	
5	4400	4471	4448	4468	4409	4450	4448	4472	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	25305,3	22530,1	14706,3	18549,4	13024,0	12680,4	12677,5	11430,8
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	1,56091	1,49975	0,95337	1,11727	0,90597	0,88842	0,88827	0,82929
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4400	4398	4400	4320	4400	4400	4400	4430
r ²		0,998175	0,997800	0,997560	0,997045	0,998113	0,998105	0,998105	0,998123
Σ(C _{Si} -C _S) ²		147253,60	271064,30	175590,11	196137,35	120503,16	120444,34	120442,44	119487,62
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		16211,9	15022,6	15425,6	16602,4	14375,8	14273,0	14272,1	13783,8
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,00	-4,04	-1,08	-1,44	0,00	0,00	0,00	0,00
	Aceitação	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.55: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.56: Resultados da modelagem matemática do **décimo sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	16	Temp. =	25,4	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	58	C _X =	15876	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4520							
0	11570	11570	11570	11570	11570	11570	11570	11570
0,25	10670	10230	10265	10139	10260	10230	10265	10265
0,5	9235	9140	9191	8994	9184	9140	9191	9191
1	7510	7533	7581	7343	7577	7533	7581	7581
1,5	6440	6471	6491	6286	6494	6471	6491	6492
2	5620	5769	5754	5608	5764	5769	5753	5754
3	4920	4998	4917	4896	4941	4998	4916	4917
4	4585	4662	4533	4604	4567	4662	4533	4534
5	4400	4514	4358	4484	4397	4514	4357	4358
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,214x10 ⁻⁵	4,917x10 ⁻⁵	5,609x10 ⁻⁵	4,973x10 ⁻⁵	5,214x10 ⁻⁵	4,918x10 ⁻⁵	4,918x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4400	4209	4400	4256	4400	4209	4400
r ²		0,997576	0,997294	0,996669	0,997417	0,997577	0,997297	0,997577
Σ(C _{Si} -C _s) ²		251850,42	196126,21	399741,72	199594,91	251850,41	196126,64	251850,41
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,24	-2,27	-3,24	-2,29	-3,24	-2,27	-3,24
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.56: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.57: Resultados da modelagem matemática do **décimo sétimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	17	Temp. =	25,0	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	59	C _X =	15985	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4865								
0	11720	11720	11720	11720	11720	11720	11720	11720	
0,25	10870	10632	10585	10735	10744	10699	10699	10705	
0,5	10065	9651	9584	9823	9839	9753	9753	9761	
1	7735	8018	7966	8243	8264	8117	8117	8119	
1,5	6920	6818	6809	7012	7030	6857	6856	6849	
2	6005	6000	6023	6130	6137	5975	5974	5962	
3	5150	5166	5190	5195	5181	5101	5100	5105	
4	4885	4882	4871	4882	4856	4842	4841	4868	
5	4755	4793	4756	4790	4760	4776	4776	4812	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	8196,4	13222,3	5697,5	5605,4	5130,7	5102,6	5102,7	4615,7
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,62045	0,86681	0,46406	0,45505	0,45921	0,45786	0,45787	0,43724
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4755	4693	4755	4723	4755	4755	4755	4796
r ²		0,995583	0,995158	0,994483	0,994055	0,995456	0,995454	0,995454	0,995497
Σ(C _{Si} -C _S) ²		320347,57	380601,98	362122,30	378104,50	282263,10	282258,71	282258,34	279967,27
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		13210,4	15254,0	12277,5	12318,2	11172,9	11144,5	11144,4	10556,4
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,21	0,00	-1,44	-1,44	-1,08	-1,08	-1,08	-1,08
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.57: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.58: Resultados da modelagem matemática do **décimo sétimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	17	Temp. =	25,0	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	59	C _X =	15985	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4865							
0	11720	11720	11720	11720	11720	11720	11720	11720
0,25	10870	10480	10539	10256	10530	10479	10539	10539
0,5	10065	9460	9548	9099	9537	9460	9548	9548
1	7735	7933	8019	7465	8014	7933	8019	8019
1,5	6920	6902	6943	6445	6951	6902	6943	6943
2	6005	6205	6186	5809	6210	6205	6186	6186
3	5150	5417	5278	5165	5333	5417	5278	5278
4	4885	5057	4828	4915	4906	5057	4828	4828
5	4755	4893	4605	4817	4699	4893	4605	4605
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,908x10 ⁻⁵	4,394x10 ⁻⁵	5,906x10 ⁻⁵	4,507x10 ⁻⁵	4,909x10 ⁻⁵	4,394x10 ⁻⁵	4,909x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4755	4386	4755	4502	4755	4386	4755
r ²		0,992767	0,992308	0,986125	0,992678	0,992766	0,992310	0,992766
Σ(C _{Si} -C _s) ²		718071,05	533113,09	1651136,43	552664,74	718070,68	533112,50	718070,68
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-1,44	-2,29	-3,09	-2,27	-1,44	-2,29	-1,44
	Aceitação	sim	não	não	não	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.58: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.59: Resultados da modelagem matemática do **décimo sétimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	17		Temp. =	25,0	°C		Substr.	DQO	Filtr.
Batel. =	59		C _X =	15985	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4695								
0	11580	11580	11580	11580	11580	11580	11580	11580	
0,25	10755	10567	10342	10542	10545	10422	10423	10429	
0,5	9610	9622	9250	9581	9588	9386	9387	9393	
1	7265	7965	7508	7925	7938	7689	7690	7688	
1,5	6510	6665	6306	6653	6670	6475	6474	6464	
2	5720	5747	5541	5765	5780	5673	5671	5660	
3	5065	4850	4825	4884	4884	4889	4887	4894	
4	4590	4602	4603	4620	4607	4636	4635	4660	
5	4530	4546	4539	4552	4533	4561	4560	4595	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4394,0	10004,4	5341,4	5534,7	8735,6	8649,0	8648,8	7715,6
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,42384	0,79212	0,47285	0,47835	0,68203	0,67761	0,67761	0,63459
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4530	4513	4530	4508	4530	4530	4530	4571
r ²		0,990360	0,994376	0,991278	0,990939	0,994058	0,994052	0,994052	0,994105
Σ(C _{Si} -C _S) ²		596576,39	490566,77	538482,97	560241,87	378843,03	378830,84	378830,22	376703,91
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		10367,1	12629,9	11296,2	11570,4	12808,2	12764,0	12763,7	12158,4
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,08	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.59: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.60: Resultados da modelagem matemática do **décimo sétimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	17	Temp. =	25,0	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	59	C _X =	15985	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4695							
0	11580	11580	11580	11580	11580	11580	11580	11580
0,25	10755	10250	10294	10208	10287	10250	10294	10294
0,5	9610	9171	9235	9103	9226	9171	9235	9235
1	7265	7586	7644	7496	7639	7585	7644	7644
1,5	6510	6542	6564	6454	6568	6541	6564	6564
2	5720	5854	5832	5778	5847	5854	5832	5832
3	5065	5104	4998	5055	5032	5104	4998	4998
4	4590	4779	4614	4751	4661	4779	4614	4614
5	4530	4638	4438	4623	4493	4638	4438	4438
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	4 e 5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,230x10 ⁻⁵	4,854x10 ⁻⁵	5,417x10 ⁻⁵	4,930x10 ⁻⁵	5,231x10 ⁻⁵	4,854x10 ⁻⁵	4,854x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4530	4287	4530	4352	4530	4287	4530
r ²		0,993080	0,992459	0,992869	0,992704	0,993079	0,992461	0,993079
Σ(C _{Si} -C _s) ²		617810,59	525811,08	651164,92	532659,17	617809,76	525810,80	617809,76
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,24	-0,76	0,00	-0,76	-3,24	-0,76	-3,24
	Aceitação	não	sim	sim	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.60: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.61: Resultados da modelagem matemática do **décimo oitavo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	18	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	60	C _X =	16133	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4905								
0	10085	10085	10085	10085	10085	10085	10085	10085	
0,25	9190	9246	9218	9187	9180	9190	9172	9172	
0,5	8100	8441	8386	8335	8326	8348	8322	8322	
1	6845	6956	6858	6800	6797	6847	6829	6829	
1,5	5830	5684	5560	5534	5545	5624	5632	5632	
2	4685	4681	4557	4581	4605	4703	4731	4731	
3	3590	3568	3502	3567	3587	3674	3684	3684	
4	3255	3258	3238	3270	3266	3320	3270	3270	
5	3185	3198	3192	3203	3185	3220	3128	3219	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2662,2	2616,6	3492,5	3933,8	4428,9	6069,6	4360,4	6069,0
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,29363	0,30222	0,34358	0,36092	0,37463	0,43609	0,37169	0,43606
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3185	3183	3185	3161	3185	3061	3185	3061
r ²		0,997863	0,997354	0,997419	0,997652	0,998007	0,998175	0,998007	0,998175
Σ(C _{Si} -C _S) ²		153841,08	180129,65	156929,44	141326,82	116606,81	103388,56	116571,79	103388,56
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		9066,5	8657,9	10165,0	10899,4	11822,1	13918,2	11731,3	13917,8
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,27	-2,29	-1,44	-1,44	-1,08	-0,76	-1,73	-0,76
	Aceitação	não	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.61: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic[®] no Excel[®]; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.62: Resultados da modelagem matemática do **décimo oitavo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	18	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	60	C _X =	16133	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4905							
0	10085	10085	10085	10085	10085	10085	10085	10085
0,25	9190	8964	9045	8574	9039	8964	9044	9044
0,5	8100	8026	8149	7394	8142	8026	8149	8149
1	6845	6581	6714	5752	6711	6581	6714	6714
1,5	5830	5568	5651	4751	5657	5567	5650	5650
2	4685	4857	4863	4140	4880	4856	4863	4863
3	3590	4008	3846	3540	3887	4008	3846	3846
4	3255	3590	3288	3317	3349	3590	3288	3288
5	3185	3384	2981	3234	3057	3384	2981	2981
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,394x10 ⁻⁵	3,715x10 ⁻⁵	6,129x10 ⁻⁵	3,791x10 ⁻⁵	4,394x10 ⁻⁵	3,716x10 ⁻⁵	3,716x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3185	2608	3185	2710	3185	2608	3185
r ²		0,994172	0,996289	0,968363	0,996359	0,994168	0,996290	0,994168
Σ(C _{Si} -C _S) ²		550711,75	212655,60	3544367,43	224412,71	550711,14	212654,10	550711,14
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,06	-0,76	-3,24	-0,76	-3,06	-0,76	-3,06
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.62: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.63: Resultados da modelagem matemática do **décimo oitavo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	18	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	60	C _X =	16133	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4675								
0	9650	9650	9650	9650	9650	9650	9650	9650	
0,25	8860	8731	8710	8759	8756	8759	8756	8756	
0,5	7805	7881	7851	7929	7927	7928	7923	7923	
1	6445	6406	6387	6474	6481	6464	6462	6462	
1,5	5385	5250	5256	5314	5332	5292	5295	5295	
2	4400	4404	4431	4451	4474	4420	4426	4426	
3	3395	3463	3485	3478	3483	3447	3446	3446	
4	3130	3114	3097	3116	3091	3099	3081	3081	
5	2950	3001	2952	3000	2954	2992	2965	2965	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	6078,3	8382,9	5465,6	6254,7	5043,6	5443,9	4938,9	5444,2
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,45044	0,54343	0,4145	0,44152	0,3992	0,41402	0,39471	0,41403
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2950	2871	2950	2888	2950	2915	2950	2915
r ²		0,999143	0,999116	0,999248	0,999187	0,999234	0,999247	0,999230	0,999247
Σ(C _{Si} -C _S) ²		49805,20	54825,85	43768,68	44734,41	40267,77	39111,19	40207,66	39111,19
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		13494,1	15425,9	13186,0	14166,3	12634,3	13148,9	12512,7	13149,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,00	0,00	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.63: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.64: Resultados da modelagem matemática do **décimo oitavo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	18	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	60	C _X =	16133	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4675							
0	9650	9650	9650	9650	9650	9650	9650	9650
0,25	8860	8560	8628	8353	8622	8560	8627	8627
0,5	7805	7647	7751	7307	7743	7647	7751	7751
1	6445	6243	6354	5783	6350	6243	6354	6354
1,5	5385	5259	5327	4792	5332	5258	5327	5327
2	4400	4568	4572	4148	4588	4568	4572	4572
3	3395	3745	3609	3457	3648	3745	3745	3608
4	3130	3341	3088	3164	3146	3341	3087	3087
5	2950	3142	2806	3041	2879	3142	2806	2806
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,403x10 ⁻⁵	3,811x10 ⁻⁵	5,335x10 ⁻⁵	3,892x10 ⁻⁵	4,403x10 ⁻⁵	3,811x10 ⁻⁵	4,403x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2950	2474	2950	2572	2950	2474	2950
r ²		0,996329	0,997241	0,987042	0,997392	0,996328	0,997242	0,996328
Σ(C _{Si} -C _S) ²		404419,43	166383,60	1370733,42	177398,08	404419,43	166383,05	404419,43
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	-3,06 não	-2,16 não	-3,09 não	-2,27 não	-3,06 não	-2,16 não	-3,06 não
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.64: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.65: Resultados da modelagem matemática do **décimo nono** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	19		Temp. =	25,0	°C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	61		C _X =	16315	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4825								
0	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990
0,25	9445	9301	9301	9291	9308	9245	9242	9246	9242
0,5	8620	8625	8627	8610	8640	8526	8520	8527	8520
1	7070	7327	7336	7313	7354	7178	7173	7179	7173
1,5	6005	6123	6146	6129	6161	5982	5983	5982	5983
2	4900	5058	5098	5100	5101	4981	4990	4980	4990
3	3810	3601	3656	3702	3630	3694	3700	3691	3700
4	3140	3148	3161	3198	3151	3223	3202	3221	3202
5	3080	3087	3077	3098	3083	3109	3069	3108	3069
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	-
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1422,3	1613,2	1858,6	1429,1	2510,6	2755,2	2485,3	2755,2
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,20566	0,21049	0,21992	0,20358	0,25279	0,26027	0,25186	0,26027
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3080	3065	3080	3075	3080	3030	3080	3030
r ²		0,997158	0,997202	0,997679	0,996850	0,998732	0,998743	0,998722	0,998743
Σ(C _{Si} -C _S) ²		169779,07	174608,30	153471,70	197346,58	88725,38	86399,93	88704,30	86399,93
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		6915,8	7664,0	8451,3	7019,8	9931,6	10585,9	9867,8	10585,9
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,08	-0,62	-1,44	-1,08	0,00	1,03	0,00	1,03
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.65: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.66: Resultados da modelagem matemática do **décimo nono** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	19			Temp. =	25,0	°C	Substr.	DQO	Total
Batel. =	61			C _X =	16315	mg.L ⁻¹			
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4825								
0	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990
0,25	9445	9001	9106	8899	9103	9001	9106	9001	9106
0,5	8620	8154	8320	7981	8317	8153	8320	8153	8320
1	7070	6805	7002	6556	7003	6805	7003	6805	7003
1,5	6005	5815	5963	5545	5971	5815	5963	5815	5963
2	4900	5088	5142	4828	5160	5088	5143	5088	5143
3	3810	4163	3985	3959	4024	4162	3985	4162	3986
4	3140	3664	3264	3522	3323	3663	3264	3663	3265
5	3080	3395	2815	3303	2891	3394	2815	3394	2816
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,787x10 ⁻⁵	2,905x10 ⁻⁵	4,212x10 ⁻⁵	2,962x10 ⁻⁵	3,788x10 ⁻⁵	2,905x10 ⁻⁵	3,788x10 ⁻⁵	2,905x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3080	2075	3080	2195	3080	2075	3080	2076
r ²		0,992636	0,994790	0,987595	0,995046	0,992627	0,994787	0,992627	0,994789
Σ(C _{Si} -C _s) ²		1053880,75	386341,23	1405495,89	397523,24	1053878,55	386339,79	1053878,55	386340,26
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-3,06	-2,27	-3,09	-2,27	-3,06	-2,27	-3,06	-2,27
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.66: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.67: Resultados da modelagem matemática do **décimo nono** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	19	Temp. =	25,0	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	61	C _X =	16315	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4815								
0	9270	9270	9270	9270	9270	9270	9270	9270	
0,25	8705	8586	8572	8591	8590	8571	8566	8566	
0,5	7850	7925	7901	7935	7933	7898	7891	7891	
1	6565	6684	6654	6706	6701	6648	6641	6641	
1,5	5595	5580	5559	5615	5606	5551	5551	5551	
2	4660	4652	4650	4696	4684	4642	4652	4652	
3	3470	3440	3464	3485	3462	3470	3478	3478	
4	2980	2984	2982	3006	2977	3010	2987	2987	
5	2840	2870	2840	2877	2846	2881	2833	2833	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2329,1	2853,4	2464,2	2464,2	2748,5	3136,1	2692,6	3136,1
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,23194	0,25082	0,23398	0,23398	0,249	0,26091	0,24696	0,26091
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2840	2793	2840	2808	2840	2776	2840	2776
r ²		0,999272	0,999407	0,999263	0,999232	0,999401	0,999441	0,999390	0,999441
Σ(C _{Si} -C _S) ²		35990,28	29598,98	44203,28	39464,07	32012,31	28922,79	31942,64	28922,79
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		10041,8	11376,3	10531,7	10531,7	11038,2	12019,9	10903,0	12019,9
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,53	-1,53	-4,04	-1,44	-1,53	-0,76	-1,53	-0,76
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.67: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.68: Resultados da modelagem matemática do **décimo nono** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	19	Temp. =	25,0	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	61	C _X =	16315	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4815							
0	9270	9270	9270	9270	9270	9270	9270	9270
0,25	8705	8355	8448	8076	8445	8354	8447	8447
0,5	7850	7570	7718	7103	7714	7569	7718	7718
1	6565	6319	6495	5666	6494	6318	6495	6495
1,5	5595	5399	5532	4714	5538	5398	5532	5532
2	4660	4722	4774	4082	4788	4721	4774	4774
3	3470	3858	3706	3386	3738	3858	3706	3706
4	2980	3391	3044	3080	3093	3390	3044	3044
5	2840	3138	2633	2945	2696	3138	2634	2634
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,765x10 ⁻⁵	2,927x10 ⁻⁵	5,038x10 ⁻⁵	2,981x10 ⁻⁵	3,766x10 ⁻⁵	2,928x10 ⁻⁵	2,928x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2840	1962	2840	2063	2840	1963	1963
r ²		0,993789	0,996509	0,972703	0,996684	0,993776	0,996513	0,993776
Σ(C _{Si} -C _S) ²		712830,45	208241,58	2900342,74	216049,46	712826,93	208241,42	712826,93
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,06	-2,27	-3,24	-2,27	-3,06	-2,27	-3,06
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.68: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.69: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	20		Temp. =	25,8	°C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	62		C _X =	16520	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos							
		C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5055								
0	9690	9690	9690	9690	9690	9690	9690	9690	9690
0,25	8815	8880	8806	8804	8797	8754	8744	8755	8744
0,5	7780	8096	7966	7959	7948	7883	7869	7884	7869
1	6355	6631	6443	6419	6411	6361	6355	6362	6355
1,5	5235	5352	5185	5140	5146	5165	5174	5165	5174
2	4290	4335	4247	4189	4210	4305	4323	4304	4323
3	3415	3276	3306	3270	3290	3413	3410	3411	3410
4	3055	3060	3072	3068	3069	3131	3093	3130	3093
5	3030	3033	3028	3036	3030	3056	2997	3055	2997
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	-
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1902,5	2932,4	2618,7	2898,1	4764,2	5723,5	4722,1	5722,9
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,25596	0,31493	0,30506	0,31717	0,40131	0,43896	0,39942	0,43893
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3030	3019	3030	3022	3030	2959	3030	2959
r ²		0,997513	0,999091	0,998853	0,999048	0,999535	0,999608	0,999532	0,999608
Σ(C _{Si} -C _S) ²		215368,09	58788,36	76412,29	61903,76	25908,28	20376,38	25897,54	20376,38
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		7432,8	9311,3	8584,2	9137,4	11871,6	13038,8	11822,4	13038,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,73	-0,62	-1,53	-0,62	0,21	1,03	0,21	1,03
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.69: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.70: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	20		Temp. =	25,8	°C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	62		C _X =	16520	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5055								
0	9690	9690	9690	9690	9690	9690	9690	9690	9690
0,25	8815	8539	8608	8052	8602	8539	8608	8539	8608
0,5	7780	7588	7691	6816	7682	7587	7691	7587	7691
1	6355	6149	6254	5183	6250	6149	6254	6149	6254
1,5	5235	5164	5221	4254	5228	5164	5221	5164	5221
2	4290	4491	4479	3726	4499	4490	4478	4490	4478
3	3415	3714	3562	3255	3608	3714	3561	3714	3561
4	3055	3350	3088	3103	3154	3350	3087	3350	3087
5	3030	3180	2843	3053	2923	3180	2843	3180	2843
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,592x10 ⁻⁵	3,997x10 ⁻⁵	6,837x10 ⁻⁵	4,088x10 ⁻⁵	4,593x10 ⁻⁵	3,998x10 ⁻⁵	4,593x10 ⁻⁵	3,998x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3030	2581	3030	2684	3030	2581	3030	2581
r ²		0,996531	0,997466	0,964263	0,997622	0,996527	0,997467	0,996527	0,997467
Σ(C _{Si} -C _S) ²		399776,91	154323,28	4196111,37	168246,07	399776,30	154322,72	399776,30	154322,72
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-3,06	-2,27	-3,24	-2,27	-3,06	-2,27	-3,06	-2,27
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.70: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.71: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	20	Temp. =	25,8	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	62	C _X =	16520	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4825								
0	9455	9455	9455	9455	9455	9455	9455	9455	
0,25	8570	8434	8359	8454	8440	8440	8438	8438	
0,5	7375	7517	7413	7549	7533	7524	7522	7522	
1	6085	5994	5914	6036	6038	5998	5999	5999	
1,5	4870	4869	4849	4905	4931	4865	4868	4868	
2	4000	4085	4112	4111	4148	4076	4078	4078	
3	3285	3243	3278	3251	3268	3232	3226	3226	
4	2920	2925	2913	2926	2903	2917	2902	2902	
5	2755	2813	2756	2813	2759	2809	2788	2788	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	9517,6	26101,7	8802,9	12389,7	8884,0	9389,2	8597,4	9384,4
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,62821	1,37321	0,58748	0,73223	0,59941	0,61919	0,58642	0,61897
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2755	2642	2755	2671	2755	2729	2755	2729
r ²		0,998882	0,998627	0,998839	0,998689	0,998873	0,998876	0,998866	0,998876
Σ(C _{Si} -C _S) ²		59147,61	88115,75	64166,52	70523,78	58305,10	57617,44	58202,24	57617,47
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		15150,3	19007,8	14984,2	16920,5	14821,2	15163,7	14660,8	15161,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,00	0,21	0,21	0,00	0,21	0,21	0,21	0,21
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.71: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.72: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	20	Temp. =	25,8	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	62	C _X =	16520	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4825							
0	9455	9455	9455	9455	9455	9455	9455	9455
0,25	8570	8287	8335	8141	8330	8287	8335	8335
0,5	7375	7322	7394	7084	7387	7322	7394	7394
1	6085	5868	5941	5552	5936	5869	5941	5941
1,5	4870	4877	4916	4562	4919	4878	4915	4915
2	4000	4202	4193	3923	4205	4202	4193	4193
3	3285	3427	3324	3243	3353	3427	3323	3323
4	2920	3067	2891	2959	2934	3067	2891	2891
5	2755	2900	2676	2840	2728	2900	2676	2676
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,639x10 ⁻⁵	4,227x10 ⁻⁵	5,287x10 ⁻⁵	4,293x10 ⁻⁵	4,639x10 ⁻⁵	4,228x10 ⁻⁵	4,639x10 ⁻⁵
C _{SR}	mgDQO.L ⁻¹	2755	2463	2755	2528	2755	2463	2755
r ²		0,997605	0,997862	0,993491	0,997961	0,997606	0,997863	0,997606
Σ(C _{Si} -C _s) ²		233718,62	124308,92	663845,19	130054,19	233718,57	124308,55	233718,57
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,09	-0,76	-3,24	-0,62	-3,09	-0,76	-3,09
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.72: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.73: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo primeiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	21	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	63	C _X =	16731	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5295								
0	10175	10175	10175	10175	10175	10175	10175	10175	
0,25	9585	9361	9352	9409	9427	9396	9397	9399	
0,5	8655	8581	8566	8672	8702	8643	8643	8647	
1	7145	7143	7127	7299	7338	7230	7230	7234	
1,5	6010	5907	5901	6094	6122	5980	5980	5980	
2	4930	4920	4928	5102	5100	4948	4948	4943	
3	3715	3760	3776	3858	3804	3713	3712	3709	
4	3395	3385	3378	3414	3370	3352	3352	3364	
5	3275	3297	3275	3304	3280	3287	3287	3306	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2919,1	3314,0	2708,8	2228,1	2183,2	2177,2	2177,2	2072,1
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,28216	0,29692	0,2592	0,23986	0,24863	0,2484	0,2484	0,24489
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3275	3244	3275	3261	3275	3275	3275	3296
r ²		0,999338	0,999271	0,998800	0,998500	0,999317	0,999316	0,999316	0,999325
Σ(C _{Si} -C _S) ²		68928,91	78441,17	113194,15	114514,85	46191,19	46189,99	46189,99	45655,83
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		10345,5	11161,3	10450,6	9289,2	8780,9	8764,9	8764,9	8461,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,08	-1,73	-4,04	-1,08	0,21	0,21	0,21	0,21
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.73: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.74: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo primeiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	21	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	63	C _X =	16731	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5295							
0	10175	10175	10175	10175	10175	10175	10175	10175
0,25	9585	9131	9227	8779	9223	9130	9227	9227
0,5	8655	8244	8395	7666	8390	8244	8395	8395
1	7145	6854	7025	6069	7025	6853	7025	7025
1,5	6010	5852	5970	5053	5981	5852	5971	5971
2	4930	5131	5159	4407	5183	5131	5159	5159
3	3715	4238	4053	3733	4105	4237	4054	4054
4	3395	3774	3398	3461	3475	3774	3399	3399
5	3275	3534	3010	3350	3107	3534	3011	3011
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,924x10 ⁻⁵	3,129x10 ⁻⁵	5,403x10 ⁻⁵	3,206x10 ⁻⁵	3,925x10 ⁻⁵	3,129x10 ⁻⁵	3,925x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3275	2446	3275	2588	3275	2447	3275
r ²		0,992429	0,993801	0,968761	0,994134	0,992422	0,993803	0,992422
Σ(C _{Si} -C _S) ²		1009544,36	448698,25	3983191,31	467758,69	1009542,81	448698,48	1009542,81
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,06	-2,27	-3,09	-2,27	-3,06	-2,27	-3,06
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.74: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.75: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo primeiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	21	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	63	C _X =	16731	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4975								
0	10180	10180	10180	10180	10180	10180	10180	10180	
0,25	9305	9255	9211	9214	9201	9184	9161	9161	
0,5	8025	8383	8313	8312	8296	8268	8238	8238	
1	6715	6816	6740	6724	6721	6690	6677	6677	
1,5	5575	5525	5485	5449	5472	5457	5474	5474	
2	4550	4536	4543	4496	4540	4549	4584	4584	
3	3475	3403	3442	3418	3451	3503	3511	3511	
4	2995	3001	2999	3021	3008	3080	3020	3020	
5	2845	2886	2843	2897	2847	2926	2809	2809	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4502,0	6843,1	5649,6	7389,3	8010,3	12902,5	7605,1	12902,6
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,36612	0,46056	0,4217	0,48423	0,51774	0,69291	0,50124	0,69292
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2845	2765	2845	2764	2845	2660	2845	2660
r ²		0,997903	0,998416	0,998134	0,998468	0,998391	0,998645	0,998369	0,998645
Σ(C _{Si} -C _S) ²		150377,36	101415,40	116540,90	95522,81	102966,81	82191,40	102590,40	82191,40
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		12296,5	14858,2	13397,2	15259,9	15471,7	18620,7	15172,5	18620,6
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,53	-0,62	-1,53	-1,53	-1,53	-0,76	-1,53	-0,76
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.75: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.76: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo primeiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	21		Temp. =	25,1	°C		Substr.	DQO	Filtr.
Batel. =	63		C _X =	16731	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4975								
0	10180	10180	10180	10180	10180	10180	10180	10180	10180
0,25	9305	9004	9077	8753	9072	9004	9077	9004	9077
0,5	8025	8017	8129	7604	8122	8017	8129	8017	8129
1	6715	6492	6614	5933	6610	6492	6614	6492	6614
1,5	5575	5417	5495	4849	5497	5416	5495	5416	5495
2	4550	4659	4668	4145	4680	4658	4668	4658	4668
3	3475	3747	3607	3392	3636	3746	3608	3746	3608
4	2995	3293	3028	3075	3073	3293	3029	3293	3029
5	2845	3068	2713	2942	2768	3068	2714	3068	2714
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,176x10 ⁻⁵	3,623x10 ⁻⁵	5,170x10 ⁻⁵	3,677x10 ⁻⁵	4,177x10 ⁻⁵	3,624x10 ⁻⁵	4,177x10 ⁻⁵	3,624x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2845	2334	2845	2409	2845	2335	2845	2335
r ²		0,996699	0,998024	0,985473	0,998084	0,996695	0,998025	0,996695	0,998025
Σ(C _{Si} -C _s) ²		389413,15	129652,55	1806255,14	135651,73	389412,35	129652,48	389412,35	129652,45
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-3,06	-0,76	-3,24	-0,76	-3,06	-0,76	-3,06	-0,76
