MANUEL ROMERO DE LA IGLESIA

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA PILOTO COMPOSTO DE REATOR UASB SEGUIDO
DE LAGOA AERADA AERÓBIA E LAGOA DE DECANTAÇÃO NO TRATAMENTO DE
ESGOTOS SANITÁRIOS COM ELEVADA CONTRIBUIÇÃO DE DESPEJOS
INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Engenharia Hidráulica e
Sanitária

Orientador: Prof. Dr. Roque Passos Piveli

São Paulo
2004

FICHA CATALOGRÁFICA

Iglesia, Manuel Romero de la

Avaliação de um sistema piloto composto de reator UASB seguido de lagoa aerada aeróbia e lagoa de decantação no tratamento de esgotos sanitários com elevada contribuição de despejos industriais / Manuel Romero de la Iglesia. Edição revisada. São Paulo, 2004.

349 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

**1. Tratamento de esgotos sanitários 2. Lagoas aeróbias
3. Decantação I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II. t.**

RESUMO

Este trabalho experimental apresenta os resultados da avaliação do desempenho de uma instalação piloto, composta por reator UASB seguido de lagoa aerada aeróbia e lagoa de decantação, no tratamento dos esgotos afluentes à ETE - Jundiaí, que contém elevada contribuição de despejos industriais. O reator UASB e a lagoa de decantação têm volume útil de 3,0 m³ e 2,0 m³, respectivamente. O volume da lagoa aerada aeróbia é variável entre 7,2 m³ e 21,6 m³ de modo a permitir variar o tempo de detenção hidráulica. O sistema foi avaliado em termos da eficiência de remoção de DQO, DBO₅, sólidos suspensos, nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira para tempos de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia variando entre 1,0 e 3,5 dias mantendo, tanto no reator UASB quanto, na lagoa de decantação o tempo de detenção constante em 8,0 horas e 1,8 dia, respectivamente. O sistema completo apresentou uma eficiência de remoção de DQO total entre 85% e 87%, de DBO₅ total entre 92% e 96%, de SST entre 81% e 87%, de SSV entre 80 e 88%, de nitrogênio total entre 55 e 57%, de fósforo total entre 60 e 70% e de cor verdadeira entre 50 e 60%, para tempos de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia variando entre 1,5 e 3,5 dias. O reator UASB foi responsável pela remoção de cerca de 50% da DQO total, 60% da DBO₅ total e 40% dos SST do afluente, operando em média com um tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas. As eficiências alcançadas no sistema completo produziram um efluente final com uma concentração de DQO total entre 170 e 230 mg/L, de DBO₅ total entre 30 e 60 mg/L, de SST entre 30 e 45 mg/L, de SSV entre 24 e 40 mg/L, de nitrogênio total entre 24 e 28 mg NH₃/L, de fósforo total entre 3,5 e 5,5 mg P/L e de cor verdadeira entre 375 e 600 mg Pt/L. O sistema pesquisado mostrou-se uma alternativa viável para o tratamento do esgoto afluente à ETE - Jundiaí e poderá resultar em redução da área e em menor consumo de energia que os hoje necessários na ETE - Jundiaí, que emprega um sistema composto por lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação.

ABSTRACT

This experimental investigation was carried out in order to evaluate the performance of a pilot plant, composed of an UASB reactor followed by an aerated lagoon and a settling pond, treating the Wastewater Treatment Plant of Jundiaí city (WWTPJ) influent sewage, which contains in its composition an expressive amount of industrial effluents. The UASB reactor and settling pond have a useful volume of 3.0 m³ and 2.0 m³, respectively. The aerated lagoon volume is variable from 7.2 m³ to 21.6 m³ to make possible the hydraulic retention time variation. The COD, BOD₅, suspended solids, total nitrogen, total phosphorus and true colour removal efficiencies of the system were evaluated when the aerated lagoon hydraulic retention time varied from 1.0 to 3.5 days and in the UASB reactor and settling pond was maintained constant at 8.0 hours and 1.8 day, respectively. The range of removal efficiencies obtained in the system are: 85 – 87% for total COD, 92 – 96% for total BOD₅, 81 – 87% for TSS, 80 – 88% for VSS, 55 – 57% for total nitrogen, 60 – 70% for total phosphorus, and 50 – 60% for true color, when the aerated lagoon hydraulic retention time varied from 1.5 to 3.5 days. The UASB reactor operating at 8.0 hours hydraulic retention time removes almost 50% of total COD, 60% of total BOD₅ and 40% of TSS from the influent contents. The system performance lead to a final effluent with a total COD, total BOD₅, TSS, VSS, total nitrogen, total phosphorus, and true color concentrations in the range of: 170 – 230 mg/L, 30 – 60 mg/L and 30 – 45 mg/L, 24 – 40 mg/L, 24 – 28 mg N/L, 3,5 – 5,5 mg P/L and 375 – 600 mg Pt/L, respectively. The system studied is a practicable alternative for the treatment of the WWTPJ influent sewage, probably with less area and energy saving when compared to the WWTPJ current needs, which uses a system composed by an aerated lagoon followed by a settling pond

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1. Digestão anaeróbia	5
3.1.1. Introdução	5
3.1.2. Microbiologia e bioquímica	7
3.1.3. Aspectos cinéticos	12
3.1.4. Fatores ambientais que influenciam a digestão anaeróbia	15
3.1.5. Tipos de reatores	23
3.2. Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo	28
3.2.1. Introdução	28
3.2.2. Princípio de funcionamento	32
3.2.3. Critérios de projeto	32
3.2.4. Aplicação do reator UASB no tratamento de esgoto doméstico	34
3.3. Necessidade de pós-tratamento do efluente de reator anaeróbio	36
3.3.1. Introdução	36
3.3.2. Pós-tratamento de efluente de reator UASB	38
3.4. Pós-tratamento de efluente de reator UASB em lagoa aerada aeróbia	42
3.4.1. Introdução	42
3.4.2. Tipos de lagoas aeradas	43
3.4.3. Equações envolvendo parâmetros cinéticos	44
3.4.4. Necessidade de oxigênio em lagoas aeradas aeróbias	46
3.4.5. Qualidade do efluente	47

4. MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1. Descrição da estação de tratamento de esgotos de Jundiaí	49
4.2. Descrição da instalação piloto	50
4.3. Operação do sistema	51
4.3.1. Inóculos	51
4.3.2. Afluente	52
4.3.3. Divisão do trabalho experimental	52
4.3.4. Partida e operação do reator UASB	53
4.3.5. Partida da lagoa aerada aeróbia e operação do sistema completo	54
4.3.6. Acompanhamento analítico	55
4.3.7. Métodos analíticos	57
4.4. Cálculo de parâmetros operacionais	61
4.5. Análise estatística dos resultados	63
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
5.1. Ensaio A	66
5.1.1. Características do afluente do reator UASB	66
5.1.2. Fase A.I	68
5.1.2.1. Condições ambientais no reator UASB	72
5.1.2.2. Características do manto de lodo no reator UASB	79
5.1.3. Fase A.II	83
5.1.3.1. Condições ambientais no reator UASB	84
5.1.3.2. Remoção de sólidos no reator UASB	85
5.1.3.3. Remoção de matéria orgânica no reator UASB	89
5.1.3.4. Remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira no reator UASB	97
5.1.3.5. Produção de gás no reator UASB	99
5.1.4. Fase A.II-1	100
5.1.4.1. Condições ambientais no sistema completo	102
5.1.4.2. Concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia	106
5.1.4.3. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo	107
5.1.4.4. Remoção de matéria orgânica no sistema completo	110
5.1.4.5. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo	114

5.2. Ensaio B	116
5.2.1. Características do afluente do reator UASB	117
5.2.2. Fase B.I	118
5.2.3. Fase B.II	122
5.2.3.1. Condições ambientais no reator UASB	122
5.2.3.2. Características do manto de lodo no reator UASB	126
5.2.3.3. Remoção de sólidos no reator UASB	130
5.2.3.4. Remoção de matéria orgânica no reator UASB	135
5.2.3.5. Remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira no reator UASB	143
5.2.3.6 Produção de gás no reator UASB	144
5.2.4. Fase B.II-1	145
5.2.4.1. Condições de operação do sistema completo	146
5.2.4.2. Condições ambientais no sistema completo	147
5.2.4.3. Concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia	150
5.2.4.4. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo	152
5.2.4.5. Remoção de matéria orgânica no sistema completo	155
5.2.4.6. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo	160
5.2.5. Fase B-II-2	162
5.2.5.1. Condições de operação do sistema completo	162
5.2.5.2. Condições ambientais no sistema completo	163
5.2.5.3. Concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia	167
5.2.5.4. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo	168
5.2.5.5. Remoção de matéria orgânica no sistema completo	171
5.2.5.6. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo	176
5.2.6. Fase B.II-3	179
5.2.6.1. Condições de operação do sistema completo	180
5.2.6.2. Condições ambientais no sistema completo	180
5.2.6.3. Concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia	184
5.2.6.4. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo	185
5.2.6.5. Remoção de matéria orgânica no sistema completo	188
5.2.6.6. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo	193

5.2.7. Fase B.II-4	196
5.2.7.1. Condições de operação do sistema completo	197
5.2.7.2. Condições ambientais no sistema completo	197
5.2.7.3. Concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia	201
5.2.7.4. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo	202
5.2.7.5. Remoção de matéria orgânica no sistema completo	205
5.2.7.6. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo	210
5.3. Resumo dos resultados	213
5.3.1. Ensaio A	213
5.3.2. Ensaio B	218
5.4. Análise estatística dos resultados	223
5.4.1. Reator UASB	223
5.4.2. Sistema completo	223
6. CONCLUSÕES	229
6.1. Características do esgoto afluente à ETE Jundiaí	229
6.2. Reator UASB	229
6.3. Lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação	229
6.4. Sistema completo	230
7. ANEXOS	232
7.1. Anexo A	232
7.2. Anexo B	234
7.3. Anexo C	236
7.4. Anexo D	257
7.5. Anexo E	266
7.6. Anexo F	271
7.7. Anexo G	274
7.8. Anexo H	292
7.9. Anexo I	301
7.10. Anexo J	306
7.11. Anexo K	309
7.12. Anexo L	315
7.13. Anexo M	318

7.14. Anexo N	322
7.15. Anexo O	325
7.16. Anexo P	329
7.17. Anexo Q	332
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	344

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Etapas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.	9
Figura 3.2: Desenho esquemático do reator UASB.	29
Figura 4.1: Fluxograma simplificado da ETE Jundiaí.	49
Figura 4.2: Diagrama da instalação piloto.	50
Figura 5.1: Comportamento do tempo de detenção hidráulica no reator UASB. Ensaio A.	70
Figura 5.2: Comportamento da temperatura do reator UASB. Ensaio A.	72
Figura 5.3: Comportamento do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	74
Figura 5.4: Comportamento da concentração de ácidos orgânicos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	75
Figura 5.5: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	77
Figura 5.6: Comportamento da relação alcalinidade total / ácidos orgânicos voláteis no afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	78
Figura 5.7: Comportamento do pH ao longo da altura do reator UASB. Ensaio A.	79
Figura 5.8: Comportamento da concentração de sólidos voláteis no interior do reator UASB ao longo do período de operação. Ensaio A.	80
Figura 5.9: Evolução da massa total de lodo no interior do reator UASB. Ensaio A.	81
Figura 5.10: Comportamento da relação SV/ST no reator UASB. Ensaio A.	82
Figura 5.11: Comportamento da concentração de sólidos totais do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	85
Figura 5.12: Comportamento da concentração de sólidos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	86
Figura 5.13: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	87
Figura 5.14: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	87
Figura 5.15: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	90
Figura 5.16: Comportamento da eficiência de remoção de DQO total no reator UASB. Ensaio A.	91
Figura 5.17: Comportamento da DBO ₅ total do afluente (E_1) e da DBO ₅ total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.	93
Figura 5.18: Comportamento da eficiência de remoção de DBO ₅ total no reator UASB. Ensaio A.	93

Figura 5.19: Comportamento das taxas orgânicas volumétrica aplicada e removida no reator UASB. Ensaio A.	95
Figura 5.20: Relação entre as taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida total do reator UASB. Ensaio A.	96
Figura 5.21: Relação entre as taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida filtrada do reator UASB. Ensaio A.	96
Figura 5.22: Comportamento do fator de produção de gás do reator UASB. Ensaio A.	99
Figura 5.23: Comportamento da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia. Fase A.II-1	102
Figura 5.24: Comportamento do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4). Fase A.II-1	104
Figura 5.25: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1	105
Figura 5.26: Comportamento da concentração de SST e SSV na lagoa aerada aeróbia. Fase A.II-1	107
Figura 5.27: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1	108
Figura 5.28: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1	108
Figura 5.29: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1	110
Figura 5.30: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e da DQO filtrada do efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1	111
Figura 5.31: Comportamento da DBO ₅ total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1	112
Figura 5.32: Comportamento do tempo de detenção hidráulica no reator UASB. Ensaio B.	120
Figura 5.33: Comportamento da temperatura do afluente (E_1) e do reator UASB. Ensaio B.	122
Figura 5.34: Comportamento do pH do afluente (E_1) e do efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	124
Figura 5.35: Comportamento da concentração de ácidos orgânicos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	124
Figura 5.36: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e do efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	125

Figura 5.37: Comportamento do pH ao longo da altura do reator UASB. Ensaio B.	127
Figura 5.38: Comportamento da concentração de sólidos voláteis ao longo da altura do reator UASB. Ensaio B.	127
Figura 5.39: Comportamento da massa total de lodo no interior do reator UASB. Ensaio B.	128
Figura 5.40: Comportamento da relação SV/ST no ao longo da altura do reator UASB. Ensaio B.	130
Figura 5.41: Comportamento da concentração de sólidos totais do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	131
Figura 5.42: Comportamento da concentração de sólidos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	131
Figura 5.43: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	132
Figura 5.44: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	132
Figura 5.45: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	135
Figura 5.46: Comportamento da DBO ₅ total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.	136
Figura 5.47: Comportamento da eficiência de remoção de DQO total do reator UASB. Ensaio B.	138
Figura 5.48: Comportamento da eficiência de remoção de DBO ₅ total do reator UASB. Ensaio B.	138
Figura 5.49: Comportamento das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida no reator UASB. Ensaio B.	140
Figura 5.50: Relação entre as taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida total do reator UASB. Ensaio B.	141
Figura 5.51: Relação entre as taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida filtrada do reator UASB. Ensaio B.	142
Figura 5.52: Comportamento do fator de produção de gás do reator UASB. Ensaio B.	145
Figura 5.53: Comportamento do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Ensaio B.II-1	148
Figura 5.54: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Ensaio B.II-1	149
Figura 5.55: Comportamento da concentração de sólidos na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.II-1	151

Figura 5.56: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação.	
Ensaio B.II-1	152
Figura 5.57: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação.	
Ensaio B.II-1	153
Figura 5.58: Comportamento da DQO total do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes da lagoa aerada (E ₃) e lagoa de decantação (E ₄). Ensaio B.II-1	155
Figura 5.59: Comportamento da DQO total do afluente do reator UASB (E ₁) e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E ₂) e das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Ensaio B.II-1	159
Figura 5.60: Comportamento da DBO ₅ total do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Ensaio B.II-1	157
Figura 5.61: Comportamento da DBO ₅ total do afluente do reator UASB (E ₁) e da DBO ₅ filtrada dos efluentes do reator UASB (E ₂) e da lagoa de decantação (E ₄). Ensaio B.II-1	157
Figura 5.62: Comportamento do pH do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-2.	165
Figura 5.63: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-2.	166
Figura 5.64: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais e suspensos voláteis na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-2.	167
Figura 5.65: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-2.	169
Figura 5.66: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-2.	169
Figura 5.67: Comportamento da DQO total do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-2.	171
Figura 5.68: Comportamento da DQO total do afluente do reator UASB (E ₁) e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E ₂) e das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-2.	172
Figura 5.69: Comportamento da DBO ₅ total do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-2.	173

Figura 5.70: Comportamento da DBO ₅ total do afluentes do reator UASB (E ₁) e da DBO ₅ filtrada do efluente do reator UASB (E ₂) e efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-2.	174
Figura 5.71: Comportamento do pH do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	182
Figura 5.72: Comportamento da alcalinidade total do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.	183
Figura 5.73: Comportamento da concentração de SST e SSV na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-3.	184
Figura 5.74: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.	186
Figura 5.75: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.	186
Figura 5.76: Comportamento da DQO total do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.	188
Figura 5.77: Comportamento da DQO total do afluentes do reator UASB (E ₁) e da DQO filtrada do efluente do reator UASB (E ₂) e efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	189
Figura 5.78: Comportamento da DBO ₅ total do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.	190
Figura 5.79: Comportamento da DBO ₅ total do afluentes do reator UASB (E ₁) e da DBO ₅ filtrada do efluente do reator UASB (E ₂) e efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	191
Figura 5.80: Comportamento do pH do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-4.	199
Figura 5.81: Comportamento da alcalinidade total do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.	200
Figura 5.82: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-4.	201
Figura 5.83: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais do afluentes (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente (E ₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.	203

Figura 5.84: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.	203
Figura 5.85: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.	205
Figura 5.86: Comportamento da DQO total do afluente do reator UASB (E_1) e da DQO filtrada do efluente do reator UASB (E_2) e efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-4.	206
Figura 5.87: Comportamento da DBO_5 total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.	207
Figura 5.88: Comportamento da DBO_5 total do afluente do reator UASB (E_1) e da DBO_5 filtrada do efluente do reator UASB (E_2) e efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-4.	208
Figura 5.89: Concentração média de DQO total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	214
Figura 5.90: Concentração média de DBO_5 total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	214
Figura 5.91: Concentração média de SST no afluente, efluente do reator UASB e efluente final. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	215
Figura 5.92: Concentração média de nitrogênio total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	215
Figura 5.93: Eficiência média de remoção de DQO total ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	216
Figura 5.94: Eficiência média de remoção de DBO_5 total ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	216
Figura 5.95: Eficiência média de remoção de SST ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	217
Figura 5.96: Eficiência média de remoção de nitrogênio total ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	217
Figura 5.97: Concentração média de DQO total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	219
Figura 5.98: Concentração média de DBO_5 total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	219
Figura 5.99: Concentração média de SST no afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	220

Figura 5.100: Concentração média de nitrogênio total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	220
Figura 5.101: Eficiência média de remoção de DQO total ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	221
Figura 5.102: Eficiência média de remoção de DBO ₅ total ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	221
Figura 5.103: Eficiência média de remoção de SST ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	222
Figura 5.104: Eficiência média de remoção de nitrogênio total ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	222

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Produtos metabólicos da fermentação da glicose e suas respectivas variações de energia livre padrão (ΔG°).	8
Tabela 3.2: Reações de decomposição de alguns compostos orgânicos a acetato e suas respectivas variações de energia livre padrão (ΔG°).	10
Tabela 3.3: Reações de formação do metano a partir de alguns substratos e respectivas variações de energia livre padrão (ΔG°).	11
Tabela 3.4: Coeficientes cinéticos para a digestão anaeróbia.	14
Tabela 3.5: Reações, constantes de dissociação e faixas de concentração dos sistemas ácido-base normalmente encontrados na digestão anaeróbia de esgoto.	17
Tabela 3.6: Concentração limite para metais leves na digestão anaeróbia.	22
Tabela 3.7: Comparação entre várias alternativas de tratamento em função da qualidade desejada no efluente final.	31
Tabela 3.8: Padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor.	36
Tabela 3.9: Valores comuns para DBO do efluente e de remoção em sistemas anaeróbios.	37
Tabela 3.10: Principais alternativas para o pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbio.	37
Tabela 3.11: Principais características das lagoas aeradas tratando esgotos domésticos.	43
Tabela 3.12: Valores de densidade de potência segundo vários autores.	44
Tabela 4.1: Programa de análises empregado nas fases A.I e A.II.	55
Tabela 4.2: Programa de análises empregado na fase A.II-1	56
Tabela 4.3: Programa de análises empregado nas fases do ensaio B.	56
Tabela 4.4: Valores do fator de correção do volume de gás em função da temperatura ambiente.	63
Tabela 5.1: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das características do afluente (E_1) do reator UASB. Ensaio A.	67
Tabela 5.2: Condições de operação do reator UASB. Fase A.I.	68
Tabela 5.3: Quantidades de bicarbonato de sódio adicionadas no afluente (E_1) do reator UASB e valor do pH do efluente (E_2). Fase A.I.	69
Tabela 5.4: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.I.	74
Tabela 5.5: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de ácidos orgânicos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.I.	76
Tabela 5.6: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.I.	78
Tabela 5.7: Resultados do perfil de sólidos suspensos totais e voláteis do reator UASB.	83

Tabela 5.8: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das temperaturas ambiente, do afluente (E_1) e do reator UASB. Fase A.II.	84
Tabela 5.9: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2). Fase A.II.	84
Tabela 5.10: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) para o afluente (E_1) e efluente (E_2). Fase A.II.	88
Tabela 5.11: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.II.	88
Tabela 5.12: Valores da eficiência média de remoção de sólidos no reator UASB. Fase A.II.	89
Tabela 5.13: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) no reator UASB. Fase A.II.	91
Tabela 5.14: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO ₅ total do afluente (E_1) e da DBO ₅ total e filtrada do efluente (E_2) no reator UASB. Fase A.II.	92
Tabela 5.15: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO ₅ total do reator UASB. Fase A.II.	94
Tabela 5.16: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E_1) e efluente (E_2) no reator UASB. Fase A.II.	98
Tabela 5.17: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira no reator UASB. Fase A.II.	98
Tabela 5.18: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais. Fase A.II-1.	101
Tabela 5.19: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase A.II-1.	103
Tabela 5.20: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase A.II-1.	105
Tabela 5.21: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase A.II-1.	106
Tabela 5.22: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV na lagoa aerada aeróbia. Fase A.II-1.	107

Tabela 5.23: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase A.II-1.	109
Tabela 5.24: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase A.II-1.	109
Tabela 5.25: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase A.II-1.	113
Tabela 5.26: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO_5 do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase A.II-1.	113
Tabela 5.27: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO_5 total. Fase A.II-1.	114
Tabela 5.28: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase A.II-1.	115
Tabela 5.29: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase A.II-1.	115
Tabela 5.30: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das características do afluente (E_1) do reator UASB. Ensaio B.	117
Tabela 5.31: Condições de operação programadas no reator UASB. Fase B.I.	119
Tabela 5.32: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura ambiente, do afluente (E_1) e do reator UASB. Fase B.I.	120
Tabela 5.33: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E_1) e do efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.I.	121
Tabela 5.34: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura ambiente, do afluente (E_1) e do reator UASB. Fase B.II.	123
Tabela 5.35: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E_1) e do efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.	126
Tabela 5.36: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.	133

Tabela 5.37: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.	134
Tabela 5.38: Valores da eficiência média de remoção de sólidos no reator UASB. Fase B.II.	134
Tabela 5.39: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.	137
Tabela 5.40: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO ₅ total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.	137
Tabela 5.41: Valores das eficiências médias de remoção de DQO total e DBO ₅ total no reator UASB. Fase B.II.	139
Tabela 5.42: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total e amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E_1) e efluente (E_2) no reator UASB. Fase B.II.	143
Tabela 5.43: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira no reator UASB. Fase B.II.	144
Tabela 5.44: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais do sistema completo. Fase B.II-1.	147
Tabela 5.45: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase B.II-1.	147
Tabela 5.46: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-1.	149
Tabela 5.47: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-1.	150
Tabela 5.48: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-1.	151
Tabela 5.49: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-1.	154
Tabela 5.50: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase B.II-1.	154

Tabela 5.51: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-1.	158
Tabela 5.52: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO_5 do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-1.	159
Tabela 5.53: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO_5 total. Fase B.II-1.	159
Tabela 5.54: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-1.	160
Tabela 5.55: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase B.II-1.	161
Tabela 5.56: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica, medido nas unidades individuais. Fase B.II-2.	163
Tabela 5.57: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das temperaturas do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase B.II-2.	163
Tabela 5.58: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-2.	165
Tabela 5.59: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-2.	166
Tabela 5.60: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-2.	168
Tabela 5.61: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-2.	170
Tabela 5.62: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase B.II-2.	170
Tabela 5.63: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-2.	175

Tabela 5.64: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO ₅ do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-2.	175
Tabela 5.65: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO ₅ total. Fase B.II-2.	176
Tabela 5.66: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-2.	177
Tabela 5.67: Valores das concentrações de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito no efluente da lagoa aerada aeróbia (E ₃). Fase B.II-2.	177
Tabela 5.68: Valores das concentrações de nitrogênio total e amoniacal no afluente da lagoa aerada aeróbia (E ₃) e no efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-2.	178
Tabela 5.69: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase B.II-2.	178
Tabela 5.70: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais. Fase B.II-3.	180
Tabela 5.71: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E ₁), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia (E ₃). Fase B.II-3.	181
Tabela 5.72: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	182
Tabela 5.73: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	184
A tabela 5.74: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-3.	185
Tabela 5.75: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	187
Tabela 5.76: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase B.II-3.	188
Tabela 5.77: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	192

Tabela 5.78: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO ₅ do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	192
Tabela 5.79: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO ₅ total. Fase B.II-3.	193
Tabela 5.80: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	194
Tabela 5.81: Valores das concentrações de nitrogênio total, amoniacal, nitrato e nitrito no efluente da lagoa aerada aeróbia (E ₃). Fase B.II-3.	194
Tabela 5.82: Valores das concentrações de nitrogênio total e amoniacal no afluente da lagoa aerada aeróbia (E ₃) e no efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-3.	195
Tabela 5.83: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase B.II-3.	195
Tabela 5.84: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais. Fase B.II-4.	197
Tabela 5.85: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E ₁), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia (E ₃). Fase B.II-4.	198
Tabela 5.86: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-4.	199
Tabela 5.87: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-4.	201
A tabela 5.88: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-4.	202
Tabela 5.89: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-4.	204
Tabela 5.90: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase B.II-4.	204
Tabela 5.91: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-4.	209

Tabela 5.92: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO ₅ do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E ₃) e de decantação (E ₄). Fase B.II-4.	209
Tabela 5.93: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO ₅ total. Fase B.II-4.	210
Tabela 5.94: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E ₁) e efluente (E ₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E ₄). Fase B.II-4.	211
Tabela 5.95: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito no efluente da lagoa aerada aeróbia (E ₃). Fase B.II-4.	211
Tabela 5.96: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase B.II-4.	212
Tabela 5.97: Concentração média de DQO total, DBO ₅ total, SST e nitrogênio total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).	213
Tabela 5.98: Concentração média de DQO total, DBO ₅ total, SST e nitrogênio total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.	218
Tabela 5.99: Resultados da análise de variância das características médias do afluente. Fases A.II e B.II.	225
Tabela 5.100: Resultados da análise de variância das eficiências médias de remoção no reator UASB. Fases A.II e B.II.	225
Tabela 5.101: Resultados da análise de variância das características médias do afluente empregado no sistema completo. Fases A.II-1 e B.II-1.	226
Tabela 5.102: Resultados da análise de variância das eficiências médias de remoção. Fases A.II-1 e B.II-1.	226
Tabela 5.103: Resultados da análise de variância das características médias do afluente empregado no sistema completo. Ensaio B.	227
Tabela 5.104: Resultados da análise de variância das características médias do efluente final no sistema completo. Ensaio B.	227
Tabela 5.105: Resultados da análise de variância das eficiências médias de remoção no sistema completo. Ensaio B.	228

LISTA DE ABREVIATURAS

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias e 20°C

DQO: Demanda Química de Oxigênio

ETE: Estação de Tratamento de Esgotos

PROSAB: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

RSB: Reator Sequencial em Batelada

ST: Sólidos Totais

SV: Sólidos Voláteis

SST: Sólidos Suspensos Totais

SSV: Sólidos Suspensos Voláteis

TDH: Tempo de Detenção Hidráulica

UASB: Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manto de Lodo

1. INTRODUÇÃO

O grande crescimento da população mundial, da industrialização e da agropecuária no século passado, resultaram em drásticas mudanças no meio ambiente, tanto a nível local como global. As atividades humanas causaram a contaminação do meio ambiente com uma série de compostos, provenientes das descargas de esgotos domésticos e industriais, descargas essas que pela ausência ou mesmo insuficiência de sistemas de tratamento já causaram a degradação de muitos ambientes.

O tratamento dos resíduos busca melhorar as suas qualidades até alcançar os níveis requeridos pela legislação, de modo que o seu uso ou quando for o caso a sua disposição final, possa ser realizada preservando os recursos naturais e causando o menor dano ao meio ambiente.

Os resíduos podem ser tratados empregando-se processos de natureza física, química e biológica. Entre os biológicos destacam-se aqueles baseados em transformações aeróbias ou anaeróbias. No processo aeróbio a matéria orgânica sofre uma oxidação total a gás carbônico e água. No processo anaeróbio, conhecido também por digestão anaeróbia, ocorre a conversão da matéria orgânica, na ausência oxigênio, a uma mistura gasosa composta predominantemente por metano e gás carbônico. Cada processo tem características positivas e negativas que o torna mais ou menos recomendado para o tratamento de determinados tipos de resíduos.

Dentre todos os despejos produzidos pelo homem os esgotos domésticos são, sem dúvida, uma das maiores fontes de poluição dos corpos d'água, já que estes têm sido, ao longo dos anos, a solução mais usada para a destinação final dos esgotos. O lançamento dos esgotos sem nenhum tratamento acaba contaminando os corpos d'água o que compromete os seus usos tanto em atividades de pesca e recreação, quanto como manancial de abastecimento público de água, além de veicular doenças através da água contaminada com organismos patogênicos.

Nesse sentido os esgotos devem ser tratados de modo a reduzir a carga poluidora dos rios (Preservação Ambiental), garantir água de qualidade para o abastecimento público (Qualidade de Vida) e combater as doenças de veiculação hídrica (Saúde Pública). (GIULIANO, 2002)

As primeiras estações de tratamento de esgotos datam do final do século XIX e começo do século XX e removiam, dependendo das características do esgoto e da eficiência do decantador, no máximo 30-50% dos sólidos sedimentáveis através de decantação simples. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994a,b) Conhecido como tratamento primário, este só depurava parcialmente os esgotos devido a que grande parte da matéria orgânica presente nos esgotos se encontra dissolvida.

Assim, fica evidente que apenas o tratamento primário não é suficiente para garantir a proteção dos corpos receptores. (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999)

A crescente conscientização de que o tratamento dos esgotos é de vital importância para evitar a deterioração dos corpos receptores, resultou na necessidade de adicionar algum processo que combinasse alta eficiência de tratamento com baixos custos de construção, operação e manutenção. A partir da metade do século passado, com a finalidade de aumentar a eficiência do tratamento dos esgotos, passaram a ser desenvolvidos diversos processos de tratamento, denominados secundários, que se caracterizavam basicamente pela remoção mais completa da matéria orgânica biodegradável empregando processos biológicos aeróbios ou anaeróbios.

A realidade mundial que se instalou a partir da década de 70, de crise econômica e escassez de energia, resultou na redução do interesse pelos processos aeróbios, aumentando os esforços no desenvolvimento de processos de tratamento que consumissem pouca energia. Como resultado das pesquisas na busca de eficiências cada vez maiores para os processos anaeróbios, diversos sistemas foram desenvolvidos visando a diminuição do tempo de detenção hidráulica e, como consequência, reduzindo o volume dos equipamentos, com o objetivo único de torná-lo vantajoso em relação ao processo aeróbio.

Apesar de terem sido desenvolvidos diversos processos eficientes de tratamento, a tendência atual é buscar a prevenção à poluição na fonte geradora, antes de pensar em qual é o melhor sistema de tratamento. Esse objetivo pode ser alcançado pondo-se em prática o conceito de “produção mais limpa”, que consiste na aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços, de modo a reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente. Em outras palavras, trata-se de aplicar processo ou tecnologia que vise a redução ou eliminação em volume, concentração e/ou toxicidade dos resíduos na fonte geradora, tais como a minimização, a reciclagem, o reúso e a recuperação dos resíduos poluentes. (MORITA, 2002)

A aplicação desses processos ou tecnologias nas próximas décadas vai passar a inserir o tratamento de resíduos dentro de um contexto maior, o de “desenvolvimento sustentável”. Isso significa dizer que o tratamento de resíduos deverá visar não só a proteção do meio ambiente, mas também a recuperação da água e dos nutrientes contidos nos resíduos.