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.76: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.77: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo segundo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	22		Temp. =	25,7	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	64		C _X =	16935	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5200								
0	11805	11805	11805	11805	11805	11805	11805	11805	
0,25	10965	10974	10970	10981	10970	10970	10968	10968	
0,5	10315	10193	10187	10205	10189	10186	10184	10184	
1	8760	8794	8787	8813	8803	8785	8783	8783	
1,5	7535	7630	7625	7650	7659	7620	7622	7622	
2	6715	6708	6706	6724	6754	6700	6704	6704	
3	5565	5526	5529	5534	5575	5524	5526	5526	
4	4975	4982	4984	4984	4998	4982	4975	4975	
5	4765	4765	4764	4765	4746	4765	4751	4751	
6	4640	4685	4682	4684	4643	4685	4665	4665	
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 6	0	6	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	6057,3	6277,3	5880,5	7534,6	6165,6	6475,2	6062,2	6474,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,37277	0,38074	0,36438	0,41585	0,37765	0,38693	0,37404	0,3869
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4640	4635	4640	4574	4640	4615	4640	4615
r ²		0,999588	0,999599	0,999560	0,999502	0,999597	0,999599	0,999592	0,999599
Σ(C _{Si} -C _S) ²		28783,37	28422,60	31331,64	35676,30	28510,67	27824,28	28458,61	27824,29
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		16249,4	16487,1	16138,4	18118,6	16326,2	16734,8	16207,4	16734,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,40	0,40	0,82	-0,12	-0,82	0,40	0,40	0,40
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.77: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.78: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo segundo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	22	Temp. =	25,7	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	64	C _X =	16935	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5200							
0	11805	11805	11805	11805	11805	11805	11805	11805
0,25	10965	10793	10853	10580	10848	10793	10853	10853
0,5	10315	9923	10020	9564	10012	9923	10020	10020
1	8760	8536	8653	8024	8646	8536	8653	8653
1,5	7535	7513	7606	6966	7606	7513	7606	7606
2	6715	6758	6805	6239	6813	6758	6804	6804
3	5565	5792	5721	5395	5750	5792	5720	5720
4	4975	5266	5085	4997	5132	5266	5084	5084
5	4765	4980	4712	4808	4774	4981	4712	4712
6	4640	4825	4493	4720	4566	4825	4493	4493
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,598x10 ⁻⁵	3,151x10 ⁻⁵	4,429x10 ⁻⁵	3,214x10 ⁻⁵	3,598x10 ⁻⁵	3,152x10 ⁻⁵	3,152x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4640	4183	4640	4279	4640	4183	4640
r ²		0,997104	0,997697	0,987285	0,997852	0,997105	0,997699	0,997105
Σ(C _{Si} -C _s) ²		452711,83	184667,21	1841455,35	197534,01	452711,79	184666,48	452711,79
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,21	-2,49	-3,27	-2,49	-3,21	-2,49	-3,21
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.78: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.79: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo segundo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	22	Temp. =	25,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	64	C _X =	16935	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4915								
0	11780	11780	11780	11780	11780	11780	11780	11780	
0,25	10660	10785	10792	10744	10606	10719	10704	10704	
0,5	9870	9886	9896	9818	9644	9787	9771	9771	
1	8135	8367	8378	8281	8178	8271	8270	8270	
1,5	7175	7196	7204	7120	7136	7146	7161	7161	
2	6460	6329	6332	6274	6380	6330	6349	6349	
3	5310	5279	5276	5261	5410	5338	5332	5332	
4	4775	4792	4789	4791	4866	4855	4802	4802	
5	4425	4580	4578	4583	4557	4626	4530	4530	
6	4490	4489	4490	4493	4378	4518	4390	4505	
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	13256,7	12515,7	16809,0	-36643,5	28945,3	74565,1	21263,1	74744,6
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,68978	0,65997	0,84771	-1,16471	1,31556	2,96829	1,01723	2,9748
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4425	4428	4425	4131	4425	4244	4425	4244
r ²		0,998584	0,998538	0,998554	0,998592	0,998777	0,999020	0,998704	0,999020
Σ(C _{Si} -C _S) ²		112434,17	119234,56	95925,10	111703,93	94822,32	64575,86	90478,09	64575,90
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		19218,7	18964,0	19828,7	31461,5	22002,3	25120,6	20902,9	25125,9
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,63	-2,33	-1,04	-1,04	-0,82	-0,32	-1,04	-0,32
	Aceitação	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.79: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.80: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo segundo** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	22	Temp. =	25,7	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	64	C _X =	16935	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4915							
0	11780	11780	11780	11780	11780	11780	11780	11780
0,25	10660	10624	10683	10514	10680	10645	10683	10683
0,5	9870	9650	9744	9465	9740	9685	9744	9744
1	8135	8138	8254	7879	8251	8187	8254	8254
1,5	7175	7063	7164	6792	7163	7115	7164	7164
2	6460	6299	6366	6047	6369	6349	6366	6366
3	5310	5371	5355	5187	5365	5409	5355	5355
4	4775	4902	4813	4783	4829	4928	4813	4813
5	4425	4666	4523	4593	4543	4682	4523	4523
6	4490	4547	4368	4504	4391	4557	4368	4368
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	4	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,037x10 ⁻⁵	3,688x10 ⁻⁵	4,464x10 ⁻⁵	3,712x10 ⁻⁵	3,959x10 ⁻⁵	3,688x10 ⁻⁵	3,688x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4425	4189	4425	4217	4425	4189	4425
r ²		0,998102	0,998980	0,994678	0,998982	0,998459	0,998980	0,998459
Σ(C _{Si} -C _s) ²		169265,00	67562,40	612362,40	68844,72	157027,25	67562,46	157027,25
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-1,77	-0,32	-3,27	-0,32	-1,77	-0,32	-1,77
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.80: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.81: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	23	Temp. =	25,9	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	65	C _X =	17089	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5120								
0	11875	11875	11875	11875	11875	11875	11875	11875	
0,25	11295	11304	11277	11288	11283	11270	11269	11269	
0,5	10705	10745	10693	10715	10707	10683	10682	10682	
1	9720	9672	9578	9621	9612	9570	9569	9569	
1,5	8490	8671	8549	8609	8608	8555	8555	8555	
2	7585	7763	7630	7703	7713	7659	7661	7661	
3	6280	6334	6229	6307	6341	6311	6314	6314	
4	5695	5544	5498	5551	5578	5584	5582	5582	
5	5250	5262	5245	5273	5269	5298	5287	5287	
6	5170	5190	5179	5195	5170	5206	5191	5191	
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 6	0	6	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1919,1	2139,2	2192,7	2551,5	2667,2	2745,7	2632,4	2746,7
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,17364	0,18679	0,1845	0,19342	0,20066	0,20246	0,19966	0,20248
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5170	5159	5170	5131	5170	5151	5170	5151
r ²		0,998585	0,999063	0,998994	0,999017	0,999206	0,999205	0,999201	0,999205
Σ(C _{Si} -C _S) ²		94791,72	67808,47	60877,87	59883,33	50262,92	49891,22	50224,14	49891,19
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		11052,2	11452,4	11884,6	13191,5	13292,1	13561,7	13184,4	13565,3
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,12	-1,63	0,00	0,00	-1,77	-1,77	-1,77	-1,77
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.81: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.82: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	23	Temp. =	25,9	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	65	C _X =	17089	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5120							
0	11875	11875	11875	11875	11875	11875	11875	11875
0,25	11295	11075	11159	10754	11157	11075	11159	11159
0,5	10705	10370	10509	9820	10506	10369	10509	10510
1	9720	9200	9387	8390	9386	9199	9387	9387
1,5	8490	8290	8464	7395	8468	8290	8464	8465
2	7585	7584	7706	6703	7716	7584	7706	7706
3	6280	6608	6570	5886	6596	6608	6570	6571
4	5695	6019	5802	5491	5845	6018	5803	5803
5	5250	5663	5284	5299	5341	5663	5284	5285
6	5170	5448	4933	5207	5003	5448	4934	4934
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	-	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	2,951x10 ⁻⁵	2,294x10 ⁻⁵	4,246x10 ⁻⁵	2,337x10 ⁻⁵	2,951x10 ⁻⁵	2,294x10 ⁻⁵	2,294x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5120	4203	5120	4314	5120	4204	5120
r ²		0,992747	0,995199	0,963870	0,995375	0,992744	0,995200	0,992744
Σ(C _{Si} -C _s) ²		931485,89	335686,34	5025092,34	346326,40	931485,61	335685,50	931485,61
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	-3,21 não	-2,49 não	-3,43 não	-2,49 não	-3,21 não	-2,49 não	-3,21 não
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.82: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.83: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	23	Temp. =	25,9	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	65	C _X =	17089	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4750								
0	11280	11280	11280	11280	11280	11280	11280	11280	
0,25	10805	10711	10679	10702	10705	10655	10648	10657	
0,5	10195	10157	10100	10141	10146	10055	10044	10058	
1	8825	9097	9011	9076	9084	8941	8931	8944	
1,5	7915	8119	8031	8100	8112	7954	7953	7956	
2	7095	7241	7177	7235	7248	7111	7122	7110	
3	5940	5884	5899	5914	5922	5888	5909	5881	
4	5270	5136	5181	5180	5171	5223	5220	5214	
5	4835	4851	4860	4879	4855	4925	4883	4919	
6	4740	4768	4737	4781	4747	4808	4734	4804	
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 6	0	6	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2191,5	3381,8	2575,7	2637,5	3952,3	4931,4	3821,9	4951,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,17979	0,21601	0,19095	0,19118	0,23929	0,26324	0,23548	0,26374
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4740	4672	4740	4701	4740	4629	4740	4627
r ²		0,997235	0,998416	0,997736	0,997541	0,998921	0,999006	0,998885	0,999006
Σ(C _{Si} -C _S) ²		169576,62	89860,38	142738,03	152502,79	74866,03	66466,84	74627,71	66465,18
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		12189,2	15655,8	13488,9	13795,9	16516,8	18733,5	16230,3	18774,2
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,77	-1,04	-1,77	-1,77	-1,77	-1,04	-1,77	-1,04
	Aceitação	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.83: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.84: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo terceiro** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	23	Temp. =	25,9	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	65	C _X =	17089	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4750							
0	11280	11280	11280	11280	11280	11280	11280	11280
0,25	10805	10485	10563	10237	10561	10485	10563	10563
0,5	10195	9787	9916	9360	9913	9786	9916	9916
1	8825	8634	8806	8004	8804	8634	8806	8806
1,5	7915	7745	7902	7046	7903	7744	7902	7902
2	7095	7059	7166	6369	7172	7058	7166	7166
3	5940	6121	6079	5553	6098	6120	6079	6079
4	5270	5562	5358	5146	5390	5562	5358	5358
5	4835	5229	4880	4943	4924	5229	4880	4880
6	4740	5031	4564	4841	4617	5031	4564	4564
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,034x10 ⁻⁵	2,406x10 ⁻⁵	4,067x10 ⁻⁵	2,443x10 ⁻⁵	3,035x10 ⁻⁵	2,406x10 ⁻⁵	3,035x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4740	3941	4740	4024	4740	3941	4740
r ²		0,995639	0,997330	0,976665	0,997494	0,995633	0,997330	0,995633
Σ(C _{Si} -C _s) ²		694458,75	201916,71	3162585,50	208105,35	694457,17	201916,70	694457,17
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	-3,21 não	-2,49 não	-3,43 não	-2,49 não	-3,21 não	-2,49 não	-3,21 não
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.84: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.85: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	24	Temp. =	24,6	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	66	C _X =	17265	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5555								
0	12470	12470	12470	12470	12470	12470	12470	12470	
0,25	12005	11994	11960	11979	11973	11977	11977	11977	
0,5	11440	11524	11462	11497	11485	11492	11492	11492	
1	10480	10609	10507	10561	10546	10553	10554	10554	
1,5	9900	9734	9614	9672	9661	9663	9664	9664	
2	8715	8908	8794	8840	8841	8833	8833	8833	
3	7370	7459	7418	7406	7446	7410	7409	7409	
4	6410	6405	6454	6392	6457	6407	6406	6406	
5	5920	5836	5893	5850	5891	5866	5867	5867	
6	5620	5630	5623	5642	5635	5652	5655	5655	
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0	0	-	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1633,1	2932,9	1899,2	2460,7	2015,4	1992,4	2015,3	1992,4
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,13741	0,16931	0,14608	0,15737	0,1489	0,14845	0,1489	0,14845
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5555	5439	5555	5486	5555	5561	5555	5561
r ²		0,998409	0,998467	0,998597	0,998545	0,998603	0,998603	0,998603	0,998603
Σ(C _{Si} -C _S) ²		103652,50	96289,13	85160,94	89525,61	84343,59	84330,15	84343,62	84330,13
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		11884,9	17322,7	13001,1	15636,4	13535,3	13421,4	13534,6	13421,4
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,32	0,00	-0,32	0,00	-0,32	-0,32	-0,32	-0,32
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.85: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.86: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	24	Temp. =	24,6	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	66	C _X =	17265	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5555								
0	12470	12470	12470	12470	12470	12470	12470	12470	
0,25	12005	11787	11896	11481	11896	11787	11896	11896	
0,5	11440	11171	11360	10633	11360	11171	11360	11360	
1	10480	10116	10390	9284	10391	10115	10390	10390	
1,5	9900	9260	9541	8293	9544	9258	9541	9541	
2	8715	8564	8799	7566	8805	8563	8799	8799	
3	7370	7540	7584	6639	7597	7538	7584	7584	
4	6410	6864	6654	6140	6676	6863	6655	6655	
5	5920	6419	5944	5870	5974	6418	5944	5944	
6	5620	6125	5401	5725	5438	6124	5401	5402	
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não	
t Excluídos do Ajuste	-	-	-	-	-	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	2,410x10 ⁻⁵	1,556x10 ⁻⁵	3,577x10 ⁻⁵	1,572x10 ⁻⁵	2,411x10 ⁻⁵	1,556x10 ⁻⁵	2,411x10 ⁻⁵	1,556x10 ⁻⁵
C _{SR}	mgDQO.L ⁻¹	5555	3639	5555	3721	5555	3640	5555	3640
r ²		0,987534	0,995188	0,951032	0,995246	0,987511	0,995189	0,987511	0,995189
Σ(C _{Si} -C _s) ²		1423326,35	316151,12	6880819,89	319063,67	1423318,19	316150,61	1423318,19	316150,69
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-3,21	-2,49	-4,28	-2,49	-3,21	-2,49	-3,21	-2,49
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.86: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.87: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	24		Temp. =	24,6	°C		Substr.	DQO	Filtr.
Batel. =	66		C _X =	17265	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5405								
0	11945	11945	11945	11945	11945	11945	11945	11945	11945
0,25	11435	11390	11433	11435	11454	11455	11454	11441	11454
0,5	11095	10857	10934	10940	10973	10975	10971	10948	10972
1	9955	9862	9979	10003	10045	10049	10036	10006	10037
1,5	9295	8971	9091	9143	9171	9175	9151	9128	9152
2	8210	8191	8284	8371	8366	8368	8331	8329	8331
3	6965	6985	6979	7124	7029	7012	6963	7017	6962
4	6105	6222	6156	6292	6162	6103	6100	6152	6099
5	5780	5798	5760	5819	5756	5647	5739	5700	5741
6	5610	5586	5611	5586	5618	5478	5639	5510	5643
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim
t Excluídos do Ajuste	-	-	0	0	-	-	-	-	-
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4766,8	2372,5	3591,3	1908,6	2008,8	1590,9	2574,6	1571,1
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,22648	0,16426	0,18574	0,14914	0,14967	0,1436	0,16476	0,14316
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5405	5540	5405	5564	5405	5610	5405	5615
r ²		0,997667	0,998773	0,998037	0,998768	0,998303	0,998901	0,998465	0,998901
Σ(C _{Si} -C _S) ²		187481,05	76798,58	137482,99	70972,85	100080,43	60108,71	87232,61	60083,76
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		21047,3	14443,6	19335,1	12797,4	13421,2	11078,7	15626,4	10974,4
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,45	-0,32	-1,04	0,82	-0,32	0,40	-0,32	0,40
	Aceitação	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.87: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.88: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo quarto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	24	Temp. =	24,6	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	66	C _X =	17265	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5405							
0	11945	11945	11945	11945	11945	11945	11945	11945
0,25	11435	11273	11357	11108	11356	11273	11357	11357
0,5	11095	10670	10813	10379	10812	10669	10813	10813
1	9955	9643	9846	9187	9847	9643	9846	9846
1,5	9295	8816	9021	8281	9024	8816	9020	9020
2	8210	8151	8315	7593	8323	8151	8315	8315
3	6965	7184	7198	6670	7217	7184	7184	7198
4	6105	6558	6383	6137	6414	6558	6383	6383
5	5780	6152	5789	5828	5831	6152	5789	5789
6	5610	5889	5355	5650	5407	5889	5355	5355
7								
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	-	-	-	-	-
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada						
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	2,513x10 ⁻⁵	1,826x10 ⁻⁵	3,172x10 ⁻⁵	1,854x10 ⁻⁵	2,513x10 ⁻⁵	1,827x10 ⁻⁵	2,513x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5405	4184	5405	4285	5405	4185	5405
r ²		0,990404	0,993749	0,976417	0,993884	0,990399	0,993752	0,990399
Σ(C _{Si} -C _s) ²		1007169,42	380711,47	2709545,88	386860,07	1007168,75	380710,64	1007168,75
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,21	-2,49	-3,27	-2,49	-3,21	-2,49	-3,21
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.88: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.89: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	25		Temp. =	26,1	°C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	67		C _X =	17422	mg.L ⁻¹				
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo		Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste		Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}		Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software		Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5440								
0	12530	12530	12530	12530	12530	12530	12530	12530	12530
0,25	11665	12024	11899	11838	11828	11892	11885	11892	11885
0,5	11290	11523	11289	11183	11170	11278	11265	11278	11265
1	10255	10540	10141	9987	9986	10127	10114	10127	10114
1,5	9125	9588	9104	8953	8976	9094	9088	9094	9088
2	8060	8678	8197	8086	8133	8195	8202	8195	8202
3	6925	7058	6831	6836	6898	6842	6867	6842	6867
4	6040	5937	6059	6119	6140	6059	6071	6059	6071
5	5715	5517	5714	5753	5703	5686	5663	5686	5663
6	5445	5448	5584	5581	5463	5533	5477	5533	5477
7									
Soluções Múltiplas		não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim
t Excluídos do Ajuste		-	-	0 e 6	0	-	-	-	-
	Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1018,8	3449,9	6619,8	11013,3	4007,3	4953,5	4007,2	4953,0
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,13348	0,21957	0,31479	0,41516	0,2331	0,25515	0,2331	0,25514
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5440	5516	5440	5192	5440	5340	5440	5340
r ²		0,992627	0,998315	0,997353	0,997709	0,998444	0,998503	0,998444	0,998503
Σ(C _{Si} -C _S) ²		928283,51	115418,73	177965,10	152277,48	103209,45	98294,92	103209,45	98294,92
		Razão Entre Parâmetros							
K _S / r _{máx.}		7632,6	15712,1	21029,3	26527,8	17191,3	19414,1	17190,9	19412,9
		Testes Estatísticos							
Rand.	Z	-2,33	0,40	-1,04	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	Aceitação	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.89: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.90: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	25	Temp. =	26,1	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	67	C _X =	17422	mg.L ⁻¹				
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5440							
0	12530	12530	12530	12530	12530	12530	12530	12530
0,25	11665	11712	11797	11549	11796	11711	11797	11797
0,5	11290	10988	11131	10703	11129	10987	11131	11131
1	10255	9781	9976	9347	9974	9780	9976	9976
1,5	9125	8837	9021	8340	9022	8836	9021	9021
2	8060	8098	8232	7593	8238	8097	8232	8232
3	6925	7067	7041	6626	7059	7066	7041	7041
4	6040	6436	6229	6094	6258	6436	6229	6229
5	5715	6050	5674	5800	5714	6049	5674	5674
6	5445	5813	5295	5638	5345	5813	5295	5295
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	6	-	-	-	-	-
	Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada						
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	2,816x10 ⁻⁵	2,191x10 ⁻⁵	3,421x10 ⁻⁵	2,221x10 ⁻⁵	2,817x10 ⁻⁵	2,191x10 ⁻⁵	2,191x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5440	4480	5440	4563	5440	4480	4480
r ²		0,992206	0,996355	0,980164	0,996389	0,992191	0,996355	0,992191
Σ(C _{Si} -C _s) ²		828156,83	234423,09	2153834,51	239830,99	828151,40	234423,05	828151,40
		Testes Estatísticos						
Rand.	Z Aceitação	-2,45 não	-1,77 sim	-3,27 não	-1,77 sim	-2,45 não	-1,77 sim	-2,45 não
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.90: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.91: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	25	Temp. =	26,1	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	67	C _X =	17422	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5175								
0	12200	12200	12200	12200	12200	12200	12200	12200	
0,25	11440	11541	11474	11506	11486	11503	11489	11509	
0,5	10935	10910	10800	10848	10821	10845	10824	10854	
1	9685	9741	9605	9647	9632	9648	9632	9658	
1,5	8485	8709	8604	8610	8628	8620	8621	8625	
2	7815	7827	7781	7743	7798	7763	7784	7760	
3	6565	6530	6587	6500	6589	6536	6568	6517	
4	5870	5789	5850	5800	5846	5836	5831	5812	
5	5410	5429	5415	5450	5413	5478	5411	5458	
6	5165	5272	5164	5290	5170	5307	5183	5294	
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 6	0	6	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4887,5	16089,6	6327,2	13232,9	7032,4	11322,6	6374,5	11324,2
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,26185	0,55102	0,31025	0,47551	0,32839	0,43053	0,3099	0,43057
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5165	4847	5165	4879	5165	4929	5165	4929
r ²		0,998886	0,999347	0,999021	0,999353	0,999114	0,999369	0,999071	0,999369
Σ(C _{Si} -C _S) ²		83637,23	42138,18	60545,78	40079,25	61218,67	38912,72	59309,32	38912,72
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		18665,3	29199,7	20393,9	27828,9	21414,8	26299,2	20569,5	26300,5
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,82	1,12	-1,04	0,40	-1,04	0,40	-1,04	0,40
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.91: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.92: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo quinto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	25	Temp. =	26,1	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	67	C _X =	17422	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5175							
0	12200	12200	12200	12200	12200	12200	12200	12200
0,25	11440	11361	11432	11222	11431	11360	11432	11432
0,5	10935	10621	10741	10379	10738	10621	10741	10741
1	9685	9397	9556	9030	9554	9397	9557	9557
1,5	8485	8447	8595	8029	8595	8447	8595	8595
2	7815	7711	7814	7288	7817	7710	7814	7814
3	6565	6697	6666	6331	6677	6696	6666	6666
4	5870	6086	5910	5806	5928	6086	5910	5910
5	5410	5719	5411	5517	5437	5719	5411	5411
6	5165	5498	5083	5358	5114	5498	5083	5083
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	6	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	2,917x10 ⁻⁵	2,394x10 ⁻⁵	3,438x10 ⁻⁵	2,416x10 ⁻⁵	2,918x10 ⁻⁵	2,394x10 ⁻⁵	2,394x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5165	4448	5165	4498	5165	4448	5165
r ²		0,996465	0,998760	0,988524	0,998797	0,996459	0,998760	0,996459
Σ(C _{Si} -C _s) ²		470691,16	84963,79	1378893,23	87137,17	470689,55	84963,71	470689,55
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	-3,21 não	-1,04 sim	-3,43 não	-2,49 não	-3,21 não	-1,04 sim	-3,21 não
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.92: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.93: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	26	Temp. =	26,0	°C	Substr.	DQO	Total		
Batel. =	68	C _X =	17577	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5445								
0	12665	12665	12665	12665	12665	12665	12665	12665	
0,25	11795	11919	11856	11854	11826	11849	11832	11832	
0,5	11020	11207	11102	11092	11052	11088	11064	11064	
1	9850	9897	9764	9725	9699	9737	9720	9720	
1,5	8520	8758	8653	8580	8596	8617	8622	8622	
2	7760	7809	7760	7662	7722	7724	7749	7749	
3	6590	6496	6543	6446	6542	6532	6562	6563	
4	5900	5838	5887	5844	5899	5918	5908	5908	
5	5550	5565	5561	5583	5570	5631	5568	5568	
6	5410	5464	5408	5478	5407	5505	5397	5397	
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 6	0	6	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4666,0	9573,8	6700,9	12770,1	8399,7	13152,9	7945,6	13165,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,285	0,43676	0,36533	0,54023	0,4136	0,5452	0,39932	0,54555
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5410	5280	5410	5256	5410	5234	5410	5234
r ²		0,998819	0,999491	0,999051	0,999484	0,999306	0,999516	0,999291	0,999516
Σ(C _{Si} -C _S) ²		127690,95	38074,85	67124,94	34669,96	50378,20	32032,15	49869,44	32032,18
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		16371,9	21920,0	18342,0	23638,3	20308,8	24124,9	19897,8	24132,5
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,33	-0,32	-1,04	-0,32	-0,82	-0,32	-0,82	-0,32
	Aceitação	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.93: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.94: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	26	Temp. =	26,0	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	68	C _X =	17577	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5445							
0	12665	12665	12665	12665	12665	12665	12665	12665
0,25	11795	11702	11765	11504	11762	11702	11765	11765
0,5	11020	10866	10969	10529	10964	10866	10969	10969
1	9850	9514	9643	9022	9638	9513	9643	9643
1,5	8520	8496	8606	7959	8605	8496	8606	8606
2	7760	7731	7796	7208	7800	7731	7796	7796
3	6590	6723	6667	6305	6684	6723	6667	6667
4	5900	6153	5978	5856	6005	6152	5978	5978
5	5550	5830	5556	5632	5593	5830	5556	5556
6	5410	5648	5299	5521	5343	5647	5299	5299
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	6	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,242x10 ⁻⁵	2,802x10 ⁻⁵	3,968x10 ⁻⁵	2,836x10 ⁻⁵	3,242x10 ⁻⁵	2,802x10 ⁻⁵	2,802x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5410	4894	5410	4956	5410	4894	5410
r ²		0,997302	0,998860	0,986963	0,998893	0,997299	0,998861	0,997299
Σ(C _{Si} -C _s) ²		363189,06	79653,56	1732177,08	84069,51	363188,54	79654,14	363188,54
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	-3,21 não	-2,49 não	-3,43 não	-2,49 não	-3,21 não	-2,49 não	-3,21 não
F	F _{Calc.} Aceitação	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA	- NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.94: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.95: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	26	Temp. =	26,0	°C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	68	C _X =	17577	mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5165								
0	12170	12170	12170	12170	12170	12170	12170	12170	
0,25	11540	11501	11423	11488	11474	11471	11476	11476	
0,5	10780	10857	10721	10833	10810	10803	10810	10810	
1	9625	9654	9460	9616	9590	9567	9574	9574	
1,5	8405	8583	8396	8540	8527	8484	8486	8486	
2	7620	7663	7529	7625	7633	7571	7565	7565	
3	6225	6330	6329	6313	6359	6282	6268	6268	
4	5635	5624	5678	5624	5669	5615	5613	5613	
5	5395	5327	5359	5331	5350	5331	5348	5348	
6	5210	5219	5212	5223	5216	5224	5254	5254	
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0	0	-	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	3722,4	7692,1	4026,2	5126,8	4343,5	3907,1	4343,6	3907,1
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,23736	0,36557	0,24917	0,27989	0,26288	0,25138	0,26288	0,25138
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5165	5096	5165	5130	5165	5208	5165	5208
r ²		0,999257	0,999309	0,999470	0,999422	0,999616	0,999635	0,999616	0,999635
Σ(C _{Si} -C _S) ²		57749,27	66944,21	36000,97	42721,01	25225,69	23671,11	25225,69	23671,11
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		15682,5	21041,4	16158,4	18317,2	16522,7	15542,6	16523,1	15542,6
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,63	-1,63	-0,32	0,00	1,12	1,12	1,12	1,12
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.95: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.96: Resultados da modelagem matemática do **vigésimo sexto** perfil temporal de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	26	Temp. =	26,0	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	68	C _X =	17577	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5165							
0	12170	12170	12170	12170	12170	12170	12170	12170
0,25	11540	11288	11358	11120	11355	11288	11358	11358
0,5	10780	10517	10633	10227	10627	10517	10632	10632
1	9625	9254	9404	8823	9400	9254	9403	9403
1,5	8405	8290	8422	7809	8424	8289	8421	8421
2	7620	7552	7637	7076	7646	7552	7637	7637
3	6225	6559	6509	6163	6536	6558	6508	6508
4	5635	5979	5788	5686	5833	5978	5787	5787
5	5395	5640	5327	5437	5388	5640	5327	5327
6	5210	5442	5033	5307	5106	5442	5033	5033
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	6	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,062x10 ⁻⁵	2,550x10 ⁻⁵	3,696x10 ⁻⁵	2,600x10 ⁻⁵	3,063x10 ⁻⁵	2,551x10 ⁻⁵	3,063x10 ⁻⁵
C _{SR}	mgDQO.L ⁻¹	5165	4513	5165	4620	5165	4513	5165
r ²		0,995525	0,996745	0,986458	0,996912	0,995519	0,996748	0,995519
Σ(C _{Si} -C _s) ²		631136,79	243781,42	1793855,87	256065,30	631134,87	243780,53	631134,87
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,21	-2,49	-3,27	-2,49	-3,21	-2,49	-3,21
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	-	-	-	-	-	-	-
	Aceitação	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA	NSA

NSA = Não se aplica.

Figura U.96: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.97: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **11, 12 e 13** de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	11, 12 e 13 51, 53 e 54	Temp. = C _x =	24,7 °C 15195 mg.L ⁻¹	Substr.	DQO	Total			
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4818								
0	10880	10880	10880	10880	10880	10880	10880	10880	
0,25									
0,5	8768	8620	8747	8822	8978	8800	8818	8813	
1	7300	7101	7101	7265	7371	7268	7275	7273	
1,5	6260	6144	5998	6202	6169	6237	6228	6230	
2	5575	5571	5376	5552	5430	5602	5585	5588	
3	4982	5052	4946	5002	4933	5038	5027	5025	
4	4863	4889	4872	4861	4867	4877	4877	4871	
5	4860	4840	4860	4828	4860	4833	4839	4831	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	-	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	17004,2	4298,1	6419,9	2583,6	8322,8	7178,8	7467,1	7618,7
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	1,34151	0,52812	0,62122	0,37954	0,73401	0,66496	0,68143	0,68986
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4818	4858	4818	4859	4818	4826	4818	4813
r ²		0,998323	0,997458	0,999766	0,998186	0,999789	0,999799	0,999804	0,999806
Σ(C _{Si} -C _S) ²		81037,47	149967,60	9436,02	80359,19	7313,98	6907,98	6651,54	6609,32
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		12675,4	8138,5	10334,3	6807,2	11338,8	10795,8	10958,0	11043,8
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,97	-3,04	-0,91	-1,21	-1,21	-1,21	-1,21	-1,21
	Aceitação	não	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	0,6792	1,5084	0,0791	0,8082	0,0613	0,0695	0,0558	0,0665
	Aceitação	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.97: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.98: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **11, 12 e 13** de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	11, 12 e 13			Temp. =	24,7 °C		Substr.	DQO	Total
Batel. =	51, 53 e 54			C _X =	15195 mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4818								
0	10880	10880	10880	10880	10880	10880	10880	10880	10880
0,25									
0,5	8768	8598	8647	8332	8632	8598	8647	8598	8647
1	7300	7176	7216	6855	7208	7175	7216	7175	7216
1,5	6260	6288	6298	5999	6305	6288	6298	6288	6298
2	5575	5735	5710	5503	5733	5735	5710	5735	5710
3	4982	5175	5092	5048	5141	5174	5091	5174	5091
4	4863	4957	4837	4895	4903	4957	4837	4957	4837
5	4860	4872	4733	4844	4807	4872	4733	4872	4733
6									
7									
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	-	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	6,215x10 ⁻⁵	5,853x10 ⁻⁵	7,176x10 ⁻⁵	6,003x10 ⁻⁵	6,216x10 ⁻⁵	5,854x10 ⁻⁵	6,216x10 ⁻⁵	5,854x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4818	4660	4818	4743	4818	4660	4818	4660
r ²		0,997651	0,997992	0,991429	0,998005	0,997649	0,997993	0,997649	0,997993
Σ(C _{Si} -C _S) ²		116785,65	70434,45	467118,17	83609,24	116785,16	70434,97	116785,16	70434,97
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-3,04	-2,06	-1,97	-2,06	-3,04	-2,06	-3,04	-2,06
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	0,9812	0,7085	3,9174	0,8429	0,9801	0,7063	0,9801	0,7063
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.98: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.99: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **11, 12 e 13** de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	11, 12 e 13 51, 53 e 54	Temp. = C _x =	24,7 °C 15195 mg.L ⁻¹	Substr.	DQO	Filtr.			
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4640								
0	10437	10437	10437	10437	10437	10437	10437	10437	
0,25									
0,5	8017	8125	8095	8234	8078	8150	8131	8131	
1	6803	6636	6632	6687	6617	6683	6686	6686	
1,5	5892	5731	5746	5707	5738	5783	5798	5798	
2	5133	5202	5222	5141	5219	5249	5259	5259	
3	4665	4732	4738	4679	4739	4759	4743	4743	
4	4612	4586	4576	4561	4578	4599	4559	4559	
5	4523	4542	4523	4532	4525	4547	4494	4494	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0; 4 e 5	0	-	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	22159,1	42097,6	8905,8	49534,4	27903,8	65636,4	27154,9	65522,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	1,75091	3,08545	0,83611	3,61185	2,09705	4,51279	2,04725	4,50553
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4523	4497	4523	4499	4523	4459	4523	4459
r ²		0,997562	0,997721	0,997113	0,997608	0,997871	0,998000	0,997868	0,998000
Σ(C _{Si} -C _S) ²		75568,16	71107,39	98012,55	75866,00	66897,04	61441,08	66889,85	61441,10
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		12655,8	13643,9	10651,5	13714,4	13306,2	14544,5	13264,1	14542,7
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-1,21	-0,36	-1,21
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	0,6405	0,7232	0,8307	0,7716	0,5670	0,6249	0,5669	0,6249
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.99: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.100: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **11, 12 e 13** de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	11, 12 e 13	Temp. =	24,7 °C	Substr.	DQO	Filtr.		
Batel. =	51, 53 e 54	C _X =	15195 mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4640							
0	10437	10437	10437	10437	10437	10437	10437	10437
0,25								
0,5	8017	8076	8105	7926	8097	8076	8106	8106
1	6803	6658	6680	6481	6676	6658	6680	6680
1,5	5892	5806	5808	5649	5812	5805	5809	5809
2	5133	5294	5275	5171	5287	5293	5276	5276
3	4665	4801	4750	4738	4775	4801	4751	4751
4	4612	4623	4554	4594	4586	4623	4555	4555
5	4523	4559	4481	4547	4516	4559	4482	4482
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	6,706x10 ⁻⁵	6,476x10 ⁻⁵	7,275x10 ⁻⁵	6,559x10 ⁻⁵	6,706x10 ⁻⁵	6,476x10 ⁻⁵	6,476x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4523	4437	4523	4475	4523	4438	4438
r ²		0,997704	0,997952	0,995425	0,997910	0,997703	0,997949	0,997703
Σ(C _{Si} -C _S) ²		77830,92	62686,64	178510,66	65663,93	77830,87	62686,15	77830,87
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-1,97	-1,21	-1,21	-1,21	-1,97	-1,21	-1,97
	Aceitação	não	sim	sim	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	0,6589	0,6351	1,5145	0,6659	0,6576	0,6379	0,6576
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.100: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.101: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **14, 15, 16 e 17** de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	14, 15, 16, 17 56, 57, 58 e 59	Temp. = C _X =	25,1 15791	°C mg.L ⁻¹	Substr.	DQO	Total		
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4794								
0	12019	12019	12019	12019	12019	12019	12019	12019	
0,25	11096	11003	10922	11011	11000	10959	10960	10962	
0,5	10160	10060	9936	10075	10061	9986	9988	9991	
1	8150	8419	8295	8442	8440	8323	8325	8325	
1,5	7033	7132	7071	7158	7176	7052	7051	7048	
2	6113	6199	6206	6222	6256	6151	6147	6143	
3	5336	5198	5245	5211	5232	5196	5192	5192	
4	4843	4856	4860	4861	4847	4863	4860	4868	
5	4716	4755	4715	4757	4719	4760	4758	4770	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	5848,8	11414,9	5824,6	7127,2	7025,7	6904,6	6904,6	6646,9
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,47946	0,74297	0,47467	0,5273	0,54782	0,54218	0,54218	0,53141
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4716	4633	4716	4659	4716	4716	4716	4731
r ²		0,998006	0,998378	0,997846	0,997689	0,998494	0,998487	0,998487	0,998492
Σ(C _{Si} -C _S) ²		129180,36	120426,14	145253,01	154901,99	102987,38	102940,03	102940,03	102719,96
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		12198,7	15363,9	12270,8	13516,4	12824,8	12734,9	12734,9	12508,0
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,44	-0,76	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	0,2778	0,3021	0,3123	0,3886	0,2215	0,2583	0,2214	0,2577
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.101: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.102: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **14, 15, 16 e 17** de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	14, 15, 16, 17	Temp. =	25,1	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	56, 57, 58 e 59	C _X =	15791	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4794							
0	12019	12019	12019	12019	12019	12019	12019	12019
0,25	11096	10763	10823	10536	10816	10763	10823	10763
0,5	10160	9723	9813	9354	9804	9723	9813	9723
1	8150	8149	8241	7661	8235	8148	8240	8148
1,5	7033	7069	7119	6586	7124	7069	7119	7069
2	6113	6329	6320	5904	6336	6329	6319	6319
3	5336	5474	5343	5195	5383	5474	5343	5474
4	4843	5072	4846	4909	4904	5072	4846	5072
5	4716	4884	4594	4794	4664	4883	4594	4883
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,781x10 ⁻⁵	4,284x10 ⁻⁵	5,751x10 ⁻⁵	4,365x10 ⁻⁵	4,782x10 ⁻⁵	4,285x10 ⁻⁵	4,285x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4716	4333	4716	4422	4716	4333	4716
r ²		0,996604	0,996538	0,989637	0,996747	0,996602	0,996540	0,996602
Σ(C _{Si} -C _s) ²		450096,52	267928,22	1476884,85	278501,60	450095,87	267926,53	450095,87
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,09	-2,27	-3,24	-2,27	-3,09	-2,27	-3,09
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	0,9666	0,6734	3,1743	0,7000	0,9659	0,6719	0,9659
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.102: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste *g* e (b) ajuste *h*.