Nesse aspecto, de acordo com LETTINGA e HULSHOFF POL (1993), o tratamento anaeróbio é um processo eficiente para a proteção do meio ambiente, que quando integrado com outros

tratamentos (aeróbio ou físico-químico) permite:

- tratamento do resíduo, reduzindo sensivelmente o seu potencial poluidor;
- a utilização do biogás para gerar energia;
- reuso do excesso de lodo estabilizado como condicionador de solo para a produção de alimentos;
- reuso do efluente líquido para ferti-irrigação na agricultura ou em lagoas para criação de peixes (produção de alimentos);
- a recuperação dos sais de nitrogênio e fósforo presentes no efluente líquido para utilização como fertilizante (produção de alimentos);
- reuso de água;

2. OBJETIVOS

Os esgotos sanitários da cidade de Jundiaí/SP apresentam uma parcela significativa de sua carga orgânica devida a despejos industriais, o que confere características bem diversas das normalmente encontradas em esgotos tipicamente domésticos. Estes são tratados em uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE - Jundiaí) composta por lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação.

Visando a futura ampliação da ETE resolveu-se estudar uma alternativa de tratamento que pudesse produzir um efluente final com qualidade equivalente ao sistema hoje empregado, porém com menor gasto de energia e menor necessidade de área.

Com esse objetivo decidiu-se avaliar o desempenho de um sistema piloto, composto por reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (reator UASB) seguido de lagoa aerada aeróbia e lagoa de decantação, no tratamento dos esgotos sanitários afluentes à ETE - Jundiaí.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Avaliar as condições de partida e determinar o tempo de detenção hidráulica limite no reator UASB para operação em conjunto com a lagoa aerada aeróbia e a lagoa de decantação.
- Avaliar a eficiência do reator UASB na remoção de DQO e DBO_5 dos esgotos, no tempo de detenção hidráulica limite. Determinar a produção de gás.
- Avaliar o desempenho do sistema, em termos da eficiência de remoção de DQO, DBO_5 , SST, SSV, nitrogênio, fósforo e cor verdadeira, quando se aplicam diferentes tempos de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia, enquanto no reator UASB e na lagoa de decantação estes permanecem fixos.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Digestão anaeróbia

3.1.1. Introdução

Os ecossistemas anaeróbios ocorrem em vários ambientes naturais, tais como sedimentos de lagos, rios e mares, pântanos, o trato gastrointestinal de animais ruminantes, interior de solos, as minas de carvão, jazidas petrolíferas, entre outros. (PERES, 1982 apud MONTENEGRO, 1994)

A degradação anaeróbia (digestão anaeróbia) é um processo biológico muito importante no ciclo do carbono no qual, na ausência de oxigênio molecular, diversos grupos de microrganismos interagem na decomposição de compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos finais estáveis mais simples como metano (que é a forma mais simples de um carbono reduzido) e outros produtos inorgânicos, tais como dióxido de carbono (que é a forma mais simples de um carbono oxidado), água, gás sulfídrico e amônia, além de novos microrganismos. (SANCHEZ, 1998) Segundo ZINDER (1993) apud GIJZEN (2002) a quantidade de metano emitida globalmente por essas fontes naturais é estimada em cerca de 295 a 570 milhões de toneladas de metano por ano. A concentração de metano na atmosfera é estimada em cerca de 1,6 ppm, o que contribui com cerca de 15-20% no efeito estufa.

Durante muitos anos a digestão anaeróbia foi empregada apenas para o tratamento de resíduos com elevada concentração de matéria orgânica, como o lodo de esgoto de estações de tratamento e esterco, com uma eficiência relativamente baixa de remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão e com um tempo de detenção hidráulica elevado (acima de 20 dias). A partir da década de 60 com a evolução das pesquisas em todo o mundo, relacionadas com a microbiologia, bioquímica e engenharia do processo, a digestão anaeróbia passou a ser considerada como um processo de grande potencial para o tratamento de despejos com baixos, médios e altos teores de matéria orgânica.

Dentre as características favoráveis dos processos anaeróbios podem ser citadas: (FORESTI et al., 1999, CHERNICHARO, 1997)

- baixo consumo de energia;
- baixa produção de lodo;
- possibilidade de recuperação e utilização do gás metano como combustível;
- baixa demanda de área;

- possibilidade de voltar a funcionar bem mesmo após longos períodos (vários meses) de interrupção;
- baixos custos de implantação, operação e manutenção;
- aplicabilidade em pequena e grande escala;

Os principais aspectos negativos estão relacionados com:

- longo período de partida do sistema se não há disponibilidade de inóculo adequado;
- sensibilidade do processo a mudanças das condições ambientais (pH, temperatura, sobrecargas orgânicas e hidráulicas) e a compostos tóxicos;
- possível emissão de maus odores;
- necessidade de alguma forma de pós-tratamento;
- remoção insatisfatória de nitrogênio, fósforo e patogênicos.

A produção de lodo biológico (biomassa) é muito pequena no processo anaeróbico quando comparada com o processo aeróbico, sendo da ordem de 0,02 e 0,45 kg SSV/ kg DQO metabolizada, respectivamente. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994a) Como consequência, o sucesso dos processos de tratamento anaeróbico depende do projeto de reatores que apresentem basicamente duas características:

- retenham uma grande quantidade de biomassa e assim o tempo de detenção celular passa a ser independente do tempo de detenção hidráulico, e
- promovam um contato intenso entre o material a ser tratado e o lodo biológico, permitindo assim aplicar elevadas cargas orgânicas.

O desafio de manter uma grande massa de lodo no reator foi superado já no início dos anos 60, com o desenvolvimento do reator anaeróbico de contato, no qual o efluente de um reator de mistura completa passa por decantador externo, que permite o retorno do lodo para o reator. A dificuldade em promover a desgasificação do efluente, antes da entrada do decantador, não permitiu, naquela época, o uso intensivo desse reator

A necessidade de otimização levou à intensificação das pesquisas o que culminou com o desenvolvimento dos reatores de alta taxa, especificamente o filtro anaeróbico, o reator de leito expandido/fluidificado e o reator anaeróbico de fluxo ascendente e manto de lodo (na sigla em inglês: UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor). O primeiro é um tipo de reator onde a biomassa fica retida nos interstícios existentes em um leito de pedra ou outro material sólido inerte.

No segundo a biomassa adere-se a superfícies fixas ou à superfícies de material particulado móvel. Este, por sua vez, se baseia nas boas características de sedimentação do lodo granular ou floculento e no correto dimensionamento de um dispositivo separador gás/líquido/sólido para manter uma alta concentração de biomassa no interior do reator. Cada reator tem vantagens e desvantagens que o torna mais ou menos apropriado ao tratamento de determinados despejos. (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999)

Com a disponibilidade de reatores de elevada eficiência, passou-se a poder trabalhar com tempos de detenção hidráulica tão baixos quanto algumas horas, tornando o processo anaeróbio muito competitivo com os processos aeróbios e intensificando o seu uso como primeira unidade no tratamento biológico dos mais diversos tipos de despejos.

Além disso, duas outras razões podem ser apontadas para essa mudança de atitude. A primeira envolve a questão energética pois ao se tratar despejos com crescente concentração de matéria orgânica, o processo aeróbio consome cada vez mais energia, enquanto o anaeróbio produz cada vez mais energia. A segunda refere-se a produção de lodo biológico. No processo aeróbio cerca de 50 a 60% da matéria orgânica biodegradável presente no despejo é convertida em biomassa microbiana, que vem a constituir o lodo excedente, enquanto no anaeróbio apenas uma pequena parcela do matéria orgânica (cerca de 5 a 15%) é utilizada para a formação de biomassa microbiana, vindo a se constituir o lodo excedente do sistema. Decorre portanto que, além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se, via de regra, mais concentrado e com melhores características de desidratação, facilitando a sua disposição final. (CHERNICHARO, 1997)

3.1.2. Microbiologia e bioquímica

A digestão anaeróbia é um processo complexo realizado seqüencialmente através do metabolismo de, basicamente, dois grupos de bactérias: as acidogênicas e as metanogênicas. Esses grupos interagem de tal forma que os produtos do metabolismo gerados por um grupo constituem o substrato para as outras, e assim por diante. O primeiro grupo é responsável pela hidrólise e formação de ácidos, enquanto o segundo pela formação de uma mistura gasosa, constituída principalmente de metano e gás carbônico.

Apesar do gás metano ser originado pelo metabolismo de um tipo específico de bactérias, o seu aparecimento depende da interação de diversos grupos bacterianos, que através da transformação da matéria orgânica complexa em substratos mais simples cria condições para a atividade metanogênica. (VAZOLLER, 1994)

De acordo com HENZE & HARREMOËS (1983) apud PIVELI (1990) o grupo das acidogênicas pode ser subdividido em bactérias hidrolíticas e bactérias acetogênicas e as metanogênicas em bactérias acetoclásticas e bactérias hidrogenofilicas. Cada grupo tem seu papel dentro do processo e, em conjunto, atuam de forma simbiótica ou sintrófica, a fim de produzirem energia e matéria prima para a seu metabolismo e como consequência a matéria orgânica é degradada.

Segundo NOVAES (1986) apud VAZOLLER (1989), a digestão anaeróbia pode ser representada por um esquema de quatro etapas metabólicas cada uma realizada por um grupo específico de bactérias. A figura 3.1 mostra uma representação esquemática da digestão anaeróbia, com as etapas metabólicas e respectivos grupos bacterianos.

Na primeira etapa, os compostos orgânicos complexos são hidrolizados a compostos mais simples, através da ação enzimática de bactérias hidrolíticas fermentativas. Na etapa seguinte, ocorre a fermentação desses compostos mais simples pelas mesmas bactérias, originando ácidos orgânicos tais como: valérico, butírico, propiônico e acético; álcoois como o etanol, além de hidrogênio e dióxido de carbono. É através dessa fermentação que as bactérias obtêm energia para o seu crescimento. Os produtos finais do metabolismo destas bactérias dependem do substrato inicial e das condições ambientais. A pressão parcial de hidrogênio (H_2) tem papel importante nas interações metabólicas e favorece a formação de determinados produtos.

A fermentação da glicose por exemplo, produz uma mistura de acetato (reação 1), butirato (reação 2) e propionato (reação 3) como mostra a tabela 3.1.

Tabela 3.1: Produtos metabólicos da fermentação da glicose e respectivas variações de energia livre padrão (ΔG°).

Reação	ΔG° (kJ/mol)
1 - $C_6H_{12}O_6 + 4 H_2O \rightarrow 2 CH_3COO^- + 2 HCO_3^- + 4 H^+ + 4 H_2$	- 206
2 - $C_6H_{12}O_6 + H_2O \rightarrow CH_3CH_2COO^- + 2 HCO_3^- + 3 H^+ + H_2$	- 255
3 - $C_6H_{12}O_6 + 4 H_2 \rightarrow CH_3COO^- + CH_3CH_2COO^- + HCO_3^- + 3 H^+ + H_2$	- 283

Fonte: BREURE and VAN ANDELL, 1987 apud BREURE, 1993.

A reação de conversão da glicose a ácido acético (reação 1) é a de maior rendimento energético e, portanto, a que resulta em maior taxa de crescimento celular. No entanto, a formação de acetato depende de baixos níveis de hidrogênio (H_2). Uma baixa pressão de H_2 favorece a produção de acetato, dióxido de carbono (CO_2) e H_2 , ao passo que o aumento da pressão parcial de hidrogênio

favorece a formação de produtos reduzidos, tais como propionato ou ácidos orgânicos de cadeia maior, como lactato ou álcoois, como o etanol. (PERES, 1982 apud MONTENEGRO, 1994)

1. Bactérias fermentativas hidrolíticas.
2. Bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio.
3. Bactérias acetogênicas consumidoras de hidrogênio.
4. Bactérias metanogênicas redutoras de dióxido de carbono.
5. Bactérias metanogênicas que descarboxilam o acetato.

Figura3.1: Etapas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: NOVAES,1986.

Nos estágios 2 e 3 ocorre a acetogênese, onde a produção de ácido acético e hidrogênio a partir dos ácidos orgânicos de cadeia carbônica maior que o acético e do etanol é bastante intensa. A tabela

3.2 apresenta as reações de decomposição de alguns compostos orgânicos e as respectivas variações de energia livre padrão (ΔG°).

Tabela 3.2: Reações de decomposição de alguns compostos orgânicos a acetato e as suas respectivas variações de energia livre padrão (ΔG°).

Composto	Equação	ΔG° (kJ/mol)
Propionato	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^- + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 3 \text{H}_2$	+ 76,1
Butirato	$\text{C}_3\text{H}_5\text{COO}^- + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2$	+ 48,1
Etanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2$	- 9,6
Lactato	$\text{C}_2\text{H}_4\text{OHCOO}^- + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2$	+ 4,2

Fonte: SPEECE, 1983; HARPER e POHLAND, 1986 apud MONTENEGRO, 1994.

Três grupos de bactérias são os mais importantes para a ocorrência dessa etapa: as bactérias acetogênicas, as bactérias redutoras do íon sulfato e as bactérias homoacetogênicas. As primeiras são organismos sintróficos obrigatórios, ou seja, seus produtos devem ser rapidamente utilizados por outras bactérias para que as condições termodinâmicas do meio sejam mantidas, favorecendo seu equilíbrio metabólico.

Quanto às bactérias redutoras do íon sulfato, sabe-se que na ausência de sulfato agem como bactérias acetogênicas, produzindo hidrogênio e acetato, favorecendo a metanogênese. Porém, na presença de sulfato, essas bactérias podem competir com as metanogênicas pelo mesmo substrato, ou inibir a atividade metanogênica, pela produção de substâncias tóxicas, como o sulfeto. (NOVAES, 1986 apud MONTENEGRO, 1994) A equação, a seguir, apresenta um exemplo de competição entre as bactérias redutoras do íon sulfato e as metanogênicas, pelo acetato:

Segundo PERES (1982) e SPEECE (1983) apud MONTENEGRO (1994) nenhuma das reações do catabolismo de ácidos graxos prosseguiria sem a associação sintrófica de microrganismos produtores e consumidores de hidrogênio, pois todas as reações onde há formação de ácido acético são energeticamente desfavoráveis no sentido de formar produtos e, para que estas reações ocorram é necessário que haja o consumo do hidrogênio no reator. Portanto, existe uma relação sintrófica obrigatória entre as bactérias acetogênicas e as bactérias utilizadoras de hidrogênio como as metanogênicas, as redutoras do íon sulfato e as homoacetogênicas.

O terceiro grupo de bactérias presentes no estágio acetogênico, é o chamado homoacetogênico. São bactérias que metabolizam, basicamente, o hidrogênio e o dióxido de carbono, produzindo ácido

acético. (VAZOLLER, 1989) A homoacetogênese é vista como um importante passo na digestão anaeróbia devido ao seu produto final, o acetato, que é o principal precursor do metano. A seguir é apresentado um exemplo de reação de formação do ácido acético a partir de gás carbônico e hidrogênio.

Graças a relação entre produtoras e consumidoras de hidrogênio, a pressão deste gás é mantida em níveis baixos de modo a tornar as condições termodinâmicas favoráveis para a conversão de ácidos voláteis e álcoois a acetato. (MONTENEGRO, 1994)

No quarto e quinto estágios, ocorre a formação de metano (metanogênese), através da atividade metabólica bacteriana na redução do dióxido de carbono ou na descarboxilação do acetato (com co-produção de gás carbônico), respectivamente, pelas bactérias metanogênicas hidrogenotróficas e metanogênicas acetotróficas. Este estágio contribui também para a manutenção de baixos teores de hidrogênio no meio, bem como diminui a concentração de ácido acético, removendo prótons inibidores e estabilizando o pH. (VAZOLLER, 1989) As bactérias metanogênicas formam um grupo especial de bactérias com diferentes espécies e morfologias e utilizam como fonte de energia e carbono, um número reduzido de compostos simples como o hidrogênio, dióxido de carbono, acetato, formiato, metanol e aminas metiladas (OREMLAND, 1988 apud MONTENEGRO, 1994). As reações da tabela 3.3 são exemplos de formação de metano a partir de alguns substratos orgânicos e respectivas variações de energia livre padrão (ΔG°).

Tabela 3.3: Reações de formação do metano a partir de alguns substratos e respectivas variações de energia livre padrão (ΔG°).

Reação	ΔG° (kJ/mol)
Acetato	
$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	- 31
Metanol	
$4 \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3 \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$	- 315
Hidrogênio e gás carbônico	
$4 \text{H}_2 + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CH}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$	- 136
Aminas	
$4 \text{CH}_3\text{NH}_3^+ + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^- + 4 \text{NH}_4^+ + \text{H}^+$	- 225
$2 (\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+ + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^- + 2 \text{NH}_4^+ + \text{H}^+$	- 220
$4 (\text{CH}_3)_3\text{NH}^+ + 9 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 9 \text{CH}_4 + 3 \text{HCO}_3^- + 4 \text{NH}_4^+ + 3 \text{H}^+$	- 669
Formiato	
$4 \text{HCOOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + 3 \text{HCO}_3^- + 3 \text{H}^+$	- 131

Fonte: MAH, 1981 apud SPEECE, 1983 apud MONTENEGRO, 1994.

MOSEY (1980) apud CALLADO (1992) apud MONTENEGRO (1994) cita que 70% do metano produzido em digestores de esgoto é proveniente do ácido acético e o restante a partir do dióxido de carbono, hidrogênio e dos demais substratos.

A metanogênese é um passo limitante no processo de digestão anaeróbia, porém não é necessariamente o principal, a hidrólise pode também assumir um papel importante dentro do processo (HENZE e HARREMOËS, 1983 apud PIVELI, 1990). As bactérias metanogênicas são organismos dependentes da atividade de outros anaeróbios, principalmente em função de suas necessidades de fontes orgânicas bastantes simples, tem um metabolismo muito lento e são sensíveis às variações do meio. Essas bactérias são as únicas, dentro do processo de digestão anaeróbia, capazes de transformar acetato e hidrogênio em um hidrocarboneto, o metano, como principal produto de seu metabolismo anaeróbio estrito. Sem a presença desses organismos, a matéria orgânica acumular-se-ia sob a forma de ácidos orgânicos e álcoois, cujo conteúdo energético é quase igual ao da matéria orgânica inicial. (ZEIKUS, 1982 apud CALLADO, 1992 apud MONTENEGRO, 1994)

3.1.3. Aspectos cinéticos

O conhecimento dos estágios inicial e final de um processo fermentativo, permite uma série de conclusões e avaliações, como por exemplo, rendimento, produtividade ou velocidade média de transformação, etc. Estas conclusões, estão apoiadas no princípio da conservação da matéria.

No entanto, este conhecimento nada informa sobre o caminho que o processo percorreu entre os estágios inicial e final. O estudo cinético de um processo resume-se, então, em conhecer este caminho com a maior exatidão possível. Este é alcançado medindo-se os parâmetros cuja variação tem influência direta no desenvolvimento do processo, tais como a variação da concentração de substrato limitante, na medida em que este regula a atividade dos microrganismos; a variação da concentração de produto, na medida em que este é a substância de interesse do processo e principalmente, a variação da concentração de microrganismos, na medida que este é o agente da transformação química.

Uma série de tentativas foram feitas para obter uma expressão que descrevesse a cinética do crescimento microbiano. Muitas dessas expressões são baseadas nos estudos da fermentação alcoólica de mosto de uva realizados por Monod. Os resultados de Monod podem ser resumidos na expressão a seguir: (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994)

$$(dX/dt) = Y (dS/dt) - b X = X (\mu - b) = X \mu_m [S / (K_s + S)] - b X \quad (3.1)$$

onde os símbolos constantes da expressão acima devem ser entendidos conforme o seguinte significado:

(dX/dt) : taxa líquida de crescimento de microrganismos (kg SSV/L.dia).

Y : coeficiente de produção de microrganismos (kg SSV/kg DQO).

(dS/dt) : taxa de utilização de substrato pelos microrganismos (kg DQO/L.dia).

b : coeficiente de decaimento dos microrganismos (dia^{-1}).

X : concentração de microrganismos (kg SSV/dia).

μ : taxa específica de crescimento de microrganismos (dia^{-1}).

μ_m : taxa específica máxima de crescimento de microrganismos (dia^{-1}).

S : concentração de substrato (kg DQO/L).

K_s : constante de Monod que é igual à concentração de substrato para a qual a taxa de utilização é igual a metade da máxima (kg DQO/L).

Da expressão (3.1) resulta que quando a concentração de substrato é elevada, a relação $S/(K_s + S)$ se aproxima de 1 e a taxa de crescimento de microrganismos passa a ser independente da concentração de substrato (processo de ordem zero). Se a concentração de substrato é baixa ($S \ll K_s$), a relação $S/(K_s + S)$ se aproxima de S/K_s e a taxa de crescimento de microrganismos fica proporcional a concentração de substrato (processo de ordem um).

Para manter uma quantidade de biomassa ativa no processo é necessário manter uma concentração de substrato mínima ($S_{\min.}$). Esta pode ser calculada igualando-se a expressão (3.1) a zero, de onde se obtém que:

$$S_{\min.} = b K_s / (\mu_m - b) \quad (3.2)$$

Assim, mantendo-se uma concentração de substrato no processo maior que $S_{\min.}$ haverá crescimento de microrganismos. Porém, é obvio que há um limite para o crescimento de microrganismos porque se assim não fosse após certo período o sistema ficaria cheio de biomassa. Logo é necessário retirar o excesso de lodo no mínimo a uma taxa igual à taxa líquida de produção.

O inverso da taxa de remoção de excesso de lodo é denominada de idade do lodo (θ_c) e representa o tempo médio de detenção dos sólidos no reator, sendo o seu valor expresso como o inverso da taxa de crescimento de microrganismos (μ). Da expressão (3.1) obtém-se que:

$$(dX/dt) / X = (\mu - b) = 1/\theta_c \quad (3.3)$$

ou ainda:

$$1/\theta_c = \mu_m [S / (K_s + S)] - b \quad (3.4)$$

Da expressão (3.4) percebe-se que há uma idade de lodo (θ_c) mínima abaixo da qual a perda de biomassa é tal que o processo acaba ficando inviável. Essa idade de lodo mínima pode ser calculada a partir da expressão (3.4) assumindo-se que não há remoção de substrato, isto é, que a concentração de substrato no afluente (S_0) é igual a concentração de substrato do efluente (S):

$$1/\theta_c = \mu_m [S_0 / (K_s + S)] - b \quad (3.5)$$

Nos sistemas de alta eficiência, S_0 é muito maior que K_s , logo a equação 3.5 fica reduzida à:

$$1/\theta_c = \mu_m - b \quad (3.6)$$

Outro parâmetro cinético importante é a taxa específica máxima de consumo de substrato (K_m) e pode ser calculada pela expressão:

$$K_m = \mu_m / Y_m \quad (3.7)$$

onde:

Y_m : coeficiente máximo de produção de microrganismos (kg SSV/kg DQO).

Segundo PIVELI (1990), para uma cultura bacteriana com 100% de biomassa ativa, pode-se estimar uma taxa máxima de remoção de substrato a uma temperatura de 35°C de 10 a 15 kg DQO/kg SSV. dia. Como o processo anaeróbio é sequencial, na biomassa ativa devem estar incluídas as bactérias acidificadoras e as metanogênicas.

A tabela 3.4 apresenta uma estimativa do valor dos parâmetros cinéticos mais importantes para a fase acidogênica e metanogênica da digestão anaeróbia a partir dos resultados experimentais de vários autores.

Tabela 3.4: Coeficientes cinéticos para a digestão anaeróbia (35°C).

Fase	μ_m (d ⁻¹)	Y_m (kg SSV/kg DQO)	$K_m^{(*)}$ (kg DQO/kg SSV.d)	K_s (kg DQO/L)
Acididogênica	2,0	0,15	13	0,2
Metanogênica	0,4	0,03	13	0,05
Cultura mista	0,4	0,18	2	

Fonte: HENZE e HARREMOËS, 1983 apud PIVELI, 1990.

(*)SSV 100% ativos.

Os coeficientes cinéticos apresentados na tabela 3.4 indicam uma proporção entre os dois tipos de bactérias presentes nas fase acidogênica e metanogênica de 0,15/0,03. Assim, 1 kg de biomassa ativa contém 833 g de bactérias acidificadoras e 167 g de bactérias metanogênicas, sendo estas últimas portanto, as limitantes do processo. Juntas poderão metabolizar cerca de 2 kg DQO/kg SSV.dia, conforme mostrado na tabela 3.4. Na prática deve-se considerar apenas 50% da biomassa presente em um reator, como biomassa ativa e trabalhando a uma taxa máxima de remoção de substrato de 1 kg DQO/kg SSV.dia a 35°C (PIVELI, 1990).

3.1.4. Fatores ambientais que influenciam a digestão anaeróbia

Vários fatores ambientais influenciam o desempenho da digestão anaeróbia. Entre os mais importantes estão: pH, temperatura, nutrientes e substâncias tóxicas.

- **Temperatura**

Como em qualquer processo biológicos, as velocidades de reação na digestão anaeróbia, sejam as de consumo de matéria orgânica, de síntese celular ou de respiração endógena crescem com o aumento da temperatura, até um máximo

As bactérias metanogênicas são bastante sensíveis às variações de temperatura, especialmente a elevações, as quais devem ser sempre que possível evitadas, ou realizadas vagarosamente. As variações nos processos em operação devem, por exemplo, ser feitas em passos de 1°C por dia, de modo que as bactérias se adaptem sem alterar o seu metabolismo (SOUZA, 1984).

Ainda segundo o mesmo autor o processo pode ocorrer em um intervalo de temperatura que varia de 15°C a 65°C. Costuma-se dividir esse intervalo, basicamente, em duas faixas, a mesofílica, que abrange temperaturas de 15°C a 45°C (temperatura ótima entre 35°C a 37°C), e a termofílica, que situa-se entre 50°C a 65°C (temperatura ótima entre 57°C a 62°C).

Na faixa de temperatura entre 40° e 45°C, a atividade microbiana ainda é significativa, mas devido a taxa elevada de decaimento endógeno das metanobactérias, o coeficiente de produção aproxima-se de zero. (MOSEY, 1982 apud PIVELI, 1990)

HENZE e HARREMOËS (1983) apud VAN HAANDEL e LETTINGA (1994) relataram, a partir dos resultados de diversos autores sobre a influência da temperatura na taxa de reação da digestão anaeróbia, que a faixa de temperatura ótima para a digestão anaeróbia situa-se entre 30° e 40°C e

que para temperaturas fora dessa faixa a velocidade de reação diminui cerca de 11% para cada decréscimo de 1°C na temperatura do processo.

Os processos termofílicos apresentam uma taxa de remoção de substrato mais constante, entre 50° e 70°C, sendo 25% a 50% superior àquela obtida a 35°C, dependendo do tipo de substrato. O maior problema desses processos é a baixa produção celular líquida (cerca de 50% mais baixa que a 35°C). o que resulta em partidas muito lentas e também adaptações muito lentas às variações de carga orgânicas e às substâncias tóxicas. As células bacterianas tendem a sofrer lise rapidamente às temperaturas elevadas. Além disso, o número de espécies que pode se desenvolver sob estas condições é muito reduzido. (JEWEL, 1981 apud PIVELI, 1990)

SOUZA (1984) cita que na faixa termofílica os lodos produzidos são mais facilmente desidratados e a remoção de patógenos é maior. Porém, os custos relativos ao aquecimento em geral não compensam a operação na faixa termofílica.

- **pH**

Como qualquer reação enzimática, a digestão anaeróbia é fortemente afetada pelo pH. O valor e a estabilidade do pH são extremamente importantes porque dos grupos bacterianos presentes na digestão anaeróbia o grupo das metanogênicas é o mais sensíveis às variações de pH. MCINERNEY e BRYANT (1981) citados por VAZOLLER (1989) relatam que a faixa de pH ideal para o crescimento e produção de metano está entre 6,8 e 7,2. Valores de pH tanto abaixo de 6,3 quanto acima 7,8 reduzem muito a velocidade de conversão das bactérias metanogênicas. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994)

Segundo SOUZA (1984) as bactérias acidogênicas são menos sensíveis às variações de pH sendo entre 5,5 e 6,0 a faixa ótima para essas bactérias.

O pH em um reator anaeróbio é resultado do equilíbrio de diferentes sistemas ácido-base, presentes no meio em digestão, tais como, carbonato, fosfato, amônia e sulfato. A tabela 3.5 relaciona as constantes características de sistemas normalmente encontrados na digestão anaeróbia de esgoto.

O sistema carbônico bem como o fosfato e sulfato tem uma grande influência no pH do reator anaeróbio, porque esses três sistemas tem pKa na faixa usual para a digestão anaeróbia e sua concentração é geralmente muito maior que a dos outros sistemas, o que garante uma alta capacidade de tamponamento, levando o pH automaticamente para valores próximos a 7,0.

Tabela 3.5: Reações, constantes de dissociação e faixas de concentração dos sistemas ácido-base normalmente encontrados na digestão anaeróbia de esgoto.

Ácido-base	Reação	pKa	Ka	Concentração (mmol/L)
Carbonato	$\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	6,35	$4,5 \times 10^{-7}$	5 – 10
	$\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$	10,33	$4,7 \times 10^{-11}$	
Amônia	$\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$	9,26	$5,5 \times 10^{-10}$	2 – 5
Fosfato	$\text{H}_3\text{PO}_4 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}^+$	2,23	$5,9 \times 10^{-3}$	
	$\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+$	7,21	$6,2 \times 10^{-7}$	0,2 – 0,5
	$\text{HPO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{PO}_4^{3-} + \text{H}^+$	12,32	$4,9 \times 10^{-13}$	
Sulfato	$\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{H}^+$	6,96	$1,1 \times 10^{-7}$	0,2 – 0,5
	$\text{HS}^- \rightleftharpoons \text{S}^{2-} + \text{H}^+$	14,00	$1,0 \times 10^{-14}$	0,2 – 0,5
Ácido Acético	$\text{HAc} \rightleftharpoons \text{Ac}^- + \text{H}^+$	4,74	$1,8 \times 10^{-5}$	0,5 – 2,0
Ácido Propiônico	$\text{HPr} \rightleftharpoons \text{Pr}^- + \text{H}^+$	4,50	$1,3 \times 10^{-5}$	< 0,1
Água	$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}^+$	14,00	$1,0 \times 10^{-14}$	55,555

Fonte: VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994.

Quando o processo esta funcionando normalmente o pH se mantém em torno de 7,0. No entanto, se ocorrer algum desequilíbrio entre as populações acidogênicas e metanogênicas o pH pode cair a valores inferiores a 6,5, precisando ser corrigido para restabelecer o equilíbrio do processo. Um pH estável e na faixa do neutro poderá ser mantido em um reator anaeróbio se for criada uma capacidade adequada de tamponamento. A correção do pH pode ser feita mediante a adição de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), soda (NaOH) ou bicarbonato de sódio (NaHCO_3). A solução mais apropriada é a adição de bicarbonato, porque este ao contrário da cal e da soda não reage com o gás carbônico evitando o problema de vácuo no digestor e, além disso, não forma precipitados o que leva a um consumo menor.

• Nutrientes

O crescimento bacteriano depende da presença em solução dos macronutrientes nitrogênio e fósforo e outros micronutrientes em concentrações traço, por estes participarem da constituição do sistema enzimático. O esgoto doméstico geralmente contém todos os nutrientes necessários em quantidades adequadas. Efluentes industriais podem conter quantidades mínimas e nesses casos uma suplementação nutricional é fundamental para assegurar o crescimento bacteriano.

As investigações demonstram que os teores de nitrogênio (N) e fósforo (P) nos sólidos em suspensão voláteis produzidos durante a digestão anaeróbia são, respectivamente, de 10,5% e 1,5%. (SILVA, 1993)

De acordo com diversos trabalhos disponíveis na literatura, para reatores estabilizados, uma relação DQO:N:P da ordem de 350:7:1 pode ser indicada. Um valor em torno de 400:7:1 pode ser considerado razoável para reatores fortemente carregados (0,8 a 1,2 kg DQO/kg SSV.dia). Para cargas baixas (menores que 0,5 kg DQO/kg SSV.dia) esta relação pode aumentada para um valor em torno de 1000:7:1 ou maior. (SPEECE, 1983 apud PIVELI, 1990)

Outros nutrientes além do nitrogênio e do fósforo, são essenciais para os processos anaeróbios. Assim, o ferro (Fe^{2+}) poderá ser benéfico por propiciar a precipitação de sulfetos ou a floculação, melhorando a estrutura do biofilme. O níquel (Ni^{2+}) poderá ser adicionado para incrementar o co-fator F_{430} das bactérias metanogênicas; o magnésio (Mg^{2+}), o cálcio (Ca^{2+}) e o bário (Ba^{2+}) promovem a floculação; o cobalto (Co^{2+}) aumenta a atividade através da vitamina B12 e o sulfato (SO_4^{2-}) também pode produzir um aumento da atividade. (VAN DEN BERG, 1980 apud PIVELI, 1990)

• Alcalinidade

A alcalinidade é a capacidade de um sistema resistir a variações de pH. As mudanças na alcalinidade na digestão anaeróbia são decorrentes basicamente de dois processos: hidrólise do nitrogênio presente nas proteínas e aminoácidos e variação na concentração dos ácidos orgânicos voláteis. Como resultado formam-se sais de bicarbonato, como o bicarbonato de amônio e sais de de ácidos orgânicos voláteis. Nesse caso a alcalinidade é dada pela seguinte expressão:

$$\text{AT} = \text{AB} + (0,85) (0,833) \text{AV} \quad (3.8)$$

onde:

AT: alcalinidade total (mg CaCO_3/L).

AB: alcalinidade de bicarbonatos (mg CaCO_3/L).

AV: ácidos orgânicos voláteis (mg Ácido Acético/L).

Na expressão (3.8) o fator 0,85 leva em consideração que somente 85% dos ácidos orgânicos voláteis são medidos pela titulação até pH=4,0 enquanto o fator 0,83 é a conversão de ácido acético em carbonato de cálcio equivalente.

Para o bom desempenho do processo, visto que as bactérias metanogênicas são muito sensíveis a variações de pH, é importante manter uma alcalinidade no reator de modo a que o pH fique próximo do neutro

Como o pH é uma função logarítmica esta não é uma medida eficaz para avaliar as condições do processo. Pequenas variações de pH podem estar associadas a um grande abaixamento de alcalinidade. BROVKO e CHEN citados por FORESTI (1989) apud SILVA (1993) apresentam um gráfico relacionando o pH e a alcalinidade para uma concentração de CO₂ no gás de 35% e temperatura de 35°C. Desse gráfico pode-se observar que para uma variação no valor do pH de 7,1 para 6,9 ocorre um decréscimo na alcalinidade de 3.600 mg/L para 2.500 mg/L.

Sozinha, a medida da alcalinidade é um parâmetro pouco sensível no acompanhamento de um reator anaeróbio. Entretanto, a variação da relação ácidos orgânicos voláteis / alcalinidade descreve muito satisfatoriamente as condições de digestão. Sob qualquer condição operacional, um aumento da relação ácidos/alcalinidade acima de 0,3 a 0,4 indicam desequilíbrios no processo. (PEREIRA, 1984 apud SILVA, 1993)

- **Ácidos orgânicos voláteis**

O desequilíbrio entre os estágios acidogênico e metanogênico tem como consequência um aumento na concentração de ácidos. A presença de alcalinidade no meio em digestão impede a queda do pH. Somente quando toda a alcalinidade do meio for neutralizada pelos ácidos é que ocorrerá a queda do pH.

Os ácidos orgânicos voláteis podem acumular nos digestores por diversos motivos (SOUZA, 1984):

- sobrecarga orgânica (aumento súbito da carga orgânica aplicada);
- sobrecarga hidráulica (aumento repentino na vazão de despejo, a nível tal que resulte na lavagem das bactérias);
- sobrecarga tóxica (aumento repentino na concentração de compostos potencialmente tóxicos à digestão);
- outros fatores, tais como, variações bruscas de temperatura, pH, etc.

De acordo com SOUZA (1984) apud PIVELI (1990) o acúmulo de ácidos pode inibir, além das bactérias metanogênicas, as próprias bactérias acidogênicas. Porém, estas últimas podem suportar concentrações de até 40.000 mg/L de ácidos orgânicos voláteis.

A atividade das bactérias metanogênicas não é afetada pelos ácidos orgânicos voláteis e sim pelos seus correspondentes sais. Nas condições de desequilíbrio os ácidos mais freqüentes são o acético e o propiônico, sendo este último mais inibitório que o acético. (PIVELI, 1990)

- **Substâncias tóxicas**

A degradação anaeróbia da matéria orgânica depende do equilíbrio entre dois grupos bacterianos, logo se um grupo for inibido o processo como um todo será afetado. Desses grupos, porém, as bactérias metanogênicas são, geralmente as mais sensíveis à toxicidade.

Uma substância só se torna biologicamente tóxica a partir de determinada concentração e se estiver em solução, pois apenas desta forma pode passar através da parede celular das bactérias. Por outro lado, a toxicidade da maioria das substâncias é temporária, podendo ser revertida.

Um elemento tóxico em pequenas concentrações pode ser inócuo ou mesmo estimulante do processo. Logo a toxicidade de um inibidor a um processo biológico deve ser considerada face a aspectos importantes como sinergismo, antagonismo e aclimatação. Sinergismo é o aumento da toxicidade de uma substância causada pela presença de outra. Antagonismo é a diminuição desse efeito. Ambos efeitos dependem da concentração. A aclimatação é um rearranjo dos sistemas enzimáticos, capaz de tornar o organismo apto a sobreviver em presença de um agente tóxico. Dentre os compostos potencialmente tóxicos a digestão anaeróbia pode-se citar: oxigênio, sulfeto, amônia, metais alcalinos e alcalinos terrosos e metais pesados.

As metanobactérias são organismos estritamente anaeróbios e como tal tem seu crescimento e metabolismo inibidos pela presença de oxigênio molecular. No entanto, em um reator anaeróbio operando com uma população mista, o oxigênio presente no afluente é consumido rapidamente pelos microrganismos facultativos presentes na fase acidogênica.

O sulfeto pode aparecer na digestão anaeróbia introduzido junto com o afluente ou como produto da redução do sulfato presente no afluente, pelas bactérias redutoras de sulfato. Embora tóxico em concentrações elevadas, o sulfeto é uma das principais fontes de enxôfre para as metanobactérias, que dependem desse elemento para o seu crescimento. A toxicidade dos sulfetos esta relacionada com o pH, devido a que a fração não ionizada do sulfeto de hidrogênio é capaz de atravessar a parede celular.

A dissolução de sulfeto de hidrogênio na água forma um sistema em equilíbrio entre três espécies químicas, conforme a equação abaixo:

HILTON e OLESZKIEWIEZ (1988) citados por MONTENEGRO (1994) mostraram que a porcentagem de sulfeto de hidrogênio ionizada cresce com a diminuição do pH, assim como a toxicidade do sulfeto. A porcentagem de H₂S não ionizado é de 90% em pH 6,0; de 50% em pH 7,0 e de 10% em pH 8,9.

SILVA (1993) relata resultados de SPEECE (1986) que indicam 6% de H₂S no gás (correspondendo a 138 mg/L de H₂S não ionizado no interior do reator) como limite de toxicidade para o tratamento anaeróbio. De acordo com LETTINGA (1985) apud SILVA (1993), concentrações de até 100 mg H₂S/L podem ser bem toleradas em sistemas de tratamento de alta taxa.

PAULA JR (1992) apud MONTENEGRO (1994) obteve uma remoção de DQO variando entre 70% e 98%, em reator UASB com concentração de sulfeto total variando de zero a 500 mg/L em substrato sintético. E ainda que a atividade biológica em reator UASB foi estimulada com concentrações de até 100 mg/L de sulfeto total.

Altas concentrações de sulfato em relação à concentração de matéria orgânica podem inibir completamente a produção de metano. Dados de literatura citados por SILVA (1993) indicam que a digestão anaeróbia não é inibida por sulfeto se a razão DQO/SO₄²⁻ for superior a 10. PIVELI (1990) recomenda para operação em geral que as concentrações de enxofre na forma de sulfato no afluente sejam mantidas abaixo de 0,3 a 0,6 kg/m³.

A amônia na digestão anaeróbia é formada geralmente pela degradação de proteínas ou uréia e pode estar tanto na forma iônica (NH₄⁺) quanto como gás dissolvido (NH₃). A toxicidade da amônia é dependente da concentração de nitrogênio amoniacal e do pH, visto que a amônia livre (NH₃) é mais tóxica que o íon amônio (NH₄⁺), e sua concentração em equilíbrio com o íon amônio aumenta com o pH do meio, conforme indicado pela equação química :

Quando o pH do digestor é de 7,2 ou menor, o equilíbrio é deslocado para a esquerda, e a inibição é devida a concentração do íon amônio. Para níveis de pH mais elevados, o equilíbrio desloca-se para a direita e o processo passa a ser inibido pela concentração do gás amônia.

Se a concentração de nitrogênio amoniacal encontra-se entre 1.500 e 3.000 mg/L e o pH é maior que 7,4 - 7,6, a concentração de gás amoníaco pode tornar-se inibidora. Quando a concentração de NH₄⁺ excede 3.000 mg/L, este torna-se muito tóxico, independente do pH, e o processo pode entrar

em colapso. A melhor solução é, neste caso, a diluição do despejo ou a remoção da fonte de nitrogênio amoniacal.

Os metais alcalinos e alcalinos terrosos, como os de sódio, potássio, cálcio e magnésio, podem estar presentes em altas concentrações em alguns despejos industriais e geralmente podem reduzir a eficiência ou até inibir completamente o processo. No esgoto doméstico, entretanto, a concentração desses sais normalmente é baixa a ponto de não causar problema, a menos que introduzidos em demasia na forma de alcali para a correção do pH.

O comportamento do sistema na presença desses cátions é muito complexa sendo que estes podem ser estimulantes ou tóxicos, dependendo da concentração, como também seus efeitos podem ser passíveis de aumento ou redução por sinergismo ou antagonismo, quando aparecem combinados.

O efeito inibidor de um cátion pode ser significativamente reduzido se um cátion antagônico está presente ou é adicionado ao sistema. Os principais cátions com esta propriedade são o sódio e o potássio. O cálcio e o magnésio são pobres como antagônicos primários e quando adicionados aumentam a toxidez causada por outros cátions.

A tabela 3.6 apresenta as concentrações permissíveis de metais alcalinos e alcalinos terrosos leves, para situações de adição instantânea e de adição gradual dos mesmos no reator, com e sem antagonistas presentes.

Tabela 3.6: Concentração limite para metais leves na digestão anaeróbia.

Cátion	Concentração Molar Máxima do Cátion			
	Adição Instantânea		Adição Gradual	
	Ausência de Antagônico	Presença de Antagônico	Ausência de Antagônico	Presença de Antagônico
Na ⁺	0,2	0,3 - ,035	0,30	0,35
K ⁺	0,09	0,15 – 0,2	0,13	0,35
Ca ²⁺	0,07	0,125 - ,015	0,15	0,20
Mg ²⁺	0,05	0,125	0,065	0,14

Fonte : KUGELMAN e MCCARTY, 1985 apud HIRATA, 1990.

Os metais pesados, tais como, cobre, zinco, níquel, chumbo, cromo, cádmio, ferro e alumínio podem aparecer com frequência em despejos industriais e mesmo em esgoto doméstico. Pequenas concentrações de sais solúveis de cobre, zinco e níquel são muito tóxicos e são os principais compostos associados ao problema de toxidez de metais pesados no tratamento anaeróbio. (PIVELI, 1990)

De acordo com o mesmo autor o cromo hexavalente é normalmente reduzido a cromo trivalente, que é relativamente insolúvel nos níveis de pH normalmente encontrados em digestores e, conseqüentemente, não é muito tóxico. Os sais de ferro e alumínio também não são tóxicos devido às suas baixas solubilidades.

Somente as frações solúveis dos metais pesados são tóxicos à digestão anaeróbia e, portanto, a precipitação destes metais é uma forma efetiva de evitar a inibição do processo. (SOUZA, 1984)

Um agente eficiente para a remoção de metais pesados da solução é o íon sulfeto. Um procedimento eficiente para controlar esse tipo de toxicidade é adição de sulfeto, sob condições anaeróbias, pois este se combina com os metais pesados formando sais de sulfeto muito insolúveis, os quais são inertes e não prejudicam as atividades dos microrganismos. A adição de cerca de 0,5 mg/L de sulfeto precipita 1,0 mg/L de metais pesados. (PIVELI, 1990)

A adição de sulfato ferroso ao despejo contendo metais pesados tem sido indicado como uma solução pois o sulfato é reduzido a sulfeto no meio em digestão, que precipita os metais. Além disso, o sulfeto formado mantém-se precipitado na forma de sulfeto de ferro, evitando a inibição por sulfetos solúveis e a formação de quantidades excessivas de sulfeto de hidrogênio. A opção por ferro se deve à tolerância muito maior do sistema biológico a esse metal do que a outros, além do sulfeto de ferro ser muito solúvel ficando assim disponível para a precipitação de outros metais mais tóxicos.

Essa solubilidade relativamente maior do sulfeto de ferro, em relação ao de outros metais, faz com que este funcione como um reservatório de íon sulfeto, que é cedido a um metal mais tóxico em caso de haver um aumento do mesmo no despejo, atuando assim como um eficiente controlador da toxicidade por metais pesados.

3.1.5. Tipos de reatores

Os primeiros reatores aplicados para o tratamento anaeróbio foram digestores semi-contínuos de concepção e operação simples, usados no meio rural e alimentados com esterco de animais. A seguir foram desenvolvidos digestores contínuos ou semi-contínuos do tipo mistura completa aplicados em grande escala em estações de tratamento de esgotos para digestão anaeróbia do lodo de esgoto primário mais o excesso de lodo ativado.

Ambos os tipos de reatores acima citados são pouco eficientes devido a ausência de agitação do meio em digestão o que prejudica o contato entre o substrato e os microrganismos. Esse fato aliado a baixa retenção de microrganismos no reator faz com que seja necessário a aplicação de tempos de detenção hidráulicos elevados (da ordem de 30 dias).

Com a evolução das pesquisas novos reatores, denominados de alta taxa, passaram a ser concebidos e projetados visando a retenção dos microrganismos no interior do reator de forma assegurar que o tempo de detenção celular seja muito maior que o tempo de detenção hidráulico. Como consequência esses reatores são capazes de acomodar elevadas cargas orgânicas volumétricas e/ou baixos tempos de detenção hidráulica (da ordem de algumas horas). Diversos reatores de alta eficiência, para o tratamento de águas residuárias tem sido propostos: (PIVELI, 1990; IZA, 1991; CRAVEIRO, 1994 e FRANKIN, 2001)

- reator anaeróbio de contato;
- reator de leito fixo (filtro anaeróbio);
- reator de leito móvel (biodisco anaeróbio);
- reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB);
- reator de manto de lodo granular expandido (EGSB);
- reator híbrido;
- reator de leito expandido;
- reator de leito fluidificado;
- reator com chicanas (“baffled reactor”);
- reator acoplado a membranas de ultra-filtração.

Todos esses reatores são capazes de fornecer boas eficiências de tratamento desde que corretamente projetados e operados além de acompanhados por um bom programa de controle operacional. A seguir será feita uma breve descrição dos reatores mais utilizados atualmente.

• **Reator anaeróbio de contato**

O sistema de contato consiste de um reator de mistura completa seguido por um decantador. Como a separação de sólidos é dificultada pelas bolhas de gás, na maioria dos casos, uma unidade de degasagem é interposta entre os dois tanques, tendo como função aumentar a eficiência do decantador. O lodo separado do efluente final é retornado ao reator, sendo o excesso descartado do sistema. A mistura é feita na maioria dos casos através de agitação mecânica ou por injeção de biogás.

Esse sistema tem como vantagem, em relação a outros reatores de alta eficiência, a possibilidade de tratar águas residuárias contendo concentrações elevadas de sólidos em suspensão.

- **Reator de leito fixo (filtro anaeróbio)**

O filtro anaeróbio consiste de um reator onde os microrganismos permanecem aderidos a um material suporte inerte e os despejos atravessam o reator no sentido ascendente ou descendente. A biomassa adere na superfície do suporte formando um biofilme, encontrando-se também uma porcentagem substancial da biomassa, na forma de flocos em suspensão, que ficam aprisionados nos espaços vazios do suporte. É indicado para despejos solúveis com concentração moderada de matéria orgânica. O processo é relativamente estável, mesmo com grande variação de vazão e carga orgânica.

Ao contrário dos primeiros filtros preenchidos com pedra brita, os materiais plásticos passaram a encontrar maior utilização, por serem mais leves e mais porosos. Entre esses materiais destacam-se os anéis de Pall, de Rasching e blocos de folhas corrugadas de plástico. A área específica dos suportes, usados em grande escala, é da ordem de $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Esse reator apresenta um padrão de reator tubular, embora a produção de gás faça com que a fase líquida se comporte como mistura completa. A recirculação do efluente pode ser utilizada para controlar a espessura do biofilme ou para aliviar problemas de toxicidade e de pH. O excesso de lodo é removido do reator junto com o despejo tratado.

- **Reator de leito móvel (biodisco anaeróbio)**

Neste tipo de reator os microrganismos ficam aderidos a um meio inerte (de plástico) que se move à medida que os despejos o atravessam. Um exemplo desse tipo de reator é o de disco rotativo. O meio pode ser total ou parcialmente submerso. As velocidades de escoamento e de rotação do disco estabelecem o controle da espessura do biofilme. O excesso de lodo é retirado do reator juntamente com o efluente.

- **Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB)**

O reator UASB é relativamente simples, não demandando a implantação de qualquer equipamento sofisticado ou de meios suporte para a retenção da biomassa. Uma grande variedade de despejos são indicados para esse reator tanto solúveis quanto parcialmente solúveis.

O seu princípio de funcionamento baseia-se na sedimentabilidade do lodo anaeróbio, que em função das condições de operação e das características do despejo a ser tratado, pode aglomerar-se na

forma de grânulos de 1 a 5 mm de diâmetro. Esses grânulos tem uma alta velocidade de sedimentação e como consequência forma-se nas camadas inferiores do reator um manto de lodo com uma densidade de biomassa elevada, diminuindo ao longo da altura, resultando em perfis de concentração de lodo característicos.

Esse reator UASB tem como característica um dispositivo na parte superior que funciona tanto como separador de gás, sólidos e líquido quanto como decantador. O despejo é introduzido no fundo do reator, passa pela zona de digestão constituída pelo manto de lodo, e sai tratada após passar pelo decantador, que deflete o gás para câmaras onde o mesmo é coletado. O lodo que eventualmente é arrastado com o líquido e o gás, tem a oportunidade de sedimentar e retornar à zona de digestão.

Os reatores em escala real costumam apresentam problemas hidráulicos, devendo-se providenciar a distribuição uniforme do despejo no fundo, para se evitar a formação de caminhos preferenciais.

- **Reator de manto de lodo granular expandido (EGSB)**

O reator EGSB é uma das mais recentes alternativas para o tratamento de despejos diluídos onde a produção de gás é baixa e como consequência a mistura apenas pelo líquido ascendente é insuficiente. O seu desenvolvimento partiu da necessidade de se resolver alguns problemas relacionados com o reator UASB, como ocorrência de zonas mortas, fluxos preferenciais, curtos circuitos hidráulicos, entre outros.

O projeto é similar ao do reator UASB, porém com relação altura/diâmetro da ordem de 20, o que permite aplicar velocidades ascensionais de 2,5 m/h (no UASB recomenda-se não ultrapassar 1,0 m/h), podendo chegar até 20 m/h em certos casos específicos (KATO, 2001a). O sistema de separação de sólidos deve ser mais sofisticado, pois devido as condições hidrodinâmicas impostas, há o risco de em pouco tempo perder a biomassa com o efluente, o que resultaria em queda de eficiência. (KATO, 2001b)

O reator EGSB é inadequado para o tratamento de despejos com sólidos em suspensão. A elevada velocidade ascensional aplicada acaba arrastando os sólidos com o efluente deteriorando a eficiência. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994)

- **Reator de leito fluidificado**

Nos reatores de leito fluidificado, a biomassa fica aderida a um suporte inerte como areia, carvão ativado, pedrisco, vidro sinterizado. O suporte coberto com o biofilme é fluidificado através da

velocidade de escoamento ascensional imposta ao líquido. Essa velocidade é obtida com a recirculação do efluente do reator. As bolhas de gás poderão causar a formação de espumas ou provocar a flotação de sólidos com conseqüente deterioração da qualidade do efluente tratado.

Como o leito (líquido + sólidos) comporta-se como um fluido, isso permite trabalhar com elevadas cargas orgânicas e por ter um formato de torre, este tipo de reator ocupa uma área reduzida. Esse reator é indicado para o tratamento de despejos diluídos e solúveis e produzem um efluente com relativamente baixa concentração de sólidos em suspensão.

Os principais problemas associados a esse tipo de reator são o alto consumo de energia para manter o leito fluidificado; a necessidade de grande homogeneidade das partículas do leito; necessidade de controlar a espessura do biofilme para evitar o aumento da densidade do meio e problemas operacionais decorrentes de interrupções no fornecimento de energia. Nessa última condição, o leito torna-se compacto, gerando inúmeros problemas para reinício da operação.

- **Reator de leito expandido**

Este reator é similar ao reator de leito fluidificado. O meio suporte inerte pode ser areia, areia grossa, carvão antracito ou plástico. As principais diferenças entre ambos são as dimensões ligeiramente maiores do suporte e a taxa menor de expansão do meio suporte. Os problemas descritos para o reator fluidificado também ocorrem no reator de leito expandido. É também indicado para o mesmo tipo de despejo.

- **Reator híbrido**

Um reator híbrido é qualquer reator originário da mistura de duas ou mais concepções de reatores, todavia esta designação acabou ficando particularizada para o tipo de reator que combina o UASB e o filtro anaeróbio. A concepção do reator híbrido procura combinar as vantagens e minimizar as desvantagens do UASB e do filtro anaeróbio. Desta maneira busca-se um reator capaz de acumular na câmara inferior elevadas concentrações de lodo, eventualmente granulado, que permanece no reator pela existência de uma camada de enchimento colocada na parte superior do mesmo. Essa camada serve como separador gás-sólido-líquido e além de ajudar na retenção do lodo, proporciona uma zona de polimento do efluente, aumentando a estabilidade do processo.

Ao utilizar a configuração híbrida, em vez de reatores completamente empacotados, além da vantagem econômica pela menor quantidade de enchimento necessário, tem-se ainda melhores características operacionais.

3.2. Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo

3.2.1. Introdução

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo, que no Brasil costuma ser identificado por várias siglas (DAFA, RAFA, RALF, etc), será denominado neste trabalho como reator UASB. (CHERNICHARO et al., 1999)

O reator UASB foi desenvolvido no começo da década de 80 na Universidade de Wageningen (Holanda) pelo Dr. Gatzke Lettinga e colaboradores, como um sistema relativamente simples de tratamento de despejos líquidos, no qual não existe nenhuma parte móvel. (WIEGANT, 2001)

O reator UASB é projetado de modo que o fluxo ascendente dos despejos permita, tanto a degradação da matéria orgânica solúvel, quanto a retenção dos sólidos suspensos, pela sua densidade, no fundo do reator, permitindo assim a formação de um manto de lodo com uma elevada concentração de biomassa e resultando um elevado tempo de detenção celular que passa a ser independente do tempo de detenção hidráulica. Desse modo, o reator UASB além de degradar grande parte da matéria orgânica solúvel dos esgotos acaba desempenhando duas outras funções importantes: a sedimentação dos sólidos suspensos dos esgotos e a digestão dos sólidos retidos resultando uma produção de lodo excedente em quantidades pequenas, sendo este bastante estabilizado e portanto de manejo mais fácil. (KATO et al., 1999)

O projeto também procura incorporar algum dispositivo para promover uma distribuição uniforme e adequada dos esgotos no fundo do reator, e com isso garantir que o contato biomassa-esgotos seja promovido pelo próprio fluxo ascendente dos esgotos e pelos gases gerados da degradação da matéria orgânica.

Para reduzir a perda de lodo biológico, que eventualmente ascende, o reator UASB é dotado de um dispositivo na sua parte superior, que permite a sedimentação e o retorno do lodo e acaba funcionando também como separador dos gases da fase líquida.

No tratamento de efluentes industriais não tóxicos e de baixa concentração a eficiência de remoção de DQO costuma situar-se na faixa de 85 % a 90 % para reatores operados em temperatura próxima a 20°C ou maior, taxa de aplicação orgânica de cerca de 5 kg DQO/m³.dia e tempo de detenção hidráulica entre 6 e 8 horas. O reator também tem sido empregado com sucesso no tratamento de esgoto doméstico em temperatura ambiente (20°C ou maior). Entre 65% a 80% de eficiência de

remoção de DQO costuma ser alcançada para processos conduzidos com taxa de aplicação orgânica geralmente menor que 3 kg DQO/m³.dia e tempo de detenção hidráulica entre 6 e 10 horas. (FORESTI, 2001)

A concepção do reator fundamenta-se basicamente na formação e retenção no fundo do reator, sob determinadas condições, de um manto de lodo biológico bastante concentrado (4% a 10% em SST) e com excelentes características de sedimentação e na distribuição uniforme do despejo no fundo do reator de modo a propiciar um ótimo contato entre o despejo e os microrganismos e evitando assim a formação de canais preferenciais.

O reator consiste de um tanque dotado no topo de um dispositivo separador de fases (gás, líquido, sólidos) sendo que a parte superior deste dispositivo funciona como decantador. No fundo um outro dispositivo promove a distribuição uniforme e adequada dos despejos a serem tratados. O separador de fases, que é o mais característico do reator UASB, divide este em duas partes, uma inferior ou zona de digestão, onde se encontra o manto de lodo responsável pela digestão anaeróbia, e uma superior ou zona de decantação. Para prevenir a entrada de bolhas de gás no decantador defletores são instalados nas aberturas existentes no separador de fases. As bolhas de gás defletidas são coletadas nas câmaras de gás. A figura 3.2 apresenta um desenho esquemático do reator UASB.

Figura 3.2. Desenho esquemático do reator UASB

Os reatores UASB apresentam inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, tais como (CHERNICHARO et al., 1999):

- baixa demanda de área;
- baixo custo de implantação e operação;
- baixo consumo de energia;
- baixa produção de lodo excedente;
- lodo excedente com elevada concentração;
- boa desidratabilidade do lodo.

Os principais aspectos negativos são:

- possibilidade de emissão de maus odores;
- baixa tolerância a cargas tóxicas;
- tempo de partida relativamente longo;
- necessidade de uma etapa de pós-tratamento.

Sem dúvida os aspectos acima citados fazem do reator UASB o reator mais empregado atualmente em diversos países, inclusive no Brasil, para o tratamento anaeróbio de diversos efluentes líquidos industriais e também de esgoto doméstico. (LETTINGA e HULSHOFF POL, 1991; IZA et al., 1991; VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994 e FRANKIN, 2001)

O reator UASB pode ainda ser usado em combinação com outros reatores, tais como lagoas de polimento e filtro biológico, quando não se deseja uma remoção apreciável do nitrogênio total. A Tabela 3.7 apresenta uma comparação entre a concepção de tratamento com reator UASB e outras alternativas de tratamento em função da qualidade desejada no efluente tratado. (WIEGANT, 2001)

Em que pesem suas grandes vantagens, o efluente do reator UASB ainda contém uma concentração de matéria orgânica, sólidos em suspensão, nutrientes e microorganismos patogênicos que dificilmente atende aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental e impedindo o seu lançamento no corpo receptor sem causar dano.

A melhora da qualidade do efluente, até alcançar o nível requerido pela legislação ambiental, é obtida pela adição de tratamentos complementares (pós-tratamentos) ao tratamento secundário, tais como, filtração, precipitação química de fósforo, nitrificação, desnitrificação, “stripping” de amônia, troca iônica, osmose reversa, cloração, eletrodialise, ozonização, luz ultra-violeta, ou ainda

outro tratamento biológico: lagoas, reatores com biofilme, lodos ativados, sistemas de flotação. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994e; CHERNICHARO et al., 2001)

Tabela 3.7: Comparação entre várias alternativas de tratamento em função da qualidade desejada no efluente final.

Eficiência Desejada	Sistema	Área	Investimento	Custo de Operação
Remoção Moderada de DQO, DBO e SST	Duas Lagoas	Alta	Baixo	Baixo
	UASB	Baixa	Moderado	Alto
	Decantador Primário	Baixa	Moderado	Moderado
Boa Remoção de DQO, DBO e SST	UASB + Lagoas de Polimento	Moderada	Alto	Baixo
	Filtro Biológico	Moderada	Moderado	Moderado
	Lodos Ativados - Alta Taxa	Moderada	Alto	Muito Alto
Boa Remoção de DQO, DBO, SST e NKT	Três Lagoas	Muito Alta	Baixo (*)	Baixo
	Filtro Biológico - Baixa Taxa	Moderada	Moderado	Moderado
	UASB + Filtro Biológico	Moderada	Alto	Moderado
	Lodos Ativados - Baixa Taxa	Moderada	Muito Alto	Muito Alto
Boa Remoção de DQO, DBO, SST e N total	Lodos Ativados - Baixa Taxa com Desnitrificação	Moderada	Muito Alto	Muito Alto
	Lodos Ativados + Filtro Biológico	Moderada	Alto	Alto

Fonte: WIEGANT, 2001.

(*) Sem remoção de lodo.

A remoção de uma parcela da matéria orgânica remanescente no efluente do reator UASB pode ser realizado associando-se um tratamento biológico aeróbio, como por exemplo, filtro biológico, lodos ativados ou sua variante a lagoa aerada. Dessa forma, tanto os custos do tratamento aeróbio quanto a quantidade global de lodo produzido são minimizados.

Em comparação com um sistema apenas aeróbio, a concepção de tratamento combinando sistemas anaeróbio e aeróbio apresenta as seguintes vantagens: volume dos tanques reduzidos à metade ou menos, não necessidade de digestor exclusivo para o lodo de excesso aeróbio, menor volume de lodo estabilizado, menor demanda de oxigênio e de energia para o tanque aeróbio e não necessidade de dimensionar os aeradores pela demanda máxima de oxigênio, devido ao papel de equalização do reator UASB. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994e)

3.2.2. Princípio de funcionamento

O despejo é distribuído no fundo do reator e segue uma trajetória ascendente entrando em contato com o manto de lodo biológico, onde a matéria orgânica biodegradável é convertida em biogás. O fluxo ascendente combinado de líquido e gás promove a mistura e arrasta flocos de lodo até a parte superior do reator onde o separador de fases permite a retenção e o retorno do lodo. Os sólidos ainda arrastados com o líquido entram no decantador, existente acima do separador de fases, onde as partículas mais densas sedimentam e retornam ao interior do reator, enquanto as leves são perdidas juntamente com o efluente final. As bolhas de gás são desviadas nos defletores para as câmaras de gás e daí para as canalizações de saída.

O separador de fases garante o retorno do lodo e a elevada capacidade de retenção de grandes quantidades de biomassa, sem a necessidade de qualquer tipo de material de suporte. Como resultado, os reatores UASB trabalham com elevados tempos de detenção celular (idade de lodo), bastante superiores aos tempos de detenção hidráulico, o que é uma característica dos sistemas de alta taxa. As idades de lodo verificadas em reatores UASB são usualmente superiores a 30 dias, propiciando ao lodo excedente, descartado do sistema, alto grau de estabilização. (CHERNICHARO et al., 1999)

3.2.3. Critérios de projeto

Apesar do reator UASB ser relativamente simples, não tendo partes mecânicas móveis e não necessitando de enchimento, diversos aspectos devem ser considerados no seu projeto. No caso de reatores tratando esgotos domésticos, cuja concentração de matéria orgânica é relativamente baixa (menor que 1000 mg DQO/L), usualmente desenvolve-se no sistema um lodo do tipo floculento, com concentração de SST de média a elevada (40 a 100 Kg/m³). Para essas condições, o critério de projeto do reator deve ser a carga hidráulica volumétrica e o tempo de detenção hidráulica. A carga hidráulica volumétrica pode ser expressa como:

$$q_e = (Q / V) = 1 / TDH \quad (3.9)$$

onde os termos constantes da expressão acima devem ser entendidos com o seguinte significado:

q_e : carga hidráulica volumétrica (m³/ m³. dia).

Q : vazão afluente (m³/dia).

V : volume do reator (m³).

TDH : tempo de detenção hidráulica (dia).

Nessa situação, uma velocidade ascendente adequada (tempo de detenção hidráulico baixo) nos compartimentos de digestão e no de sedimentação, passa a ser de fundamental importância porque velocidades excessivas podem reduzir a estabilidade do processo principalmente devido aos seguintes aspectos:

- perda excessiva de biomassa do sistema, devido ao arraste do lodo com o efluente;
- redução do tempo de residência celular (idade de lodo) e conseqüente diminuição do grau de estabilização dos sólidos;
- possibilidade de falha do sistema, uma vez que o tempo de permanência da biomassa no sistema pode ser inferior ao seu tempo de crescimento.