Tabela U.103: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **14, 15, 16 e 17** de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil =	14, 15, 16, 17		Temp. =	25,1 °C		Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	56, 57, 58 e 59		C _x =	15791 mg.L ⁻¹					
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4565								
0	11759	11759	11759	11759	11759	11759	11759	11759	
0,25	10711	10624	10489	10610	10562	10554	10553	10553	
0,5	9540	9608	9419	9586	9528	9500	9499	9499	
1	7684	7931	7780	7907	7891	7817	7819	7819	
1,5	6621	6704	6652	6689	6731	6630	6632	6632	
2	5844	5862	5887	5857	5932	5832	5833	5833	
3	5085	4976	5030	4982	5036	4992	4984	4984	
4	4638	4652	4652	4658	4649	4671	4655	4655	
5	4488	4542	4487	4545	4486	4553	4533	4533	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	10276,8	60409,9	11210,6	26780,9	15552,5	16400,0	14886,7	16400,3
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,72899	3,20438	0,7795	1,50209	1,01907	1,05614	0,98573	1,05615
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4488	4360	4488	4370	4488	4462	4488	4462
r ²		0,998548	0,998986	0,998724	0,998670	0,999117	0,999109	0,999103	0,999109
Σ(C _{SR} -C _S) ²		95067,68	79172,93	81352,36	87641,04	58170,25	57432,17	58027,28	57432,17
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		14097,3	18852,3	14381,8	17829,1	15261,5	15528,2	15102,2	15528,4
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-1,08	-0,76	-1,08	-0,76	-1,53	-1,53	-1,53	-1,53
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	0,3109	0,3021	0,2661	0,3344	0,1902	0,2191	0,1898	0,2191
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.103: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.104: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **14, 15, 16 e 17** de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	14, 15, 16, 17		Temp. =	25,1 °C		Substr.	DQO	Filtr.
Batel. =	56, 57, 58 e 59		C _X =	15791 mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4565							
0	11759	11759	11759	11759	11759	11759	11759	11759
0,25	10711	10431	10470	10296	10466	10431	10470	10470
0,5	9540	9346	9402	9127	9397	9346	9402	9402
1	7684	7734	7788	7448	7784	7734	7788	7788
1,5	6621	6657	6682	6377	6682	6657	6681	6657
2	5844	5937	5924	5693	5930	5937	5924	5924
3	5085	5135	5049	4979	5066	5135	5049	5049
4	4638	4777	4638	4688	4663	4777	4638	4777
5	4488	4617	4445	4569	4475	4617	4445	4445
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada								
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	5,107x10 ⁻⁵	4,790x10 ⁻⁵	5,691x10 ⁻⁵	4,832x10 ⁻⁵	5,108x10 ⁻⁵	4,790x10 ⁻⁵	5,108x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	4488	4275	4488	4311	4488	4275	4488
r ²		0,998693	0,998635	0,996370	0,998702	0,998692	0,998636	0,998692
Σ(C _{Si} -C _S) ²		166608,62	101149,00	501434,11	103054,29	166608,30	101149,02	166608,30
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,24	-0,76	-3,24	-0,76	-3,24	-0,76	-3,24
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
F	F _{Calc.}	0,5460	0,3862	1,6389	0,3920	0,5460	0,3857	0,5460
	Aceitação	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.104: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.105: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **18, 19, 20 e 21** de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	18, 19, 20, 21 60, 61, 62 e 63	Temp. = C _x =	25,3 16425	°C mg.L ⁻¹	Substr.	DQO	Total		
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5020								
0	9985	9985	9985	9985	9985	9985	9985	9985	
0,25	9259	9197	9185	9182	9180	9154	9149	9149	
0,5	8289	8436	8415	8409	8407	8361	8353	8353	
1	6854	7014	6987	6973	6974	6913	6907	6907	
1,5	5770	5766	5746	5726	5732	5687	5690	5690	
2	4701	4748	4745	4722	4735	4726	4737	4737	
3	3633	3557	3574	3563	3573	3619	3623	3623	
4	3211	3216	3217	3224	3218	3257	3233	3233	
5	3143	3155	3143	3157	3144	3168	3128	3128	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	2266,6	2569,6	2491,7	2627,5	3247,7	3620,4	3220,0	3620,4
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,25944	0,27249	0,2714	0,27584	0,30483	0,31778	0,3037	0,31778
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3143	3127	3143	3127	3143	3094	3143	3094
r ²		0,999084	0,999259	0,999279	0,999309	0,999485	0,999513	0,999481	0,999513
Σ(C _{Si} -C _S) ²		59378,15	45005,95	42059,32	40595,25	30187,20	27714,28	30175,16	27714,28
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		8736,5	9430,1	9180,9	9525,4	10654,1	11392,8	10602,6	11392,8
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,76	0,21	0,76
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	0,1728	0,1528	0,1224	0,1378	0,0879	0,0941	0,0878	0,0941
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.105: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.106: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **18, 19, 20 e 21** de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil = Batel. =	18, 19, 20, 21 60, 61, 62 e 63	Temp. = C _X =	25,3 16425	°C mg.L ⁻¹		Substr.	DQO	Total
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5020							
0	9985	9985	9985	9985	9985	9985	9985	9985
0,25	9259	8913	9000	8514	8995	8913	9000	9000
0,5	8289	8009	8144	7359	8138	8009	8144	8144
1	6854	6604	6753	5741	6752	6604	6754	6754
1,5	5770	5604	5703	4744	5711	5604	5703	5703
2	4701	4893	4909	4129	4930	4893	4910	4910
3	3633	4028	3857	3518	3903	4028	3858	3858
4	3211	3591	3257	3285	3325	3591	3258	3258
5	3143	3369	2914	3197	2999	3369	2915	2915
6								
7								
Soluções Múltiplas		não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste		-	-	5	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,150x10 ⁻⁵	3,416x10 ⁻⁵	5,896x10 ⁻⁵	3,492x10 ⁻⁵	4,150x10 ⁻⁵	3,416x10 ⁻⁵	3,416x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	3143	2459	3143	2578	3143	2460	2460
r ²		0,994597	0,996234	0,967120	0,996442	0,994597	0,996235	0,994597
Σ(C _{Si} -C _S) ²		677130,81	250822,49	4060157,65	265267,17	677130,81	250821,57	677130,81
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,06	-2,27	-3,24	-2,27	-3,06	-2,27	-3,06
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	1,9690	0,8516	11,8166	0,9013	1,9690	0,8526	1,9690
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não

NSA = Não se aplica.

Figura U.106: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.107: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **18, 19, 20 e 21** de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	18, 19, 20, 21 60, 61, 62 e 63	Temp. = C _x =	25,3 16425	°C mg.L ⁻¹		Substr.	DQO	Filtr.	
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	4823								
0	9639	9639	9639	9639	9639	9639	9639	9639	
0,25	8860	8767	8731	8763	8756	8743	8734	8746	
0,5	7764	7949	7892	7943	7934	7911	7897	7915	
1	6453	6494	6437	6489	6489	6451	6445	6454	
1,5	5356	5310	5286	5309	5327	5286	5293	5285	
2	4403	4413	4426	4418	4449	4416	4433	4411	
3	3406	3386	3419	3396	3415	3418	3420	3410	
4	3006	3009	3002	3016	2998	3035	3000	3029	
5	2848	2894	2848	2897	2851	2906	2844	2904	
6									
7									
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	5	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	4750,5	7156,8	4956,0	6043,2	5803,3	7144,3	5612,5	7144,2
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,3713	0,46818	0,37988	0,41791	0,41799	0,46607	0,41014	0,46607
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2848	2766	2848	2779	2848	2761	2848	2761
r ²		0,999102	0,999272	0,999134	0,999196	0,999196	0,999270	0,999184	0,999270
Σ(C _{SR} -C _S) ²		49281,08	39085,34	47714,00	44115,66	44579,72	38875,19	44423,55	38875,19
Razão Entre Parâmetros									
K _S /r _{máx.}		12794,2	15286,4	13046,2	14460,5	13883,8	15328,8	13684,4	15328,6
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	0,21	0,00	0,21	0,21	-1,44	-0,62	-1,08	-0,62
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	0,2105	0,1947	0,2038	0,2198	0,1904	0,1937	0,1897	0,1937
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.107: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.108: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **18, 19, 20 e 21** de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	18, 19, 20, 21	Temp. =	25,3	°C	Substr.	DQO	Filtr.	
Batel. =	60, 61, 62 e 63	C _X =	16425	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _S (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	4823							
0	9639	9639	9639	9639	9639	9639	9639	9639
0,25	8860	8556	8626	8333	8621	8556	8626	8626
0,5	7764	7646	7754	7279	7748	7646	7754	7754
1	6453	6238	6356	5739	6352	6238	6356	6356
1,5	5356	5243	5319	4734	5323	5243	5319	5319
2	4403	4540	4550	4079	4564	4540	4550	4550
3	3406	3693	3557	3372	3591	3692	3557	3557
4	3006	3270	3011	3071	3061	3269	3011	3011
5	2848	3058	2710	2943	2773	3058	2711	2711
6								
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	5	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	4,230x10 ⁻⁵	3,640x10 ⁻⁵	5,199x10 ⁻⁵	3,705x10 ⁻⁵	4,231x10 ⁻⁵	3,641x10 ⁻⁵	3,641x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	2848	2343	2848	2429	2848	2344	2848
r ²		0,996794	0,997915	0,986269	0,998031	0,996790	0,997917	0,996790
Σ(C _{Si} -C _S) ²		380068,69	129014,65	1528264,11	137020,12	380068,00	129015,05	380068,00
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,06	-2,27	-3,24	-2,27	-3,06	-2,27	-3,06
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	1,6240	0,6433	6,5301	0,6849	1,6194	0,6419	1,6194
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	não
								sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.108: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.109: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **23, 25 e 26** de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	23, 25 e 26 65, 67 e 68	Temp. = C _X =	26,0 17363	°C mg.L ⁻¹		Substr.	DQO	Total	
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5335								
0	12357	12357	12357	12357	12357	12357	12357	12357	
0,25	11585	11806	11662	11662	11648	11678	11670	11670	
0,5	11005	11263	11001	10998	10978	11027	11014	11014	
1	9942	10206	9792	9774	9760	9821	9809	9809	
1,5	8712	9199	8743	8704	8712	8759	8755	8755	
2	7802	8257	7862	7803	7839	7855	7865	7865	
3	6598	6678	6591	6522	6589	6553	6577	6577	
4	5878	5727	5869	5839	5878	5849	5856	5856	
5	5505	5408	5508	5533	5515	5534	5507	5507	
6	5342	5346	5342	5410	5343	5409	5354	5354	
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 6	0	-	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1387,5	6175,0	4774,0	7051,1	4424,4	5418,2	4424,0	5417,8
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,15308	0,3059	0,27491	0,33271	0,2602	0,28523	0,2602	0,28522
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5335	5214	5335	5201	5335	5246	5335	5246
r ²		0,994510	0,999474	0,999277	0,999393	0,999436	0,999500	0,999436	0,999500
Σ(C _{SR} -C _S) ²		668427,63	33026,10	46935,80	39538,80	36740,77	31862,28	36740,77	31862,28
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		9063,9	20186,3	17365,7	21192,9	17003,8	18995,9	17002,3	18995,2
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,33	-0,32	-1,04	-1,04	-0,82	-0,82	-0,82	-0,82
	Aceitação	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	1,5014	0,0845	0,1051	0,1011	0,0824	0,0816	0,0824	0,0816
	Aceitação	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.109: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.110: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **23, 25 e 26** de concentração de substrato (DQO Total) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil =	23, 25 e 26	Temp. =	26,0	°C	Substr.	DQO	Total	
Batel. =	65, 67 e 68	C _X =	17363	mg.L ⁻¹				
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5335							
0	12357	12357	12357	12357	12357	12357	12357	12357
0,25	11585	11498	11577	11295	11574	11498	11576	11576
0,5	11005	10744	10874	10394	10870	10743	10874	10874
1	9942	9501	9674	8980	9670	9501	9673	9673
1,5	8712	8544	8701	7961	8701	8543	8700	8700
2	7802	7807	7913	7227	7919	7806	7912	7912
3	6598	6801	6758	6317	6778	6801	6758	6758
4	5878	6205	6001	5845	6035	6205	6000	6000
5	5505	5851	5504	5600	5550	5851	5503	5503
6	5342	5641	5178	5472	5235	5641	5177	5641
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	6	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,007x10 ⁻⁵	2,428x10 ⁻⁵	3,776x10 ⁻⁵	2,467x10 ⁻⁵	3,007x10 ⁻⁵	2,429x10 ⁻⁵	2,429x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5335	4556	5335	4644	5335	4556	4556
r ²		0,994766	0,997508	0,980800	0,997581	0,994762	0,997509	0,994762
Σ(C _{Si} -C _s) ²		656255,34	169436,70	2380767,58	176694,36	656254,79	169433,52	656254,79
Testes Estatísticos								
Rand.	Z	-3,21	-2,45	-3,43	-2,49	-3,21	-2,45	-3,21
	Aceitação	não	não	não	não	não	não	não
F	F _{Calc.}	1,4700	0,4331	5,3463	0,4523	1,4719	0,4342	1,4719
	Aceitação	não	sim	não	sim	não	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.110: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.111: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **23, 25 e 26** de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de Monod.

Perfil = Batel. =	23, 25 e 26 65, 67 e 68	Temp. = C _X =	26,0 17363	°C mg.L ⁻¹		Substr.	DQO	Filtr.	
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.	
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]							
0	5030								
0	11883	11883	11883	11883	11883	11883	11883	11883	
0,25	11262	11345	11189	11232	11224	11212	11204	11204	
0,5	10637	10814	10535	10606	10595	10571	10559	10559	
1	9378	9783	9348	9443	9435	9389	9378	9378	
1,5	8268	8802	8331	8412	8417	8354	8352	8352	
2	7510	7886	7486	7529	7553	7480	7490	7490	
3	6243	6354	6274	6243	6287	6228	6251	6251	
4	5592	5429	5577	5541	5563	5549	5555	5555	
5	5213	5108	5215	5226	5203	5238	5212	5212	
6	5038	5043	5038	5101	5042	5110	5057	5057	
7									
Soluções Múltiplas	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	
t Excluídos do Ajuste	-	-	0 e 5	0	-	-	-	-	
Unidade		Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K _S	mg _{DQO} .L ⁻¹	1408,2	7460,1	4084,8	5305,8	4717,3	5793,6	4717,3	5793,5
r _{máx.}	g _{DQO} .g _{STV} ⁻¹ .d ⁻¹	0,1506	0,33926	0,24404	0,27346	0,26651	0,29371	0,26651	0,2937
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5030	4885	5030	4924	5030	4943	5030	4943
r ²		0,993194	0,999736	0,999503	0,999499	0,999662	0,999729	0,999662	0,999729
Σ(C _{Si} -C _S) ²		678523,95	22468,29	34034,41	33561,78	23171,74	18652,34	23171,74	18652,34
Razão Entre Parâmetros									
K _S / r _{máx.}		9350,6	21989,3	16738,2	19402,5	17700,3	19725,6	17700,3	19725,9
Testes Estatísticos									
Rand.	Z	-2,33	-0,32	-1,63	-1,77	-1,77	0,00	-1,77	0,00
	Aceitação	não	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim
F	F _{Calc.}	0,8696	0,0329	0,0434	0,0490	0,0296	0,0272	0,0296	0,0272
	Aceitação	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.111: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de Monod, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

Tabela U.112: Resultados da modelagem matemática da **média** dos perfis temporais **23, 25 e 26** de concentração de substrato (DQO Filtrada) realizado em ASBBR (R3) para obtenção de parâmetros cinéticos, considerando-se cinética de primeira ordem.

Perfil = Batel. =	23, 25 e 26 65, 67 e 68	Temp. = C _X =	26,0 17363	°C mg.L ⁻¹		Substr.	DQO	Filtr.
Ajuste	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Modelo	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Integr.	Difer.	Difer.
Tipo de Ajuste	Não Linear	Não Linear	Linear	Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear	Não Linear
C _{SR}	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre	Fixo	Livre
Software	Origin®	Origin®	Excel®	Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®	VBA-Excel®
Tempo [dias]	Res. Exp. C _{Si} (DQO) [mg.L ⁻¹]	Resultados dos Ajustes dos Modelos Matemáticos C _s (DQO) [mg.L ⁻¹]						
0	5030							
0	11883	11883	11883	11883	11883	11883	11883	11883
0,25	11262	11044	11118	10864	11115	11044	11118	11118
0,5	10637	10307	10430	9997	10426	10307	10430	10430
1	9378	9094	9256	8630	9253	9093	9255	9255
1,5	8268	8159	8306	7640	8307	8159	8306	8306
2	7510	7440	7539	6922	7545	7439	7539	7539
3	6243	6459	6418	6024	6437	6459	6417	6417
4	5592	5877	5685	5552	5717	5877	5685	5685
5	5213	5532	5207	5304	5250	5532	5206	5206
6	5038	5328	4894	5174	4947	5328	4894	4894
7								
Soluções Múltiplas	não	não	não	não	não	não	não	não
t Excluídos do Ajuste	-	-	6	-	-	-	-	-
Unidade	Parâmetros Ajustados à Temperatura Ambiente Média da Batelada							
K ₁	(d.mg _{STV} .L ⁻¹) ⁻¹	3,010x10 ⁻⁵	2,452x10 ⁻⁵	3,707x10 ⁻⁵	2,489x10 ⁻⁵	3,010x10 ⁻⁵	2,453x10 ⁻⁵	2,453x10 ⁻⁵
C _{SR}	mg _{DQO} .L ⁻¹	5030	4305	5030	4386	5030	4305	5030
r ²		0,996375	0,998153	0,985312	0,998270	0,996372	0,998155	0,996372
Σ(C _{Si} -C _s) ²		568164,82	140943,99	1943873,90	147269,44	568164,50	140942,23	568164,50
Testes Estatísticos								
Rand.	Z Aceitação	-3,21 não	-2,49 não	-3,43 não	-2,49 não	-3,21 não	-2,49 não	-3,21 não
F	F _{Calc.} Aceitação	0,7285 sim	0,2066 sim	2,4949 sim	0,2163 sim	0,7294 sim	0,2065 sim	0,7294 sim

NSA = Não se aplica.

Figura U.112: Resultado do ajuste não linear do modelo cinético de primeira ordem, na forma diferencial, programado em Visual Basic® no Excel®; (a) ajuste **g** e (b) ajuste **h**.

APÊNDICE V

Resultados da operação de R4.

Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (Continua)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		1	2	3	4	5	6	7
Tempo de Reação	dias	5	5	5	5	5	5	5
Proporção de Lix.	%	100	100	100	100	100	100	100
Temperatura Mínima	°C	18,0	21,3	15,0	14,9	15,0	15,2	21,9
Temperatura Média	°C	20,1	22,0	18,4	16,0	16,4	18,0	23,9
Temperatura Máxima	°C	21,3	22,7	22,0	17,5	18,9	20,2	25,4
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	5010	5000	4980	5085	4825	4750	4625
Efluente	mg.L ⁻¹	5395	4150	3995	4110	3720	3655	3760
Efic. de Rem.	%	0	17,0	19,8	19,2	22,9	23,1	18,7
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	4820	4705	4690	4975	4650	4625	4255
Efluente	mg.L ⁻¹	3350	3750	3685	3725	3730	3560	3385
Efic. de Rem.	%	30,5	20,3	21,4	25,1	19,8	23,0	20,4
pH								
Afluente	-	8,26	8,16	8,14	8,33	8,27	8,26	8,19
Efluente	-	8,79	8,79	9,06	9,07	9,07	8,96	8,97
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	938	827	708	771	753	797	734
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	363	530	538	567	586	567	586
Efic. de Rem.	%	61,3	35,9	24,1	26,4	22,2	28,8	20,2
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11630	11720	11840	11850	11240	11250	13120
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7650	9680	10380	10790	10130	10140	11660
Remoção	%	34,2	17,4	12,3	8,9	9,9	9,9	11,1
Geração	%	0	0	0	0	0	0	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,97	1,04	-	1,02	-	2,15	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	4,07	3,08	-	2,70	-	2,94	-
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	0	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	0,14	-	0,54	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,13	0,04	-	0,16	-	0,48	-
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	11,1	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,06	0,06	-	0,08	-	0,11	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,06	0,06	-	0,08	-	0,1	-
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	9,1	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,71	0,71	-	0,60	-	0,62	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,98	0,76	-	0,64	-	0,63	-
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	0	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	14,46	11,5	-	14,30	-	16,5	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	127,0	24,88	-	20,26	-	12,46	-
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	24,5	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,13	0,14	-	0,11	-	0,26	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	1,96	0,40	-	0,40	-	0,38	-
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	0	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,09	0,09	-	0,06	-	0,08	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	1,07	0,90	-	0,54	-	0,65	-
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	0	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	ND	ND	-	ND	-	0,37	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	ND	0,10	-	ND	-	0,35	-
Efic. de Rem.	%	0	0	-	0	-	5,4	-

OBS: ND = Não detectado;

Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		1	2	3	4	5	6	7
Carga Orgânica Filtrada								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,612	0,598	0,596	0,632	0,591	0,587	0,540
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,187	0,121	0,128	0,159	0,117	0,135	0,110
Efic. de Rem.	%	30,5	20,3	21,4	25,1	19,8	23,0	20,4
N-Amoniacal								
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2338	2428	2436	2462	2366	2356	2778
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	950	1934	2112	2170	2136	2150	2469
Efic. de Rem.	%	59,4	20,3	13,3	11,9	9,7	8,7	11,1
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	201	459	533	524	519	576	670
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	12925	13399	13328	13534	12504	12400	13964
ST Efl.	mg.L ⁻¹	13682	12868	13153	13153	13162	12518	14070
Efic. de Rem.	%	0	4,0	1,3	2,8	0	0	0
Arraste	%	5,9	0	0	0	5,3	1,0	0,8
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9792	9771	9870	9724	9336	8904	9282
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9880	9715	10164	9925	9132	9260	9360
Efic. de Rem.	%	0	0,6	0	0	2,2	0	0
Arraste	%	0,9	0	3,0	2,1	0	4,0	0,8
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3133	3628	3458	3810	3168	3496	4682
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3802	3153	2989	3228	4030	3258	4710
Efic. de Rem.	%	0	13,1	13,6	15,3	0	6,8	0
Arraste	%	21,4	0	0	0	27,2	0	0,6
SST Afl.	mg.L ⁻¹	368	381	333	379	415	368	353
SST Efl.	mg.L ⁻¹	3547	632	507	628	472	294	418
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	20,1	0
Arraste	%	863,9	65,9	52,3	65,7	13,7	0	18,4
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	126	100	98	104	117,5	124	104
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	1787	224	177	232	171	128	160
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	1318,3	124,0	80,6	123,1	45,5	3,2	53,8
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	241	281	236	275	297,5	244	249
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	1760	408	330	396	301	166	258
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	32,0	0
Arraste	%	630,3	45,2	39,8	44,0	1,2	0	3,6
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	12557	13018	12995	13155	12089	12032	13611
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	10135	12236	12646	12525	12690	12224	13652
Efic. de Rem.	%	19,3	6,0	2,7	4,8	0	0	0
Arraste	%	0	0	0	0	5,0	1,6	0,3
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9666	9671	9772	9620	9219	8780	9178
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	8093	9491	9987	9693	8961	9132	9200
Efic. de Rem.	%	16,3	1,9	0	0	2,8	0	0
Arraste	%	0	0	2,2	0,8	0	4,0	0,2
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	2892	3347	3222	3535	2871	3252	4433
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	2042	2745	2659	2832	3729	3092	4452
Efic. de Rem.	%	29,4	18,0	17,5	19,9	0	4,9	0
Arraste	%	0	0	0	0	29,9	0	0,4

Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (Continuação 2.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		8	9	10	11	12	13	14
Tempo de Reação	dias	5	5	5	5	5	5	5
Proporção de Lix.	%	100	100	100	100	100	100	100
Temperatura Mínima	°C	20,1	19,4	19,6	21,0	22,9	24,4	21,8
Temperatura Média	°C	21,3	19,8	20,0	22,2	24,5	24,8	23,5
Temperatura Máxima	°C	21,8	20,6	20,8	23,5	25,4	25,4	25,0
DQO Total								
Afluente	mg.L ⁻¹	4895	4710	4715	4915	4715	4840	4945
Efluente	mg.L ⁻¹	3780	3740	3530	3625	3570	3360	3795
Efic. de Rem.	%	22,8	20,6	25,1	26,2	24,3	30,6	23,3
DQO Filtrada								
Afluente	mg.L ⁻¹	4270	4250	4315	4200	4275	4305	4520
Efluente	mg.L ⁻¹	3235	3315	3400	3410	3445	3275	3350
Efic. de Rem.	%	24,2	22,0	21,2	18,8	19,4	23,9	25,9
pH								
Afluente	-	8,14	8,19	8,16	8,15	8,16	8,11	8,15
Efluente	-	8,95	9,02	8,98	8,95	8,96	8,94	9,03
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	816	845	790	883	734	569	621
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	623	593	586	586	604	423	488
Efic. de Rem.	%	23,6	29,8	25,8	33,6	17,7	25,7	21,5
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	12940	12900	13120	12960	13100	13020	13380
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11000	10900	11540	10940	11280	10880	10800
Remoção	%	15,0	15,5	12,0	15,6	13,9	16,4	19,3
Geração	%	0	0	0	0	0	0	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,74	-	0,73	-	0,65	-	0,85
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	2,39	-	1,09	-	0,89	-	2,65
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,28	-	0,14	-	0,17	-	0,10
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,32	-	0,15	-	0,12	-	0,13
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	29,4	-	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,06	-	0,04	-	0,07	-	0,06
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,07	-	0,05	-	0,07	-	0,07
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,60	-	0,54	-	0,66	-	0,50
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,67	-	0,57	-	0,57	-	0,57
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	13,6	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	17,36	-	19,40	-	12,37	-	17,64
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	35,08	-	9,42	-	9,76	-	37,88
Efic. de Rem.	%	0	-	51,4	-	21,1	-	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,25	-	0,31	-	0,30	-	0,32
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,70	-	0,30	-	0,28	-	0,89
Efic. de Rem.	%	0	-	3,2	-	6,7	-	0
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,07	-	0,05	-	0,04	-	0,08
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	3,05	-	0,52	-	0,43	-	1,26
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	0,39	-	0,46	-	ND	-	0,56
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	0,69	-	0,16	-	0,06	-	0,90
Efic. de Rem.	%	0	-	65,2	-	0	-	0

OBS: ND = Não detectado;

Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (continuação 2.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada						
		8	9	10	11	12	13	14
Carga Orgânica Filtrada								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,542	0,540	0,548	0,533	0,543	0,547	0,574
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,131	0,119	0,116	0,100	0,105	0,131	0,149
Efic. de Rem.	%	24,2	22,0	21,2	18,8	19,4	23,9	25,9
N-Amoniacal								
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2758	2772	2761	2766	2792	2769	2789
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2428	2411	2439	2304	2408	2206	2080
Efic. de Rem.	%	12,0	13,0	11,7	16,7	13,8	20,3	25,4
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	647	696	698	720	813	743	704
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	15153	14274	13082	12934	13093	13193	13577
ST Efl.	mg.L ⁻¹	13265	12468	12952	12591	13041	12610	13425
Efic. de Rem.	%	12,5	12,7	1,0	2,7	0,4	4,4	1,1
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9348	9410	9482	9505	9724	9691	10031
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9650	9347	9388	9671	9764	9407	10220
Efic. de Rem.	%	0	0,7	1,0	0	0	2,9	0
Arraste	%	3,2	0	0	1,7	0,4	0	1,9
STV Afl.	mg.L ⁻¹	5805	4864	3600	3429	3369	3502	3546
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3615	3121	3564	2920	3277	3203	3205
Efic. de Rem.	%	37,7	35,8	1,0	14,8	2,7	8,5	9,6
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	500	515	696	656	541	621	452
SST Efl.	mg.L ⁻¹	1064	723	317	525	368	300	1183
Efic. de Rem.	%	0	0	54,5	20,0	32,0	51,7	0
Arraste	%	112,8	40,4	0	0	0	0	161,7
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	188	191	278	246	195	262	165
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	535	337	125	204	120	124	617
Efic. de Rem.	%	0	0	55,0	17,1	38,5	52,7	0
Arraste	%	184,6	76,4	0	0	0	0	273,9
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	312	324	419	410	346	359	286
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	530	386	193	321	249	176	566
Efic. de Rem.	%	0	0	53,9	21,7	28,0	51,0	0
Arraste	%	69,9	19,1	0	0	0	0	97,9
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	14653	13759	12386	12278	12552	12572	13125
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	12201	11745	12635	12066	12673	12310	12242
Efic. de Rem.	%	16,7	14,6	0	1,7	0	2,1	6,7
Arraste	%	0	0	2,0	0	1,0	0	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9160	9219	9204	9259	9529	9429	9866
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9115	9010	9263	9467	9644	9283	9603
Efic. de Rem.	%	0,5	2,3	0	0	0	1,5	2,7
Arraste	%	0	0	0,6	2,2	1,2	0	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	5493	4540	3181	3019	3023	3143	3260
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3085	2735	3371	2599	3028	3027	2639
Efic. de Rem.	%	43,8	39,8	0	13,9	0	3,7	19,0
Arraste	%	0	0	6,0	0	0,2	0	0

Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (Continuação 3.1)

Parâmetro	Unidade	Batelada
		15
Tempo de Reação	dias	5
Proporção de Lix.	%	100
Temperatura Mínima	°C	21,9
Temperatura Média	°C	23,9
Temperatura Máxima	°C	25,4
DQO Total		
Afluente	mg.L ⁻¹	4765
Efluente	mg.L ⁻¹	3495
Efic. de Rem.	%	26,7
DQO Filtrada		
Afluente	mg.L ⁻¹	4165
Efluente	mg.L ⁻¹	3380
Efic. de Rem.	%	18,8
pH		
Afluente	-	8,18
Efluente	-	8,97
Ac. Voláteis Totais (titul.)		
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	499
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	387
Efic. de Rem.	%	22,3
Alcalinidade Total		
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	13060
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10420
Remoção	%	20,2
Geração	%	0
Metais		
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-
Efic. de Rem.	%	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-
Efic. de Rem.	%	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-
Efic. de Rem.	%	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-
Efic. de Rem.	%	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-
Efic. de Rem.	%	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-
Efic. de Rem.	%	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-
Efic. de Rem.	%	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-
Efic. de Rem.	%	-

OBS: ND = Não detectado;

Tabela V.1: Resultados experimentais da operação de R4. (continuação 3.2)

Parâmetro	Unidade	Batelada
		15
Carga Orgânica Filtrada		
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,529
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,100
Efic. de Rem.	%	18,8
N-Amoniacal		
Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2803
Efluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2117
Efic. de Rem.	%	24,5
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	746
Sólidos		
ST Afl.	mg.L ⁻¹	13437
ST Efl.	mg.L ⁻¹	13199
Efic. de Rem.	%	1,8
Arraste	%	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9553
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9897
Efic. de Rem.	%	0
Arraste	%	3,6
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3884
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3302
Efic. de Rem.	%	15,0
Arraste	%	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	442
SST Efl.	mg.L ⁻¹	495
Efic. de Rem.	%	0
Arraste	%	12,0
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	169
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	237
Efic. de Rem.	%	0
Arraste	%	40,2
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	273
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	258
Efic. de Rem.	%	5,5
Arraste	%	0
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	12995
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	12704
Efic. de Rem.	%	2,2
Arraste	%	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9384
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9660
Efic. de Rem.	%	0
Arraste	%	2,9
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	3611
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3044
Efic. de Rem.	%	15,7
Arraste	%	0

APÊNDICE W

Resultados gráficos e discussão dos resultados de acompanhamento de sólidos e metais da operação do sistema de lodos ativados (R4).

W.1 - Resultados Gráficos e Discussão dos Resultados de Acompanhamento de Sólidos e Metais da Segunda Etapa de Operação do Sistema de Lodos Ativados (R4)

As Figuras W.1.1, W.1.2 e W.1.3 apresentam respectivamente as concentrações de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis, com suas eficiências de remoção ou arraste. Nota-se, que em nenhum dos casos foi observado uma remoção ou um arraste considerável de sólidos. No caso dos sólidos totais o arraste máximo foi da ordem de 5% nas bateladas 1 e 5, enquanto a máxima eficiência de remoção foi da ordem de 12% nas bateladas 8 e 9. Para os sólidos totais fixos, as variações foram ainda menores, oscilando bastante e ficando sempre abaixo de 5%, tanto para arraste quanto para remoção. A maior variação ocorreu com relação aos sólidos totais voláteis, que apresentaram remoção máxima de quase 40% na batelada 8 e arraste máximo de quase 30% na batelada 5.

Figura W.1.1: (a) Sólidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de ST.

Figura W.1.2: (a) Sólidos totais fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STF.

Figura W.1.3: (a) Sólidos totais voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STV.

As Figuras W.1.4, W.1.5 e W.1.6 apresentam, respectivamente, as concentrações de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, com suas eficiências de remoção ou arraste. Devido à inoculação do reator antes da primeira batelada, pode-se observar que o efluente da primeira batelada apresentou uma concentração muito alta de sólidos suspensos. Com exceção da primeira batelada, no caso dos sólidos suspensos totais o arraste máximo foi superior a 160% na batelada 14, enquanto a máxima eficiência de remoção foi da ordem de 50% nas bateladas 10 e 13. Para os sólidos suspensos fixos, com exceção da primeira batelada, o arraste máximo foi superior a 270% na batelada 14, enquanto a máxima eficiência de remoção foi da ordem de 50% nas bateladas 10 e 13. Com relação aos sólidos suspensos voláteis, a máxima remoção observada da ordem de 50% nas bateladas 10 e 13 e arraste máximo de aproximadamente 100% na batelada 14.

Figura W.1.4: (a) Sólidos suspensos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SST.

Figura W.1.5: (a) Sólidos suspensos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSF.

Figura W.1.6: (a) Sólidos suspensos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSV.

As Figuras W.1.7, W.1.8 e W.1.9 apresentam, respectivamente, as concentrações de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis, com suas eficiências de remoção ou arraste. Nota-se novamente, que em nenhum dos casos foi observado remoção ou arraste considerável de sólidos. No caso dos sólidos dissolvidos totais, o arraste máximo observado foi da ordem de 5% na batelada 5, enquanto as máximas eficiências de remoção foram da ordem de 20% na batelada 1 e de 15% nas bateladas 8 e 9. Para os sólidos dissolvidos fixos, as variações foram ainda menores, oscilando bastante e ficando sempre abaixo de 5%, tanto para arraste quanto para remoção, com exceção da batelada 1, que apresentou remoção superior a 15%. A maior variação ocorreu com relação aos sólidos dissolvidos voláteis, que apresentaram remoção máxima superiores a 40% nas bateladas 8 e 9 e arraste máximo de aproximadamente 30% na batelada 5.

A Figura W.1.10 (a) apresenta as concentrações afluente e efluente de Zinco e a Figura W.1.10 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste. Nota-se, pela figuras, que durante todo o período de operação o sistema apresentou arraste de Zinco, chegando a mais de 300% na batelada 1 e mais de 200% nas bateladas 8 e 14.

(a)

(b)

Figura W.1.7: (a) Sólidos dissolvidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDT.

(a)

(b)

Figura W.1.8: (a) Sólidos dissolvidos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDF.

(a)

(b)

Figura W.1.9: (a) Sólidos dissolvidos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDV.

Figura W.1.10: (a) Zinco afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Zinco.

Na Figura W.1.11 (a) são apresentadas as concentrações de Chumbo no afluyente e no efluente e na Figura W.1.11 (b) são apresentadas as eficiências de remoção ou arraste. De forma geral, as concentrações de Chumbo no efluente foram quase sempre da mesma ordem de grandeza das concentrações no afluyente. A máxima remoção observada foi de aproximadamente 30% na batelada 12 e o máximo arraste observado foi também de aproximadamente 30% na batelada 14.

Figura W.1.11: (a) Chumbo afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Chumbo.

A Figura W.1.12 (a) apresenta as concentrações de Cádmio no afluyente e no efluente e a Figura W.1.12 (b) apresenta as eficiências de remoção ou arraste deste metal. De forma geral, as concentrações de Cádmio no efluente também foram quase sempre da mesma ordem de grandeza das concentrações no afluyente. A máxima remoção observada foi de aproximadamente 10% na batelada 6 e o máximo arraste observado foi de aproximadamente 25% na batelada 10 e, de forma geral, o sistema apresentou mais arraste do que remoção de Cádmio.

Figura W.1.12: (a) Cádmiu afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cádmiu.

Na Figura W.1.13 (a) são apresentadas as concentrações de Níquel no afluente e no efluente e na Figura W.1.13 (b) são apresentadas as eficiências de remoção ou arraste. De forma geral, as concentrações de Níquel no efluente também foram quase sempre da mesma ordem de grandeza das concentrações no afluente. A máxima remoção observada foi de quase 15% na batelada 12 e o máximo arraste observado foi de quase 40% na batelada 1 e de quase 15% na batelada 14. De forma geral, o sistema apresentou mais arraste do que remoção de Níquel durante o período da pesquisa.

Figura W.1.13: (a) Níquel afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Níquel.

A Figura W.1.14 (a) apresenta as concentrações de Ferro no afluente e no efluente e a Figura W.1.14 (b) apresenta as eficiências de remoção ou arraste. A máxima remoção observada foi de aproximadamente 50% na batelada 10 e os máximos arrastes observados foram de quase 800% na batelada 1 e de aproximadamente 100% nas bateladas 8 e 14. De forma geral, o sistema também apresentou mais arraste do que remoção de Ferro.

Figura W.1.14: (a) Ferro afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Ferro.

Na Figura W.1.15 (a) são apresentadas as concentrações de Manganês no afluyente e no efluente e na Figura W.1.15 (b) são apresentadas as eficiências de remoção ou arraste. Durante quase todo o período as concentrações de Manganês no efluente foram superiores às concentrações do afluyente. A máxima remoção observada foi praticamente desprezível na batelada 12. O máximo arraste observado foi de aproximadamente 1.400% na batelada 1 e de quase 300% na batelada 4. Assim, pode-se dizer que, praticamente durante todo o período, o sistema apresentou arraste de Manganês.

Figura W.1.15: (a) Manganês afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Manganês.

A Figura W.1.16 (a) apresentadas as concentrações de Cobre no afluyente e no efluente, e a Figura W.1.16 (b) apresenta as eficiências de remoção ou arraste. Durante tudo o período as concentrações de Cobre no efluente foram superiores às concentrações do afluyente. O máximo arraste observado foi superior a 4.000% na batelada 8 e de quase 1500% na batelada 14. Assim pode-se dizer que durante todo o período, o sistema apresentou um elevado arraste de Cobre.

Figura W.1.16: (a) Cobre afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cobre.

A Figura W.1.17 (a) apresenta as concentrações de Cromo no afluente e no efluente e a Figura W.1.17 (b) apresenta as eficiências de remoção ou arraste. De forma geral, as concentrações de Cromo no efluente não foram tão discrepantes em relação às concentrações do afluente. A máxima remoção observada foi superior a 60% na batelada 10 e os máximos arrastes observados foram de quase 80% na batelada 8 e de aproximadamente 60% na batelada 14.

Figura W.1.17: (a) Cromo afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cromo.

APÊNDICE X

Resultados de medidas temporais de acompanhamento realizadas em R4.

Tabela X.1: Resultados de medidas temporais de acompanhamento realizadas em R4.

Batelada	Parâmetro	Dia					
		0	1	2	3	4	5
01	Temperatura [°C]	18,0	19,0	20,0	21,1	21,1	21,3
	pH	8,26	8,49	8,57	8,65	8,79	8,79
	N-amônia livre*	61	105	129	159	203	201
02	Temperatura [°C]	21,3	22,7	22,7	22,0	21,5	22,0
	pH	8,16	8,54	8,6	8,72	8,82	8,79
	N-amônia livre*	144	333	359	413	459	426
03	Temperatura [°C]	22,0	20,7	19,0	17,5	15,0	16,0
	pH	8,14	8,58	8,64	8,72	9,02	9,06
	N-amônia livre*	145	324	319	330	484	533
04	Temperatura [°C]	15,8	16,2	16,0	17,5	15,6	14,9
	pH	8,33	8,74	8,86	8,92	9,03	9,07
	N-amônia livre*	144	339	412	492	522	524
05	Temperatura [°C]	15,0	18,0	18,9	18,0	15,7	15,0
	pH	8,27	8,72	8,82	8,9	9	9,07
	N-amônia livre*	114	353	442	475	487	518
06	Temperatura [°C]	15,2	16,0	17,8	19,1	19,9	20,2
	pH	8,26	8,73	8,8	8,84	8,92	8,96
	N-amônia livre*	113	316	398	455	540	576
07	Temperatura [°C]	20,4	20,4	20,0	19,8	20,0	20,1
	pH	8,19	8,7	8,83	8,88	8,91	8,97
	N-amônia livre*	165	461	560	592	616	670
08	Temperatura [°C]	20,3	21,7	21,8	21,7	21,6	20,4
	pH	8,14	8,68	8,82	8,85	8,89	8,95
	N-amônia livre*	146	475	603	616	640	647
09	Temperatura [°C]	20,6	19,7	19,7	19,4	19,4	19,7
	pH	8,19	8,7	8,8	8,85	8,97	9,02
	N-amônia livre*	167	439	516	540	648	696
10	Temperatura [°C]	19,9	19,6	20,0	19,7	19,9	20,8
	pH	8,16	8,74	8,83	8,88	8,94	8,98
	N-amônia livre*	148	470	556	583	638	698
11	Temperatura [°C]	21,6	21,0	22,1	22,5	22,7	23,5
	pH	8,15	8,67	8,74	8,84	8,91	8,95
	N-amônia livre*	163	444	522	615	674	720
12	Temperatura [°C]	22,9	24,8	25,4	24,8	24,8	24,8
	pH	8,16	8,66	8,75	8,86	8,92	8,96
	N-amônia livre*	184	542	626	694	764	813
13	Temperatura [°C]	24,7	24,6	24,6	25,2	24,4	25,4
	pH	8,11	8,67	8,8	8,87	8,91	8,94
	N-amônia livre*	185	544	656	727	711	743
14	Temperatura [°C]	25,0	24,3	23,9	23,5	22,2	21,8
	pH	8,15	8,65	8,83	8,92	8,99	9,03
	N-amônia livre*	207	514	656	704	694	678
15	Temperatura [°C]	21,9	22,5	23,5	24,5	25,3	25,4
	pH	8,18	8,73	8,84	8,91	8,92	8,97
	N-amônia livre*	180	541	659	736	733	746
Média	Temperatura [°C]	20,3	20,7	21,0	21,1	20,6	20,8
	pH**	8,19	8,66	8,76	8,83	8,92	8,96
	N-amônia livre*	151	413	494	542	587	613

* N-amônia livre em mg NH₃-N.L⁻¹; ** pH médio calculado a partir das concentrações de H⁺.