A seguir apresenta-se um resumo dos principais critérios de projeto para reatores tratando esgoto doméstico em temperatura na faixa de 20° a 26 °C, vazão média e considerando ainda o exposto no início deste item: (CHERNICHARO et al., 1999)

- a carga hidráulica volumétrica deve ser inferior a 4 m³/ m³.dia;
- tempo de detenção hidráulica deve ser da ordem de 6 a 9 horas;
- a velocidade ascendente de líquido deve ser da ordem de 0,5 a 0,7 m/h;
- a velocidade nas aberturas para o decantador deve ficar na faixa 2,0 a 2,3 m/h;
- a taxa de aplicação superficial no decantador deve ser da ordem de 0,6 a 0,8 m/h;
- tempo de detenção hidráulica recomendado no decantador é de 1,5 a 2,0 h.

Outros aspectos que devem ser considerados no projeto do reator são:

- afluente deve ser homogeneamente distribuído no fundo, utilizando-se um ponto de alimentação para cada cerca de 1,5 a 3,0 m²;
- a inclinação das paredes do decantador deve ser maior que 45°;
- a profundidade do decantador deve estar entre 1,5 a 2,0 m, para reatores com altura útil entre 4,0 a 5,0 m;
- as chicanas defletoras de gás devem ter uma superposição em relação à abertura do decantador de 0,10 a 0,15m.

Devido às baixas taxas de crescimento das bactérias anaeróbias, resulta uma baixa produção de sólidos biológicos no sistema de tratamento, que vem a constituir-se no lodo que deve ser descartado periodicamente. Essa baixa produção de lodo (da ordem de 0,10 a 0,20 kg SST/kg DQO aplicada) afigura-se como uma das principais vantagens dos processos anaeróbios em relação aos

aeróbios. Algumas características importantes dos lodos anaeróbios produzidos em reatores UASB são: (CHERNICHARO et al., 1999)

- elevado grau de estabilização, devido ao elevado tempo de detenção celular no reator possibilitando o descarte de menores volumes de lodo;
- facilidade de desidratação;
- possibilidade de utilização do lodo seco como condicionador de solo na agricultura, desde que tomados os cuidados necessários devido à presença de patógenos.

A produção de lodo em reatores UASB, que vem a constituir-se no lodo que deve ser descartado periodicamente, pode ser estimada a partir da seguinte equação:

$$P_{\text{lodo}} = Y \cdot DQO_{\text{apl}} \quad (3.10)$$

onde os termos na expressão (3.10) tem o significado a seguir:

P_{lodo} : produção de sólidos no sistema (kg SST/ dia).

Y : coeficiente produção de sólidos no sistema (kg SST/kg DQO_{apl}).

DQO_{apl} : carga de DQO aplicada ao sistema (kg DQO_{apl} / dia)

Os valores de Y reportados para o tratamento de esgotos domésticos são da ordem de 0,10 a 0,20 kg SST/kg DQO aplicada. (CHERNICHARO et al., 1999)

3.2.4. Aplicação do reator UASB no tratamento anaeróbio de esgoto doméstico

O uso do processo de digestão anaeróbia no tratamento preliminar de esgoto doméstico vem se intensificando em razão das vantagens já apontadas e o reator UASB tem sido, dentre as alternativas disponíveis, a opção mais adotada como primeira unidade de tratamento biológico. O sucesso de sua aplicação já foi intensamente demonstrada tanto em escala piloto quanto real. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; WIEGANT, 2001; TORRES e FORESTI, 2001 e FORESTI, 2001)

SILVA (1993) realizou um trabalho em escala piloto com o reator UASB no tratamento de esgoto doméstico com elevada carga de despejos industriais. Após quase dois anos de operação o desempenho do reator foi bastante estável apesar das variações da qualidade do esgoto afluente. As remoções médias de DQO, DBO e SST foram de 70%, 80% e 80%, respectivamente para um tempo de detenção hidráulica de 6,4 horas. A produção de biogás esteve dentro do esperado situando-se entre 0,06 e 0,12 $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{kg DQO}$ removida e a produção de lodo de excesso ficou abaixo do esperado com um valor entre 4 e 120 g SST/kg DQO aplicada.

CHERNICHARO e NASCIMENTO (2001) realizaram uma pesquisa com o objetivo de avaliar a aplicação do filtro anaeróbio no pós-tratamento do efluente do reator UASB empregando esgoto doméstico após tratamento preliminar. As características médias do esgoto afluente foram: DQO total = 521 mg/L, DQO solúvel = 216 mg/L, DBO total = 273 mg/L, DBO solúvel = 144 mg/L e SS = 122 mg/L. O reator UASB foi operado durante cerca de 16 meses em tempo de detenção hidráulico de 4 horas (velocidade ascendente de líquido = 1,4 m/h). Nesse período o reator apresentou eficiência de remoção de DQO na faixa de 65% a 70% e de DBO entre 58% e 81%. A concentração de SS no efluente apresentou-se sempre baixa situando-se entre 28 e 68 mg/L durante todo o estudo.

VAN HAANDEL e LETTINGA (1994) apresentam resultados de 30 semanas de operação de um reator UASB de 160 m³ tratando esgoto doméstico em temperatura entre 22 e 25°C. No período em que o reator operou com tempo de detenção hidráulica de 7,2 horas as características do esgoto afluente foram: DQO = 863 mg/L, DBO = 518 mg/L e SST = 478 mg/L. Os seguintes resultados médios foram obtidos nesse tempo de detenção:

- Remoção de DQO total = 67 % (81%).
- Remoção de DBO total = 83 % (90%).
- Remoção de SST = 53 % (77%).

Os valores entre parênteses referem-se ao efluente decantado em cone de Imhoff durante 30 minutos.

TORRES e FORESTI (2001) estudaram o tratamento de esgoto doméstico em um sistema piloto composto de reator UASB seguido de reator aeróbio compartimentado. O reator UASB foi operado durante 6 meses com um tempo de detenção hidráulica de 6 horas. O esgoto empregado apresentou as seguintes características médias: DQO total = 569 mg/L, DQO filtrada = 243 mg/L, SST=131 mg/L e temperatura de 21°C. Os resultados de remoção de DQO total, DQO filtrada e SST foram de 65%, 82% e 66%, respectivamente. Os autores mencionam que a remoção de nutrientes foi monitorada e que conforme esperado esta não foi eficiente, porém a conversão do nitrogênio presente no esgoto afluente em nitrogênio amoniacal (NH₄⁺) foi praticamente completa (97% de conversão).

3.3. Necessidade de pós-tratamento do efluente de reator anaeróbio

3.3.1. Introdução

A resolução CONAMA nº 20, de 18/06/1986, dividiu as águas do território nacional em águas doces (salinidade < 0,05 %), salobras (salinidade entre 0,05% e 3%) e salinas (salinidade > 3%). Para as águas doces, em função dos usos previstos, foram criadas cinco classes. A cada uma dessas classes corresponde uma determinada qualidade a ser mantida no corpo d'água. A maioria dos corpos d'água receptores, no Brasil, se enquadra na classe 2, onde se destacam os parâmetros indicados na tabela 3.8, como padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor.

Tabela 3.8: Padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor.

Parâmetro	Valor Limite no Corpo Receptor
DBO ₅	≤ 5 mg/L
pH	6,0 a 9,0
Oxigênio Dissolvido	≥ 5 mg/L
Amônia livre	≤ 0,02 mg NH ₃ /L (*)
Fósforo total	≤ 0,025 mg P/L
Coliforme fecal	≤ 1000 CF/100 mL
Coliforme total	≤ 5000 CF/100 mL

Fonte: VON SPERLING, 1996.

(*)Correspondente à uma concentração máxima de nitrogênio amoniacal de 3,0 mg/L.

A Resolução nº20 impõem também, a qualidade mínima a ser atendida por efluentes de qualquer fonte poluidora, para lançamento em corpos d'água. Para pH o padrão de lançamento estabelece um valor limite entre 5 e 9 e concentração menor que 5 mg/L para nitrogênio amoniacal. Além dessas limitações, a DBO é um dos parâmetros que mais tem merecido a atenção dos órgãos de controle ambiental. Vários estados brasileiros tem imposto limites de DBO do efluente em 60 mg/L, como é o caso de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e outros. (CHERNICHARO et al., 2001)

Dependendo da disposição final do efluente e da legislação local sobre qualidade mínima de efluentes, o tratamento anaeróbio sozinho, não produz um efluente de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Em relação a DBO, as faixas de valores mais comuns para os processos anaeróbios, quando bem operados, são as apresentadas na Tabela 3.9.

Em vista da limitação da DBO do efluente a 60 mg/L, mesmo que o corpo receptor tenha capacidade de receber o efluente de um sistema anaeróbio, torna-se de grande importância o pós-tratamento dos efluentes de reatores anaeróbios, como forma de adequa-los aos requisitos da

legislação ambiental e propiciar a proteção dos corpos d'água receptores dos lançamentos dos esgotos.

Tabela 3.9: Valores comuns para DBO do efluente e de remoção em sistemas anaeróbios.

Sistema	DBO do Efluente (mg/L)	Remoção de DBO (%)
Lagoa anaeróbia	70-160	40-70
Reator UASB	60-100	55-75
Fossa séptica	80-150	35-60
Tanque Imhoff	80-150	35-60
Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio	40-60	75-85
Reator compartimentado	70-160	40-65
Reator de leito expandido	60-100	60-75

Fonte: ALEM SOBRINHO e KATO, 1999.

O objetivo principal dos sistemas de pós-tratamento de efluentes é o de completar a remoção da matéria orgânica, bem como o de proporcionar a remoção adicional de constituintes pouco afetados no tratamento anaeróbio, como nutrientes (nitrogênio e fósforo) e organismos patogênicos, além de dispor adequadamente os resíduos sólidos gerados no processo global. Esses objetivos podem ser alcançados empregando processos biológicos, físico-químicos, físicos ou químicos ou ainda uma combinação destes. A Tabela 3.10 apresenta alguns métodos para pós-tratamento de efluentes de processos anaeróbios, bem como seus principais objetivos de remoção e as unidades de processo.

Tabela 3.10: Principais alternativas para o pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio.

Métodos de Tratamento	Remoção	Unidades do Processo
Separação sólido/líquido	SST, DQO e DBO	Sedimentação, flotação, separação em membrana e lagoa de estabilização
Tratamento biológico aeróbio	DQO/DBO	Lodos ativados, filtro biológico, leito fluidificado, reator batelada compartimentado e lagoa de estabilização
Tratamento biológico aeróbio	N-NH ₄ ⁺	Filtro biológico, nitrificação em, lodos ativados, leito fluidificado, reator batelada compartimentado e lagoa de estabilização
Físico – químico; Tratamento aeróbio/anóxico	N-NKT	Stripping de gás, desnitrificação em biofiltro, lodos ativados, leito fluidificado e RSB
Físico – químico; Tratamento anaeróbio/aeróbio	Fósforo	Precipitação e lodos ativados
Oxidação biológica; Oxidação química	Odor	Oxidação sulfídrica e ozonização/cloração
Físico – químico; Oxidação química	Cor	Coagulação e filtração em membrana
Desinfecção	Patogênicos	Lagoa de estabilização, luz UV e desinfecção com Cl ₂ ou O ₃

Fonte: φDEGAARD, 1988 apud LOZADA, 2000.

A maior parte da remoção da matéria orgânica biodegradável (DBO_5) ocorre no tratamento anaeróbio, ficando o polimento final para o processo aeróbio. Dessa forma, tanto os custos do tratamento aeróbio, quanto a quantidade global de lodo produzida são minimizados. Além disso, o lodo gerado pode ser estabilizado no reator anaeróbio, evitando-se a construção de digestores para o lodo.

3.3.2. Pós-tratamento de efluente de reator UASB

Como já citado, o reator UASB é eficiente na remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão, porém ainda assim a qualidade do efluente não é equivalente à obtida em um sistema de tratamento biológico somente aeróbio, com DBO menor que 20-30 mg/L e concentração de sólidos suspensos totais menor que 30 mg/L e, se necessário, N-amoniacal menor que 5 mg N/L (ALEM SOBRINHO e JORDÃO, 2001). A concentração de nutrientes e de organismos patogênicos praticamente também não é afetada pelo tratamento anaeróbio. (VAN HAANDEL, 1993; GASI et al., 1993 e CATUNDA et al., 1993)

O pós-tratamento do efluente do reator UASB torna-se portanto, de grande importância para melhorar a qualidade tanto microbiológica, devido aos riscos a saúde pública e às limitações impostas à utilização dos esgotos tratados na agricultura, quanto em termos de matéria orgânica e nutrientes, em função dos danos ambientais causados pelas descargas desses constituintes nos corpos receptores.

Em relação a esses constituintes ainda presentes no efluente, algumas alternativas de pós-tratamento podem ser consideradas, isoladas ou combinadas, para melhorar a qualidade do efluente, tais como, disposição no solo, lagoas de estabilização, processos biológicos anaeróbios, processos biológicos aeróbios, flotação por ar dissolvido, filtração e desinfecção. (CHERNICHARO et al., 2001)

Dentre estes existe hoje grande tendência na utilização de reatores UASB seguidos de processos biológicos aeróbios. Estes tem como principais características negativas o elevado consumo de energia para manutenção das condições aeróbias no reator, além de produzir grandes quantidades de lodo que necessita de tratamento antes de sua disposição final.

O emprego da concepção reator UASB seguido de filtro biológico, lodos ativados ou sua variante a lagoa aeróbia aerada, para a melhora da qualidade do efluente do reator UASB, permite a redução tanto dos custos do tratamento aeróbio, quanto da quantidade de lodo a ser descartada do sistema. (ALEM SOBRINHO e JORDÃO, 2001)

O reator UASB reduz drasticamente a quantidade de matéria orgânica e de sólidos em suspensão, de modo que, a remoção da parcela ainda presente no efluente será muito mais fácil e por esta razão poderá ser efetivada com um tempo de detenção hidráulica muito menor e consequentemente a dimensão dos reatores e a demanda de energia para a aeração também serão menores. Adicionalmente essa combinação proporciona redução nas oscilações na demanda de pico de oxigênio devido ao papel equalizador do reator UASB, não necessidade de digestores exclusivos para estabilização do lodo de excesso aeróbio, que pode ser efetivado no próprio reator UASB e menor volume de lodo estabilizado facilitando o manuseio para destinação final. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994e)

Em comparação a uma ETE convencional, constituída de decantador primário seguido de tratamento biológico aeróbio (lodos ativados, filtro biológico percolador, biofiltro aerado submerso ou biodisco), com os lodos primário e secundário passando por adensadores de lodo e por digestores anaeróbios, antes do desaguamento (ou desidratação), uma ETE constituída de reator UASB seguido de tratamento biológico aeróbio, com o lodo secundário encaminhado para digestão no próprio reator UASB e daí, direto para o desaguamento, pode apresentar as seguintes vantagens: (ALEM SOBRINHO e JORDÃO, 2001)

- os decantadores primário, adensadores de lodo e digestores anaeróbios podem ser substituídos, com todos os seus equipamentos, por reatores UASB, que dispensam equipamentos. Nessa configuração, os reatores UASB passam a cumprir, além da função principal de tratamento dos esgotos, também as funções de digestão e adensamento do lodo aeróbio, sem a necessidade de qualquer volume adicional;
- pelo fato do reator UASB apresentar eficiência de remoção de DBO cerca do dobro dos decantadores primários, o volume dos reatores aeróbios (tanque de aeração, ou filtro biológico, ou biofiltro aerado submerso, ou biodisco) poderá ser reduzido para cerca de metade do volume dos tanques ou reatores de ETEs convencionais. Os decantadores secundários, por receberem um afluente com menor concentração de sólidos em suspensão, podem sofrer uma redução de área superficial;
- para o caso de sistemas de lodos ativados, o consumo de energia para aeração caíra para cerca de 45% a 55% da necessária numa ETE convencional, quando não se tem nitrificação, e para cerca de 65% a 70%, quando se tem nitrificação quase total;
- custo de implantação da ETE com reator UASB seguido de tratamento biológico aeróbio será, no máximo, 80% daquele de uma ETE convencional e o custo operacional, devido à maior simplicidade e menor consumo de energia do sistema combinado, anaeróbio-aeróbio, pode

representar, ainda, uma maior vantagem para este sistema. (SILVA, 1993 apud ALEM SOBRINHO e JORDÃO, 2001)

Experimentos realizados pela CETESB/EPUSP, com reator UASB seguido de lodos ativados de concepção tradicional, com decantador secundário para esgoto doméstico contendo grande parte de sua carga orgânica de origem industrial, mostraram problemas de crescimento excessivo de organismos filamentosos no sistema de lodos ativados. Esse problema foi contornado quando o sistema piloto operou com esgoto predominantemente doméstico. (SILVA, 1993, ALEM SOBRINHO et al., 1993a)

Também na CETESB, SALOMÃO JR. apud ALEM SOBRINHO e JORDÃO (2001) operou um sistema de lodos ativados por batelada, com efluente de reator UASB, sem problemas de crescimento de filamentosos e com boa nitrificação, com idade de lodo de referencia igual ou superior a 10 dias.

VON SPERLING apud ALEM SOBRINHO e JORDÃO (2001), observou, em escala de laboratório, o eventual aparecimento de organismos filamentosos no sistema de lodos ativados quando este entrava em sobrecarga devido ao desvio do esgoto bruto. Porém, o desempenho do sistema foi satisfatório em termos de remoção de DQO.

Em Piracicaba (SP), já esta em operação uma ETE com reator UASB seguido de um sistema de lodos ativados dimensionado para baixa concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração. Nesse sistema não se tem observado problemas de filamentosos e, como o sistema de aeração implantado é limitado, não ocorre a nitrificação. (CAMPOS apud ALEM SOBRINHO e JORDÃO, 2001)

Outras alternativas de pós-tratamento de efluente de reator UASB, que vem sendo estudadas ou já se encontram em aplicação, são o filtro biológico percolador de alta taxa, o biofiltro aerado submerso, o filtro biológico aerado submerso e lagoa aerada aeróbia. (ALEM SOBRINHO e JORDÃO, 2001)

O pós-tratamento de efluentes de reator UASB tratando esgoto doméstico vem merecendo a atenção de diversos pesquisadores. A seguir serão apresentados os resultados alcançados por alguns deles.

TORRES e FORESTI (2001) empregando reator compartimentado em batelada e aeração intermitente obtiveram, independente do tempo de aeração praticado, remoções de DQO e SST superiores a 91% e 84%, respectivamente. A nitrificação e a remoção de fósforo mostraram-se ser dependentes do tempo de aeração. A remoção de NKT foi de aproximadamente 90% para tempo de aeração igual ou superior a 10 horas; a nitrificação foi completa para tempo de aeração superior a 4 horas. A remoção de fósforo só se mostrou significativa (72%) quando o tempo de aeração foi de 2 horas. Nas condições operacionais estudadas não foi possível obter simultaneamente uma boa remoção de nitrogênio e de fósforo.

AISSE et al. (2000) realizaram um trabalho, em escala piloto, empregando o filtro biológico e o filtro aerado submerso. No primeiro as eficiências de remoção foram de 72% e 64% respectivamente para DQO e SST, enquanto no filtro aerado submerso as eficiências foram de 78% e 76% para os mesmos parâmetros. Os autores porém salientam que uma adequada operação dos sistemas poderá conduzir a melhores resultados.

GONÇALVES et al. (1999) estudaram, em escala piloto, o pós-tratamento empregando o biofiltro aerado submerso. O trabalho foi conduzido sem recirculação de lodo e com um tempo de detenção hidráulica variando de 1,4 a 0,3 hora no biofiltro. Os valores médios de remoção de SS, DBO, DQO foram de 95%, 95% e 88%, respectivamente. O efluente apresentou alto grau de estabilidade, com as seguintes características: SS = 10 mg/L, DBO = 10 mg/L e DQO = 50 mg/L.

CATUNDA et al. (1993) realizaram uma investigação experimental em escala piloto empregando lagoas de estabilização. Foram operados duas séries de lagoas rasas: a primeira (sistema I) composta por 3 lagoas com profundidade de 0,32 m e tempo de permanência de 2,5 dias em cada e a segunda série (sistema II) composta por 4 lagoas com profundidade de 0,64 m e tempo de permanência de 5,0 dias em cada. Segundo os autores após a remoção eficiente de material orgânico e sólidos em suspensão no reator UASB, não havia uma redução muito significativa destes parâmetros nas séries de lagoas. No sistema I observou-se uma eficiência de remoção de DBO, DQO e SST de apenas 26%, 28% e 45%, respectivamente. Para o sistema II os resultados alcançados foram de 55%, 20% e 21% para os mesmos parâmetros.

PENETRA et al. (1999) relatam resultados de pós-tratamento, em escala de laboratório, com o sistema de flotação por ar dissolvido (FAD) empregando cloreto férrico (FeCl_3) como coagulante. Os melhores resultados foram obtidos para uma dosagem de coagulante de 65 mg/L e pH variando de 5,3 a 6,1. Para essa condição o sistema UASB-FAD apresentou as seguintes eficiências: 98%

para DQO, 98% para fosfato total e 98% para SST. Os autores salientam que a remoção de fosfato e de SST parece ser diretamente proporcional a dosagem de coagulante aplicada.

BOVENDEUR e KLAPWIJK (1986) estudaram o pós-tratamento, em escala de laboratório, empregando dois tipos de reatores: o filtro biológico e o biodisco rotativo. Os resultados obtidos indicaram para o filtro biológico uma remoção de DQO de 60% e de 25% para NKT (Nitrogênio Kjeldahl Total). Para o biodisco as eficiências de remoção foram de 70% e de 60% para a DQO e NKT, respectivamente.

Sistemas de tratamento com reator UASB seguido de lagoa aerada aeróbia e de lagoa de decantação, já vem recebendo a atenção de engenheiros e pesquisadores, pelas vantagens que tal combinação pode trazer, especialmente pela facilidade de implantação, de operação (exceto no trato do lodo) e de possibilidade de minimização dos gastos com energia elétrica, já que, por apresentar volume de reator razoavelmente grande, a lagoa aerada permite que se pare o sistema de aeração durante as três horas de pico de consumo de energia, podendo resultar em economia superior a 40%. Uma desvantagem do uso de lagoa aerada seguida de lagoa de decantação é que a cada 4 a 5 anos é necessário remover o lodo da lagoa de decantação o que implica em manipular grandes quantidades de lodo em tempo relativamente curto.

3.4. Pós-tratamento de efluente de reator UASB em lagoa aerada aeróbia

3.4.1. Introdução

Historicamente as lagoas aeradas foram desenvolvidas a partir de lagoas de estabilização, nas quais, nos períodos críticos como por exemplo, inverno, o oxigênio é fornecido por meios artificiais. Foi observado, logo após os aeradores entrarem em operação, que as algas desapareciam e a população, bacteriana presente na lagoa era semelhante a dos lodos ativados.

A experiência tem demonstrado que lagoas aeradas, seguidas de separação de sólidos, fornecem uma eficiência de remoção de DBO bastante boa, mesmo com baixas idades de lodo. A área necessária à instalação deste tipo de lagoa é, em geral da ordem de 1 a 10% daquela necessária para lagoas de estabilização do tipo fotosintético. (SANYER apud ALEM SOBRINHO et al., 1982)

Estudos de tratabilidade, realizados em escala piloto, com esgoto doméstico contendo grande parte de sua carga orgânica de origem industrial, mostraram que a alternativa acima fornece uma eficiência de remoção de DBO no sistema todo de cerca de 95% e de 80 a 86% de DQO, mesmo

para tempo de detenção de um dia na lagoa aerada. O reator UASB foi responsável pela remoção de cerca de 80% da DBO, operando com 6 horas de tempo de detenção. A área necessária à instalação desse tipo de sistema é 60% inferior e o consumo de energia 40% inferior aos necessários para lagoas aeradas seguidas de lagoas de decantação. (ALEM SOBRINHO et al., 1993a)

3.4.2. Tipos de lagoas aeradas

Dependendo do grau de turbulência e da concentração de oxigênio dissolvido no interior da lagoa, pode-se ter dois tipos de lagoas: lagoa aerada aeróbia e lagoa aerada facultativa. A tabela 3.11 apresenta as principais características das lagoas aeradas aeróbia e facultativa tratando esgotos domésticos.

Tabela 3.11: Principais características das lagoas aeradas tratando esgotos domésticos.

Característica	Lagoa Aerada Aeróbia	Lagoa Aerada Facultativa
Controle de sólidos	Todos os sólidos saem com o efluente. Necessária separação posterior.	Não se tem controle. Parte sedimenta e parte sai com o efluente.
Concentração de SS	100 – 360 mg/L	50 – 150 mg/L
SSV/SS	0,70 a 0,80 (0,75)	0,60 a 0,80
Tempo de detenção hidráulica	menor que 5 dias	5 a 12 dias
Idade do lodo	menor que 5 dias	Alto devido à sedimentação de parte do lodo
Eficiência de remoção de DBO	50 - 60% só lagoa aerada e de 90% com pós separação dos sólidos.	70 – 80%
Nitrificação	Praticamente nula	Praticamente nula
Remoção de coliformes	Muito pobre	Pobre
Profundidade da lagoa	2,5 a 5,0 m	2,5 a 5,0 m
Densidade de potência	> 3 watts/m ³ de lagoa para impedir a sedimentação dos sólidos em suspensão.	≥ 0,75 watt/m ³ para garantir difusão uniforme do O ₂ pela lagoa.

Fonte: ALEM SOBRINHO, 1989.

Nas lagoas aeradas aeróbias o nível de potência instalado é suficientemente alto de modo a propiciar uma alta turbulência. Nessa condição a lagoa funciona em regime de mistura completa, ou seja, toda a biomassa é mantida em suspensão, o oxigênio dissolvido é distribuído por toda a massa de água, garantindo desta maneira um processo completamente aeróbio. Como nessas lagoas a concentração de sólidos suspensos do efluente é igual a do conteúdo da lagoa, um sistema de separação de sólidos a jusante da lagoa aerada aeróbia é necessário para que se obtenha um bom efluente final. Um sistema composto de lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação, para o tratamento de esgoto doméstico podem fornecer um efluente de boa qualidade.

Nas lagoas aeradas facultativas o nível de potência instalado é suficiente para introduzir na massa líquida o oxigênio necessário para o processo, porém não para garantir um grau de turbulência adequado de modo a impedir que grande parte, tanto dos sólidos em suspensão afluentes à lagoa quanto, dos novos sólidos em suspensão produzidos na lagoa pela utilização da matéria orgânica, sedimente nas áreas de menor turbulência. Esse comportamento faz com que o lodo sedimentado no fundo da lagoa sofra uma decomposição anaeróbia, enquanto a camada superior apresenta atividade biológica em condições aeróbias.

As lagoas aeradas aeróbias ocupam áreas bem menores (10 a 20%) que as facultativas, especialmente porque o tempo de detenção hidráulica necessário à estabilização da matéria orgânica dos esgotos é bem menor nas lagoas aeradas aeróbias.

Um parâmetro normalmente utilizado para diferenciar as lagoas aeradas aeróbia e facultativa é a densidade de potência (D_p) que pode ser expressa por:

$$D_p = \text{Potência fornecida à lagoa} / \text{Volume da lagoa} \quad (\text{W/m}^3) \quad (3.11)$$

A tabela 3.12 apresenta valores da densidade de potência para lagoas aeradas aeróbia e facultativa segundo diversos autores.

Tabela 3.12: Valores de densidade de potência segundo vários autores.

Autor	Densidade de Potência (W/m^3)	
	Lagoa Aerada Aeróbia	Lagoa Aerada Facultativa
ECKENFELDER	2,5 – 4,0	0,7 – 1,0
BARSH e RANDALL	20,0	3,0 – 4,0
BEBIN JR.	10,0 – 30,0	3,0
RAMALHO	> 5,0	1,0 – 5,0

Fonte: ALEM SOBRINHO, P. e RODRIGUES, M. M., 1982.

Em lagoas aeradas aeróbias o fator predominante é atingir a condição de mistura completa, pois esta garante, automaticamente a oxigenação necessária, quando o tempo de detenção é maior que um dia. Com tempos de detenção menores que um dia a energia para fornecer o oxigênio que demanda a atividade biológica é maior que a energia necessária para manter os sólidos em suspensão (BENJES JR. apud ALEM SOBRINHO, P. e RODRIGUES, M.M., 1982).

3.4.3. Equações envolvendo parâmetros cinéticos

Aqui será apresentado um modelo matemático para lagoas aeradas aeróbias com tanque de mistura completa e sem recirculação. Para essa situação o tempo de detenção hidráulica é igual ao tempo de

detenção celular ou idade do lodo, e, portanto o volume da lagoa fica determinado para uma certa vazão. Em função disso, os valores a serem determinados serão as concentrações de matéria orgânica solúvel no efluente (S_e) e de biomassa (X_v), medidos pela DQO ou DBO e SSV, respectivamente.

As principais hipóteses consideradas para o desenvolvimento da teoria são apresentadas a seguir:

- a estabilização da matéria orgânica é pela via aeróbia;
- a lagoa aerada aeróbia se comporta como um reator de mistura completa;
- no efluente considera-se somente a DBO ou DQO solúvel. A DBO ou DQO devida aos sólidos suspensos voláteis (SSV) é considerada separadamente;
- a concentração de biomassa ativa no afluente da lagoa é nula;
- a lagoa é mantida em equilíbrio contínuo;
- os fatores como chuva, percolação e evaporação não são considerados.

A concentração de substrato solúvel no efluente final da lagoa, representada pela taxa específica de utilização (ou remoção) de substrato, pode ser obtida a partir de um balanço de substrato através do sistema e quando combinada com a equação utilizada para descrever reações catalizadas por enzimas resulta na expressão a seguir: (ALEM SOBRINHO, P. e RODRIGUES, M.M., 1982)

$$q = [(S_o - S_e) / X_v \cdot t] = K \cdot S_e / (K_s + S_e) \quad (3.12)$$

onde os termos constantes da expressão acima devem ser entendidos conforme o seguinte significado:

q : taxa específica de utilização (ou remoção) de substrato (dia^{-1}) (ou massa de substrato utilizado por unidade de tempo e unidade de massa de biomassa).

S_o : concentração de substrato solúvel no afluente (mg/L).

S_e : concentração de substrato solúvel no efluente (mg/L).

X_v : concentração de biomassa na lagoa ou no efluente (mg/L).

t : tempo de detenção hidráulica (dia).

K : máxima taxa de utilização de substrato por unidade de massa de microrganismos (dia^{-1}).

K_s : constante de saturação, que é a concentração de substrato para a qual a taxa de utilização é a metade de K (mg/L).

Nos processos de tratamento biológicos aeróbios operando eficientemente a concentração de substrato no efluente (S_e) é baixa e para essa condição tem-se que K_s é muito maior que S_e . Para esse caso S_e pode ser expresso por:

$$K^*.Se = [(So - Se) / X_v.t] \quad (3.13)$$

onde:

$K^* = K / K_s$: coeficiente da taxa específica de remoção de substrato (L/mg.dia).

A expressão de Se , considera válida a hipótese de que a reação de remoção de substrato é de primeira ordem em relação a Se , especialmente para o caso em que Se é baixo (ECKENFELDER, 1974 apud ALEM SOBRINHO; RODRIGUES, 1982).

De um balanço de biomassa através do sistema operando em condições estacionárias, onde a biomassa do sistema permanece constante, a variação da biomassa no sistema é nula tem-se que a concentração de biomassa na lagoa, pode ser escrita como segue:

$$X_v = [Y (So - Se) / (1 + b.t)] \quad (3.14)$$

onde:

Y : coeficiente de produção de biomassa (Kg biomassa produzida/Kg substrato consumido).

b : coeficiente de respiração endógena (dia^{-1}).

Combinando as equações (3.13) e (3.14) e isolando-se o parâmetro Se , tem-se:

$$Se = [(1 + b.t) / (Y K^*.t)] \quad (3.15)$$

A equação (3.15) mostra que Se é independente So , para as lagoas aeradas aeróbias (com mistura completa), porém, a lagoa somente terá alguma eficiência quando Se for positivo é menor que do que So , o que implica pela equação (3.15) que existe tempo de detenção mínimo para que se obtenha alguma remoção de matéria orgânica do afluente. O tempo de detenção limite mínimo (t^*) acima do qual o sistema passa a ter alguma eficiência de remoção, é aquele para o qual Se tende a So , e pode ser obtido a partir da equação (3.15), fazendo $Se = So$ e isolando-se o parâmetro t :

$$t^* = 1 / [(Y.K^*.So) - b] \quad (3.16)$$

Acima desse valor de tempo de detenção, a concentração de matéria orgânica no efluente (Se) decresce com tempo de detenção (t), e tende assintoticamente ao valor $Se = b / (Y \cdot K^*)$.