APÊNDICE Y

Resultados da Operação de R5.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (Continua)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		0	1	4	7	14	21	28
θ_h Médio (Vol. Líquido)	dia	1,09	1,51	1,03	1,16	1,23	0,68	0,97
Vazão Média	L/h	2,67	1,93	2,82	2,51	2,38	4,27	3,02
Veloc. Ascensional Média	cm.s ⁻¹	0,0265	0,0192	0,0280	0,0249	0,0236	0,0424	0,0300
Temperatura Média*	°C	32,4	32,6	30,9	26,7	31,5	31,7	23,7
Produção de Gás Média*	L.h ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
DQO Total**								
Afluente	mg.L ⁻¹	10525	10525	9705	8780	6105	10180	7530
Efluente	mg.L ⁻¹	6880	8895	8931	8185	5840	8965	6915
Efic. de Rem.	%	34,6	15,5	8,0	6,8	4,3	11,9	8,2
DQO Filtrada**								
Afluente	mg.L ⁻¹	8510	8510	7725	7545	5885	9925	7370
Efluente	mg.L ⁻¹	5150	6715	6530	6570	5335	7845	6460
Efic. de Rem.	%	39,5	21,1	15,5	12,9	9,3	21,0	12,3
pH								
Afluente	-	7,61	7,61	7,20	7,21	7,98	7,78	8,20
Efluente	-	7,57	7,38	7,42	7,46	7,95	7,76	8,17
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1576	3927	3912	4579	2577	4616	3170
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7650	7650	6222	6188	8160	9248	9486
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	4250	5236	5848	6086	7616	8976	9282
Remoção	%	44,4	31,6	6,0	1,6	6,7	2,9	2,2
Geração	%	0	0	0	0	0	0	0
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,49	0,49	-	0,17	-	0,16	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,60	-	0,60	-	0,75	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,05	0,05	-	0,07	-	0,16	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,04	-	0,13	-	0,20	-
Efic. de Rem.	%	-	20,0	-	0	-	0	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,03	0,03	-	0,04	-	0,09	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,03	-	0,05	-	0,09	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,68	0,68	-	0,30	-	0,88	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,45	-	0,50	-	0,98	-
Efic. de Rem.	%	-	33,8	-	0	-	0	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	26,45	26,45	-	12,96	-	19,76	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	42,20	-	51,10	-	67,17	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	1,11	1,11	-	1,15	-	0,34	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	2,02	-	1,61	-	1,23	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,09	0,09	-	0,02	-	0,05	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,05	-	0,15	-	0,28	-
Efic. de Rem.	%	-	44,4	-	0	-	0	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	0,11	0,11	-	0,10	-	0,20	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,01	-	0,07	-	0,43	-
Efic. de Rem.	%	-	90,9	-	30,0	-	0	-

ND = Não detectado; * Medida entre 17:30 e 18:00 horas; ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 1)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		0	1	4	7	14	21	28
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.m ⁻³ .d ⁻¹	7,79	5,63	7,47	6,49	4,80	14,53	7,63
Removida	kg DQO.m ⁻³ .d ⁻¹	3,08	1,19	1,16	0,84	0,45	3,05	0,94
Efic. de Rem.	%	39,5	21,1	15,5	12,9	9,3	21,0	12,3
N-Amoniacal Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1200	1200	-	1216	-	1686	-
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	41	27	-	24	-	154	-
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	10951	10951	11920	10936	11911	14768	13958
ST Efl.	mg.L ⁻¹	10954	11192	11405	11075	11107	14667	13362
Efic. de Rem.	%	0	0	4,3	0	6,8	0,7	4,3
Arraste	%	0	2,2	0	1,3	0	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	6277	6277	6182	6183	7286	8988	8432
STF Efl.	mg.L ⁻¹	7083	6902	6722	6022	7105	9018	8245
Efic. de Rem.	%	0	0	0	2,6	2,5	0	2,2
Arraste	%	12,8	10,0	8,7	0	0	0,3	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	4674	4674	5738	4753	4625	5780	5526
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3871	4290	4683	5053	4002	5649	5117
Efic. de Rem.	%	17,2	8,2	18,4	0	13,5	2,3	7,4
Arraste	%	0	0	0	6,3	0	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	663	663	341	268	187	352	328
SST Efl.	mg.L ⁻¹	452	591	1770	1232	767	1768	668
Efic. de Rem.	%	31,8	10,9	-419,1	0	0	0	0
Arraste	%	0	0	0	359,7	310,2	402,3	103,7
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	198	198	81	58	41	96	88
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	123	197	680	472	251	784	230
Efic. de Rem.	%	37,9	0,5	0	0	0	0	0
Arraste	%	0	0	739,5	713,8	512,2	716,7	161,4
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	465	465	261	210	146	256	240
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	328	394	1090	760	516	984	438
Efic. de Rem.	%	29,5	15,3	0	0	0	0	0
Arraste	%	0	0	317,6	261,9	253,4	284,4	82,5
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	10288	10288	11579	10668	11724	14416	13630
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	10502	10601	9635	9843	10340	12899	12694
Efic. de Rem.	%	0	0	16,8	7,7	11,8	10,5	6,9
Arraste	%	2,1	3,0	0	0	0	0	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	6079	6079	6101	6125	7245	8892	8344
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	6960	6705	6042	5550	6854	8234	8015
Efic. de Rem.	%	0	0	1,0	9,4	5,4	7,4	3,9
Arraste	%	14,5	10,3	0	0	0	0	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	4209	4209	5477	4543	4479	5524	5286
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3543	3896	3593	4293	3486	4665	4679
Efic. de Rem.	%	15,8	7,4	34,4	5,5	22,2	15,6	11,5
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-

** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 2.1)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		35	42	49	56	63	70	77
θ_h Médio (Vol. Líquido)	dia	1,11	0,99	0,92	2,63	1,72	1,92	1,79
Vazão Média	L/h	2,62	2,94	3,16	1,11	1,70	1,52	1,63
Veloc. Ascensional Média	cm.s ⁻¹	0,0260	0,0292	0,0314	0,0110	0,0169	0,0151	0,0162
Temperatura Média*	°C	31,3	32,1	29,1	29,1	29,5	28,7	24,2
Produção de Gás Média*	L.h ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-
DQO Total**								
Afluente	mg.L ⁻¹	6960	7640	9400	10850	8200	7550	8805
Efluente	mg.L ⁻¹	6500	6990	7635	6565	5285	5735	5915
Efic. de Rem.	%	6,6	8,5	18,8	39,5	35,5	24,0	32,8
DQO Filtrada**								
Afluente	mg.L ⁻¹	6705	7335	9105	10600	7875	7240	8110
Efluente	mg.L ⁻¹	5695	5490	7035	5995	4823	5295	5090
Efic. de Rem.	%	15,1	25,2	22,7	43,4	38,8	26,9	37,2
pH								
Afluente	-	8,12	8,17	8,27	7,94	7,93	8,14	7,71
Efluente	-	8,26	8,24	8,26	8,08	8,20	8,23	8,19
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	-	-	-	-	-	3248	4010
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1168	1724	2688	1279	834	1019	1093
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	-	73,4	77,4
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10129	9296	10429	10929	11420	11420	11290
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9629	9463	10196	11395	11950	11690	12020
Remoção	%	4,9	0	2,2	0	0	0	0
Geração	%	0	1,8	0	4,3	4,6	2,4	6,5
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,32	-	0,41	-	0,84	-	1,03
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	0,89	-	1,33	-	1,02	-	0,91
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	11,7
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,31	-	0,30	-	0,24	-	0,23
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,37	-	0,44	-	0,24	-	0,27
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,10	-	0,11	-	0,05	-	0,06
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,13	-	0,12	-	0,04	-	0,06
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,47	-	0,54	-	0,59	-	0,78
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,60	-	0,63	-	0,62	-	0,80
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	18,40	-	10,05	-	12,20	-	7,65
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	52,88	-	72,10	-	24,38	-	12,15
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,76	-	0,37	-	0,26	-	0,20
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,89	-	1,05	-	0,42	-	0,20
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,07	-	0,08	-	0,09	-	0,06
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,18	-	0,25	-	0,13	-	0,09
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	ND	-	0,09	-	0,13	-	0,22
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	0,17	-	0,45	-	0,29	-	0,36
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0

ND = Não detectado; * Medida entre 17:30 e 18:00 horas; ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 2.2)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		35	42	49	56	63	70	77
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	6,02	7,39	9,86	4,03	4,59	3,77	4,53
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,91	1,86	2,24	1,75	1,78	1,01	1,69
Efic. de Rem.	%	15,1	25,2	22,7	43,4	38,8	26,9	37,2
N-Amoniacal Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	1794	-	2096	-	2345	-	2410
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	288	-	269	-	251	-	201
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	12295	12689	16345	17607	14754	14450	16243
ST Efl.	mg.L ⁻¹	12598	14959	14230	13923	13383	18357	18733
Efic. de Rem.	%	0	0	12,9	20,9	9,3	0	0
Arraste	%	2,5	17,9	0	0	0	27,0	15,3
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9003	8942	9829	10472	9589	9815	9602
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9256	9641	10073	11007	9542	10048	9669
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0,5	0	0
Arraste	%	2,8	7,8	2,5	5,1	0	2,4	0,7
STV Afl.	mg.L ⁻¹	3292	3747	6516	7135	5165	4635	6641
STV Efl.	mg.L ⁻¹	3342	5318	4157	2916	3841	8309	9064
Efic. de Rem.	%	0	0	36,2	59,1	25,6	0	0
Arraste	%	1,5	41,9	0	0	0	79,3	36,5
SST Afl.	mg.L ⁻¹	190	306	249	382	370	314	432,5
SST Efl.	mg.L ⁻¹	1362	2095	1800	818	805	617	500
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	616,8	584,6	622,9	114,1	117,6	96,5	15,6
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	46	60	67	94	66	94	80
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	532	1400	845	316	314	276	142,5
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	1056,5	2233,3	1161,2	236,2	375,8	193,6	78,1
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	144	246	181	288	304	220	352,5
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	830	695	955	502	491	341	357,5
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	476,4	182,5	427,6	74,3	61,5	55,0	1,4
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	12105	12383	16096	17225	14384	14136	15811
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	11236	12864	12430	13105	12578	17740	18233
Efic. de Rem.	%	7,2	0	22,8	23,9	12,6	0	0
Arraste	%	0	3,9	0	0	0	25,5	15,3
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	8957	8882	9762	10378	9523	9721	9522
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	8724	8241	9228	10691	9228	9772	9527
Efic. de Rem.	%	2,6	7,2	5,5	0	3,1	0	0
Arraste	%	0	0	0	3,0	0	0,5	0,1
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	3148	3501	6335	6847	4861	4415	6289
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	2512	4623	3202	2414	3350	7968	8707
Efic. de Rem.	%	20,2	0	49,5	64,7	31,1	0	0
Arraste	%	0	32,0	0	0	0	80,5	38,4
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-

** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 3.1)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		84	91	98	105	112	119	126
θ_h Médio (Vol. Líquido)	dia	2,63	2,28	2,14	2,03	1,91	2,04	4,86
Vazão Média	L/h	1,11	1,28	1,36	1,44	1,53	1,43	0,60
Veloc. Ascensional Média	cm.s ⁻¹	0,0110	0,0127	0,0135	0,0143	0,0152	0,0142	0,0060
Temperatura Média*	°C	27,4	20,2	22,0	21,9	26,4	26,3	26,2
Produção de Gás Média*	L.h ⁻¹	-	-	-	3,25	4,54	3,31	0,97
DQO Total**								
Afluente	mg.L ⁻¹	8850	10205	9020	8590	10030	8615	9030
Efluente	mg.L ⁻¹	5740	6840	5685	5325	5520	5175	5090
Efic. de Rem.	%	35,1	33,0	37,0	38,0	45,0	39,9	43,6
DQO Filtrada**								
Afluente	mg.L ⁻¹	8570	9895	8760	8570	9555	8170	8600
Efluente	mg.L ⁻¹	5310	6280	5495	5005	5165	4870	5100
Efic. de Rem.	%	38,0	36,5	37,3	41,6	45,9	40,4	40,7
pH								
Afluente	-	7,95	7,82	8,14	7,89	7,58	7,93	8,23
Efluente	-	8,18	8,08	8,25	8,15	8,14	8,17	7,96
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	3430	5618	4116	4802	6174	5006	574
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	782	1576	938	778	927	686	2877
Efic. de Rem.	%	77,2	72,0	77,2	83,8	85,0	86,3	0,0
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11550	11420	10540	11820	11500	11760	12840
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	12050	12180	11370	12540	12780	12700	12900
Remoção	%	0	0	0	0	0	0	0
Geração	%	4,3	6,7	7,9	6,1	11,1	8,0	0,5
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,81	-	1,67	-	2,00	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	1,06	-	1,48	-	1,76	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	11,4	-	12,0	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	ND	-	0,50	-	0,51	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	ND	-	0,40	-	0,56	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	20,0	-	0	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,05	-	0,11	-	0,14	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,06	-	0,11	-	0,11	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	21,4	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,65	-	0,53	-	0,60	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,76	-	0,51	-	0,59	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	3,8	-	1,7	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	12,43	-	5,98	-	7,06	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	23,40	-	14,90	-	13,42	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,15	-	0,16	-	0,17	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,28	-	0,22	-	0,16	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	5,9	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,07	-	0,04	-	0,05	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,11	-	0,08	-	0,05	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	ND	-	ND	-	ND	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	ND	-	0,09	-	0,14	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-

ND = Não detectado; * Medida entre 17:30 e 18:00 horas; ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 3.2)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		84	91	98	105	112	119	126
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	3,26	4,34	4,08	4,23	5,01	4,01	1,77
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	1,24	1,59	1,52	1,76	2,30	1,62	0,72
Efic. de Rem.	%	38,0	36,5	37,3	41,6	45,9	40,4	40,7
N-Amoniacal Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	2505	-	2752	-	2789	-
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	163	-	194	-	234	-
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	14772	15612	14018	14496	17191	19838	12321
ST Efl.	mg.L ⁻¹	14931	14538	12912	12728	12672	12692	12995
Efic. de Rem.	%	0	6,9	7,9	12,2	26,3	36,0	0
Arraste	%	1,1	0	0	0	0	0	5,5
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9858	10129	9319	9032	9333	9107	9508
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9794	9943	9329	9018	9195	8937	9269
Efic. de Rem.	%	0,6	1,8	0	0,2	1,5	1,9	2,5
Arraste	%	0	0	0,1	0	0	0	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	4914	5483	4699	5464	7858	10731	2813
STV Efl.	mg.L ⁻¹	5137	4595	3583	3710	3477	3755	3726
Efic. de Rem.	%	0	16,2	23,7	32,1	55,8	65,0	0
Arraste	%	4,5	0	0	0	0	0	32,5
SST Afl.	mg.L ⁻¹	308	395	511	457	538	631	246
SST Efl.	mg.L ⁻¹	597	762	708	546	633	450	290
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	28,7	0
Arraste	%	93,8	92,9	38,6	19,5	17,7	0	17,9
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	82	86	107	89	121	156	52
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	197	227	217	179	204	119	64
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	23,9	0
Arraste	%	140,2	164,0	102,8	101,1	68,6	0	23,1
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	226	308	404	368	417	475	194
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	400	535	492	368	429	331	226
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	30,3	0
Arraste	%	77,0	73,7	21,8	0	2,9	0	16,5
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	14464	15217	13507	14039	16653	19207	12075
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	14334	13776	12204	12182	12039	12242	12705
Efic. de Rem.	%	0,9	9,5	9,6	13,2	27,7	36,3	0
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	5,2
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9776	10043	9212	8943	9212	8951	9456
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9597	9716	9112	8839	8991	8818	9205
Efic. de Rem.	%	1,8	3,3	1,1	1,2	2,4	1,5	2,7
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	4688	5175	4295	5096	7441	10256	2619
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	4737	4060	3091	3342	3048	3424	3500
Efic. de Rem.	%	0	21,5	28,0	34,4	59,0	66,6	0
Arraste	%	1,0	0	0	0	0	0	33,6
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-

** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 4.1)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		133	140	147	154	161	168	175
θ_h Médio (Vol. Líquido)	dia	5,61	6,63	3,89	4,17	7,88	3,43	1,54
Vazão Média	L/h	0,52	0,44	0,75	0,70	0,37	0,85	1,89
Veloc. Ascensional Média	cm.s ⁻¹	0,0052	0,0044	0,0074	0,0069	0,0037	0,0084	0,0188
Temperatura Média*	°C	26,9	23,4	21,6	18,1	21,8	27,2	28,6
Produção de Gás Média*	L.h ⁻¹	1,44	2,51	3,01	2,40	1,63	3,17	9,05
DQO Total**								
Afluente	mg.L ⁻¹	8200	12300	10795	11740	11135	9930	15965
Efluente	mg.L ⁻¹	4820	5370	5175	6015	5215	5415	8685
Efic. de Rem.	%	41,2	56,3	52,1	48,8	53,2	45,5	45,6
DQO Filtrada**								
Afluente	mg.L ⁻¹	8010	11630	10665	11420	10935	9955	15330
Efluente	mg.L ⁻¹	4470	5195	4850	5790	5110	5145	7525
Efic. de Rem.	%	44,2	55,3	54,5	49,3	53,3	48,3	50,9
pH								
Afluente	-	7,85	7,48	7,83	7,93	7,83	7,35	6,82
Efluente	-	8,05	8,18	8,14	8,13	8,19	8,13	8,05
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	4259	8071	6619	6884	6231	6270	10987
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	719	1247	895	1388	543	865	3519
Efic. de Rem.	%	83,1	84,5	86,5	79,8	91,3	86,2	68,0
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	11600	10900	11200	11420	11580	9960	7500
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	12760	12700	12740	13000	13120	11400	9490
Remoção	%	0	0	0	0	0	0	0
Geração	%	10,0	16,5	13,8	13,8	13,3	14,5	26,5
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,43	-	0,62	-	0,54	-	0,86
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	0,42	-	0,47	-	0,52	-	1,02
Efic. de Rem.	%	2,3	-	24,2	-	3,7	-	0
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	ND	-	ND	-	0,29	-	0,20
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	ND	-	ND	-	0,31	-	0,27
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	0	-	0
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	ND	-	ND	-	0,09	-	0,12
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	ND	-	ND	-	0,09	-	0,13
Efic. de Rem.	%	-	-	-	-	0	-	0
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,31	-	0,33	-	0,48	-	0,57
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,34	-	0,31	-	0,50	-	0,61
Efic. de Rem.	%	0	-	6,1	-	0	-	0
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	5,16	-	6,81	-	6,79	-	5,63
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	6,20	-	5,56	-	8,27	-	16,58
Efic. de Rem.	%	0	-	18,4	-	0	-	0
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,09	-	0,13	-	0,16	-	0,28
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,08	-	0,13	-	0,14	-	0,34
Efic. de Rem.	%	11,1	-	0	-	12,5	-	0
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,05	-	0,05	-	0,05	-	0,01
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,06	-	0,05	-	0,05	-	0,11
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	-	0
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	0,45	-	0,47	-	0,40	-	0,08
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	0,53	-	0,56	-	0,38	-	0,20
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	5,0	-	0

ND = Não detectado; * Medida entre 17:30 e 18:00 horas; ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 4.2)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		133	140	147	154	161	168	175
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	1,43	1,75	2,74	2,74	1,39	2,90	9,93
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	0,63	0,97	1,50	1,35	0,74	1,40	5,06
Efic. de Rem.	%	44,2	55,3	54,5	49,3	53,3	48,3	50,9
N-Amoniacal Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2747	-	2822	-	2867	-	2483
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	172	-	229	-	247	-	187
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	14887	24105	20129	15947	15386	13616	20166
ST Efl.	mg.L ⁻¹	14780	15389	15376	13088	14286	11236	14014
Efic. de Rem.	%	0,7	36,2	23,6	17,9	7,1	17,5	30,5
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	9484	9434	9522	9495	9394	8346	8880
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9355	9371	9580	9416	9577	8430	8774
Efic. de Rem.	%	1,4	0,7	0	0,8	0	0	1,2
Arraste	%	0	0	0,6	0	1,9	1,0	0
STV Afl.	mg.L ⁻¹	5403	14671	10607	6452	5992	5270	11286
STV Efl.	mg.L ⁻¹	5425	6018	5796	3672	4709	2806	5240
Efic. de Rem.	%	0	59,0	45,4	43,1	21,4	46,8	53,6
Arraste	%	0,4	0	0	0	0	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	266	336	264	300	276	248	483
SST Efl.	mg.L ⁻¹	256	284	256	262	268	234	869
Efic. de Rem.	%	3,8	15,5	3,0	12,7	2,9	5,6	0
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	79,9
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	64	68	56	34	58	52	107
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	62	70	64	58	82	60	261
Efic. de Rem.	%	3,1	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	0	2,9	14,3	70,6	41,4	15,4	145,0
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	202	268	208	266	218	196	377
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	194	214	192	204	186	174	608
Efic. de Rem.	%	4,0	20,1	7,7	23,3	14,7	11,2	0
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	61,4
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	14621	23769	19865	15647	15110	13368	19683
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	14524	15105	15120	12826	14018	11002	13145
Efic. de Rem.	%	0,7	36,5	23,9	18,0	7,2	17,7	33,2
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	9420	9366	9466	9461	9336	8294	8773
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9293	9301	9516	9358	9495	8370	8513
Efic. de Rem.	%	1,3	0,7	0	1,1	0	0	3,0
Arraste	%	0	0	0,5	0	1,7	0,9	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	5201	14403	10399	6186	5774	5074	10909
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	5231	5804	5604	3468	4523	2632	4632
Efic. de Rem.	%	0	59,7	46,1	43,9	21,7	48,1	57,5
Arraste	%	0,6	0	0	0	0	0	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-

** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 5.1)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		182	189	196	203	210	217	224
θ_h Médio (Vol. Líquido)	dia	2,35	2,21	1,78	1,64	2,23	1,76	2,01
Vazão Média	L/h	1,24	1,32	1,64	1,78	1,31	1,66	1,45
Veloc. Ascensional Média	cm.s ⁻¹	0,0123	0,0131	0,0163	0,0177	0,0130	0,0165	0,0144
Temperatura Média*	°C	29,5	26,7	30,0	29,4	31,5	26,1	32,3
Produção de Gás Média*	L.h ⁻¹	10,27	11,64	10,95	> 13,65	> 13,65	> 13,65	> 13,65
DQO Total**								
Afluente	mg.L ⁻¹	20080	21505	20305	23605	23550	23080	23335
Efluente	mg.L ⁻¹	7170	6660	7325	9465	6760	8990	6745
Efic. de Rem.	%	64,3	69,0	63,9	59,9	71,3	61,0	71,1
DQO Filtrada**								
Afluente	mg.L ⁻¹	18630	19975	18405	21965	22360	22000	21775
Efluente	mg.L ⁻¹	5965	5460	6370	7880	5770	7875	5505
Efic. de Rem.	%	68,0	72,7	65,4	64,1	74,2	64,2	74,7
pH								
Afluente	-	6,21	6,01	6,25	5,98	6,47	5,94	5,96
Efluente	-	8,12	8,08	8,07	7,97	8,08	8,08	8,02
Ac. Voláteis Totais (titul.)								
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	15532	14968	14510	15960	15760	16511	16678
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	1757	771	1687	3578	958	3161	908
Efic. de Rem.	%	88,7	94,9	88,4	77,6	93,9	80,9	94,6
Alcalinidade Total								
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	6840	6940	7220	6800	6940	7320	7360
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10150	10810	10950	10570	11090	10760	11380
Remoção	%	0	0	0	0	0	0	0
Geração	%	48,4	55,8	51,7	55,4	59,8	47,0	54,6
Metais								
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,89	-	1,02	-	1,06	-
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	-	1,43	-	1,52	-	1,36	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,21	-	0,22	-	0,26	-
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,25	-	0,32	-	0,29	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,13	-	0,14	-	0,14	-
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,14	-	0,15	-	0,16	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,60	-	0,64	-	0,65	-
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,63	-	0,67	-	0,72	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	-	6,71	-	6,86	-	7,57	-
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	-	31,97	-	50,30	-	40,42	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,30	-	0,20	-	0,18	-
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,76	-	0,84	-	0,62	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,02	-	0,03	-	0,02	-
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,23	-	0,24	-	0,18	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	-	0,04	-	0,25	-	0,26	-
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	-	0,36	-	0,58	-	0,56	-
Efic. de Rem.	%	-	0	-	0	-	0	-

ND = Não detectado; * Medida entre 17:30 e 18:00 horas; ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 5.2)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		182	189	196	203	210	217	224
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	7,92	9,04	10,35	13,40	10,04	12,52	10,83
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	5,38	6,57	6,77	8,60	7,45	8,04	8,09
Efic. de Rem.	%	68,0	72,7	65,4	64,1	74,2	64,2	74,7
N-Amoniacal Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	2541	-	2505	-	2530	-
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	255	-	176	-	232	-
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	26974	23218	25558	32438	32644	32858	34644
ST Efl.	mg.L ⁻¹	13964	13694	14460	15310	14006	15750	15456
Efic. de Rem.	%	48,2	41,0	43,4	52,8	57,1	52,1	55,4
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
STF Afl.	mg.L ⁻¹	8922	9054	8972	9420	9208	9040	9636
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9244	9386	9170	9642	9656	9718	9772
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	3,6	3,7	2,2	2,4	4,9	7,5	1,4
STV Afl.	mg.L ⁻¹	18052	14164	16586	23018	23436	23818	25008
STV Efl.	mg.L ⁻¹	4720	4308	5290	5668	4350	6032	5684
Efic. de Rem.	%	73,9	69,6	68,1	75,4	81,4	74,7	77,3
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SST Afl.	mg.L ⁻¹	694	585	500	470	442	488	539
SST Efl.	mg.L ⁻¹	1672	1552	1260	1367	902	1017	956
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	140,8	165,5	152,0	190,8	104,2	108,4	77,4
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	156	127	110	95	101	89	92
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	544	567	480	587	358	376	377
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	249,7	346,2	334,5	517,5	252,9	320,1	309,1
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	539	458	390	375	340	398	446
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	1128	985	780	780	544	641	578
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0	0	0
Arraste	%	109,3	115,3	100,3	108,0	59,9	60,9	29,6
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	26280	22633	25058	31968	32202	32370	34105
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	12292	12142	13200	13943	13104	14733	14500
Efic. de Rem.	%	53,2	46,4	47,3	56,4	59,3	54,5	57,5
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	8766	8927	8862	9325	9107	8951	9544
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	8700	8819	8690	9055	9298	9342	9395
Efic. de Rem.	%	0,8	1,2	1,9	2,9	0	0	1,6
Arraste	%	0	0	0	0	2,1	4,4	0
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	17513	13706	16196	22643	23096	23420	24562
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3592	3323	4510	4888	3806	5391	5106
Efic. de Rem.	%	79,5	75,8	72,2	78,4	83,5	77,0	79,2
Arraste	%	0	0	0	0	0	0	0
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Afl.	-	-	-	-	-	-	-	-
STV/ST Efl.	-	-	-	-	-	-	-	-

** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 6.1)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]					
		231	238	245	252	259	266 273
θ_h Médio (Vol. Líquido)	dia	2,13	1,80	1,89	1,59	1,94	
Vazão Média	L/h	1,37	1,62	1,54	1,84	1,50	
Veloc. Ascensional Média	cm.s ⁻¹	0,0136	0,0161	0,0153	0,0183	0,0149	
Temperatura Média*	°C	32,0	31,1	22,4	30,7	24,7	
Produção de Gás Média*	L.h ⁻¹	> 13,65	> 13,65	> 13,65	> 13,65	> 13,65	
DQO Total**							
Afluente	mg.L ⁻¹	23500	23775	22245	23565	22810	
Efluente	mg.L ⁻¹	6475	6905	7180	6710	7330	
Efic. de Rem.	%	72,4	71,0	67,7	71,5	67,9	
DQO Filtrada**							
Afluente	mg.L ⁻¹	21975	23100	20770	22865	21840	
Efluente	mg.L ⁻¹	5725	6515	6450	6105	6910	
Efic. de Rem.	%	73,9	71,8	68,9	73,3	68,4	
pH							
Afluente	-	6,14	5,98	6,84	6,54	6,42	
Efluente	-	8,05	8,02	8,10	7,99	8,05	
Ac. Voláteis Totais (titul.)							
Afluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	14813	15215	13594	15849	14323	
Efluente	mg Ac.Acét..L ⁻¹	700	1440	947	1067	1346	
Efic. de Rem.	%	95,3	90,5	93,0	93,3	90,6	
Alcalinidade Total							
Afluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7030	6750	7410	6940	7220	
Efluente	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10710	10760	11330	10570	10630	
Remoção	%	0	0	0	0	0	
Geração	%	52,3	59,4	52,9	52,3	47,2	
Metais							
Zinco Afl.	mg.L ⁻¹	0,71	-	0,67	-	1,02	
Zinco Efl.	mg.L ⁻¹	0,85	-	0,92	-	1,34	
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	
Chumbo Afl.	mg.L ⁻¹	0,32	-	0,29	-	0,23	
Chumbo Efl.	mg.L ⁻¹	0,31	-	0,33	-	0,30	
Efic. de Rem.	%	3,1	-	0	-	0	
Cádmio Afl.	mg.L ⁻¹	0,06	-	0,07	-	0,16	
Cádmio Efl.	mg.L ⁻¹	0,06	-	0,07	-	0,17	
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	
Níquel Afl.	mg.L ⁻¹	0,63	-	0,65	-	0,64	
Níquel Efl.	mg.L ⁻¹	0,60	-	0,62	-	0,69	
Efic. de Rem.	%	4,8	-	4,6	-	0	
Ferro Afl.	mg.L ⁻¹	6,97	-	6,83	-	6,85	
Ferro Efl.	mg.L ⁻¹	20,87	-	25,88	-	29,33	
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	
Manganês Afl.	mg.L ⁻¹	0,24	-	0,20	-	0,21	
Manganês Efl.	mg.L ⁻¹	0,39	-	0,42	-	0,77	
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	
Cobre Afl.	mg.L ⁻¹	0,06	-	0,07	-	0,03	
Cobre Efl.	mg.L ⁻¹	0,14	-	0,15	-	0,17	
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	
Cromo Afl.	mg.L ⁻¹	0,54	-	0,49	-	0,45	
Cromo Efl.	mg.L ⁻¹	1,00	-	0,96	-	0,92	
Efic. de Rem.	%	0	-	0	-	0	

ND = Não detectado; * Medida entre 17:30 e 18:00 horas; ** Considerando-se o etanol adicionado.

Tabela Y.1: Resultados experimentais da operação do filtro biológico R5. (continuação 6.2)

Parâmetro	Unidade	Tempo [dias]						
		231	238	245	252	259	266	273
Carga Orgânica Filtr.**								
Aplicada	kg DQO.Bat. ⁻¹	10,32	12,83	10,97	14,42	11,23		
Removida	kg DQO.Bat. ⁻¹	7,63	9,21	7,56	10,57	7,68		
Efic. de Rem.	%	73,9	71,8	68,9	73,3	68,4		
N-Amoniacal Afluente	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2522	-	2582	-	2533		
N-Amônia Livre Máximo	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	185	-	281	-	205		
Sólidos								
ST Afl.	mg.L ⁻¹	31378	33318	25726	31636	30185		
ST Efl.	mg.L ⁻¹	14004	14724	13882	14888	14669		
Efic. de Rem.	%	55,4	55,8	46,0	52,9	51,4		
Arraste	%	0	0	0	0	0		
STF Afl.	mg.L ⁻¹	10332	9118	9976	9338	9806		
STF Efl.	mg.L ⁻¹	9876	10342	10050	10060	9911		
Efic. de Rem.	%	4,4	0	0	0	0		
Arraste	%	0	13,4	0,7	7,7	1,1		
STV Afl.	mg.L ⁻¹	21046	24200	15750	22298	20379		
STV Efl.	mg.L ⁻¹	4128	4382	3832	4828	4758		
Efic. de Rem.	%	80,4	81,9	75,7	78,3	76,7		
Arraste	%	0	0	0	0	0		
SST Afl.	mg.L ⁻¹	859	643	762	529	650		
SST Efl.	mg.L ⁻¹	790	858	871	765	914		
Efic. de Rem.	%	8,1	0	0	0	0		
Arraste	%	0	33,4	14,4	44,8	40,6		
SSF Afl.	mg.L ⁻¹	164	100	152	77	122		
SSF Efl.	mg.L ⁻¹	234	246	267	212	322		
Efic. de Rem.	%	0	0	0	0	0		
Arraste	%	43,1	145,8	75,0	174,2	163,9		
SSV Afl.	mg.L ⁻¹	695	543	610	451	528		
SSV Efl.	mg.L ⁻¹	556	613	605	554	592		
Efic. de Rem.	%	20,1	0	0,8	0	0		
Arraste	%	0	12,7	0	22,7	12,1		
SDT Afl.	mg.L ⁻¹	30519	32675	24964	31107	29535		
SDT Efl.	mg.L ⁻¹	13214	13866	13011	14123	13755		
Efic. de Rem.	%	56,7	57,6	47,9	54,6	53,4		
Arraste	%	0	0	0	0	0		
SDF Afl.	mg.L ⁻¹	10168	9018	9824	9261	9684		
SDF Efl.	mg.L ⁻¹	9642	10096	9783	9848	9589		
Efic. de Rem.	%	5,2	0	0,4	0	1,0		
Arraste	%	0	12,0	0	6,3	0		
SDV Afl.	mg.L ⁻¹	20351	23657	15140	21847	19851		
SDV Efl.	mg.L ⁻¹	3572	3770	3227	4274	4166		
Efic. de Rem.	%	82,4	84,1	78,7	80,4	79,0		
Arraste	%	0	0	0	0	0		
Relações								
AVT/DQO _{Total} Afl.	-	-	-	-	-	-		
AVT/DQO _{Total} Efl.	-	-	-	-	-	-		
AVT/DQO _{filtr.} Afl.	-	-	-	-	-	-		
AVT/DQO _{filtr.} Efl.	-	-	-	-	-	-		
STV/ST Afl.	-	-	-	-	-	-		
STV/ST Efl.	-	-	-	-	-	-		

** Considerando-se o etanol adicionado.

APÊNDICE Z

Resultados gráficos e discussão dos resultados de acompanhamento de sólidos e metais da operação do filtro biológico (R5).

Z.1 - Resultados Gráficos e Discussão dos Resultados de Acompanhamento de Sólidos e Metais da Segunda Etapa de Operação do Filtro Biológico (R5)

A Figura Z.1.1 (a) apresenta as concentrações de sólidos totais no afluente e no efluente tratado, e a Figura Z.1.1 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos em R5. Nota-se, por essas figuras que, em geral, houve remoção de sólidos totais neste sistema, com valores máximos superiores a 50 % depois dos 210 dias de operação. O maior arraste verificado foi superior a 25% e ocorreu aos 70 dias de operação.

Com relação às concentrações de sólidos totais fixos, como apresentado na Figura Z.1.2 (a), nota-se que, praticamente não existiu diferença muito significativa entre as concentrações do afluente e do efluente de R5. O mesmo pode ser notado na Figura Z.1.2 (b) que apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos. Nota-se, por essa figura, que as remoções máximas foram próximas de 5%, enquanto o máximo arraste verificado foi da ordem de 13% no início da operação e aos 238 dias de operação.

Figura Z.1.1: (a) Sólidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de ST.

Figura Z.1.2: (a) Sólidos totais fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STF.

Na Figura Z.1.3 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos totais voláteis no afluente e no efluente tratado, e a Figura Z.1.3 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos em R5. Nota-se, por essas figuras, que a partir dos 161 dias de operação houve um significativo aumento da concentração de STV no afluente, devido ao aumento da adição de etanol no lixiviado. Observa-se também que, em geral, houve remoção de sólidos totais voláteis neste sistema ao longo de quase todo o período, com valores máximos superiores a 75 % e tendência de estabilização após os 182 dias de operação. O maior arraste verificado foi superior a 75% e ocorreu aos 70 dias de operação.

Figura Z.1.3: (a) Sólidos totais voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de STV.

A Figura Z.1.4 (a) apresenta as concentrações de sólidos suspensos totais no afluente e no efluente tratado, e a Figura Z.1.4 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos em R5. Nota-se, por essas figuras que, em geral, houve arraste de sólidos suspensos totais neste sistema, principalmente nos períodos iniciais de operação, reduzindo-se bastante esse arraste depois dos 126 dias de operação, ao se elevar o tempo de detenção hidráulica do líquido, porém depois dos 161 dias de operação observou-se novamente arraste de SST devido, certamente, ao aumento de carga no sistema nesse mesmo período. Os arrastes máximos observados foram da ordem de 600% entre os 35 e 49 dias de operação e a máxima remoção observada foi de quase 30% aos 119 dias de operação.

Com relação às concentrações de sólidos suspensos fixos, como apresentado na Figura Z.1.5 (a), nota-se que as concentrações no efluente, foram praticamente maiores que a do afluente, durante quase todo o período de operação, reduzindo-se as diferenças a partir dos 119 dias de operação. Nota-se pela Figura Z.1.5 (b), que apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos em R5 que, em geral, houve somente arraste de sólidos suspensos fixos neste sistema principalmente nos períodos iniciais de operação, reduzindo-se bastante esse arraste depois dos 119 dias de operação, ao se elevar o tempo de detenção hidráulica do líquido. O arraste máximo observado foi da ordem de 2.200 % aos 42 dias de operação, e a máxima remoção observada foi de quase 25%, aos 119 dias de operação.

Figura Z.1.4: (a) Sólidos suspensos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SST.

Figura Z.1.5: (a) Sólidos suspensos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSF.

A Figura Z.1.6 (a) apresenta as concentrações de sólidos suspensos voláteis no afluente e no efluente tratado, e a Figura Z.1.6 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos em R5. Nota-se, por essas figuras, que em geral, houve arraste de sólidos suspensos totais neste sistema, principalmente nos períodos iniciais de operação e a partir dos 168 dias, ocorrendo-se uma pequena remoção, predominantemente, entre os 126 e 168 dias de operação. O arraste máximo observado foi de quase 500 %, aos 35 dias de operação e a máxima remoção observada foi de aproximadamente 30%, aos 119 dias de operação.

A Figura Z.1.7 (a) apresenta as concentrações de sólidos dissolvidos totais no afluente e no efluente tratado, e a Figura Z.1.7 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos em R5. Nota-se, por essas figuras, que em geral, houve remoção de sólidos dissolvidos totais neste sistema, com valores máximos próximos a 60 %, depois dos 210 dias de operação. O maior arraste verificado foi superior a 25% e ocorreu aos 70 dias de operação.

Figura Z.1.6: (a) Sólidos suspensos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SSV.

Figura Z.1.7: (a) Sólidos dissolvidos totais afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDT.

Com relação às concentrações de sólidos dissolvidos fixos, como apresentado na Figura Z.1.8 (a), nota-se que, praticamente não existiu diferenças significativas entre as concentrações dos afluentes e dos efluentes de R5, porém apresentando remoção ligeiramente maior que o arraste. O mesmo pode ser notado na Figura Z.1.8 (b), que apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos. Nota-se, por essa figura, que as remoções máximas foram próximas de 10%, enquanto o máximo arraste verificado foi da ordem de 15% no início da operação do reator, e de quase 12% aos 238 dias de operação.

Na Figura Z.1.9 (a) são apresentadas as concentrações de sólidos dissolvidos voláteis no afluente e no efluente tratado, e a Figura Z.1.9 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste destes sólidos em R5. Nota-se, por essas figuras, que em geral, houve remoção de sólidos dissolvidos voláteis neste sistema, com valores máximos, superiores a 75 % depois dos 189 dias de operação. O maior arraste verificado foi superior a 75% e ocorreu aos 70 dias de operação.

Figura Z.1.8: (a) Sólidos dissolvidos fixos afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDF.

Figura Z.1.9: (a) Sólidos dissolvidos voláteis afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de SDV.

A Figura Z.1.10 (a) apresenta as concentrações de Zinco no afluente e no efluente do reator e a Figura Z.1.10 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste desse metal pelo sistema. Nota-se, por essas figuras, um arraste intenso de Zinco até os 70 dias de operação chegando a ser superior a 350% aos 21 dias de operação, mas em seguida essa tendência se inverteu e passou a ocorrer uma pequena remoção desse metal chegando até 24% aos 147 dias de operação, porém voltando a apresentar arraste a partir dos 161 dias de operação, com o aumento da carga orgânica aplicada e redução do tempo de detenção hidráulica.

Na Figura Z.1.11 (a) são apresentadas as concentrações de Chumbo no afluente e no efluente do reator e na Figura Z.1.11 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste desse metal pelo sistema. Nota-se, por essas figuras, que o sistema apresentou maior arraste que remoção desse metal, chegando a ser superior a 85% aos 7 dias de operação e próximo dos 50% aos 203 dias de operação. As máximas raras remoções observadas foram pouco superiores a 20% no início da operação e aos 105 dias de operação.

Figura Z.1.10: (a) Zinco afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Zinco.

Figura Z.1.11: (a) Chumbo afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Chumbo.

A Figura Z.1.12 (a) apresenta as concentrações de Cádmio no afluyente e no efluente do reator e a Figura Z.1.12 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste desse metal pelo sistema. Nota-se, por essas figuras, um arraste mais intenso de Cádmio até os 49 dias de operação, chegando a aproximadamente 30% aos 35 dias de operação, mas em seguida o sistema passou a alternar entre remoção e um arraste menos intenso com um pico da ordem de 20% aos 91 dias de operação. As máximas remoções observadas foram também da ordem de 20% aos 63 e 119 dias de operação.

Na Figura Z.1.13 (a) são apresentadas as concentrações de Níquel no afluyente e no efluente do reator e na Figura Z.1.13 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste desse metal pelo sistema. Nota-se, também por essas figuras, um arraste mais intenso de Níquel até os 77 dias de operação chegando a ser superior a 65% aos 7 dias de operação, mas em seguida o sistema passou a apresentar um arraste menos intenso com picos inferiores a 20%. A máxima remoção observada foi de quase 35% no início da operação e depois os demais picos foram muito baixos com valor máximo de cerca de 6% aos 147 dias de operação.

Figura Z.1.12: (a) Cádmio afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cádmio.

Figura Z.1.13: (a) Níquel afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Níquel.

A Figura Z.1.14 (a) apresenta as concentrações de Ferro no afluente e no efluente do reator e a Figura Z.1.14 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste desse metal pelo sistema. Nota-se, por essas figuras, um arraste mais intenso de Ferro até os 63 dias de operação, superando os 600% aos 49 dias. Em seguida, o sistema passou a apresentar um menor arraste chegando até a apresentar uma pequena remoção de cerca de 18% aos 147 dias de operação, mas depois dos 161 dias os arrastes se acentuaram novamente, chegando a superar os 600% aos 203 dias de operação.

Na Figura Z.1.15 (a) são apresentadas as concentrações de Manganês no afluente e no efluente do reator e na Figura Z.1.15 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste desse metal pelo sistema. Nota-se, também por essas figuras, um arraste mais intenso de Manganês até os 63 dias de operação, superando os 250% aos 21 dias. Em seguida o sistema passou a apresentar um menor arraste chegando até a apresentar algumas remoções a partir dos 119 dias de operação, mas depois dos 161 dias os arrastes se acentuaram novamente, chegando a superar os 300% aos 203 dias de operação. A máxima remoção observada foi de 12,5% aos 161 dias de operação.

Figura Z.1.14: (a) Ferro afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Ferro.

Figura Z.1.15: (a) Manganês afluyente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Manganês.

A Figura Z.1.16 (a) apresenta as concentrações de Cobre no afluyente e no efluente do reator e a Figura Z.1.16 (b) apresenta as porcentagens de remoção ou arraste desse metal pelo sistema. Nota-se, por essas figuras, um arraste mais intenso de Cobre até os 63 dias de operação superando os 650% aos 7 dias de operação. Em seguida o sistema passou a apresentar um menor arraste, com concentrações do efluente muito próximas ao do afluyente mas depois dos 161 dias os arrastes se acentuaram novamente, chegando a superar os 1000% aos 188 dias de operação.

Na Figura Z.1.17 (a) são apresentadas as concentrações de Cromo no afluyente e no efluente do reator e na Figura Z.1.17 (b) são apresentadas as porcentagens de remoção ou arraste desse metal pelo sistema. Observa-se, por essas figuras, que apesar do sistema ter iniciado a operação removendo parte deste metal até os 7 dias, em seguida, foi possível notar um arraste mais intenso de Cromo até os 77 dias de operação chegando aos 400% aos 49 dias. Em seguida o sistema passou a apresentar um menor arraste chegando até a apresentar remoção novamente aos 161 dias de operação, mas a partir daí ocorreu novamente um forte arraste, chegando até aos 800% aos 188 dias.

(a)

(b)

Figura Z.1.16: (a) Cobre afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cobre.

(a)

(b)

Figura Z.1.17: (a) Cromo afluente e efluente e (b) Remoção ou arraste de Cromo.

APÊNDICE AA

Resultados dos perfis espaciais de concentração realizados em R5.

Tabela AA.1: Medidas de temperatura nos quatro dias que antecederam o primeiro perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5).