3.4.4. Necessidade de oxigênio em lagoas aeradas

Nas lagoas aeradas aeróbias é necessário oxigênio para as atividades de oxidação da matéria orgânica e de respiração endógena. A nitrificação em lagoas aeradas, que normalmente têm tempo de detenção inferior a 5 dias, não é significativa. Assim sendo, a necessidade de oxigênio em lagoas

aeradas, pode ser expresso em função da concentração de substrato removido e de um coeficiente global de utilização de oxigênio.

$$\text{Nec.O}_2 = a (\text{So} - \text{Se}) Q \quad (3.17)$$

onde:

Nec.O_2 : necessidade de oxigênio (kg O_2 /dia).

a : coeficiente global de utilização de oxigênio (kg O_2 utilizado/kg substrato removido).

Q : vazão (m^3 /dia).

O valor do coeficiente global (a) aumenta com o aumento do tempo de detenção, porém para tempos entre 3 e 5 dias esta variação é relativamente pequena. Normalmente o valor de a fica na faixa de 0,9 a 1,2 kg O_2 /kg DBO removida.

Para lagoas aeradas de mistura completa, tratando esgotos domésticos, pode-se afirmar que o fornecimento de oxigênio esta garantido, uma vez que, em geral, a energia necessária para manter os sólidos em suspensão é suficiente para fornecer o oxigênio necessário para o processo biológico aeróbio.

3.4.5. Qualidade do efluente

A qualidade do efluente de lagoas aeradas medida em termos de DBO (ou DQO) pode ser expressa pela equação a seguir:

$$S_T = S_e + p \cdot X_v \quad (3.18)$$

onde:

S_T : concentração de DBO (ou DQO) total do efluente.

S_e : concentração de DBO (ou DQO) solúvel do efluente.

p : relação DBO/SSV (ou DQO/SSV).

X_v : concentração de SSV no efluente.

O valor de p situa-se na faixa de 0,4 a 0,8 kg DBO/kg SSV. ALEM SOBRINHO e RODRIGUES (1982) determinaram o valor de $p = 0,45$ kg DBO/kg SSV, para tempo de detenção na lagoa aerada entre 2 e 4 dias e tratando esgotos predominantemente domésticos e do tipo fraco, em virtude de diluição pela entrada de água que ocorre no sistema de coleta e transporte desses esgotos.

A separação dos sólidos do efluente é fundamental para se ter uma efetiva remoção de DBO. A remoção dos sólidos em suspensão do efluente das lagoas aeradas aeróbias pode ser feita usando-se decantadores ou flotação por ar difuso, com o encaminhamento do lodo removido para digestão, ou

então pelo uso de lagoas de decantação, onde o lodo sedimentado no fundo da lagoa sofre aí a digestão anaeróbia. A unidade de decantação de sólidos, por lagoa de decantação, deve ser projetada tendo em consideração os seguintes cuidados:

- tempo de detenção deve ser suficientemente para permitir a remoção dos sólidos suspensos;
- deve ser previsto um volume adequado para o armazenamento e digestão do lodo;
- desenvolvimento de algas e a produção de odor proveniente da decomposição do lodo sedimentado devem ser minimizados.

As condições de dimensionamento mais favoráveis ao atendimento de um dos pontos acima referidos nem sempre são compatíveis com as condições de dimensionamento mais favoráveis para o atendimento de outro ponto importante. Por exemplo, quanto maior o tempo de detenção na lagoa melhor será a remoção dos sólidos em suspensão e se terá condições de se manter uma camada de líquido suficientemente grande sobre o lodo acumulado, de modo a evitar o escape de gases mal cheirosos produzidos pela digestão anaeróbia do lodo do fundo da lagoa. Por outro lado, a utilização de tempos de detenção mais elevados favorecerá o desenvolvimento de algas que, saindo com o efluente final irão piorar sua qualidade.

ECKENFELDER e ADAMS (1974) citados por ALEM SOBRINHO e RODRIGUES (1982) recomendam que o projeto de lagoas de decantação siga as seguintes linhas gerais:

- tempo de detenção mínimo de um dia, para sedimentação da maioria dos sólidos do efluente da lagoa aerada;
- se o potencial de crescimento de algas é problema, o tempo de detenção máximo deve ser de um a dois dias;
- para o controle de odores é recomendado que a altura máxima de água a ser mantida sobre os depósitos de lodo seja de um metro. No caso de temperaturas elevadas (como é o caso do verão na maioria das cidades brasileiras), ou concentração alta de sulfetos, pode ser necessário manter-se uma camada líquida de dois metros, para evitar a emissão de odores;
- deve-se evitar que o maior comprimento da lagoa fique na direção dos ventos predominantes. Ventos muito fortes tendem a aumentar a concentração de sólidos em suspensão no efluente das lagoas de decantação.

Com relação ao lodo retido no fundo das lagoas de decantação, uma parcela dos sólidos voláteis, estimada entre 40 e 60%, se degrada a cada ano. Portanto, o lodo efetivamente acumulado será igual aos sólidos voláteis retidos que não foram degradados mais os sólidos não voláteis retidos na lagoa.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Descrição da estação de tratamento de esgotos de Jundiaí

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) está situada no município de Jundiaí, estado de São Paulo. A capacidade instalada permite o tratamento de uma vazão máxima de 1400 L/segundo. No biênio 2002/2003 a vazão máxima de esgoto era de cerca de 900 L/segundo e a média 600 L/segundo. O processo biológico de tratamento empregado consiste em lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação. O sistema de fornecimento de ar, é por ar difuso. A figura 4.1 apresenta um fluxograma simplificado da ETE - Jundiaí.

Figura 4.1: Fluxograma simplificado da ETE - Jundiaí.

A ETE conta com dois níveis de gradeamento, um manual para remoção de sólidos grosseiros e outro mecanizado para remover sólidos menores. A seguir uma estação elevatória encaminha os esgotos para dois desarenadores mecânicos. O efluente dos desarenadores é dividido entre as duas lagoas aeradas aeróbias de 150.000 m³ de volume cada. O efluente destas é distribuído por gravidade entre as quatro lagoas de decantação de 58.750 m³ de volume cada. A areia e o material gradeado são encaminhados para aterro sanitário. O lodo dragado do fundo das lagoas de decantação é encaminhado para um tanque onde recebe um polieletrólito e daí segue para centrifugação. A fase líquida retorna ao início da estação e o lodo é encaminhado para secagem em estufas e posterior uso como condicionador de solo.

4.2. Descrição da instalação piloto

O trabalho experimental foi desenvolvido em uma instalação piloto, já existente na ETE Jundiaí, composta por:

- um tanque de $1,5 \text{ m}^3$, dotado de um agitador lento.
- um reator UASB de $3,0 \text{ m}^3$ de volume útil.
- uma lagoa aerada aeróbia com $23,8 \text{ m}^3$ de volume total.
- um lagoa de decantação com $2,23 \text{ m}^3$ de volume total.
- duas bombas tipo parafuso, marca Geremias.
- um medidor de gás, modelo MG-1, do Liceu de Artes e Ofícios.

O conjunto formado pelo reator UASB seguido da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação será denominado sistema completo. A figura 4.2 apresenta um diagrama da instalação piloto.

Figura 4.2: Diagrama da instalação piloto.

O tanque com agitador lento é uma caixa d'água de material plástico com $1,5 \text{ m}^3$ com um extravasor em $1,3 \text{ m}^3$.

O reator UASB é um tanque cilíndrico construído em aço carbono revestido internamente com pintura anti-corrosiva, isolado com lã de vidro e protegido externamente com chapa de alumínio corrugado. O diâmetro interno é de 0,90 m e a altura de 4,78 m, encerrando um volume total de $3,0 \text{ m}^3$. Esse volume inclui o volume do decantador localizado na parte superior do reator que é de $0,23 \text{ m}^3$ (7,7% do volume do reator). O reator é dotado de sete pontos de amostragem distribuídos ao longo da altura, um dreno, duas entradas de afluentes (alimentação), uma saída de efluente, uma saída de gás e dois poços para termômetro. O anexo A apresenta um desenho esquemático do reator UASB e suas dimensões básicas.

A lagoa aerada aeróbia é um tanque cilíndrico de fibra de vidro com um diâmetro interno de 2,5 m e altura útil de 4,8 m (volume total: $23,8 \text{ m}^3$) e dotado de cinco saídas ao longo da altura que permitem trabalhar com os seguintes volumes de reação: 7,2; 10,8; 14,4; 21,6 e $23,8 \text{ m}^3$. O ar é introduzido no fundo do tanque por 14 difusores de bolha pequena com 9 polegadas de diâmetro cada um. O anexo B apresenta um desenho esquemático da lagoa aerada aeróbia e suas dimensões básicas.

O lagoa de decantação é um tanque cilíndrico construído em fibra de vidro com um diâmetro interno de 1,2 m e altura total de 2,4 m, sendo 1,8 m na parte cilíndrica (volume de $2,0 \text{ m}^3$) e 0,60 m na cônica (volume de $0,23 \text{ m}^3$). O anexo B apresenta um desenho esquemático da lagoa de decantação e suas dimensões básicas.

4.3. Operação do sistema

4.3.1. Inóculos

O reator UASB foi inoculado na primeira partida com uma mistura de lodos anaeróbios assim composta: lodo do fundo de uma das lagoas de decantação da própria ETE - Jundiaí e lodo do reator UASB da ETE - Piracicamirim situada na cidade de Piracicaba (SP). Na segunda partida do reator UASB foi empregado apenas lodo do reator UASB da ETE - Piracicamirim. A lagoa aerada foi inoculada com material de uma das lagoas aeradas da própria ETE - Jundiaí. Todos os inóculos foram analisados antes da partida para determinar a concentração de sólidos.

4.3.2. Afluente

A afluente do reator UASB foi o esgoto afluente a ETE - Jundiaí após o vertedor de saída da caixa de areia. Este foi bombeado da saída da caixa de areia para o tanque com agitador. Nesse tanque foi adicionado o produto para a correção do pH.

O esgoto sanitário afluente à ETE apresenta cerca de 50% da sua carga orgânica devida a despejos industriais, sendo a Duratex (produção de chapas duras de madeira) e a Kraft Foods (produção de fermento biológico) responsáveis por cerca de 80% da carga orgânica afluente.

O “Relatório Mensal de Atividades da Companhia de Saneamento de Jundiaí” do mês de novembro de 2001 apresentou os resultados analíticos dos parâmetros de acompanhamento da ETE entre novembro de 2000 e novembro de 2001. Nesse período o pH do esgoto bruto apresentou um valor médio $\pm$ desvio padrão de $6,28 \pm 0,15$. Com base nesse resultado decidiu-se corrigir o pH da alimentação, principalmente durante a partida, do reator UASB empregando-se uma solução de bicarbonato de sódio, de modo a manter o pH no efluente em torno 7,0.

Dentre as alternativas de produtos para a correção do pH o bicarbonato de sódio é a melhor, pois produz efeito tampão contra eventuais quedas no pH. Porém como é onerosa pretende-se avaliar o desempenho do processo sem essa correção.

Os resultados do relatório acima citado mostraram também que o esgoto afluente continha as quantidades suficientes de nitrogênio e fósforo para o bom andamento da digestão anaeróbia. A relação DQO:N:P média obtida foi de 150:4:1 superior portanto à mínima recomendada pela literatura. Com base nesse resultado decidiu-se não adicionar nutrientes e medir a relação ao longo do ensaio de modo a confirmar essa opção.

4.3.3. Divisão do trabalho experimental

Este trabalho experimental tem por objetivo avaliar, tanto o desempenho individual do reator UASB quanto, do sistema completo no tratamento do esgoto afluente à ETE - Jundiaí. O experimento foi dividido em fases: partida do reator UASB, operação do reator UASB em tempo de detenção hidráulica constante e operação do sistema completo onde o tempo de detenção no reator UASB e na lagoa de decantação foi mantido constante e na lagoa aerada aeróbia foi variável.

4.3.4. Partida e operação do reator UASB

A partida é uma etapa muito importante da operação e visa a estabilidade do reator através, tanto da seleção do lodo no interior do reator quanto, da sua adaptação ao novo substrato. Esta última é uma etapa lenta e deve ser conduzida com muito cuidado.

Segundo ZEEW (1994), partida de um reator UASB é a primeira partida do reator empregando como inóculo um lodo anaeróbio não granulado e não adaptado. Ainda segundo o mesmo autor, pode-se definir partida de várias maneiras, porém, em termos práticos, a melhor definição de partida é o tempo necessário para atingir uma determinada condição operacional utilizando um inóculo não adaptado. Neste trabalho será usado essa definição. Assim a partida do reator UASB será o tempo decorrido para alcançar a condição de tempo de detenção hidráulica de 8 horas. Isso porque esse é o valor de tempo de detenção hidráulica que melhor atende aos critérios e parâmetros hidráulicos apresentados por CHERNICHARO et al, 1999. Dos seis itens apenas o tempo de detenção hidráulica no decantador (0,61 h) está fora da faixa recomendada (1,0 – 2,0 h). A velocidade nas aberturas para o decantador (2,3 m/h) está no limite superior da faixa apresentada (2,0 – 2,3 m/h) o que pode comprometer a eficiência do decantador.

A partida do reator UASB foi realizada com uma vazão inicial de esgoto equivalente a uma taxa de aplicação específica de 0,10 kg DQO/kg SSV. dia. Para o cálculo dessa vazão inicial foi considerada a média dos resultados de DQO do esgoto bruto afluente a ETE, dos 15 dias anteriores ao dia da partida e a massa total de SSV introduzida no reator com o inóculo.

Como a vazão da bomba de alimentação do reator UASB era muito alta, durante um período de operação a alimentação foi intermitente. O esgoto do tanque com agitador era bombeado diretamente em dois pontos no fundo do reator. Com a instalação de uma caixa divisora de vazão a alimentação passou a ser contínua. Essa caixa (50 L) passou a receber o esgoto bombeado diretamente do tanque com agitador e daí uma parte da vazão total era introduzida por gravidade nos dois pontos no fundo do reator e o restante era descartado.

A operação do reator durante a partida consistiu basicamente em aumentar, em degraus, a vazão de alimentação até alcançar o tempo de detenção hidráulica de 8 horas. Após os aumentos era observado o efeito sobre o pH, a concentração de ácidos orgânicos voláteis e a alcalinidade total do efluente. Novos aumentos eram aplicados à medida que o reator se acomodava às condições impostas. Quando o reator UASB atingiu a condição final acima citada este foi operado por um

período nessa condição e a seguir foi dada a partida na lagoa aerada aeróbia e na lagoa de decantação, e assim iniciava-se a operação do que se convencionou chamar de sistema completo.

O acompanhamento da operação do reator UASB consistiu em:

- anotar as temperaturas ambiente, do reator (dois pontos) e do afluente (E_1) (diariamente às 15:00 horas);
- anotar a leitura do medidor de gás (diariamente às 15:00 horas);
- medir a vazão (duas vezes por dia);
- coletar as amostras para o laboratório (quando programado);
- limpar e desentupir a entrada do afluente (quando necessário).

4.3.5. Partida da lagoa aerada aeróbia e operação do sistema completo

A partida da lagoa aerada aeróbia foi realizada após reator UASB estar operando em tempo de detenção hidráulica de 8 horas. A lagoa aerada aeróbia foi previamente inoculada com o material de uma das lagoas aeradas aeróbias da ETE-Jundiaí e em seguida iniciou-se a aeração e a alimentação com o efluente do reator UASB. A vazão da lagoa aerada aeróbia foi determinada a partir da vazão do UASB.

O acompanhamento da operação da lagoa aerada aeróbia consistiu em :

- anotar a temperatura (diariamente às 15:00 horas);
- medir a concentração de oxigênio dissolvido (diariamente às 15:00 horas);
- coletar as amostras para o laboratório (quando programado).

Entre a lagoa aerada aeróbia e a lagoa de decantação foi instalado um dispositivo que permitiu desviar uma fração da vazão efluente da lagoa aerada de modo a manter o tempo de detenção hidráulica em 1,8 dia na lagoa de decantação.

A lagoa de decantação começou a funcionar imediatamente após a lagoa aerada aeróbia. O acompanhamento da operação da lagoa de decantação consistiu em :

- medir a vazão (quatro vezes por semana);
- coletar as amostras para o laboratório (quando programado);
- limpar a superfície e a calha coletora de efluente (quando necessário).

A operação do sistema completo consistiu em manter o reator UASB e a lagoa de decantação em tempo de detenção hidráulica constante de 8,0 horas e 1,8 dia, respectivamente e variar o tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia de acordo com o programado: 1,0, 1,5, 2,5 e 3,5 dias. Para conseguir esses tempos de detenção na lagoa aerada aeróbia, já que a vazão do reator UASB era constante, variou-se o volume da lagoa aerada aeróbia.

4.3.6. Acompanhamento analítico

O acompanhamento analítico consistiu em submeter o afluente do reator UASB e os efluentes das unidades que compõem o sistema completo a uma série de determinações analíticas. Também foram realizadas determinações em amostras de alguns pontos de amostragem ao longo da altura do reator UASB. O número e a frequência das análises foram estabelecidos levando-se em consideração a demanda do laboratório da ETE - Jundiá.

A tabela 4.1 apresenta as determinações analíticas programadas para cada amostra e a frequência empregada durante a partida do reator UASB no ensaio A.

Tabela 4.1: Programa de acompanhamento analítico durante a partida do reator UASB. Ensaio A.

Parâmetro	Amostra	Frequência
DQO total	E ₁ e E ₂	2/semana
DQO filtrada	E ₂	1/semana
DBO ₅ total	E ₁ e E ₂	1/semana
DBO ₅ filtrada	E ₂	1/semana
ST e SV	L ₁ , L ₃ , L ₅ e L ₆	1/semana
ST, SV, SST e SSV	E ₁ e E ₂	1/semana
pH	E ₁ , L ₁ , L ₃ , L ₅ e L ₆	1/semana
	E ₂	1/dia
Alcalinidade Total	E ₁	1/semana
	E ₂	1/dia
Ácidos Orgânicos Voláteis	E ₁	1/semana
	E ₂	1/dia
Nitrogênio Total e Amoniacal	E ₁ e E ₂	1/semana
Fósforo Total	E ₁ e E ₂	1/15 dias
Cor Verdadeira	E ₁ e E ₂	1/15 dias

A tabela 4.2 apresenta as determinações analíticas programadas para cada amostra e a frequência empregada no ensaio A durante a operação do reator UASB em tempo de detenção hidráulica constante de 8 horas e do sistema completo.

Tabela 4.2: Programa de análises empregado durante a operação do reator UASB em tempo de detenção hidráulica constante de 8 horas e do sistema completo. Ensaio A.

Parâmetro	Amostra	Frequência
DQO total	E ₁ e E ₄	1/semana
	E ₂ e E ₃	2/semana
DQO filtrada	E ₂ , E ₃ e E ₄	1/semana
DBO ₅ total	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/semana
DBO ₅ filtrada	E ₂ , E ₃ e E ₄	1/semana
ST e SV	L ₁ , L ₃ , L ₅ e L ₆	1/semana
ST, SV, SST e SSV	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/semana
	E ₃	2/semana
pH	E ₁ , E ₂ , E ₃ , E ₄ , L ₁ , L ₃ , L ₅ e L ₆	1/semana
Alcalinidade Total	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/semana
Ácidos Orgânicos Voláteis	E ₁ e E ₂	1/semana
Nitrogênio Total e Amoniacal	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/15 dias
Fósforo Total	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/15 dias
Cor Verdadeira	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/15 dias
Oxigênio Dissolvido	E ₃	1/dia

A tabela 4.3 apresenta as determinações analíticas programadas para cada amostra e a frequência empregadas nas três fases do ensaio B.

Tabela 4.3: Programa de acompanhamento analítico empregado no ensaio B.

Parâmetro	Amostra	Frequência
DQO total	E ₁ , E ₂ e E ₃	2/semana
	E ₄	1/semana
DQO filtrada	E ₂ , E ₃ e E ₄	1/semana
DBO ₅ total	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/semana
DBO ₅ filtrada	E ₂ , E ₃ e E ₄	1/semana
ST e SV	L ₁ , L ₃ , L ₅ e L ₆	1/semana
ST, SV, SST e SSV	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/semana
	E ₃	2/semana
pH	E ₁ , E ₃ , E ₄ , L ₁ , L ₃ , L ₅ e L ₆	1/semana
	E ₂	2/semana
Oxigênio Dissolvido	E ₃	1/dia
Alcalinidade Total	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/semana
Ácidos Orgânicos Voláteis	E ₁	1/semana
	E ₂	2/semana
Nitrogênio Total e Amoniacal	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/15 dias
Fósforo Total	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/15 dias
Cor Verdadeira	E ₁ , E ₂ e E ₄	1/15 dias

A identificação das amostras constantes nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 é apresentada a seguir:

E₁: afluente do reator UASB.

E₂: efluente do reator UASB.

E₃: efluente da lagoa aerada aeróbia.

E₄: efluente da lagoa de decantação.

L₁: ponto de amostragem do reator UASB a 0,18 m do fundo.

L₃: ponto de amostragem do reator UASB a 1,38 m do fundo.

L₅: ponto de amostragem do reator UASB a 2,58 m do fundo.

L₆: ponto de amostragem do reator UASB a 3,58 m do fundo.

As amostras para determinação de DQO e DBO₅ dos pontos E₁, E₂, E₃ e E₄ foram compostas por quatro alíquotas, uniformemente distribuídas ao longo das 24 horas do dia. Estas foram conservadas sob refrigeração até o momento da análise. Todas as outras determinações foram realizadas em amostras instantâneas.

4.3.7. Métodos analíticos

As determinações analíticas foram realizadas no laboratório da ETE - Jundiaí de acordo com as recomendações do “STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER”.

A seguir apresenta-se uma relação das determinações analíticas, o tipo de amostra onde foram realizadas, uma breve justificativa e também uma breve descrição dos métodos analíticos empregados no acompanhamento dos ensaios.

- **pH**

A medida do pH foi utilizada para o controle do sistema. Essa determinação foi realizada no afluente, efluente e nos pontos de amostragem do reator UASB e nos efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação. O pH foi medido com um potenciômetro, utilizando-se um eletrodo combinado de vidro prata/cloreto de prata.

- **Demanda química de oxigênio**

A demanda química de oxigênio (DQO) foi empregada para o acompanhamento das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida, da eficiência de remoção de matéria orgânica e do fator de produção de gás, por ser esta reconhecida como a mais representativa no controle de reatores anaeróbios. Essa determinação foi realizada no afluente e efluente do reator UASB e nos efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação. A demanda química de oxigênio foi determinada colorimetricamente pelo método do refluxo fechado com dicromato de potássio e meio fortemente sulfúrico, além de sulfato de prata como catalizador. A DQO total foi medida na amostra sem

tratamento enquanto para a DQO filtrada a amostra foi previamente filtrada em papel de filtro GF-52-C ou similar. A leitura será realizada em comprimento de onda de 620 nm e o resultado expresso em miligramas de oxigênio por litro e representado por (mg/L).

- **Demanda bioquímica de oxigênio**

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi determinação, principalmente, por se tratar de parâmetro constante da legislação de controle da poluição das águas. Essa determinação foi realizada no afluente e efluente do reator UASB e nos efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação. A demanda bioquímica de oxigênio foi determinada pelo método respirométrico em amostras mantidas em incubação no escuro por cinco dias e a temperatura de 20°C. O resultado foi expresso em miligramas de oxigênio por litro e representado por (mg/L).

- **Sólidos totais e voláteis**

A determinação dos sólidos totais (ST) e voláteis (SV) foi empregada como uma forma de estimar a quantidade de biomassa no interior do reator e medir a matéria orgânica presente no afluente e nos efluentes. Essa determinação foi realizada no afluente, nos pontos de amostragem e nos efluentes do reator UASB e das lagoas aerada aeróbia e de decantação. A concentração de sólidos totais e voláteis foi determinada pelo método gravimétrico. O resultado foi expresso em miligramas de sólidos totais ou voláteis por litro e representado por (mg/L).

- **Sólidos suspensos totais e voláteis**

A determinação dos sólidos suspensos totais (SST) e voláteis (SSV) foi empregada como uma forma de medir a matéria orgânica insolúvel presente no afluente e nos efluentes. Essa determinação foi realizada no afluente do UASB e nos efluentes do reator UASB, das lagoas aerada aeróbia e de decantação. A concentração de sólidos suspensos totais e voláteis foi determinada pelo método gravimétrico, em amostra previamente filtrada em papel de filtro GF-52-C ou similar. O resultado foi expresso em miligramas de sólidos suspensos totais ou voláteis e representado por (mg/L).

- **Alcalinidade total**

A medida da alcalinidade total foi realizada para o controle da estabilidade do processo. A alcalinidade é um requisito indispensável para a estabilidade do processo e também para segurança contra eventuais flutuações do pH. Essa determinação foi realizada no afluente e efluente do reator UASB e no efluente da lagoa de decantação. A concentração de alcalinidade total, sem uma previa separação dos sólidos em suspensão, foi medida titulando-se uma amostra com ácido sulfúrico até

pH de 4,5. O resultado foi expresso em miligramas de carbonato de cálcio por litro e representado por (mg CaCO_3/L).

- **Ácidos orgânicos voláteis**

A concentração de ácidos é um dos parâmetros mais importantes de controle da estabilidade do processo bioquímico. O acúmulo de ácidos é um indicativo de que ocorreu algum distúrbio com o processo exigindo alguma medida corretiva. Essa determinação foi realizada no afluente e efluente do reator UASB. Os ácidos orgânicos voláteis foram determinados conjuntamente, por método colorimétrico baseado na esterificação dos ácidos carboxílicos e determinação dos esteres por reação com íon férrico. A amostra foi previamente filtrada em papel GF-52-C ou similar. A leitura foi realizada em comprimento de onda de 495nm e o resultado expresso em miligramas de ácido acético por litro e representado por (mg HAc/L).

- **Nitrogênio total e fósforo total**

Essas determinações foram feitas por serem os macronutrientes mais importantes, que devem estar presentes em concentrações suficientes para não limitar o metabolismo microbiano além de serem parâmetros de controle da legislação. Essa determinação foi realizada no afluente e efluente do reator UASB e no efluente da lagoa de decantação. A concentração de nitrogênio total foi medida colorimetricamente em amostras sem qualquer tratamento, pelo método da digestão com persulfato. A leitura foi em comprimento de onda de 410 nm e o resultado expresso em miligramas de nitrogênio por litro e representado por (mg N/L). A concentração de fósforo total foi determinada colorimetricamente, em amostra previamente acidificada a pH entre 6 e 8, pelo método da conversão dos fosfatos, em meio ácido e na presença de molibdato, em um complexo de fosfomolibdato. A leitura foi realizada em comprimento de onda de 420 nm e o resultado expresso em miligramas de fósforo por litro e representado por (mg P/L).

- **Nitrogênio amoniacal**

Essa determinação foi realizada para avaliar a capacidade de nitrificação do sistema e por ser parâmetro constante da legislação de controle da poluição das águas. Essa determinação foi realizada no afluente e efluente do reator UASB e no efluente da lagoa de decantação. A concentração de nitrogênio amoniacal foi determinada colorimetricamente, em amostra sem qualquer tratamento, pelo método do salicilato de amônio. A leitura foi em comprimento de onda de 655 nm e o resultado expresso em miligramas de amônia por litro e representado por (mg NH_3/L).

- **Oxigênio dissolvido**

A medida da concentração de oxigênio dissolvido foi realizada para avaliação do processo aeróbio no tanque de aeração. Essa determinação foi realizada no efluente da lagoa aerada aeróbia. A concentração de oxigênio dissolvido foi determinada, diretamente na amostra sem qualquer tratamento, empregando-se eletrodo específico para oxigênio. O resultado foi expresso em miligramas de oxigênio por litro e representado por ($\text{mg O}_2/\text{L}$).

- **Cor verdadeira**

A medida da cor verdadeira foi realizada em função dos esgotos afluentes à ETE receberem os despejos da Duratex (produção de chapas duras de madeira). Espera-se verificar o grau de redução na cor verdadeira após o tratamento. Essa determinação foi realizada no afluente e efluente do reator UASB e no efluente da lagoa de decantação. A cor verdadeira foi determinada pelo método colorimétrico pelo método da platina-cobalto, em amostra previamente filtrada em papel de filtro GF-52-C ou similar. A leitura será realizada em comprimento de onda de 455 nm e o resultado expresso em miligramas de platina por litro e representado por (mg Pt/L).

- **Nitrogênio nitrato e nitrito**

As concentrações de nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito, no efluente da lagoa aerada aeróbia, foram determinadas esporadicamente no ensaio B, também com o objetivo de avaliar o grau de nitrificação.

A concentração de nitrogênio nitrato foi determinada colorimetricamente, em amostra filtrada em papel de filtro GF-52-C ou similar, pelo método da redução do cádmio. A leitura foi feita em comprimento de onda de 500 nm e o resultado expresso em miligramas de nitrato por litro e representado por ($\text{mg NO}_3^-/\text{L}$). A concentração de nitrogênio nitrito foi determinada colorimetricamente, em amostra filtrada em papel de filtro GF-52-C ou similar, pelo método do ácido cromotrópico. A leitura foi feita em comprimento de onda de 507 nm e o resultado expresso em miligramas de nitrito por litro e representado por ($\text{mg NO}_2^-/\text{L}$).

Em função de espaço no cronograma de atividades do laboratório da ETE as análises de sólidos, DQO e DBO_5 , dos pontos E_1 , E_2 , E_3 e E_4 , não foram realizadas na mesma amostra. Os parâmetros DQO, DBO_5 , nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, (nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito) fósforo total e cor verdadeira, para os mesmos pontos acima, foram determinados na mesma amostra.

4.4. Cálculo de parâmetros operacionais

A seguir apresenta-se a forma de cálculo dos parâmetros operacionais e de acompanhamento e avaliação da eficiência do processo. O cálculo das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e da eficiência de remoção de matéria orgânica foi feito com base na DQO, reconhecida como mais representativa e confiável no controle de processos biológicos.

- **Tempo de detenção hidráulica**

O tempo de detenção hidráulica foi calculado, dividindo-se o volume do reator pela vazão de alimentação no dia considerado. O resultado foi expresso em horas para o reator UASB e em dias para as lagoas aerada aeróbia e de decantação.

- **Taxa orgânica volumétrica aplicada**

Este parâmetro foi determinado apenas para o reator UASB. A taxa de aplicação orgânica volumétrica foi calculada dividindo-se a massa total de DQO alimentada ao reator no dia em questão, pelo volume do reator. O resultado foi expresso em quilogramas de DQO alimentada por metro cúbico e por dia e representada por $\text{kg DQO/m}^3 \cdot \text{dia}$.

- **Taxa orgânica volumétrica removida**

Este parâmetro foi determinado apenas para o reator UASB. A taxa orgânica volumétrica removida foi calculada dividindo-se a diferença entre a massa total de DQO alimentada ao reator e a massa total de DQO no efluente do reator (considerando a amostra total) no dia em questão, pelo volume do reator. O resultado foi expresso em quilogramas de DQO removida por metro cúbico e por dia e representado por $\text{kg DQO/m}^3 \cdot \text{dia}$.

- **Remoção de matéria orgânica**

Este parâmetro foi determinado ao longo do sistema completo. A eficiência de remoção de matéria orgânica pode ser calculada tomando-se por base a DQO, a DBO_5 ou a concentração de sólidos. Considerando por exemplo a DQO, o cálculo pode ser feito pela equação abaixo e expressa em porcentagem (%).

$$\text{Remoção de DQO} = [(DQO_A - DQO_E) / DQO_A] \times 100 \quad (4.1)$$

onde:

DQO_A : concentração de DQO no afluente (mg/L).

DQO_E : concentração de DQO no efluente (mg/L).

A eficiência de remoção de matéria orgânica é normalmente relacionada à concentração de DQO total no efluente, que inclui a concentração de sólidos suspensos presentes no efluente. Esse procedimento faz com que os resultados sejam menores que os obtidos quando se considera a concentração de DQO filtrada no efluente.

- **Massa total de lodo no reator UASB**

A massa total de lodo no interior do reator UASB foi estimada empregando a concentração de SV nos pontos de amostragem ao longo da altura do reator. Para tanto, foram escolhidos os pontos de amostragem L₁, L₃, L₅ e L₆. A massa total foi obtida a partir do gráfico da concentração de SV (kg/m³) em função da altura do reator (m) - perfil de lodo. A área sob essa curva, obtida por exemplo por integração gráfica, multiplicada pela área da seção reta do reator (0,636 m²) fornece uma estimativa da massa total de lodo no reator no dia em questão. O resultado foi expresso em quilogramas de sólidos voláteis e representado por kg SV.

- **Taxa orgânica específica**

Este parâmetro foi determinado apenas para o reator UASB. A taxa orgânica específica foi calculada dividindo-se a massa de DQO alimentada ao reator pela massa total de SV no reator no dia em questão. O resultado foi expresso em quilogramas de DQO por kg SV e por dia e representado por kg DQO/kg SV.dia.

- **Volume de gás**

Este parâmetro foi determinado apenas para o reator UASB. O volume de gás produzido diariamente foi obtido pela diferença entre os volumes totalizados no medidor de gás em dias consecutivos. O volume diário de gás foi corrigido para as Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP) e ausência de umidade, multiplicando-se o volume diário pelo fator de correção “*f*”, e expresso como normais metros cúbicos por dia (Nm³/dia). A expressão para correção é apresentada a seguir:

$$V_{\text{CNTP,SECO}} = V \cdot f \quad (4.2)$$

sendo o fator “*f*” expresso por:

$$f = ((P_{\text{TOTAL}} - P_{\text{H}_2\text{O}}) / 760) (273 / T_{\text{AMB}}) \quad (4.3)$$

onde os termos constantes das expressões acima devem ser entendidos conforme o seguinte significado:

$V_{\text{CNTP,SECO}}$: volume de gás diário corrigido (Nm³/dia).

V : volume de gás diário medido na temperatura ambiente (m³/dia).

f : fator de correção para as CNTP.

P_{TOTAL} : pressão total do gás que é igual a pressão atmosférica local (mm Hg).

P_{H_2O} : pressão de vapor d'água à temperatura ambiente (mm Hg).

T_{AMB} : temperatura ambiente (K).

Na tabela 4.4 estão relacionados alguns valores do fator de correção do volume de gás (" f ") em função da temperatura ambiente.

Tabela 4.4: Valores do fator de correção do volume de gás " f " em função da temperatura ambiente.

Temperatura (°C)	f	Temperatura (°C)	f	Temperatura (°C)	f	Temperatura (°C)	f
13	0,8633	19	0,8421	25	0,8164	31	0,7885
14	0,8624	20	0,8379	26	0,8119	32	0,7836
15	0,8584	21	0,8337	27	0,8073	33	0,7786
16	0,8544	22	0,8294	28	0,8027	34	0,7735
17	0,8503	23	0,8251	29	0,7981	34	0,7684
18	0,8462	24	0,8208	30	0,7933	36	0,7631

• Fator de conversão de matéria orgânica a gás

Este parâmetro foi determinado apenas para o reator UASB. O fator foi calculado dividindo-se o volume diário de gás corrigido (CNTP e seco) pela massa de matéria orgânica removida, expressa em DQO, no dia em questão. O resultado foi expresso em metros cúbicos de gás CNTP por quilograma de DQO removida e representado por Nm^3/kg DQO removida. Para o cálculo da massa de DQO removida foi considerada a DQO total do efluente do reator UASB.

4.5. Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados foi realizada empregando a técnica da "análise de variância", de modo a comparar os resultados experimentais.

A análise de variância é um teste de hipóteses de médias de duas ou mais populações, que permite identificar diferenças entre médias populacionais devidas a várias causas, atuando simultaneamente sobre os elementos da população. (COSTA NETO, 1977)

As premissas básicas implícitas à aplicação da técnica são:

- as populações têm a mesma variância (condição de homocedasticidade).
- as amostras são retiradas de populações com distribuição normal.

- as amostras são aleatórias e independentes.

Segundo COSTA NETO, 1977 a análise de variância é um método robusto, ou seja, algum afastamento das premissas básicas ainda leva a resultados válidos com razoável aproximação.

O teste de hipóteses foi estabelecido da seguinte forma:

- a hipótese nula “ H_0 ” afirma que todas as populações tem a mesma média.
- a hipótese alternativa “ H_1 ” afirma que pelo menos uma das médias populacionais é diferente das outras.

A decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula será feita empregando-se a distribuição F de Snedecor, comparando o valor da variável F observado (F) com o F crítico (F_c) correspondente ao nível de significância adotado. A hipótese “ H_0 ” será aceita quando o valor de F for menor que o F_c . (teste unilateral).

O teste foi realizado empregando a ferramenta de análise “ANOVA: fator único”, disponível no Excel 1997 com um o nível de significância de 5%, correspondente a um grau de confiança de 95%. (LAPPONI, 2000)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um acidente com o reator UASB, após nove meses de iniciada a parte experimental, causou a perda de praticamente todo o conteúdo do reator devido ao rompimento de uma das entradas do afluente. Esse fato resultou no encerramento do experimento e a seguir o reator UASB recebeu novo inóculo e o experimento foi reiniciado. Face a isso o experimento foi dividido em dois ensaios (A e B) e estes subdivididos em fases. O ensaio A foi subdividido nas seguintes fases:

- Fase A.I: primeira partida do reator UASB.
- Fase A.II: operação do reator UASB em tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas.
- Fase A.II-1: operação do sistema completo sendo reator UASB em tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas, lagoa aerada aeróbia em 2,5 dias e 1,8 dia na lagoa de decantação.

O Ensaio B foi subdividido foi nas seguintes fases:

- Fase B.I: segunda partida do reator UASB.
- Fase B.II: operação do reator UASB em tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas.
- Fase B.II-1: operação do sistema completo sendo reator UASB em tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas, lagoa aerada aeróbia em 2,5 dias e 1,8 dia na lagoa de decantação.
- Fase B.II-2: operação do sistema completo sendo reator UASB em tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas, lagoa aerada aeróbia em 1,5 dia e 1,8 dia na lagoa de decantação.
- Fase B.II-3: operação do sistema completo sendo reator UASB em tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas, lagoa aerada aeróbia em 1,0 dia e 1,8 dia na lagoa de decantação.
- Fase B.II-4: operação do sistema completo sendo reator UASB em tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas, lagoa aerada aeróbia em 3,5 dias e 1,8 dia na lagoa de decantação.

Os anexos de C a F e de G a P apresentam as tabelas com os resultados dos ensaios A e B, respectivamente. O anexo Q apresenta as tabelas com o resumo dos resultados experimentais obtidos em cada fase dos ensaios.

A distribuição amostral das estatísticas, média e desvio padrão, dos resultados experimentais foi assumida como proveniente de uma população aproximadamente normal.

Na discussão dos resultados relativos ao reator UASB será dado destaque aos resultados obtidos no período em que o reator operou com tempo de detenção hidráulica de 8 horas, por ser esta a

condição final de operação do reator UASB e também a condição de operação do reator no sistema completo.

5.1. Ensaio A

O ensaio A iniciou-se no dia 16/04/2002 e estendeu-se até o dia 04/11/2002, quando foi encerrada devido ao um acidente com o reator UASB. O tempo total de operação foi de 282 dias.

O anexo C apresenta as tabelas com os resultados das fases A.I e A-II referentes:

- ao acompanhamento diário do reator UASB.
- às determinações analíticas no afluente (E_1) e no efluente (E_2).
- às concentrações de sólidos e do pH nos pontos de amostragem.

O anexo D apresenta as tabelas com os resultados das fases A.I e A-II referentes:

- às relações DQO/N, DQO/P, SV/ST e SSV/SST no afluente (E_1) e efluente (E_2).
- às relações SV/ST nos pontos de amostragem.
- à massa total e da concentração de lodo no reator.
- às taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e fator de produção de gás.
- às eficiências de remoção de sólidos, DQO, DBO_5 , nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira.

Os valores que aparecem nas tabelas dos anexos C e D entre parênteses, foram excluídos na elaboração das tabelas e/ou figuras apresentados nos itens das fases A.I e A.II. Os valores excluídos estão citados nos respectivos itens.

5.1.1. Características do afluente (E_1) do reator UASB

A tabela 5.1 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das características do afluente (E_1) do reator UASB no ensaio A. Os valores foram obtidos nas tabelas C.1, C.2 e C.3, do anexo C. O afluente do reator UASB (E_1) é o esgoto afluente à ETE - Jundiá na saída do vertedor da caixa de areia.

Na tabela 5.1 observa-se que devido à contribuição do esgoto industrial os valores de DQO, DBO_5 , sólidos e cor verdadeira são bem superiores aos encontrados em esgoto tipicamente doméstico. Os valores de nitrogênio total e amoniacal e de fósforo total entretanto, não são muito diferentes dos normalmente encontrados em esgoto doméstico. Esse fato pode ser explicado porque os despejos

industriais, apesar de contribuírem significativamente na carga orgânica afluyente, sejam pobres nesses dois componentes.

Tabela 5.1: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das características do afluyente (E_1) do reator UASB. Ensaio A.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
DQO total (mg/L)	1759 $\pm$ 689	814 – 3892
DBO ₅ total (mg/L)	850 $\pm$ 293	372 – 1358
ST (mg/L)	1023 $\pm$ 308	500 – 1760
SV (mg/L)	577 $\pm$ 180	280 – 980
SST (mg/L)	340 $\pm$ 150	160 – 840
SSV (mg/L)	263 $\pm$ 107	120 – 640
Nitrogênio total (mg N/L)	59,3 $\pm$ 17,4	24,0 – 96,0
Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	19,5 $\pm$ 4,9	10,7 – 35,6
Fósforo total (mg P/L)	14,7 $\pm$ 5,3	5,3 – 22,7
Cor verdadeira (mg Pt/L)	980 $\pm$ 388	242 – 2280
Ácidos orgânicos voláteis (mg HAc/L) ⁽¹⁾	111 $\pm$ 76	17 – 321
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L) ⁽¹⁾	170 $\pm$ 55	91 – 367
pH ⁽¹⁾	6,7 $\pm$ 0,4	5,7 – 7,6
Temperatura (°C) ⁽²⁾	27,6 $\pm$ 1,0	25 – 28

(1): Valores referentes ao período sem correção do pH do afluyente (86° ao 282° dias de operação).

(2): Valores referentes ao período entre o 215° e 282° dias de operação.

Dos valores apresentados na tabela 5.1 também pode-se observar a grande variação nos parâmetros DQO e DBO₅. Da tabela 5.1 destacam-se as relações médias apresentadas no quadro a seguir:

Relação	SV/ST	SSV/SST	DBO ₅ /DQO
Valor	0,56	0,77	0,48

Os sólidos voláteis representam uma parcela significativa dos sólidos totais, em média cerca de 60%. Os sólidos suspensos voláteis, por sua vez, são cerca de 80% sólidos suspensos totais o que mostra que grande parte da matéria orgânica presente no afluyente encontra-se na forma suspensa volátil. A parcela biodegradável representa cerca de 50% da matéria orgânica total.

Dos valores calculados das relações DQO/N e DQO/P apresentados na tabela D.1, do anexo D, obtém-se que a relação DQO:N:P para o afluyente (E_1) foi em média de 131:4:1. Assumindo que esses nutrientes estejam numa forma disponível para as bactérias verifica-se que em média a relação

DQO:N:P foi superior à mínima requerida para o processo anaeróbio e confirma a opção feita de não adicionar nutrientes.

5.1.2. Fase A.I

A fase A.I refere-se ao período da primeira partida do reator UASB. Essa fase iniciou-se no dia 16/04/2002 e estendeu-se até o dia 03/11/2002. O tempo total de operação foi de 172 dias.

Como a vazão da bomba de alimentação era elevada a alimentação do reator UASB foi intermitente. O volume diário de afluente foi dividido em doze alimentações, uma a cada duas horas.

Antes da partida o reator foi inoculado com $1,5 \text{ m}^3$ de uma mistura de lodos anaeróbios assim composta: 750 L de lodo do fundo de uma das lagoas de decantação da própria ETE - Jundiaí e 750 L de lodo do reator UASB da ETE - Piracicamirim. A mistura apresentou uma concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) de 51 kg/m^3 e 28 kg/m^3 , respectivamente. A massa total de SSV presente no inoculo foi de 42 kg ($1,5 \text{ m}^3 \times 28 \text{ kg/m}^3$). A DQO média do esgoto bruto afluente a ETE – Jundiaí nos quinze dias anteriores a partida foi de 1723 mg/L. Com esses dois valores e considerando a carga orgânica específica estipulada para a partida de 0,10 kg DQO/kg SSV.dia, a vazão inicial de esgoto seria de $2,4 \text{ m}^3/\text{dia}$ o que corresponde a um tempo de detenção hidráulica inicial de 30 horas.

Entretanto, a partida do reator foi realizada com um tempo de detenção hidráulica de 40 horas (vazão inicial de esgoto de $1,8 \text{ m}^3/\text{dia}$), equivalente aproximadamente à carga orgânica específica de 0,07 kg DQO/kg SSV.dia. Essa estratégia foi adotada de modo a diminuir os esforços para o controle da operação e do processo e assim poder treinar a equipe de operadores e ajustar o programa de análises dentro do laboratório da empresa. A tabela 5.2 apresenta as condições operacionais do reator UASB na fase A.I.

Tabela 5.2: Condições de operação do reator UASB. Fase A.I.

Período	Tempo de Operação (dias)	Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Vazão de Esgoto (m^3/dia)
16/05/02 – 28/05/02	1° – 13°	40,0	1,8
29/05/02 – 03/06/02	14° – 19°	30,0	2,4
04/06/02 – 20/06/02	20° – 36°	20,0	3,6
21/06/02 – 27/06/02	37° – 43°	15,0	4,8
28/06/02 – 12/09/02	44° – 120°	12,0	6,0
13/09/02 – 03/11/02	121° – 172°	10,0	7,2

A partida é uma etapa muito importante da operação do reator UASB e foi empregada para:

- estabelecer o tempo de partida.
- lavar as partículas de lodo leves do inóculo e assim reter o lodo biológico denso e de boa qualidade.
- adaptar o lodo biológico ao novo substrato.

Nessa etapa da operação busca-se a estabilidade do reator numa determinada condição final. Nesse sentido, mudava-se a condição de operação à medida que a resposta do reator, a cada condição aplicada, se mantinha estável considerando basicamente os resultados de pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total no efluente (E_2) do reator UASB.

O pH do afluente (E_1) foi corrigido nos 85 dias iniciais do ensaio de modo a manter o pH no efluente (E_2) do reator em torno de 7,0. Como nessa fase a alimentação era intermitente eram preparados lotes de 1300 L no tanque com agitador onde era adicionada uma determinada quantidade de solução de bicarbonato de sódio. A quantidade foi decrescente até a suspensão completa no 85º dia de operação. Na tabela 5.3 estão relacionadas as quantidades de bicarbonato de sódio empregadas e o valor do pH no efluente em função do tempo de operação.

Tabela 5.3: Quantidades de bicarbonato de sódio adicionadas no afluente (E_1) do reator UASB e valor do pH do efluente (E_2). Fase A.I.

Período	Tempo de Operação (dias)	Massa de bicarbonato de sódio (g/L)	Volume de bicarbonato de sódio (*) (L/m ³ afluente)	pH médio do efluente
16/05/02 – 28/05/02	1º – 13º	700	14,0	7,4
29/05/02 – 03/06/02	14º – 19º	600	12,0	7,5
04/06/02 – 10/06/02	20º – 26º	500	10,0	7,3
11/06/02 – 21/06/02	27º – 37º	415	8,3	7,2
22/06/02 – 02/07/02	38º – 48º	350	7,0	7,1
03/07/02 – 11/07/02	49º – 57º	250	5,0	6,9
12/07/02 – 18/07/02	58º – 64º	200	4,0	6,8
19/07/02 – 25/07/02	65º – 71º	150	3,0	6,8
26/07/02 – 01/08/02	72º – 78º	100	2,0	6,8
02/08/02 – 08/08/02	79º – 85º	50	1,0	6,7

(*) solução a 5%.

Na tabela 5.3 pode-se verificar que a redução gradual na quantidade de bicarbonato de sódio provocou um decréscimo no valor do pH do efluente. Como será mostrado mais a frente, a adição de bicarbonato, que produz um efeito tampão contra eventuais quedas no pH, pôde ser dispensada

sem grandes prejuízos para o desempenho do processo. Com isso, o pH que se estabeleceu no reator não foi o ideal para a digestão anaeróbia porém, ainda assim, foi possível alcançar eficiências de remoção de matéria orgânica bastante significativas.

Ao longo do ensaio A foram medidas as temperaturas ambiente, do afluente (E_1) e do reator UASB. Essas medições foram realizadas diariamente às 15:00 horas. A temperatura do afluente começou a ser medida a partir do 215º dia de operação.

As medidas da temperatura superior do reator UASB foram desprezadas porque o termômetro apresentou algum defeito. O valor medido foi sempre superior (em geral de 3°C a 4°C) ao do ponto inferior do reator, quando o normal seria este indicar uma temperatura igual ou ligeiramente menor a medida no fundo, já que o reator é dotado de isolamento térmico. O defeito foi confirmado em duas ocasiões quando foi retirada uma amostra no ponto de amostragem L_7 (31 cm acima do termômetro superior) e verificando que a temperatura era praticamente igual à do ponto inferior.

A figura 5.1, cujos valores são provenientes da tabela C.1, do anexo C, apresenta o comportamento do tempo de detenção hidráulica do reator UASB ao longo do ensaio A.

Figura 5.1: Comportamento do tempo de detenção hidráulica (TDH) no reator UASB. Ensaio A.

De acordo com o conceito de partida adotado neste trabalho, o reator UASB chegou ao tempo de detenção hidráulica de 8 horas após 173 dias de operação (cerca de 25 semanas). A operação do reator em tempo de detenção hidráulica programado de 8 horas iniciou-se no 174º e encerrou-se, em decorrência do acidente com o reator UASB, no 282º dia de operação (21/02/2003).

A alimentação do reator foi intermitente até o 165º dia de operação devido a elevada vazão da bomba de alimentação. Nesse período o reator foi alimentado um número de vezes ao longo das 24 horas do dia de modo a receber o volume de afluente necessário para o tempo de detenção hidráulica programado. Na figura 5.1 esse período está representado pelos degraus que aparecem na curva. Após esse período foi instalado um dispositivo que permitiu desviar parte da vazão afluente e assim a alimentação passou a ser contínua. Não foi possível detectar alterações no desempenho do reator UASB em função da mudança na forma de alimentação de intermitente para contínua.

Após o 165º dia de operação pode-se observar na figura 5.1 que o tempo de detenção hidráulica passa a variar em torno do valor programado em função basicamente das dificuldades em manter a vazão constante com esse tipo de despejo e com os equipamentos disponíveis.

Apesar do volume de inóculo ter sido de 50% do volume do reator, o tempo de partida foi muito longo comparado com os resultados apresentados na literatura (CHERNICHARO, 1999; ZEEW, 1984; e LIU, 2000). A duração da partida não foi consequência da estratégia operacional adotada. A operação do reator foi muito cuidadosa de modo a evitar a perda excessiva de lodo do inóculo. Além disso, após cada alteração na condição de operação procurava-se caracterizar bem os parâmetros de controle, de modo a confirmar que não houve desequilíbrio no processo. Por outro lado, como o inóculo não era adaptado ao despejo estudado, procurou-se garantir um período de aclimação de modo a favorecer a seleção microbiana e a formação de um manto de lodo com boas características de sedimentação.

Também contribuiu para a prolongar a partida o período entre o 141º e 162º dia de operação (detalhado no item a seguir) quando, face ao abaixamento do pH do efluente, corrigiu-se nesse período o pH do afluente e não se procedeu a nenhuma alteração no programa de operação.

Porém, com base nos resultados que serão apresentados a seguir fica claro que o tempo de partida poderia ter sido encurtado em algumas semanas, já que não se observaram desequilíbrios (além do acima citado) no desempenho do reator em termos de pH, ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade

total que justifiquem a duração da partida. A única explicação é excesso de zelo na condução dessa importante etapa do reator UASB.

5.1.2.1. Condições ambientais no reator UASB

O reator UASB nessa fase foi monitorado principalmente com base nos resultados de pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do efluente (E_2), visto que estes três fatores ambientais estão intimamente relacionados entre si, sendo igualmente importantes para o controle e operação de reatores anaeróbios.

A figura 5.2, cujos valores estão apresentados na tabela C.1, do anexo C, mostra o comportamento da temperatura do reator UASB ao longo do ensaio A.

Figura 5.2: Comportamento da temperatura do reator UASB. Ensaio A.

Como pode ser observado na figura 5.2 a temperatura interna do reator UASB não apresentou variações bruscas que pudessem prejudicar o desempenho do processo.

Do início e até o 140º dia de operação a temperatura do reator foi mais baixa, apresentando um valor médio $\pm$ desvio padrão de $22,2^{\circ}\text{C} \pm 1,8^{\circ}\text{C}$ e a temperatura ambiente $25,8^{\circ}\text{C} \pm 4,1^{\circ}\text{C}$. Nesse período apesar da temperatura do reator não ser a ideal para o processo este não mostrou problemas

no desempenho, provavelmente porque corresponde ao período com os tempos de detenção hidráulica mais elevados.

Os resultados acima mostram que apesar da temperatura ambiente apresentar uma amplitude de variação de cerca de 4°C, o fato do reator ser dotado de isolamento térmico fez com que a temperatura interna não variasse muito.

Dos valores calculados das relações DQO/N e DQO/P apresentados na tabela D.1, do anexo D, obtém-se que a relação DQO:N:P para o afluente (E_1) foi em média de 150:5:1, o que mostra que em média a relação DQO:N:P foi superior à mínima requerida para o processo anaeróbio.

A correção do pH da alimentação com bicarbonato de sódio foi fácil de ser realizada empregando-se uma solução a 5%. A correção foi realizada entre o 1º e o 85º dia de operação. A redução gradual da correção do pH da alimentação, causou alterações significativas no pH, alcalinidade total e concentração de ácidos orgânicos voláteis do reator como será mostrado a seguir.

O efluente (E_2) do reator UASB foi monitorado principalmente com base nos resultados de pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total, visto que estes três fatores ambientais estão intimamente relacionados entre si, sendo igualmente importantes para o controle e a operação de reatores anaeróbios.

A figura 5.3, obtida a partir dos resultados das tabelas C.2, e C.6, do anexo C, apresenta o comportamento do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB ao longo do ensaio A.

Na figura 5.3 pode-se observar que até o 85º dia de operação, o comportamento da curva de pH do efluente (E_2) é decrescente, resultado da remoção gradual da adição de bicarbonato de sódio no afluente (E_1). A partir desse dia passa a variar em função das flutuações do pH na entrada do reator e do andamento das reações no reator.

No 140º dia de operação o reator foi afetado por um desequilíbrio que provocou a queda do pH do efluente a 6,3, demandando uma solução emergencial. Desse dia e até o 162º dia de operação adicionou-se bicarbonato de sódio de modo a restabelecer o pH no efluente aos níveis de antes do desequilíbrio. Nessas três semanas procedeu-se da seguinte forma: na primeira semana adicionou-se diariamente 60 g de bicarbonato de sódio por litro de esgoto afluente; na seguinte reduziu-se para 30 g e na última semana adicionou-se 15 g de bicarbonato de sódio.

Figura 5.3: Comportamento do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.

A tabela 5.4, cujos valores foram obtidos na tabela C.2 e C.6, do anexo C, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB em três períodos ao longo da fase A.I.

Tabela 5.4: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.I.

Período	Tempo de Operação (dias)	pH			
		Média $\pm$ Desvio Padrão		Faixa de Variação	
		E_1	E_2	E_1	E_2
c/correção	$1^\circ - 85^\circ$ ⁽¹⁾	$7,3 \pm 0,3$	$7,1 \pm 0,3$	7,0 - 7,8	6,6 - 7,8
s/correção	$86^\circ - 172^\circ$	$6,8 \pm 0,4$	$6,3 \pm 0,2$	6,5 - 7,2	6,3 - 7,5
partida	$1^\circ - 172^\circ$	$7,1 \pm 0,4$	$6,9 \pm 0,3$	6,5 - 7,8	6,3 - 7,8

(1): correção do pH do afluente.

Os resultados da tabela 5.4 mostram que a suspensão da correção do pH do afluente causou uma mudança sensível no pH, tanto do afluente quanto, do efluente do reator UASB. Ao longo da fase A.I pode-se verificar que o pH médio do afluente variou ao redor do valor 7,0.

A seguir será mostrado que a redução gradual da correção do pH do afluente, causou não só alterações no pH mas também na alcalinidade total do efluente, porém não provocou desequilíbrios no reator, como por exemplo acúmulo de ácidos orgânicos voláteis, que pudessem comprometer o desempenho do processo.

A figura 5.4, cujos valores foram obtidos nas tabelas C.2 e C.6, do anexo C, mostra comportamento da concentração de ácidos orgânicos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB ao longo do ensaio A.

Figura 5.4: Comportamento da concentração de ácidos orgânicos voláteis (AOV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.

Como pode ser observado na figura 5.4 a concentração de ácidos orgânicos voláteis no efluente manteve-se, exceto no período a seguir comentado, praticamente abaixo de 100 mg HAc/L, indicando um equilíbrio entre os grupos bacterianos que produzem e consomem ácidos orgânicos voláteis. A concentração de ácidos orgânicos voláteis é parâmetro importante no controle da

estabilidade do processo bioquímico, pois estes são o principal substrato para as bactérias metanogênicas.

Um aumento na concentração de ácidos orgânicos voláteis é indicativo de distúrbios no processo como ocorreu, por exemplo, durante o período compreendido entre o 141º e o 161º dia de operação em que este parâmetro acusou valores ligeiramente superiores a 250 mg HAc/L. Essa concentração de ácidos não representa risco para a estabilidade do processo desde que haja alcalinidade suficiente para manter o pH próximo da neutralidade. Como essa condição não ocorreu foi necessário intervir no processo, corrigindo o pH do afluente (E_1), como já mencionado.

A tabela 5.5 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de ácidos orgânicos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB ao longo da fase A.I. Os valores foram obtidos a partir dos resultados das tabelas C.2 e C.6, do anexo C.

Tabela 5.5: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de ácidos orgânicos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.I.

Período	Tempo de Operação (dias)	Concentração de Ácidos Orgânicos Voláteis (mg HAc/L)			
		Média $\pm$ Desvio Padrão		Faixa de Variação	
		E_1	E_2	E_1	E_2
c/correção	1º – 85º ⁽¹⁾	99 $\pm$ 68 ⁽²⁾	49 $\pm$ 28	36 – 220	13 – 115
s/correção	86º – 172º	147 $\pm$ 89	68 $\pm$ 57	37 – 321	10 – 264
partida	1º – 172º	126 $\pm$ 82	61 $\pm$ 50	36 – 321	10 – 264

(1): correção do pH do afluente.

(2): resultado após a correção do pH do afluente.

Na tabela 5.5 pode-se observar que a baixa concentração de ácidos orgânicos voláteis no efluente mostra a estabilidade do reator nessa fase, assimilando as variações na taxa orgânica aplicada e as demais condições ambientais.

Mesmo no período de taxas orgânicas aplicadas mais elevadas, a concentração de ácidos não aumentou, indicando que o fator limitante do processo foi a carga hidráulica e não a orgânica.

O comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB, ao longo do ensaio A, é apresentado na figura 5.5, que foi elaborada a partir dos valores das tabelas C.2 e C.6, do anexo C.

Figura 5.5: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.

Na figura 5.5 pode-se observar que houve produção de alcalinidade no reator inclusive no período sem adição de bicarbonato de sódio no afluente provavelmente devido a formação de sais de ácidos orgânicos voláteis. Uma alcalinidade elevada (por exemplo 1000 mg CaCO₃/L) não é um requisito indispensável para a estabilidade do reator e sim garante uma segurança contra eventuais quedas do pH. Nessa fase do ensaio A, os valores de alcalinidade total que se estabeleceram permitiram operar o reator sem grandes variações de pH.

A tabela 5.6, cujos valores foram obtidos nas tabelas C.2 e C.6, do anexo C, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB em três períodos ao longo da fase A.I.

Na tabela 5.6 pode-se observar que a suspensão da correção do pH do afluente causou uma sensível redução na alcalinidade total do efluente reator UASB.

Tabela 5.6: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.I.

Período	Tempo de Operação (dias)	Alcalinidade Total (mg CaCO_3/L)			
		Média $\pm$ Desvio Padrão		Faixa de Variação	
		E_1	E_2	E_1	E_2
c/correção	$1^\circ - 85^\circ$ ⁽¹⁾	433 ± 228 ⁽²⁾	610 ± 174	169 – 836	347 – 988
s/correção	$86^\circ - 172^\circ$	212 ± 64	350 ± 87	158 – 367	226 – 836
partida	$1^\circ - 172^\circ$	311 ± 192	475 ± 188	158 – 836	226 – 988

(1): correção do pH do afluente.

(2): resultado após a correção do pH do afluente.

A figura 5.6, cujos valores foram obtidos nas tabelas C.2 e C.6, do anexo C, apresenta a relação entre a alcalinidade total e a concentração de ácidos orgânicos voláteis no afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB ao longo do ensaio A.

Figura 5.6: Comportamento da relação alcalinidade total / ácidos orgânicos voláteis no afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.

Os resultados apresentados na figura 5.7 mostram a estabilidade do reator UASB ao longo de praticamente todo o ensaio. A relação alcalinidade total/ácidos orgânicos voláteis no efluente do reator sempre foi maior que a do afluente. Pode-se observar também que quase a totalidade dos valores estiveram acima de 2.

Dos valores calculados das relações DQO/N e DQO/P apresentados na tabela D.1, do anexo D, obtém-se que a relação DQO:N:P para o efluente (E₂) foi em média de 100:6:1, o que mostra a presença nesta etapa importante do reator de um residual de nitrogênio e fósforo no efluente.

5.1.2.2. Características do manto de lodo no reator UASB

A figura 5.7, obtida a partir dos resultados apresentados na tabela C.4, do anexo C, apresenta o comportamento do pH nos pontos de amostragem (L₁, L₃, L₅ e L₆) do reator UASB no ensaio A.

Figura 5.7: Comportamento do pH ao longo da altura do reator UASB. Ensaio A.

O comportamento da curva de pH nos pontos de amostragem é decrescente até o 85º dia de operação, resultado da remoção da correção do pH do afluente e continua a cair até o 140º dia de operação. A partir do 140º dia de ensaio o perfil de pH no reator apresenta uma certa estabilidade

indicando que a medida que o despejo percorria o reator os ácidos orgânicos voláteis eram consumidos e o pH aumentava.

Os resultados apresentados na figura 5.7 mostram também que o pH que se estabeleceu no reator não foi inibitório para as bactérias metanogênicas. Estas apesar de mais sensíveis ao pH podem trabalhar numa faixa de pH, entre 6,6 e 7,4.

O comportamento da concentração de sólidos voláteis (SV) no interior do reator UASB ao longo do ensaio A pode ser observado na figura 5.8, cujos valores são provenientes da tabela C.5, do anexo C. Apresentou-se apenas os resultados de SV uma vez que a curva de ST é muito semelhante.

Figura 5.8: Comportamento da concentração de sólidos voláteis (SV) no reator UASB. Ensaio A.

Na figura 5.8 pode-se observar que o perfil é decrescente ao longo da altura do reator e apresenta algumas diferenças entre os pontos, especialmente entre o L₁ (fundo de reator) e os pontos superiores. No início houve uma severa lavagem do lodo com um decréscimo na concentração de sólidos em todos os pontos, sendo que o ponto de amostragem L₁ foi o que apresentou a maior redução. A seguir observa-se um período de estabilidade na concentração de lodo em todos os pontos e finalmente o crescimento da biomassa começou a superar a saída de sólidos junto com o

efluente do reator e a concentração no ponto L_1 apresenta um crescimento acentuado ultrapassando inclusive a concentração das duas semanas iniciais.

A elevada concentração de lodo no fundo do reator, região de mistura com o afluente, possibilitou um contato intenso entre o esgoto afluente e os microrganismos, o que contribuiu para a boa eficiência do processo. Por outro lado, como será mostrado mais a frente, essa condição contribuiu para a saída de lodo junto com o efluente do reator especialmente nas semanas finais do ensaio comprometendo sobre maneira a qualidade do efluente do reator UASB.

A evolução do manto de lodo no interior do reator UASB no ensaio A, cujos valores foram obtidos na tabela D.2 ,do anexo D, está apresentada na figura 5.9.

Figura 5.9: Evolução da massa total de lodo no interior do reator UASB. Ensaio A.

Na figura 5.9 pode-se observar que o manto de lodo apresentou ao longo do ensaio A três comportamentos distintos: lavagem, equilíbrio e crescimento. Até o 50º dia de operação observa-se uma severa lavagem do lodo do reator, com a perda de cerca de 50% da massa de lodo inicial. A seguir e até o 190º dia de operação a massa de lodo mostra um período de relativo equilíbrio, para a

seguir apresentar um acentuado crescimento até o final do ensaio. O crescimento da massa de lodo no reator foi devida basicamente ao aumento da concentração do lodo no fundo do reator (ver figura 5.8).

A lavagem dos sólidos inertes do lodo que não têm boas propriedades de sedimentação e o aumento da fração volátil no lodo do reator ao longo do ensaio A, resultou no aumento da relação SV/ST como pode ser verificado na figura 5.10, cujos valores foram obtidos na tabela D.2, do anexo D.