Tempo (h)	Temperatura* (°C)			
	Quatro dias antes	Três dias antes	Dois dias antes	Um dia antes**
18:00	27,8	29,2	29,2	27,4
18:30	26,8	28,4	28,4	26,6
19:00	26,0	27,6	27,6	25,9
19:30	25,3	26,8	26,8	25,2
20:00	24,7	26,2	26,2	24,5
20:30	24,1	25,5	25,5	24,0
21:00	23,6	25,0	25,0	23,4
21:30	23,0	24,5	24,5	22,8
22:00	22,5	23,8	23,8	22,3
22:30	22,1	23,3	23,3	21,7
23:00	21,7	22,9	22,9	21,3
23:30	21,3	22,4	22,4	21,0
00:00	20,9	22,0	22,0	20,7
00:30	20,6	21,5	21,5	20,4
01:00	20,3	21,1	21,1	20,2
01:30	19,9	20,7	20,7	19,9
02:00	19,7	20,6	20,6	19,6
02:30	19,3	20,4	20,4	19,2
03:00	18,7	20,0	20,0	18,9
03:30	18,3	19,7	19,7	18,7
04:00	18,1	19,3	19,3	18,4
04:30	17,8	19,0	19,0	18,3
05:00	17,5	18,7	18,7	18,1
05:30	17,3	18,4	18,4	17,9
06:00	17,1	18,2	18,2	17,7
06:30	16,9	17,8	17,8	17,6
07:00	17,0	17,9	17,9	17,4
07:30	17,4	18,2	18,2	17,5
08:00	18,1	18,8	18,8	17,7
08:30	19,2	19,4	19,4	18,3
09:00	19,9	20,1	20,1	19,1
09:30	20,8	20,9	20,9	19,8
10:00	21,6	21,7	21,7	20,6
10:30	22,4	22,2	22,2	21,5
11:00	24,0	24,0	24,0	22,0
11:30	24,1	23,0	23,0	22,1
12:00	24,9	24,1	24,1	22,3
12:30	25,1	23,3	23,3	22,8
13:00	25,3	24,4	24,4	23,6
13:30	25,5	25,2	25,2	24,7
14:00	26,0	26,0	26,0	26,0
14:30	27,1	27,0	27,0	26,6
15:00	28,2	27,5	27,5	26,9
15:30	28,7	28,1	28,1	27,3
16:00	29,2	28,4	28,4	27,5
16:30	29,0	28,6	28,6	27,9
17:00	29,2	28,3	28,3	28,2
17:30	28,9	27,9	27,9	28,0
Temperatura Média				22,7

* Temperatura da parede externa do reator, medida com um termopar ligado a um termômetro digital.

** No Quarto dia, às 18:00 h, à temperatura de 27,4 °C foi realizado o primeiro perfil longitudinal.

Tabela AA.2: Resultados da variação da concentração do afluente durante os quatro dias que antecederam o primeiro perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5).

Parâmetro	Unidade	Características do Afluente				
		4 dias antes	3 dias antes	2 dias antes	1 dia antes	no dia
Vazão Bomb.	L.h ⁻¹	0,86	0,91	0,83	0,81	0,85
Prod. de Gás*	L.h ⁻¹	3,56	3,83	3,01	2,66	2,79
Temperatura**	°C	26,6	27,8	28,7	26,8	26,2
pH	-	7,35	7,50	7,65	7,78	7,89
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9520	9640	9960	9680	9960
Mat. Orgânica						
Etanol Adic.	L _{etanol} .L _{lixiviado} ⁻¹	0,00333	-	-	-	-
AVT***	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	4644	4322	4170	4021	3612
AVT corrig.***	mg Ac. Acét..L ⁻¹	8184	7587	7305	7029	6270
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	10995	11000	10330	10115	9930
Rem. DQO _{Total}	%	0	0	6,0	8,0	9,7
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	10930	10895	10280	10055	9900
Rem. DQO _{Filtr.}	%	0	0,3	5,9	8,0	9,4
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3425	3390	3278	3295	3076
Nitrogênio						
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2563	2563	2563	2563	2563
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	36	55	81	96	117
Cloretos	mg Cl.L ⁻¹	2140	2140	2140	2140	2140
Sólidos						
ST	mg.L ⁻¹	14138	13970	14938	15232	13616
STF	mg.L ⁻¹	8220	8232	8204	7682	8346
STV	mg.L ⁻¹	5918	5738	6734	7550	5270
SST	mg.L ⁻¹	286	256	246	232	248
SSF	mg.L ⁻¹	64	48	54	40	52
SSV	mg.L ⁻¹	222	208	192	192	196
SDT	mg.L ⁻¹	13852	13714	14692	15000	13368
SDF	mg.L ⁻¹	8156	8184	8150	7642	8294
SDV	mg.L ⁻¹	5696	5530	6542	7358	5074
Relações						
AVT/DQO _{Total}	-	0,744	0,690	0,707	0,695	0,631
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,749	0,696	0,711	0,699	0,633
STV/ST	-	0,419	0,411	0,451	0,496	0,387

* Medida entre 17:30 e 18:00 h; ** Temperatura do líquido medida às 18:00 h; *** AVT obtidos por titulação.

Tabela AA.3: Resultados do primeiro perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5) (aos 168 dias de operação).

Parâmetro	Unidade	Ponto de Amostragem										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura	°C	26,4	25,5	25,6	25,9	26,1	26,2	26,4	26,5	26,7	26,8	26,2
pH	-	7,89	7,95	7,95	7,93	7,94	7,92	7,93	7,94	7,93	7,94	7,96
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	9960	11480	11420	11280	11540	11540	11540	11580	11540	11600	11560
Mat. Orgânica												
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	3612	774	731	761	718	753	701	688	710	718	688
AVT corrigido*	mg Ac. Acét..L ⁻¹	6270	1008	928	984	904	969	873	849	889	904	849
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	9930	5680	5515	5340	5660	5415	5505	5310	5380	5185	5650
Rem. DQO _{Total}	%	0	42,8	44,5	46,2	43,0	45,5	44,6	46,5	45,8	47,8	43,1
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	9900	5355	5295	5305	5360	5205	5180	5214	5240	5035	5110
Rem. DQO _{Filtr.}	%	0,0	45,9	46,5	46,4	45,9	47,4	47,7	47,3	47,1	49,1	48,4
COT _{Filtr.}	mg C.L ⁻¹	3076	1896	2153	2539	2106	2123	2000	2075	1815	2043	1989
Nitrogênio												
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2563	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	119	128	128	125	130	125	130	133	132	136	137
Cloretos	mg Cl.L ⁻¹	2140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos												
ST	mg.L ⁻¹	13616	11520	11606	11488	11548	11324	11460	11348	11252	11422	11316
STF	mg.L ⁻¹	8346	8412	8154	8302	8332	8288	8230	8596	8408	8284	7974
STV	mg.L ⁻¹	5270	3108	3452	3186	3216	3036	3230	2752	2844	3138	3342
SST	mg.L ⁻¹	248	352	412	326	300	246	242	228	226	230	360
SSF	mg.L ⁻¹	52	122	168	110	90	76	64	60	60	54	134
SSV	mg.L ⁻¹	196	230	244	216	210	170	178	168	166	176	226
SDT	mg.L ⁻¹	13368	11168	11194	11162	11248	11078	11218	11120	11026	11192	10956
SDF	mg.L ⁻¹	8294	8290	7986	8192	8242	8212	8166	8536	8348	8230	7840
SDV	mg.L ⁻¹	5074	2878	3208	2970	3006	2866	3052	2584	2678	2962	3116
Relações												
AVT/DQO _{Total}	-	0,631	0,177	0,168	0,184	0,160	0,179	0,159	0,160	0,165	0,174	0,150
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,633	0,188	0,175	0,185	0,169	0,186	0,168	0,163	0,170	0,180	0,166
STV/ST	-	0,387	0,270	0,297	0,277	0,278	0,268	0,282	0,243	0,253	0,275	0,295

* AVT obtidos por titulação.

Tabela AA.4: Medidas de temperatura nos dois dias que antecederam o segundo perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5).

Tempo (h)♦	Temperatura* (°C)	
	Dois dias antes	Um dia antes**
18:00	18,9	21,1
18:30	18,9	21,1
19:00	18,8	21,2
19:30	18,7	21,0
20:00	18,6	20,9
20:30	18,5	21,0
21:00	18,5	20,8
21:30	18,4	20,7
22:00	18,3	20,5
22:30	18,3	20,5
23:00	18,3	20,4
23:30	18,1	20,2
00:00	18,0	20,1
00:30	17,9	20,1
01:00	17,8	19,8
01:30	17,8	19,6
02:00	17,8	19,5
02:30	17,7	19,5
03:00	17,6	19,3
03:30	17,5	19,3
04:00	17,5	19,2
04:30	17,5	19,0
05:00	17,4	19,0
05:30	17,5	18,9
06:00	17,4	18,9
06:30	17,5	18,9
07:00	17,5	18,8
07:30	17,5	19,0
08:00	17,6	19,3
08:30	17,4	19,6
09:00	17,4	20,0
09:30	17,6	20,7
10:00	17,7	21,4
10:30	17,9	22,3
11:00	18,2	23,2
11:30	18,3	24,0
12:00	18,4	24,6
12:30	19,0	25,4
13:00	19,2	25,8
13:30	19,4	26,6
14:00	19,8	27,3
14:30	19,9	28,0
15:00	20,1	28,6
15:30	20,4	29,3
16:00	20,5	29,5
16:30	20,7	29,8
17:00	20,8	29,7
17:30	20,9	29,8
Temperatura Média		20,4

* Temperatura da parede externa do reator, medida com um termopar ligado a um termômetro digital.

** No Quarto dia, às 18:00 h, à temperatura de 29,6°C foi reralizado o primeiro perfil longitudinal.

♦ Horário de Verão

Tabela AA.5: Resultados da variação da concentração do afluente e do efluente durante os dois dias que antecederam o segundo perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5).

Parâmetro	Unidade	Características dos Lixiviados					
		Afluente 2 dias antes	Efluente 2 dias antes	Afluente 1 dias antes	Efluente 1 dia antes	Afluente no dia	Efluente no dia
Vazão Bomb.	L.h ⁻¹	-	1,68	-	1,62	-	1,33
Prod. de Gás*	L.h ⁻¹	-	> 13,65	-	> 13,65	-	> 13,65
Temperatura**	°C	-	18,0	-	20,2	-	29,0
pH	-	8,10	8,12	7,00	8,09	6,84	8,10
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	10760	10480	9440	10150	7410	11330
Mat. Orgânica							
Etanol Adic.	L _{etanol} .L _{lixiviado} ⁻¹	0,01	-	-	-	-	-
AVT corrig.***	mg Ac. Acét..L ⁻¹	2482	2954	7359	3456	13595	947
DQO_{Total}	mg.L ⁻¹	22245	8655	22015	9205	22145	7180
Rem. DQO_{Total}	%	-	61,1	-	58,2	-	67,6
DQO_{Filtr.}	mg.L ⁻¹	20770	7700	20410	8245	20425	6450
Rem. DQO_{Filtr.}	%	-	62,9	-	59,6	-	68,7
Nitrogênio							
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2582	2582	2582	2582	2582	2582
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	-	106	-	10	-	13
Cloretos	mg Cl.L ⁻¹	2800	2800	2800	2800	2800	2800
Sólidos							
ST	mg.L ⁻¹	17344	17178	20930	15164	25726	13882
STF	mg.L ⁻¹	9684	9968	9772	10106	9976	10050
STV	mg.L ⁻¹	7660	7210	11158	5058	15750	3832
SST	mg.L ⁻¹	397	612	664	760	762	871
SSF	mg.L ⁻¹	84	157	112	168	152	267
SSV	mg.L ⁻¹	313	455	552	592	610	605
SDT	mg.L ⁻¹	16947	16566	20266	14404	24964	13011
SDF	mg.L ⁻¹	9600	9811	9660	9938	9824	9783
SDV	mg.L ⁻¹	7347	6755	10606	4466	15140	3227
Relações							
AVT/DQO_{Total}	-	-	-	-	-	0,614	0,132
AVT/DQO_{Filtr.}	-	-	-	-	-	0,666	0,147
STV/ST	-	-	-	-	-	0,612	0,276

* Medida entre 17:30 e 18:00 h; ** Temperatura do líquido medida às 18:00 h; *** AVT obtidos por titulação.

Tabela AA.6: Resultados do Segundo perfil longitudinal de concentração realizado no Filtro Biológico (R5) (aos 245 dias de operação).

Parâmetro	Unidade	Ponto de Amostragem										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura	°C	25,5	28,9	28,9	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
pH	-	6,84	7,92	7,97	8,00	8,04	8,01	8,02	8,01	8,04	8,08	8,10
Alc. Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7410	11520	11230	10860	11140	11330	11230	11280	11280	11560	11330
Mat. Orgânica												
AVT*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7562	855	783	722	665	684	684	722	684	722	741
AVT corrigido*	mg Ac. Acét..L ⁻¹	13594	1158	1025	912	806	841	841	912	841	912	947
DQO _{Total}	mg.L ⁻¹	22145	11220	8100	7440	7365	7270	7345	7410	7170	7140	7180
Rem. DQO _{Total}	%	0	49,3	63,4	66,4	66,7	67,2	66,8	66,5	67,6	67,8	67,6
DQO _{Filtr.}	mg.L ⁻¹	20425	6380	6185	6090	6270	6280	6340	6445	6385	6275	6450
Rem. DQO _{Filtr.}	%	0	68,8	69,7	70,2	69,3	69,3	69,0	68,4	68,7	69,3	68,4
Nitrogênio												
N-Amoniacal	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	2582	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N-Am. Livre	mg NH ₃ -N.L ⁻¹	10	151	168	180	196	184	188	184	196	213	223
Cloretos	mg Cl.L ⁻¹	2800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos												
ST	mg.L ⁻¹	25726	20664	15460	14970	14298	14566	14156	14008	14062	14032	13882
STF	mg.L ⁻¹	9976	11440	10054	9784	10264	9618	9320	9714	9972	10270	10050
STV	mg.L ⁻¹	15750	9224	5406	5186	4034	4948	4836	4294	4090	3762	3832
SST	mg.L ⁻¹	762	9043	2430	1929	1440	1163	1520	1043	1045	1079	871
SSF	mg.L ⁻¹	152	3114	926	764	533	413	572	319	350	381	267
SSV	mg.L ⁻¹	610	5929	1504	1164	907	750	947	724	695	698	605
SDT	mg.L ⁻¹	24964	11621	13030	13041	12858	13403	12636	12965	13017	12953	13011
SDF	mg.L ⁻¹	9824	8326	9128	9020	9731	9205	8748	9395	9622	9889	9783
SDV	mg.L ⁻¹	15140	3295	3902	4022	3127	4198	3889	3570	3395	3064	3227
Relações												
AVT/DQO _{Total}	-	0,614	0,103	0,127	0,123	0,109	0,116	0,115	0,123	0,117	0,128	0,132
AVT/DQO _{Filtr.}	-	0,666	0,182	0,166	0,150	0,129	0,134	0,133	0,141	0,132	0,145	0,147
STV/ST	-	0,612	0,446	0,350	0,346	0,282	0,340	0,342	0,307	0,291	0,268	0,276

* AVT obtidos por titulação.

APÊNDICE AB

Resultados da caracterização de lixiviados coletados nos aterros sanitários de Araraquara-SP, Bauru-SP, Porto Alegre-RS, São Carlos-SP e São José do Rio Preto-SP.

Tabela AB.1: Resultados da caracterização dos lixiviados de Bauru-SP e Rio Claro-SP.

Parâmetro	Unidade	Local e data de coleta do lixiviado			
		Bauru-SP*	Bauru-SP	Rio Claro-SP*	Rio Claro-SP*
		(aterro)	(aterro)	(aterro)	(lagoa 1)
		Abr./2002	Jun./2007	Jun./2002	Nov./2002
DQO					
Total	mg.L ⁻¹	5340	10095	1450	4800
Filtrada	mg.L ⁻¹	3660	9745	1320	4350
COT					
Total	mg.L ⁻¹	-	-	-	-
Filtrado	mg.L ⁻¹	-	-	-	-
pH	-	8,10	7,94	8,20	7,65
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	7640	15590	3130	2780
AVT (por titulação)*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	586	1060	198	1844
N-amoniaco	mg N.L ⁻¹	1630	3524	311	331
Cloretos	mg.L ⁻¹	-	3860	-	-
P-fosfato	mg PO ₄ ³⁻ .L ⁻¹	-	-	2,0	-
Sólidos					
ST	mg.L ⁻¹	9067	17612	5337	6.716
STF	mg.L ⁻¹	7133	12860	4035	3.471
STV	mg.L ⁻¹	1933	4752	1303	3.245
SST	mg.L ⁻¹	118	174	207	228
SSF	mg.L ⁻¹	48	72	138	98
SSV	mg.L ⁻¹	70	102	69	130
SDT	mg.L ⁻¹	8949	17438	5130	6.488
SDF	mg.L ⁻¹	7085	12788	3897	3.373
SDV	mg.L ⁻¹	1863	4650	1233	3.115
Metais					
Zinco	mg.L ⁻¹	0,18	2,66	0,20	0,29
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,18	0,68	0,12	0,08
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,02	0,08	ND	ND
Níquel	mg.L ⁻¹	0,42	0,82	0,10	0,07
Ferro	mg.L ⁻¹	18,0	21,28	8,50	30,45
Manganês	mg.L ⁻¹	1,37	0,29	0,06	1,52
Cobre	mg.L ⁻¹	0,06	0,10	ND	0,03
Cromo	mg.L ⁻¹	ND	3,30	ND	ND
Sódio	mg.L ⁻¹	-	3491	-	-
Potássio	mg.L ⁻¹	-	2712	-	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	-	60	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	-	45	-	-
Relações					
AVT/DQO _{Total}	-				
AVT/DQO _{Filtr.}	-				
STV/ST	-				

OBS: ND = Não detectado.

* AVT obtido por titulação sem multiplicar pelo fator de correção.

* Fonte: Contrera (2003)

Tabela AB.2: Resultados da caracterização dos lixiviados de Araraquara-SP, Porto Alegre-RS, São José do Rio Preto-SP e São Carlos-SP.

Parâmetro	Unidade	Local e data de coleta do lixiviado			
		Araraquara-SP	P. Alegre-RS	S. J. R. P.-SP	São Carlos-SP
		(aterro)	(aterro)	(aterro)	(aterro)
		Mai./2007	Jul./2007	Jun./2007	Ago./2003
DQO					
Total	mg.L ⁻¹	2612	6380	48770	6395
Filtrada	mg.L ⁻¹	2550	5750	47060	
COT					
Total	mg.L ⁻¹	-	-	16240	-
Filtrado	mg.L ⁻¹	1000	-	15890	-
pH	-	8,31	8,10	6,76	8,00
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	6340	12700	18360	11726
AVT (por titulação)*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	310	986	12820	2133
N-amoniacal	mg N.L ⁻¹	1181	2525	2495	1930
Cloretos	mg.L ⁻¹	1800	2950	3850	-
P-fosfato	mg PO ₄ ³⁻ .L ⁻¹	-	-	-	-
Sólidos					
ST	mg.L ⁻¹	8245	15378	50794	15.167
STF	mg.L ⁻¹	6313	11045	21256	10.631
STV	mg.L ⁻¹	1932	4333	29538	4.536
SST	mg.L ⁻¹	77	653	4000	404
SSF	mg.L ⁻¹	18	213	1519	71
SSV	mg.L ⁻¹	59	441	2481	333
SDT	mg.L ⁻¹	8168	14725	46794	14.763
SDF	mg.L ⁻¹	6295	10833	19737	10.559
SDV	mg.L ⁻¹	1873	3892	27057	4.203
Metais					
Zinco	mg.L ⁻¹		1,02	16,63	0,14
Chumbo	mg.L ⁻¹		0,16	1,05	0,07
Cádmio	mg.L ⁻¹		0,07	0,27	0,01
Níquel	mg.L ⁻¹		0,55	2,15	0,08
Ferro	mg.L ⁻¹		14,40	436	1,68
Manganês	mg.L ⁻¹		0,49	20,91	0,02
Cobre	mg.L ⁻¹		0,10	0,39	ND
Cromo	mg.L ⁻¹		0,45	2,05	0,23
Sódio	mg.L ⁻¹	1424	3234	3370	-
Potássio	mg.L ⁻¹	1177	2266	2928	-
Cálcio	mg.L ⁻¹	86	87	2900	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	130	210	325	-
Relações					
AVT/DQO _{Total}	-				
AVT/DQO _{Filtr.}	-				
STV/ST	-				

OBS: ND = Não detectado.

* AVT obtido por titulação sem multiplicar pelo fator de correção.

Tabela AB.3: Resultados da caracterização dos lixiviados de São Carlos-SP em datas e locais distintos.

Parâmetro	Unidade	Local e data de coleta do lixiviado			
		São Carlos-SP (lagoa 4)	São Carlos-SP (aterro)	São Carlos-SP (aterro)	São Carlos-SP (aterro)
		Fev./2007	Mai./2006	Jan./2007	Set./2007
DQO					
Total	mg.L ⁻¹	1730	3725	4880	5200
Filtrada	mg.L ⁻¹	-	3580	4470	4915
COT					
Total	mg.L ⁻¹	-	-	-	-
Filtrado	mg.L ⁻¹	-	1298	-	-
pH	-	8,32	8,23	7,81	8,19
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	2450	11010	6090	13310
AVT (por titulação)*	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	250	790	892	485
N-amoniacal	mg N.L ⁻¹	233	2226	1264	2998
Cloretos	mg.L ⁻¹	-	-	-	2700
P-fosfato	mg PO ₄ ³⁻ .L ⁻¹	-	-	-	
Sólidos					
ST	mg.L ⁻¹	6020	12181	8401	12910
STF	mg.L ⁻¹	3625	9153	4701	9868
STV	mg.L ⁻¹	2395	3028	3700	3042
SST	mg.L ⁻¹	-	133	229	220
SSF	mg.L ⁻¹	-	28	50	72
SSV	mg.L ⁻¹	-	105	179	148
SDT	mg.L ⁻¹	-	12048	8172	12690
SDF	mg.L ⁻¹	-	9125	4651	9796
SDV	mg.L ⁻¹	-	2923	3521	2894
Metais					
Zinco	mg.L ⁻¹	-	0,54	0,30	0,77
Chumbo	mg.L ⁻¹	-	0,05	0,01	0,31
Cádmio	mg.L ⁻¹	-	ND	ND	0,05
Níquel	mg.L ⁻¹	-	0,35	0,12	0,57
Ferro	mg.L ⁻¹	-	6,76	19,37	6,68
Manganês	mg.L ⁻¹	-	0,14	0,73	0,17
Cobre	mg.L ⁻¹	-	ND	0,02	0,06
Cromo	mg.L ⁻¹	-	0,27	ND	0,24
Sódio	mg.L ⁻¹	-	-	-	2698
Potássio	mg.L ⁻¹	-	-	-	2193
Cálcio	mg.L ⁻¹	-	-	-	55
Magnésio	mg.L ⁻¹	-	-	-	70
Relações					
AVT/DQO _{Total}	-				
AVT/DQO _{Filtr.}	-				
STV/ST	-				

OBS: ND = Não detectado.

* AVT obtido por titulação sem multiplicar pelo fator de correção.