Figura 5.10: Comportamento da relação SV/ST no reator UASB. Ensaio A.

A figura 5.10 mostra a redução e posterior estabilização do grau de mineralização do lodo no interior do reator. Esse comportamento pode ser explicado pela retenção no manto de lodo de matéria orgânica não degradada do afluente. O ponto de amostragem L₁ (fundo do reator) apresentou no período estabilizado uma relação SV/ST acima de 75%, enquanto nos outros pontos ao longo da altura do reator a relação ficou entre 65 e 67%.

Com relação à granulação do lodo biológico, este fenômeno foi perceptível nas semanas que antecederam o final do ensaio. A partida foi realizada com lodo não granulado e posteriormente foi

possível visualizar, a olho nu, a presença de pequenos grânulos com forma esférica de diâmetro em torno de 1 mm.

Em algumas oportunidades durante o ensaio A foram determinadas as concentrações de sólidos suspensos totais e voláteis no manto de lodo. A tabela 5.7 apresenta os resultados dessas determinações.

Tabela 5.7: Resultados do perfil de sólidos suspensos totais e voláteis do reator UASB.

Tempo de Operação (dias)	Ponto interno do reator UASB							
	L ₁		L ₃		L ₅		L ₆	
	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
40	16000	10000	23000	13500	23500	14000	15000	9500
103	25000	17000	10500	7500	8000	5500	5000	3500
138	22000	17000	13000	9000	14000	8000	11000	8000
194	27000	20000	23500	18500	2500	2000	2500	1000

Analisando os valores da tabela 5.7 verifica-se que a fração suspensa volátil está entre 60 e 70% da suspensa total nos pontos de amostragem. Relacionando os resultados de SSV da tabela acima com os de SV da tabela C.4, do anexo C, verifica-se que a relação SSV/SV é de cerca de 90%, ou seja, praticamente a totalidade da matéria orgânica volátil está na forma suspensa. Esse resultado é típico em lodo de reator anaeróbio, razão pela qual é possível estimar o crescimento do manto de lodo empregando a concentração de SV, ao invés de SSV.

5.1.3. Fase A.II

A fase A.II refere-se ao período de operação do reator UASB em tempo de detenção hidráulica programado de 8 horas. Essa fase teve início no 173º dia de operação (04/11/2002) e estendeu-se até o 282º dia de operação (21/02/2003). O tempo total de operação nessa fase foi de 110 dias.

Nessa fase já estava instalada a caixa divisora de vazão de modo que a vazão de alimentação do reator UASB foi contínua.

O quadro a seguir apresenta o valor médio, desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica no reator UASB na fase A.II

Valor Médio	Desvio Padrão	Faixa de Variação
8,1 horas	0,6 hora	6,8 – 9,8 horas

Como pode-se observar pelos resultados do quadro acima o reator UASB operou em média bem próximo do tempo de detenção hidráulica programado.

5.1.3.1. Condições ambientais no reator UASB

A tabela 5.8 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura ambiente, do afluente (E_1) e do reator UASB na fase A.II. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados na tabela C.1, do anexo C.

Tabela 5.8: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura ambiente, do afluente (E_1) e do reator UASB. Fase A.II.

Valor	Temperatura (°C)		
	Ambiente	Afluente (E_1)	Reator UASB
Média $\pm$ Desvio Padrão	29,5 $\pm$ 4,0	27,6 $\pm$ 1,0	26,3 $\pm$ 1,4
Faixa de Variação	20 – 36	25 – 30	22 – 30

Os resultados apresentados na tabela 5.8 mostram que como o reator é isolado, a temperatura ambiente não afetou a temperatura interna que ficou próxima a temperatura do afluente.

A tabela 5.9 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E_1) e do reator UASB na fase A.II. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas tabelas C.2 e C.6, do anexo C.

Tabela 5.9: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.II.

Parâmetro	Médio $\pm$ Desvio Padrão		Faixa de Variação	
	E_1	E_2	E_1	E_2
pH	6,5 $\pm$ 0,3	6,8 $\pm$ 0,3	5,7 – 7,4	6,4 – 7,3
Ácidos Orgânicos Voláteis (mg HAc/L)	89 $\pm$ 59	56 $\pm$ 39	17 – 173	13 – 155
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	143 $\pm$ 24	275 $\pm$ 54	91 – 180	158 – 380

A partir dos resultados da tabela 5.9 pode-se verificar que o pH do afluente nesta fase foi ligeiramente ácido e que o pH do efluente foi maior que no afluente como resultado unicamente da evolução do processo biológico já que não foi feita nenhuma correção do pH do afluente. A concentração de ácidos orgânicos voláteis manteve-se em valores que não representaram riscos para o processo e a alcalinidade total no efluente aumentou em relação ao afluente provavelmente devido

a formação de sais de ácidos voláteis. A produção de alcalinidade total foi suficiente para manter o pH no efluente em média em 6,8.

5.1.3.2. Remoção de sólidos no reator UASB

A figura 5.11, obtidas a partir dos resultados apresentados nas tabelas C.3 e C.7, do anexo C, apresenta o comportamento da concentração dos sólidos totais (ST) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB ao longo do ensaio A.

Figura 5.11: Comportamento da concentração de sólidos totais (ST) no afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.

A figura 5.12, obtidas a partir dos resultados apresentados nas tabelas C.3 e C.7, do anexo C, apresenta o comportamento da concentração dos sólidos voláteis (SV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB ao longo do ensaio A.

Figura 5.12: Comportamento da concentração de sólidos voláteis (SV) no afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.

Nas figuras 5.11 e 5.12 pode-se observar a grande variação da concentração de sólidos no afluente (E_1). Pode ser visto também que quando ocorre arraste de lodo a concentração de sólidos no efluente (E_2) supera às da entrada. Também é possível observar que a amplitude de variação da concentração de sólidos no efluente é bem menor que a do afluente.

Com relação às mesmas figuras acima citadas pode-se acrescentar que nas cinco semanas finais do ensaio A, em função da elevada massa de lodo que se acumulou no interior do reator, a saída de lodo com o efluente passa a comprometer sobremaneira a qualidade do efluente do reator indicando a necessidade de iniciar-se a remoção do excesso de lodo.

As figuras 5.13 e 5.14, obtidas a partir dos valores apresentados nas tabelas C.3 e C.7, do anexo C, apresentam o comportamento da concentração dos sólidos suspensos totais e suspensos voláteis do afluente (E_1) e do efluente (E_2) do reator UASB na fase A.II.

Figura 5.13: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB. Ensaio A.

Figura 5.14: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB. Ensaio A.

Com relação às figuras 5.13 e 5.14 é possível fazer os mesmos comentários feitos no caso das figuras 5.11 e 5.12, observando porém, que os sólidos suspensos variaram numa faixa mais estreita.

A remoção de lodo, como forma de controlar a evolução do manto de lodo, é uma necessidade ao longo da operação normal do reator UASB. Como essa atividade não foi possível de ser implementada, em função do já citado acidente com o reator, os resultados de sólidos dessas cinco últimas semanas não serão considerados no cálculo da eficiência de remoção de sólidos, tanto na fase A.I quanto, na fase A.II. Assim sendo e considerando o período de operação em tempo de detenção hidráulica médio de 8,1 horas, verifica-se que o reator foi capaz de atenuar a amplitude da variação da concentração de sólidos do efluente (E_2), apesar das variações observadas na concentração do afluente (E_1).

As tabelas 5.10 e 5.11 apresentam o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos totais (ST), voláteis (SV) e sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB na fase A.II, respectivamente. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas tabelas C.3 e C.7, do anexo C, excluindo-se os resultados do efluente (E_2) do 250º, 257º, 264º, 271º e 282º dias de operação.

Tabela 5.10: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) para o afluente (E_1) e efluente (E_2). Fase A.II.

Valor	E_1		E_2	
	ST (mg/L)	SV (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)
Média $\pm$ Desvio Padrão	920 $\pm$ 285	554 $\pm$ 186	536 $\pm$ 88	198 $\pm$ 36
Faixa de Variação	640 – 1520	280 – 940	360 – 620	140 – 240

Tabela 5.11: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase A.II.

Valor	E_1		E_2	
	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
Média $\pm$ Desvio Padrão	383 $\pm$ 203	271 $\pm$ 135	87 $\pm$ 35	76 $\pm$ 37
Faixa de Variação	160 – 840	120 – 640	40 – 120	20 – 120

A partir dos resultados das tabelas 5.10 e 5.11 verifica-se que os sólidos voláteis no efluente do reator UASB representam, em média cerca de 37% dos totais. A relação SSV/SST é alta, em média cerca de 87%.

A eficiência média de remoção de sólidos do reator UASB na fase A.II está apresentado na tabela 5.12. Os valores foram obtidos na tabela D.4, do anexo D, excluindo-se os resultados de remoção de ST e SV do 250° e 278° dia de operação .

Tabela 5.12: Valores da eficiência média de remoção de sólidos no reator UASB. Fase A.II.

Eficiência Média de Remoção (%)			
ST	SV	SST	SSV
44	64	76	71

O reator UASB operando com um tempo de detenção hidráulica médio de 8,1 horas removeu em média 44% dos sólidos totais e 76% dos sólidos suspensos totais do afluente, resultando em um efluente com uma concentração média de ST e SST de 536 mg/L e 87 mg/L, respectivamente.

Nas ultimas semanas de operação (período entre o 250° e 282° dia de operação), especialmente quando a concentração de lodo no reator estava acima de 10 kg SV/m³ (ver tabela D.2, do anexo D), intensifica-se a perda de sólidos com o efluente. Face a isso, iniciou-se, no 278° dia de operação um programa de retirada de 100 litros do conteúdo do reator pelo ponto de amostragem L₅. A produção de excesso de lodo biológico, que seria um dos resultados desse procedimento, não foi possível de ser avaliado em função do acidente com o reator UASB no 282° dia de operação.

5.1.3.3. Remoção de matéria orgânica no reator UASB

A figura 5.15, obtida a partir dos valores apresentados nas tabelas C.3 e C.7, do anexo C, apresenta o comportamento da DQO total do afluente (E₁) e da DQO total e filtrada do efluente (E₂) do reator UASB ao longo do ensaio A.

Na figura 5.15 pode-se observar que no período entre o 173° e 250° dia de operação, com o reator em 8,1 horas de tempo de detenção hidráulica médio, o efluente estava com uma DQO total menor que a do afluente. Entretanto, após o 250° dia de operação devido a alta concentração de lodo no reator, a perda de sólidos com o efluente faz com que a DQO total do efluente aumente, superando inclusive o valor no afluente, enquanto o valor da DQO filtrada se mantém baixo. Esse comportamento indica que os valores elevados na DQO total do efluente do reator são resultado da saída de sólidos com o efluente e não que o processo biológico estava com problemas. Face a isso o resultado de DQO total do efluente (E₂) apresentado na tabela a seguir não consideram os valores que foram afetados por esse efeito.

Figura 5.15: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.

De maneira geral, a figura 5.15 mostra o bom desempenho do reator UASB na remoção de matéria orgânica, especialmente quando se desconsidera alguns períodos onde a DQO total do efluente sofre a influência da saída de sólidos do manto de lodo junto com o efluente. Também é possível observar que as variações da DQO no afluente foram bem assimiladas e que embora ocorram variações também na DQO do efluente, o reator foi capaz de reduzir a amplitude das variações, favorecendo a operação da lagoa aerada aeróbia.

A tabela 5.13 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) na fase A.II. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas tabelas C.3 e C.7, do anexo C, excluindo-se os resultados de DQO total do 260°, 267°, 274° e 279° dias de operação.

A concentração total de matéria orgânica (expressa por exemplo em DQO) no efluente do reator é composta por duas frações: uma solúvel e outra suspensa. A primeira é a concentração de matéria

orgânica que não foi digerida e acaba saindo no efluente do reator, enquanto a suspensa é resultado da saída de sólidos suspensos voláteis junto com o efluente. Esta última pode ser obtida pela diferença entre a DQO total e a filtrada no efluente do reator UASB.

Tabela 5.13: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) no reator UASB. Fase A.II.

Valor	E_1	E_2	
	DQO total (mg/L)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)
Média $\pm$ Desvio Padrão	1564 $\pm$ 682	549 $\pm$ 269	388 $\pm$ 220
Faixa de Variação	814 – 3188	130 – 1053	108 – 826

Dos resultados apresentados na tabela 5.13, pode-se verificar que em média o valor da DQO suspensa é de 161 mg/L, ou seja, cerca de 30% da DQO total do efluente é devido à saída de sólidos suspensos voláteis no efluente do reator UASB.

A figura 5.16, obtida a partir das tabelas C.3 e C.7, do anexo C, apresenta o comportamento da DBO₅ total do afluente (E_1) e da DBO₅ total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB ao longo do ensaio A.

Figura 5.16: Comportamento da DBO₅ total do afluente (E_1) e da DBO₅ total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio A.

O comportamento das curvas apresentado na figura 5.16 é semelhante ao da figura 5.15, logo os comentários feitos para a DQO são válidos também para o parâmetro DBO₅.

A tabela 5.14 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO₅ total do afluente (E₁) e da DBO₅ total e filtrada do efluente (E₂) na fase A.II. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas tabelas C.3 e C.7, do anexo C.

Tabela 5.14: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO₅ total do afluente (E₁) e da DBO₅ total e filtrada do efluente (E₂) no reator UASB. Fase A.II.

Valor	E ₁	E ₂	
	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)
Média $\pm$ Desvio Padrão	683 $\pm$ 285	240 $\pm$ 158	194 $\pm$ 130
Faixa de Variação	372 – 1204	58 – 490	47 – 392

Do mesmo modo que com a DQO total, a DBO₅ total no efluente do reator também é composta por uma fração solúvel e outra suspensa. Dos resultados apresentados na tabela 5.14 pode-se verificar que em média o valor da DBO₅ suspensa é de 46 mg/L, ou seja, cerca de 20% da DBO₅ total no efluente é devido à saída de sólidos suspensos no efluente do reator UASB.

As figuras 5.17 e 5.18, cujos valores estão apresentados na tabela D.5, do anexo D, mostram o comportamento da eficiência de remoção de DQO total e de DBO₅ total do reator UASB ao longo do ensaio A, respectivamente. Para a elaboração da figura 5.17 foram excluídos os resultados do 274° e 279° dias de operação.

Os resultados na figura 5.17 mostram que a remoção de DQO apresenta dois comportamentos: até o 100° dia de operação, que inclui parte do período de partida, a curva é decrescente provavelmente devido a uma combinação entre a lavagem do lodo do inóculo e redução do tempo de detenção hidráulica, na sequência mostra um comportamento bem variável porém oscilando praticamente entre 50 e 80%.

Na figura 5.18 pode-se observar que a remoção de DBO₅ apresentou um comportamento bastante variável ao longo de todo o ensaio A, tanto no período com tempo de detenção hidráulica variável (partida) quanto, no período constante (fase A.II).

Figura 5.17: Comportamento da eficiência de remoção de DQO total no reator UASB. Ensaio A.

Figura 5.18: Comportamento da eficiência de remoção de DBO₅ total no reator UASB. Ensaio A.

A tabela 5.15, cujos valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados na tabela D.5, do anexo D, apresenta os valores das eficiências médias de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB na fase A.II. O valor referente a DQO total não considera os resultados do 274º e 279º dias de operação.

Tabela 5.15: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO₅ total do reator UASB. Fase A.II.

Eficiência de Remoção (%)		
Parâmetro	DQO total	DBO ₅ total
Valor	66	67

A partir dos resultados da tabela 5.15 pode-se verificar que o reator UASB apresentou uma eficiência de remoção de DQO total e DBO₅ total na fase A.II muito boa. Os resultados apresentados na tabela 5.15 mostram também que a eficiência média de remoção de matéria orgânica do reator UASB está dentro da faixa citada na literatura.

Resumidamente, a partir dos resultados apresentados pode-se verificar que o reator UASB, operando com um tempo de detenção hidráulica médio de 8,1 horas, removeu, em média, 66% da DQO total e 67% da DBO₅ total presente no afluente, resultando em um efluente com uma concentração média de DQO total e DBO₅ total de 575 mg/L e 240 mg/L, respectivamente. Esses resultados mostram que o pré-tratamento no reator UASB produziu um efluente com características de esgoto doméstico e conseqüentemente necessitando de uma etapa subsequente de tratamento antes de sua disposição final.

O comportamento das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida do reator UASB na fase A.II, cujos valores são provenientes da tabela D.6, do anexo D, está mostrado na figura 5.19. Os valores da taxa removida consideram os resultados de DQO total do efluente do reator UASB.

Na figura 5.19 pode-se observar que quanto maior a taxa orgânica volumétrica aplicada maior a taxa removida, o que evidencia que a taxa aplicada não foi fator limitante do reator mesmo na fase A.II. Nessa fase a taxa aplicada variou, tanto pela variabilidade da composição do afluente, quanto pela dificuldade em manter constante a vazão do reator.

Dos valores apresentados na tabela D.5, do anexo D, obtém-se que na fase A.II os valores médios das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida total foram de 4,3 kg DQO/m³.dia e

2,8 kg DQO/m³.dia, respectivamente. Considerando o resultado de DQO filtrada no efluente do reator UASB a taxa orgânica volumétrica removida passa para o valor de 3,1 kg DQO/m³.dia.

Figura 5.19: Comportamento das taxas orgânicas volumétrica aplicada e removida no reator UASB. Ensaio A.

Quanto a taxa orgânica específica aplicada no reator UASB na fase A.II, o valor médio foi de 0,43 kg DQO/kg SV.dia. Esse valor é o quociente entre a taxa orgânica volumétrica aplicada média (4,3 kg DQO/m³.dia) e a concentração média de lodo no reator na fase A.II (10 kg SV/m³). Esse último valor foi obtido a partir dos resultados da tabela D.2, do anexo D.

A figura 5.20, cujos valores foram obtidos na tabela D.6, do anexo D, apresenta a relação entre a taxa orgânica volumétrica aplicada e a taxa orgânica volumétrica removida considerando a DOQ total no efluente do reator UASB. A figura 5.21 é semelhante a anterior apenas leva em consideração a DQO filtrada do efluente do reator UASB no cálculo da taxa orgânica volumétrica removida.

Figura 5.20: Relação entre as taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida total do reator UASB. Ensaio A.

Figura 5.21: Relação entre as taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida filtrada do reator UASB. Ensaio A.

Nas figuras 5.20 e 5.21 pode-se observar que quanto maior a taxa orgânica aplicada, maior a taxa orgânica removida, confirmando o que já foi dito sobre esse parâmetro, ou seja, que este não foi limitante do desempenho do reator UASB.

Nas figuras estão indicadas as retas e as equações das retas obtidas por regressão linear simples que melhor se ajustam ao conjunto de resultados experimentais bem como os respectivos coeficientes de determinação (R^2). A equação da reta indicada na figura 5.20 pode ser representada por:

$$(\text{Taxa Orgânica Removida}) = 0,720 \times (\text{Taxa Orgânica Aplicada}) - 0,227 \quad (5.1)$$

Coeficiente de correlação: $R = 0,867$

E a da figura 5.21 por:

$$(\text{Taxa Orgânica Removida}) = 0,842 \times (\text{Taxa Orgânica Aplicada}) - 0,336 \quad (5.2)$$

Coeficiente de correlação: $R = 0,958$

Com relação as retas das figuras 5.20 e 5.21 sabe-se que estas deveriam passar pela origem. Para os resultados da figura 5.20 a equação da reta, obtida por regressão linear simples, que passa pelo ponto (0,0) é a seguinte:

$$(\text{Taxa Orgânica Removida}) = 0,672 \times (\text{Taxa Orgânica Aplicada}) \quad (5.3)$$

Coeficiente de correlação: $R = 0,865$

A partir da equação (5.3) pode-se estimar uma remoção média de 67% em termos de DQO total para o ensaio A.

5.1.3.4. Remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira no reator UASB

A tabela 5.16 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E_1) e efluente (E_2) na fase A.II. Os valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas tabelas C.2 e C.6, do anexo C.

A partir dos resultados da tabela 5.16 pode-se verificar que no reator UASB não houve praticamente redução na concentração de nitrogênio, efetivamente o que se verificou foi um pequeno aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, devido a transformação de parte do nitrogênio orgânico

(diferença entre as concentrações de nitrogênio total e amoniacal) do afluente, como é típico em ambientes anaeróbios.

Tabela 5.16: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E_1) e efluente (E_2) no reator UASB. Fase A.II.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão		Faixa de Variação	
	E_1	E_2	E_1	E_2
Nitrogênio total (mg N/L)	58 ± 19	38 ± 7	32 – 88	28 – 54
Nitrogênio amoniacal (mg NH_3 /L)	$19,4 \pm 6,3$	$21,3 \pm 5,0$	12,8 – 35,6	14,8 – 27,2
Fósforo total (mg P/L)	$12,6 \pm 6,0$	$5,6 \pm 1,4$	5,3 – 20,2	4,1 – 7,7
Cor verdadeira (mg Pt/L)	832 ± 214	695 ± 181	542 – 1108	494 – 960

Ainda a partir da tabela 5.16 pode-se observar que o aumento médio na concentração de nitrogênio amoniacal no efluente do reator UASB foi de cerca de 10%. Já o decréscimo na concentração de nitrogênio e fósforo no efluente do reator UASB, em relação ao afluente, pode ser atribuído ao crescimento bacteriano já que os balanços não fecham.

A tabela 5.17, cujos valores foram obtidos na tabela D.7, do anexo D, apresenta as eficiências médias de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira na fase A.II. Para o cálculo da eficiência de remoção de cor verdadeira foram excluídos os resultados do 251º e 265º dias de operação.

Tabela 5.17: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira no reator UASB. Fase A.II.

Eficiência Média de Remoção (%)			
Parâmetro	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Cor Verdadeira
Valor	38	56	25

Os resultados da tabela 5.17 comprovam os dados da literatura, ou seja, que o tratamento anaeróbio é pouco eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo. O reator UASB operando com um tempo de detenção hidráulica médio de 8,1 horas removeu em média 38% do nitrogênio total e 56% do fósforo total do afluente, resultando em um efluente com uma concentração média de nitrogênio total e fósforo total de 38 mg/L e 5,6 mg/L, respectivamente.

Ainda a partir dos resultados da tabela 5.17 verifica-se que o reator UASB não apresentou uma boa eficiência na remoção da cor verdadeira do afluente. O reator UASB operando com um tempo de detenção hidráulica médio de 8,1 horas removeu em média 25% da cor verdadeira do afluente, resultando em um efluente com uma concentração média de cor verdadeira de 695 mg/L.

5.1.3.5. Produção de gás no reator UASB

A figura 5.22, cujos valores são provenientes da tabela D.6, do anexo D, apresenta o comportamento do fator de produção de gás ao longo do ensaio A, baseado na DQO removida e considerando a amostra total. Para a elaboração dessa figura foi excluído o resultado do 225º dia de operação.

Figura 5.22: Comportamento do fator de produção de gás do reator UASB. Ensaio A.

Na figura 5.22 pode-se verificar que o fator de produção de gás variou bastante ao longo do ensaio A acompanhando a variação da taxa orgânica aplicada. Após o 173º dia de operação o fator mostra um aumento em relação ao período anterior.

Da tabela D.6, do anexo D, obtém-se que em média o fator de produção de gás no reator UASB foi de $0,15 \text{ Nm}^3/\text{kg DQO removida}$ e desvio padrão de $0,05 \text{ Nm}^3/\text{kg DQO removida}$. Considerando a DQO filtrada no efluente do reator UASB os valores citados no parágrafo acima são: $0,16 \text{ Nm}^3/\text{kg DQO removida}$ e $0,04 \text{ Nm}^3/\text{kg DQO removida}$, respectivamente. Para o cálculo desses valores foi excluído o resultado do 225º dia de operação.

5.1.4. Fase A.II-1

A fase A.II-1 refere-se ao período do ensaio A onde foi operado o sistema completo. Essa fase teve início no dia 30/12/2002 e estendeu-se até 21/03/2003. O tempo total de operação foi de 54 dias compreendido entre o 229º e o 282º dias de operação da fase A.II.

O anexo E apresenta as tabelas com os resultados da fase A-II-1 referentes:

- ao acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação.
- às determinações analíticas realizadas nos efluentes da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4).

O anexo F apresenta as tabelas com os resultados da fase A-II-1 referentes:

- às eficiências de remoção de sólidos suspensos, DQO, DBO_5 , nitrogênio total e amoniacal, fósforo total e cor verdadeira.

Os valores que aparecem nas tabelas dos anexos E e F entre parênteses, foram excluídos na elaboração das tabelas e/ou figuras apresentados nos itens da fase A.II-1. Os valores excluídos estão citados nos respectivos itens.

O volume da lagoa aeróbia foi de $23,8 \text{ m}^3$. A partida da lagoa aerada aeróbia foi realizada no dia 30/12/2002. Esta foi previamente inoculada com $23,8 \text{ m}^3$ do líquido de uma das lagoas aeradas aeróbias da própria ETE e em seguida iniciou-se a aeração e a alimentação com o efluente do reator UASB. O quadro a seguir apresenta a concentração de sólidos do inóculo da lagoa aerada aeróbia:

Parâmetro	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
Valor	2900	1700	2167	1333

A partir dos resultados do quadro acima pode-se verificar que as relações SV/ST e SSV/SST apresentam o valor de 0,60.

A condição de tempo de detenção hidráulica programada nas unidades individuais do sistema completo na fase A.II-1 está apresentada no quadro a seguir:

Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia	Lagoa de Decantação
8,0 horas	2,5 dias	1,8 dia

Entre as lagoas aerada aeróbia e de decantação foi instalado um dispositivo que permitiu desviar uma fração da vazão efluente da lagoa aerada aeróbia de modo a permitir operar a lagoa de decantação com 1,8 dia de tempo de detenção hidráulica.

Por deficiência no sistema de fornecimento de ar, observou-se que no 264º dia de operação (03/02/2002), a concentração de oxigênio dissolvido na lagoa aerada aeróbia reduziu-se de 3,6 mg O₂/L para 0,3 mg O₂/L e ficando nos seis dias seguintes em valores dessa ordem de grandeza (ver tabela E.1, do anexo E). A concentração de oxigênio foi restabelecida quando se reduziu o volume da lagoa aerada aeróbia para 21,6 m³ e deixando em seguida este retornar para 23,8 m³ com a operação normal da lagoa. O problema parecia resolvido quando novamente, no 277º dia de operação, a concentração de oxigênio dissolvido voltou a apresentar o valor de 0,3 mg O₂/L. A repetição desse problema em tão curto espaço de tempo mostrou a impossibilidade de operar a lagoa aerada aeróbia no volume de 23,8 m³. Nesse dia reduziu-se o volume para 21,6 m³ e passou-se a operar a lagoa aerada aeróbia com esse volume até o encerramento do ensaio.

A tabela 5.18, cujos valores foram obtidos nas tabelas C.1 e E.1, dos anexos C e E, respectivamente, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e a faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades do sistema completo na fase A.II-1.

Tabela 5.18: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais. Fase A.II-1.

Valor	Tempo de Detenção Hidráulica		
	Reator UASB (horas)	Lagoa Aerada Aeróbia (dias)	Lagoa de Decantação (dia)
Médio $\pm$ Desvio Padrão	8,1 $\pm$ 0,5	2,7 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,3
Faixa de Variação	7,1 – 9,0	2,4 – 3,1	1,3 – 2,3

Como se pode observar pelos resultados apresentados na tabela 5.19 o reator UASB e a lagoa de decantação em média operaram praticamente dentro do programado em termos de tempo de detenção hidráulica. Apenas a lagoa aerada aeróbia foi que se afastou ligeiramente do programado.

5.1.4.1. Condições ambientais no sistema completo

Dos valores calculados das relações DQO/N e DQO/P apresentados na tabela D.1, do anexo D, obtém-se que a relação DQO:N:P para o efluente (E_2) do reator UASB foi em média de 100:5:1, o que mostra a presença no efluente de um residual de nitrogênio e fósforo, indicando que também não houve falta desses nutrientes no reator UASB ao longo da operação do sistema completo.

Segundo ECKENFELDER e GRAU, 1992 a relação mínima DBO:N:P para processos aeróbios deve ser de 100:5:1. Dos resultados de DBO₅, nitrogênio total e fósforo total, do efluente (E_2) do reator UASB, apresentados nas tabelas C.6 e C.7, do anexo C, verifica-se que a relação DBO:N:P média presente no efluente (E_2) do reator UASB foi de 30:6:1, ou seja, a disponibilidade de nitrogênio e fósforo foi de mais de 3 vezes a mínima recomendada para processos aeróbios.

A figura 5.23, cujos valores provem da tabela C.1 e E.1, dos anexos C e E., respectivamente, mostra a variação das temperaturas do afluente (E_1), reator UASB e lagoa aerada aeróbia na fase A.II-1.

Figura 5.23: Comportamento das temperaturas do afluente (E_1), reator UASB e lagoa aerada aeróbia. Fase A.II-1.

Dos resultados mostrados na figura 5.23 pode-se observar que a temperatura da lagoa aerada aeróbia sempre foi superior à do reator UASB. Além disso, pode-se verificar também que houveram poucas variações bruscas na temperatura do reator UASB e que estas não chegaram a afetar o desempenho do reator, como será mostrado mais a frente.

O período de operação do sistema completo coincidiu com a época do ano em que se registram as temperaturas ambientes mais altas no Estado de São Paulo. Esse fato, de maneira geral, deve refletir-se positivamente nos resultados dessa fase. A temperatura ambiente apresentou um valor médio, desvio padrão e faixa de variação apresentados no quadro a seguir:

Valor Médio	Desvio Padrão	Faixa de Variação
29,5°C	4,3°C	22 – 35

A tabela 5.19 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das temperaturas do afluente (E_1), reator UASB e lagoa aerada aeróbia na fase A.II-1. Os valores para elaborar essa tabela foram obtidos na tabela C.1 e E.1, dos anexos C e E, respectivamente.

Tabela 5.19: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia. Fase A.II-1.

Valor	Temperatura (°C)		
	E_1	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia
Médio $\pm$ Desvio Padrão	27,6 $\pm$ 1,0	26,5 $\pm$ 1,6	28,7 $\pm$ 1,2
Faixa de Variação	25 – 30	25 – 30	26 – 30

Na tabela 5.19 pode-se verificar que o perfil de temperaturas ao longo do sistema completo não variou muito. A temperatura média do reator UASB ficou bem próxima da temperatura do afluente devido ao reator ser isolado. A lagoa aerada aeróbia operou em uma temperatura média próxima da ambiente.

O valor médio, desvio padrão e faixa de variação da concentração média de oxigênio dissolvido na lagoa aerada aeróbia na fase A.II-1, cujos valores foram obtidos na tabela E.1, do anexo E, está apresentado no quadro a seguir:

Valor Médio	Desvio padrão	Faixa de Variação
5,1 mg O ₂ /L	1,2 mg O ₂ /L	3,5 - 6,7 mg O ₂ /L

O nível de oxigênio dissolvido sempre foi superior ao recomendado pela literatura para processos biológicos aeróbios ($2 \text{ mg O}_2/\text{L}$).

A figura 5.24, cujos valores foram obtidos nas tabelas C.2, C.6, E.2 e E.3, dos anexos C e E, respectivamente, apresenta a variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4).

Figura 5.24: Comportamento do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase A.II-1.

Na figura 5.24 pode-se observar que o pH do efluente do reator UASB variou bastante, porém a lagoa aerada aeróbia foi capaz de absorver as variações e reduzir a sua amplitude. O efluente da lagoa de decantação apresentou um pH maior que o da lagoa de aerada aeróbia, provavelmente devido a presença de algas na superfície da lagoa de decantação, que removiam parte do gás carbônico fazendo com que o pH do efluente sofresse um pequeno aumento.

A tabela 5.20, cujos valores foram obtidos nas tabelas C.2, C.6, E.2 e E.3, dos anexos C e E, respectivamente, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação, do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase A.II-1.

Tabela 5.20: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase A.II-1.

Valor	pH			
	E_1	E_2	E_3	E_4
Média $\pm$ Desvio Padrão	$6,5 \pm 0,3$	$6,9 \pm 0,3$	$6,9 \pm 0,1$	$7,4 \pm 0,2$
Faixa de Variação	5,7 – 7,6	6,6 – 7,5	6,8 – 7,1	7,3 – 7,6

Na tabela 5.20 pode-se verificar que o pH do afluente foi em média levemente ácido e que o pH médio no efluente esteve próximo da neutralidade. Também é possível verificar o aumento no valor do pH do efluente da lagoa de decantação em relação ao da lagoa aerada aeróbia.

A figura 5.25, cujos valores foram obtidos nas tabelas C.2, C.6 e E.3, dos anexos C e E, respectivamente, apresenta a variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase A.II-1.

Figura 5.25: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Na figura 5.25 pode-se observar no efluente do reator UASB (E_2) houve aumento de alcalinidade total em relação ao afluente. No efluente final a alcalinidade foi menor que no efluente do reator UASB.

A tabela 5.21, cujos valores foram obtidos nas tabelas C.2, C.6 e E.3, dos anexos C e E, respectivamente, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação, da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase A.II-1.

Tabela 5.21: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase A.II-1.

Valor	Alcalinidade Total (mg CaCO_3/L)		
	E_1	E_2	E_4
Média $\pm$ Desvio Padrão	134 ± 25	205 ± 31	141 ± 56
Faixa de Variação	91 – 169	158 – 265	60 – 227

Os resultados da tabela 5.21 mostram que em termos médios não houve muita variação na alcalinidade total entre o afluente (E_1) e o efluente final (E_4). No reator UASB houve um ligeiro aumento na alcalinidade total, provavelmente devido a formação de sais de ácido acético o que permitiu manter o pH no efluente (E_2) em média próximo da neutralidade.

5.1.4.2. Concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia

O comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia, está mostrado na figura 5.26. Os valores para elaborar a figura foram obtidos na tabela E.2, do anexo E.

Na figura 5.26 pode-se observar que a concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia sofreu uma severa lavagem nos primeiros 10 dias de operação até alcançar os níveis de sólidos característicos de lagoas aeradas aeróbias. A partir do 264º dia de operação a concentração passa a apresentar uma tendência de aumento da concentração. Fica claro a partir do comportamento das curvas da figura 5.24 a dificuldade em estabilizar a concentração de sólidos na lagoa aerada aeróbia.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais e suspensos voláteis na lagoa aerada aeróbia na fase A.II-1 é apresentado na tabela 5.22. Os valores foram obtidos na tabela E.2, do anexo E, excluindo-se os resultados do período da lavagem (229º a 237º dia de operação) e também os resultados do 243º e 264º dias de operação.

Figura 5.26: Comportamento da concentração de SST e SSV na lagoa aerada aeróbia.

Tabela 5.22: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV na lagoa aerada aeróbia. Fase A.II-1.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
SST (mg/L)	316 $\pm$ 111	160 – 520
SSV (mg/L)	199 $\pm$ 62	90 – 280

A partir dos resultados da tabela 5.22 verifica-se que a concentração média de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia se aproxima do normalmente encontrado em lagoas aeradas aeróbias tratando esgoto doméstico. A relação SSV/SST na lagoa aerada aeróbia foi em média de 0,63.

5.1.4.3. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo

O comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase A.II-1 é mostrado nas figuras 5.27 e 5.28, respectivamente. Os valores são provenientes das tabelas C.3, C.7 e E.4, dos anexos C e E, respectivamente.

Figura 5.27: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Figura 5.28: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação.

Nas figura 5.27 e 5.28 pode-se observar (final do ensaio) no efluente do reator UASB a presença de uma alta concentração de sólidos suspensos resultado da saída de lodo com o efluente em razão do aumento da massa de lodo no interior do reator. Apesar disso, pode-se verificar que o conjunto lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação foi capaz de suportar essas carga de sólidos e produzir um efluente final com baixa concentração de sólidos suspensos.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspenso voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase A.II-1, é apresentado na tabela 5.23. Os valores foram obtidos nas tabelas C.3, C.7, e E.4, dos anexos C e E, respectivamente, excluindo-se os resultados de SST e SSV do reator UASB das últimas cinco semanas.

Tabela 5.23: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase A.II-1.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	SST (mg/L)	363 ± 214	160 – 800
	SSV (mg/L)	240 ± 95	120 – 400
E_2	SST (mg/L)	$70^{(1)}$	40 – 760
	SSV (mg/L)	$67^{(1)}$	40 – 400
E_4	SST (mg/L)	25 ± 20	10 – 60
	SSV (mg/L)	24 ± 21	10 – 60

(1): média de três resultados.

Na tabela 5.23 pode-se verificar que a relação SSV/SST no efluente final (E_4) é em média de 96%, ou seja, praticamente toda a matéria orgânica encontra-se suspensa.

A eficiência média de remoção de sólidos suspensos na fase A.II-1, tanto no reator UASB quanto, no sistema completo pode ser calculada a partir dos resultados das tabelas D.4 e F.1, dos anexos D e F, respectivamente e está apresentada na tabela 5.24.

Tabela 5.24: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase A.II-1.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
SST	$80^{(1)}$	$62^{(1)}$	92
SSV	$71^{(1)}$	$58^{(1)}$	89

(1): Média de três resultados.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média 62% dos sólidos suspensos totais do efluente do reator UASB, para um tempo de detenção hidráulica médio de 2,7 dias na lagoa aerada aeróbia e de 1,8 dia na lagoa de decantação. O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 92% dos SST presentes no afluente, produzindo um efluente final com concentração média de SST de 25 mg/L.

5.1.4.4 Remoção de matéria orgânica no sistema completo

A figura 5.29, cujos valores são provenientes das tabelas C.3, C.7 e E.4, dos anexos C e E, respectivamente, apresenta o comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase A.II-1.

Figura 5.29: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Dos resultados apresentados na figura 5.29 pode-se observar dois comportamentos da DQO do efluente do reator UASB: até o 258º dia de operação onde a perda de sólidos no efluente foi pequena e desse dia e até o final do ensaio onde a saída de sólidos com efluente intensifica-se provocando um aumento no valor da DQO total.

Também é possível verificar na figura 5.29 que apesar da variação na DQO total do efluente do UASB, a lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação foi capaz de absorver as flutuações resultando em um efluente final com DQO total praticamente abaixo de 150 mg/L.

A figura 5.30, cujos valores são provenientes das tabelas C.3, C.7 e E.4, dos anexos C e E, respectivamente, apresenta o comportamento da DQO total do afluyente (E_1), e da DQO filtrada do efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase A.II-1.

Figura 5.30: Comportamento da DQO total do afluyente (E_1) e da DQO filtrada do efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Na figura 5.30 pode-se observar, pela curva da DQO filtrada do efluente do reator UASB, que sem os sólidos suspensos a matéria orgânica remanescente no efluente do reator sofre uma boa redução além de variar numa faixa mais estreita que a DQO total.

Comparando os resultados de DQO total e filtrada do efluente (E_4) da lagoa de decantação apresentados nas figuras 5.29 e 5.30, pode-se verificar que são muito próximos indicando que a matéria orgânica remanescente no efluente final encontra-se praticamente toda dissolvida. Esse

resultado também mostra a boa eficiência da lagoa de decantação na separação dos sólidos do efluente da lagoa aerada aeróbia.

A figura 5.31, cujos valores são provenientes das tabelas C.3, C.7 e E.4, dos anexos C e E, respectivamente, apresenta o comportamento da DBO₅ total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação na fase A.II-1.

Figura 5.31: Comportamento da DBO₅ total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Na figura 5.31 pode-se observar que apesar da variação na DBO₅ total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB a lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação foi capaz de suportar essas variações e fornecer um efluente final com DBO₅ total praticamente abaixo de 30 mg/L.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase A.II-1 é apresentado na tabela 5.25. Os valores foram obtidos nas tabelas C.3, C.7, E.2 e E.4, dos anexos C e E, respectivamente, excluindo-se o resultado de DQO total do efluente do reator UASB do 260º dia

de operação e DQO filtrada do 267º dia de operação; da lagoa aerada aeróbia do dia 245º de operação.

Tabela 5.25: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase A.II-1.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	DQO total (mg/L)	1100 $\pm$ 370	586 – 1852
E ₂	DQO total (mg/L)	464 $\pm$ 201	130 – 891
	DQO filtrada (mg/L)	238 $\pm$ 70	108 – 342
E ₃	DQO total (mg/L)	432 $\pm$ 163	150 – 687
	DQO filtrada (mg/L)	152 $\pm$ 44	92 – 231
E ₄	DQO total (mg/L)	151 $\pm$ 23	62 – 290
	DQO filtrada (mg/L)	128 $\pm$ 67	44 – 226

Dos resultados apresentados na tabela 5.25 pode-se verificar que em média a DQO no efluente do reator UASB devida a sólidos é de 226 mg/L, ou seja 49% da DQO total no efluente (E₂) é resultado da saída de sólidos suspensos. Pode-se verificar também que no efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃) 65% da DQO total é devida a sólidos suspensos. Ainda é possível verificar que em média 85% da matéria orgânica presente no efluente final (E₄) se encontra dissolvida.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO₅ do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada (E₃) e de decantação (E₄), é apresentado na tabela 5.26. Os valores da tabela foram obtidos nas tabelas C.3, C.7, E.2 e E.4, dos anexos C e E, respectivamente.

Tabela 5.26: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO₅ do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes da lagoa aerada aeróbia (E₃) e da lagoa de decantação (E₄). Fase A II-1.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	DBO ₅ total (mg/L)	544 $\pm$ 185	372 – 980
E ₂	DBO ₅ total (mg/L)	165 $\pm$ 128	58 – 372
	DBO ₅ filtrada (mg/L)	77 ⁽¹⁾	
E ₃	DBO ₅ filtrada (mg/L)	28 $\pm$ 6	20 – 36
E ₄	DBO ₅ total (mg/L)	21 $\pm$ 6	12 – 27
	DBO ₅ filtrada (mg/L)	20 ⁽²⁾	

(1) Três resultados disponíveis.

(2) Dois resultados disponíveis .

Com relação aos resultados de DQO e DBO₅ do efluente da lagoa de decantação (E₄) apresentados nas tabelas 5.25 e 5.26, respectivamente, verifica-se que em média praticamente a totalidade da matéria orgânica encontra-se solúvel.

As eficiências médias de remoção de DQO total e DBO₅ total na fase A.II-1 estão apresentadas na tabela 5.27. Os valores foram obtidos na tabela F.2, do anexo F, excluindo-se os resultados do reator UASB do 274° e 279° dias de operação; da lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação do 260°, 274° e 279° dias de operação e do sistema completo do 267° e 279° dias de operação.

Tabela 5.27: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO₅ total. Fase A.II-1.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total	71	70	90
DBO ₅ total	76	82	96

Dos resultados da tabela 5.27 verifica-se que o reator UASB teve uma eficiência na remoção de matéria orgânica biodegradável dentro do apresentado na literatura. O reator, operando com tempo de detenção hidráulica médio de 8,1 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de DQO total e DBO₅ total de 71% e 76%, respectivamente.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação mostrou-se bastante eficiente na remoção da matéria orgânica biodegradável presente no efluente do reator UASB, com uma eficiência média de remoção de DQO total de 70% e de 82% de DBO₅ total, para um tempo de detenção hidráulica médio de 2,7 dias na lagoa aerada aeróbia e de 1,8 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de DBO₅ total de 96%, produzindo um efluente final com DBO₅ média de cerca de 20 mg/L.

5.1.4.5. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo

A tabela 5.28 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação, da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação na fase A.II-1. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos nas tabelas C.2, C.6 e E.3, dos anexos C e E, respectivamente.

Tabela 5.28: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase A.II-1.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	Nitrogênio total (mg N/L)	37 $\pm$ 4	32 – 40
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	14,0 $\pm$ 1,1	12,8 – 15,0
	Fósforo total (mg P/L)	7,8 $\pm$ 2,5	5,3 – 11,3
	Cor Verdadeira (mg Pt/L)	899 $\pm$ 235	564 – 1108
E ₂	Nitrogênio total (mg N/L)	35 $\pm$ 1	34 – 36
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	18,1 $\pm$ 1,0	17,0 – 19,1
	Fósforo total (mg P/L)	5,9 $\pm$ 1,9	4,1 – 7,7
	Cor Verdadeira (mg Pt/L)	693 $\pm$ 207	584 – 960
E ₄	Nitrogênio total (mg N/L)	20 $\pm$ 2	18 – 22
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	6,9 $\pm$ 3,8	4,1 – 12,2
	Fósforo total (mg P/L)	2,7 $\pm$ 1,1	1,4 – 4,1
	Cor Verdadeira (mg Pt/L)	353 $\pm$ 93	237 – 443

Na tabela 5.28 pode-se verificar que no reator UASB praticamente não houve remoção de nitrogênio, efetivamente o que se ocorreu foi um pequeno aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, devido a transformação de parte do nitrogênio orgânico do afluente, como é típico em ambientes anaeróbios. A redução na concentração de nitrogênio orgânico pode ser atribuída ao crescimento bacteriano, já que o balanço de nitrogênio não fecha.

A redução na concentração de nitrogênio amoniacal no efluente da lagoa de decantação (E₃), em relação ao efluente do reator UASB (afluente da lagoa aerada aeróbia), indica que nas condições de operação da lagoa aerada aeróbia a nitrificação foi parcial.

As eficiências médias de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira na fase A.II-1 estão apresentadas na tabela 5.29. Os valores foram obtidos nas tabelas F.3, F.4 e F.5, do anexo F.

Tabela 5.29: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase A.II-1.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
Nitrogênio total	15 ⁽¹⁾	38	44
Nitrogênio amoniacal		63	50
Fósforo total	39	54	61
Cor verdadeira	40 ⁽¹⁾	46	56

(1) média de dois valores

Os resultados da tabela 5.29 confirmam os dados da literatura de que o processo anaeróbio é pouco eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo. O reator UASB, operando em média com tempo de detenção hidráulica de 8,1 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de 15% de nitrogênio total e de 39% do fósforo total presentes no afluente (E_1). O reator UASB também foi pouco eficiente na remoção de cor, alcançando em média 40% de eficiência.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média respectivamente 38%, 54% e 46% do nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do efluente do reator UASB, para um tempo de detenção hidráulica em média de 2,7 dias na lagoa aerada aeróbia e de 1,8 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 44% do nitrogênio total, 50% do nitrogênio amoniacal, 61% do fósforo total e 56% da cor verdadeira presentes no afluente (E_1), resultando em um efluente final com uma concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e fósforo total em média de 20 mg N/L, 6,9 mg NH_3 /L, 2,7 mg P/L e 353 mg Pt/L, respectivamente.

5.2. Ensaio B

O ensaio B iniciou-se no dia 12/03/2003 e estendeu-se até dia 19/11/2003. O tempo de operação total foi de 252 dias.

O anexo G apresenta as tabelas com os resultados das fases B-I e B.II referentes:

- ao acompanhamento diário do reator UASB.
- às determinações analíticas realizadas no afluente (E_1) e no efluente (E_2).
- às concentrações de sólidos e pH nos pontos de amostragem.

O anexo H apresenta as tabelas com os resultados das fases B-I e B.II referentes:

- às relações DQO/N, DQO/P, SV/ST e SSV/SST no afluente (E_1) e efluente (E_2).
- à relação SV/ST nos pontos de amostragem.
- à massa total e concentração de lodo no reator.
- às taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e fator de produção de gás.
- às eficiências de remoção de sólidos, DQO, DBO_5 , nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira.

Os resultados que aparecem entre parênteses nas tabelas dos anexos G e H foram excluídos da elaboração das tabelas e/ou gráficos apresentados nos itens das fases B.I e B.II. Os resultados excluídos estão também citados nos respectivos itens.

5.2.1. Características do afluente (E_1) do reator UASB

A tabela 5.30 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das características do afluente (E_1) do reator UASB no ensaio B. Os valores foram obtidos nas tabelas G.1, G.2 e G.3, do anexo G. O afluente (E_1) do reator UASB é o esgoto afluente à ETE-Jundiaí na saída do vertedor da caixa de areia.

Os resultados apresentados na tabela 5.30 mostram que as concentrações de sólidos, DQO e DBO_5 são bem superiores aos do esgoto tipicamente doméstico. A provável justificativa para esse comportamento do esgoto usado neste trabalho já foi apresentada nos comentários do afluente (E_1) do ensaio A.

Tabela 5.30: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das características do afluente (E_1) do reator UASB. Ensaio B.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
DQO total (mg/L)	1383 $\pm$ 458	612 – 2666
DBO_5 total (mg/L)	734 $\pm$ 203	371 – 1203
ST (mg/L)	790 $\pm$ 195	536 – 1382
SV (mg/L)	472 $\pm$ 155	278 – 994
SST (mg/L)	232 $\pm$ 60	136 – 372
SSV (mg/L)	200 $\pm$ 51	122 – 320
Nitrogênio total (mg N/L)	55 $\pm$ 17	30 – 92
Nitrogênio amoniacal (mg NH_3 /L)	25,4 $\pm$ 5,5	15,6 – 36,0
Fósforo total (mg P/L)	11,9 $\pm$ 3,8	5,6 – 19,5
Cor verdadeira (mg Pt/L)	1028 $\pm$ 360	644 – 2180
Ácidos orgânicos voláteis (mg HAc/L)	175 $\pm$ 115	30 – 455
Alcalinidade total (mg $CaCO_3$ /L)	155 $\pm$ 30	93 – 209
pH	6,6 $\pm$ 0,4	5,4 – 7,4
Temperatura ($^{\circ}C$)	23,8 $\pm$ 1,7	20 – 28

O afluente no ensaio B apresentou-se, em termos dos componentes orgânicos, ligeiramente mais fraco que o usado no ensaio A (ver tabela 5.1). A título de exemplo os parâmetros DQO e SST são em média 21% e 31% menores, respectivamente. As relações médias obtidas a partir da tabela 5.31 são, por sua vez praticamente iguais às do ensaio I e estão apresentadas no quadro a seguir:

Relação	SV/ST	SSV/SST	DBO_5 /DQO
Valor	0,58	0,79	0,53

Os sólidos voláteis representam uma parcela significativa dos sólidos totais, em média cerca de 60%. Os sólidos suspensos voláteis, por sua vez, são cerca de 80% sólidos suspensos totais o que mostra que grande parte da matéria orgânica presente no afluente encontra-se na forma suspensa, como é típico nesse tipo de despejo. A fração biodegradável representa um pouco mais de 50% da matéria orgânica total.

Dos valores apresentados na tabela H.1, do anexo H, obtém-se que a relação DQO:N:P para o afluente (E_1) foi em média de 128:5:1. Assumindo que esses nutrientes estejam numa forma disponível para as bactérias verifica-se que em média a relação DQO:N:P foi superior à mínima requerida para o processo anaeróbio.

5.2.2. Fase B.I

A fase B.I refere-se ao período da segunda partida do reator UASB. Essa fase iniciou-se no dia 12/03/2003 e estendeu-se até 13/04/2003. O tempo total de operação foi de 32 dias.

Após o acidente com o reator UASB na fase A.II este continuou a ser operado em tempo de detenção hidráulica de 8 horas até o dia 28/02/2003. Desse dia e até o dia 12/03/2003 aumentou-se o tempo de detenção hidráulica para 10 horas. Entre os dias 22/02/2003 e 11/03/2003 foram realizados três perfis de lodo no reator, cujos resultados estão mostrados nos quadros a seguir:

24/02/2003	L_1	L_3	L_5	L_6
ST (mg/L)	14800	2500	1700	6000
SV (mg/L)	13100	1900	1300	1900
Massa total de lodo: 9,5 kg SV				

03/03/2003	L_1	L_3	L_5	L_6
ST (mg/L)	27010	2760	1050	1660
SV (mg/L)	20060	1820	680	1190
Massa total de lodo: 11,0 kg SV				

10/03/2003	L_1	L_3	L_5	L_6
ST (mg/L)	34590	10900	1930	3800
SV (mg/L)	23790	7280	1230	2540
Massa total de lodo: 17,5 kg SV				

Os resultados nos quadros acima mostram que a evolução da massa de lodo no reator é lenta e que para alcançar um valor próximo do existente antes do acidente seriam necessárias mais algumas semanas. Face isso, decidiu-se reinocular parcialmente o reator com lodo anaeróbio do reator

UASB da ETE - Piracicamirim. Pelo resultado do perfil de lodo do dia 10/03/2003 verifica-se que como o fundo do reator continha um lodo denso optou-se por drenar o conteúdo do reator até o ponto de amostragem L₂ e completar até o ponto L₇ com inóculo novo. Dessa forma, restaram cerca de 95 L no reator e foram introduzidos 2200 L de lodo novo. O lodo introduzido apresentou uma concentração de SST e SSV de 64.400 mg/L e 29.100 mg/L, respectivamente.

Desprezando-se a contribuição em termos de SSV do lodo que permaneceu no reator, pode-se estimar que a segunda partida do reator UASB foi realizada com uma massa de lodo de cerca de 64 kg SSV ou seja, cerca de 53% maior que a empregada na partida da fase B.I.

O ensaio A consumiu grande uma parte do tempo, dentro do cronograma original do projeto, reservado para a parte experimental. Face a isso, no ensaio B foi adotada uma estratégia para a partida do reator UASB visando basicamente, reduzir o tempo de partida ao mínimo possível sem no entanto comprometer a estabilidade do processo.

O reator UASB foi inoculado no dia 12/03/2003 e logo após iniciada a alimentação com uma vazão de esgoto de 3,6 m³/dia, equivalente a um tempo de detenção hidráulica de 20 horas (metade do inicial na fase A.I). O pH da alimentação não foi corrigido e não foram adicionados nutrientes. A tabela 5.31 apresenta as condições operacionais programadas no reator UASB na fase B.I.

Tabela 5.31: Condições de operação programadas no reator UASB. Fase B.I.

Período	Tempo de Operação (dias)	Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Vazão de Esgoto (m ³ /dia)
13/03/03 – 23/03/03	1° – 11°	20	3,6
24/03/03 – 30/03/03	12° – 18°	15	4,8
31/03/03 – 10/04/03	19° – 29°	10	7,2

(1): a partir do 30° dia de operação o reator UASB passou a operar com tempo de detenção hidráulica programado de 8 horas.

A figura 5.32, cujos valores são provenientes da tabela G.1, do anexo G, apresenta o comportamento do tempo de detenção hidráulica do reator UASB ao longo do ensaio B.

A partida do reator UASB foi realizada em 32 dias, ou seja, esse foi o tempo empregado para colocar o reator em tempo de detenção hidráulica de 8,0 horas. A colocação do reator na condição final em tão curto espaço de tempo, quando se usa como inóculo um lodo flocculento, mostrou-se extremamente inadequada no sentido de permitir a lavagem dos sólidos leves do inóculo.

Figura 5.32: Comportamento do tempo de detenção hidráulica (TDH) no reator UASB. Ensaio B

Na figura 5.32 os valores de tempo de detenção hidráulica acima de 40 horas que se observam no começo do ensaio ocorreram por problemas no controle da vazão do reator UASB.

O que se observou desde o início da operação do reator foi a presença quase que constante de lodo no decantador do reator UASB. Então, para agilizar a lavagem do lodo e melhorar a qualidade do efluente realizaram-se, desde o início retiradas semanais do conteúdo do reator.

A tabela 5.32 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura ambiente, do afluente (E_1) e do reator UASB na fase B.I. Os valores foram obtidos dos resultados apresentados na tabela G.1, do anexo G.

Tabela 5.32: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura ambiente, do afluente (E_1) e do reator UASB. Fase B.I.

Valor	Temperatura (°C)		
	Ambiente	Afluente (E_1)	Reator UASB
Média $\pm$ Desvio Padrão	26,3 $\pm$ 4,0	26,1 $\pm$ 1,0	25,1 $\pm$ 0,8
Faixa de Variação	14 – 35	25 – 28	23 – 27

A partir dos valores apresentados na tabela 5.32, pode-se verificar que devido ao isolamento do reator UASB a sua temperatura ficou em média próxima da temperatura do afluente.

O reator UASB foi monitorado principalmente com base nos resultados de pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total, visto que, estes três fatores ambientais estão intimamente relacionados entre si, sendo igualmente importantes para o controle e a operação de reatores anaeróbios.

A tabela 5.33 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E_1) e do reator UASB na fase B.I. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas tabelas G.2 e G.6, do anexo G.

Tabela 5.33: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.I.

Parâmetro	Médio $\pm$ Desvio Padrão		Faixa de Variação	
	E_1	E_2	E_1	E_2
pH	$6,8 \pm 0,2$	$6,9 \pm 0,3$	6,5 – 7,0	6,5 – 7,6
Ácidos Orgânicos Voláteis (mg HAc/L)	104 ⁽¹⁾	41 ± 44	66 – 123	19 – 130
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	129 ± 11	266 ± 24	120 – 139	238 – 300

(1): média de três valores.

A partir dos resultados da tabela 5.33 pode-se verificar que o pH do afluente na fase B.I foi ligeiramente ácido e que o pH do efluente foi maior que no afluente como resultado unicamente da evolução do processo biológico já que não foi feita nenhuma correção do pH do afluente. Ainda a partir dos resultados da tabela 5.33 pode-se verificar que a concentração de ácidos orgânicos voláteis manteve-se em valores que não representaram riscos para o processo e a alcalinidade total no efluente aumentou em relação ao afluente provavelmente devido a formação de sais de ácidos voláteis. A produção de alcalinidade total foi suficiente para manter o pH no efluente em média em 6,9.

Dos valores apresentados na tabela H.1, do anexo H, obtém-se que relação DQO:N:P média para o efluente (E_2) do reator UASB foi de 92:5,5:1, o que mostra a presença no efluente de um residual de nitrogênio e fósforo, indicando que não houve falta desses nutrientes ao longo da partida.

5.2.3. Fase B.II

A fase B.II refere-se ao período do ensaio B onde o reator UASB operou em tempo de detenção hidráulica programado de 8,0 horas. Essa fase teve início no 31º dia de operação (12/04/2003) e estendeu-se até o 252º dia de operação (19/11/2003). O tempo total de operação nessa fase foi de 222 dias.

O quadro a seguir apresenta o valor, desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica no reator UASB na fase B.II

Valor Médio	Desvio Padrão	Faixa de Variação
8,5 horas	1,3 hora	6,1 – 13,1 horas

5.2.3.1. Condições ambientais no reator UASB

A figura 5.33 apresenta o comportamento da temperatura do afluente (E_1) e do reator UASB ao longo do ensaio B. Os valores foram obtidos da tabela G.1, do anexo G.

Figura 5.33: Comportamento da temperatura do afluente (E_1) e do reator UASB. Ensaio B.

Como pode ser observado pelos resultados apresentados na figura 5.33, o isolamento térmico e o revestimento externo do reator, fizeram com que a temperatura interna do reator ficasse muito próxima da temperatura do afluente (E_1). Além disso, não se verificaram variações bruscas de temperatura que pudessem prejudicar o desempenho do processo.

A tabela 5.34 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura ambiente, do afluente e do reator UASB na fase B.II. Esses valores foram obtidos na tabela G.1, do anexo G.

Tabela 5.34: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura ambiente, do afluente (E_1) e reator UASB. Fase B.II.

Valor	Temperatura (°C)		
	Ambiente	Afluente (E_1)	Reator UASB
Média $\pm$ Desvio Padrão	26,2 $\pm$ 4,1	23,5 $\pm$ 1,5	23,3 $\pm$ 1,7
Faixa de Variação	14 – 35	20 – 27	18 – 29

Os resultados da tabela 5.34 mostram que a temperatura média do reator UASB foi muito próxima da temperatura do afluente.

Dos valores apresentados na tabela H.1, do anexo H, obtém-se que relação DQO:N:P para o afluente (E_1) do reator UASB na fase B.II foi em média de 128:5:1, o que mostra que as quantidades de nitrogênio e fósforo foram em média superiores à mínima requerida para o processo anaeróbio.

A figura 5.34, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2, e G.6, do anexo G, apresenta o comportamento do pH do afluente (E_1) e do efluente (E_2) do reator UASB ao longo do ensaio B.

Na figura 5.34 pode-se observar que o afluente (E_1) do reator UASB apresentou-se levemente ácido durante a maior parte do ensaio. O processo entretanto, foi capaz de absorver as flutuações observadas no pH do afluente e produziu um efluente (E_2) com pH em torno de 6,7. Pode-se verificar também que em nenhum momento o reator foi afetado por um desequilíbrio mais sério, que provocasse uma queda extrema de pH demandando alguma intervenção emergencial. Além disso, o reator UASB foi capaz de atenuar a faixa de variação do pH do efluente.

A figura 5.35, cujos valores foram obtidos a partir dos resultados das tabelas G.2 e G.6, do anexo G, apresenta o comportamento da concentração de ácidos orgânicos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB no ensaio B.

Figura 5.34: Comportamento do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB. Ensaio B.

Figura 5.35: Comportamento da concentração de ácidos orgânicos voláteis do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB. Ensaio B.

Como pode ser observado na figura 5.35 a concentração de ácidos no efluente manteve-se, na maior parte do tempo, praticamente abaixo de 100 mg HAc/L, indicando um equilíbrio entre os grupos bacterianos que consomem e produzem ácidos orgânicos voláteis.

Os valores elevados de ácidos orgânicos voláteis que se observam no efluente, exatamente no 33º, 85º e 92º dias de operação, são resultado de um aumento repentino na taxa orgânica volumétrica aplicada em função da variação na concentração de DQO do afluente, já que não houve variação no tempo de detenção hidráulica. A concentração de ácidos do 173º dia de operação (277 mg HAc/L) é resultado da elevada concentração de ácidos presente no afluente (455 mg HAc/L). Essas concentrações de ácidos entretanto, não representaram riscos para o processo como será mostrado mais a frente.

O comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB no ensaio B, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2 e G.6, do anexo G, é apresentado na figura 5.36.

Figura 5.36: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.

Na figura 5.36 pode-se observar que houve aumento na alcalinidade total do efluente em relação ao afluente. O aumento da alcalinidade no meio é resultado principalmente da formação de sais de ácido acético. Também é possível observar que a alcalinidade total no efluente do reator UASB varia numa faixa mais estreita que o afluente. Praticamente a alcalinidade total no efluente variou entre 100 e 200 mg CaCO₃/L enquanto no afluente entre 200 e 400 mg CaCO₃/L.

A tabela 5.35 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB na fase B.II. Os valores foram obtidos a partir dos resultados das tabelas G.2 e G.6, do anexo G.

Tabela 5.35: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH, concentração de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade total do afluente (E₁) e do efluente (E₂) do reator UASB. Fase B.II.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão		Faixa de Variação	
	E ₁	E ₂	E ₁	E ₂
pH	6,5 $\pm$ 0,4	6,7 $\pm$ 0,2	5,3 – 7,4	6,4 – 7,4
Ácidos Orgânicos Voláteis (mg HAc/L)	194 $\pm$ 123	118 $\pm$ 109	30 – 455	18 – 338
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	159 $\pm$ 30	307 $\pm$ 65	93 – 209	199 – 452

A partir dos resultados da tabela 5.35 pode-se verificar que o pH do afluente na fase B.II foi ligeiramente ácido e que o pH do efluente foi um pouco maior que no afluente. A baixa concentração média de ácidos orgânicos voláteis no efluente ao longo do ensaio B, mas especialmente no período em tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas (fase B.II), mostra a estabilidade do reator nessa condição limite, assimilando tanto, as variações de taxa orgânica volumétrica aplicada quanto, as variações nas demais condições ambientais.

Os resultados da tabela 5.35 mostram que o valor médio da alcalinidade total no efluente em relação ao afluente mais que dobrou. Apesar disso, não foi suficiente para garantir um pH no reator em torno 7,0, porém permitiu operar o reator sem grandes variações de pH e como será mostrado nos próximos itens com boas eficiências de remoção.

5.2.3.2. Características do manto de lodo no reator UASB

As figuras 5.37 e 5.38, obtidas a partir dos resultados apresentados nas tabelas G.4 e G.5, do anexo G, mostra o comportamento do pH e da concentração de sólidos voláteis ao longo da altura do reator UASB no ensaio B.

Figura 5.37: Comportamento do pH ao longo da altura do reator UASB. Ensaio B.

Figura 5.38: Comportamento da concentração de sólidos voláteis (SV) ao longo da altura do reator UASB. Ensaio B.

Na figura 5.37 pode-se observar que não se estabeleceu um perfil típico de pH, ou seja, crescente ao longo da altura do reator. Esse comportamento pode ser atribuído a presença constante de lodo ao longo da altura do reator. Também é possível observar que o pH no interior do reator variou basicamente na faixa 6,3 - 6,8.

Na figura 5.38 pode-se observar que o perfil de concentração de sólidos voláteis é decrescente ao longo da altura do reator e apresenta uma grande diferença entre o ponto L_1 (fundo de reator) e os pontos superiores (pontos L_3 , L_5 e L_6). Nestes três últimos observa-se que a concentração de sólidos voláteis reduz-se durante a partida de cerca de 15 g SV/L até um valor um pouco inferior a 10 g SV/L, permanecendo no restante do ensaio entre 5 e 10 g SV/L, com exceção de alguns valores. No fundo (ponto L_1) a concentração sofre uma pequena redução durante a partida e a seguir passa a variar em torno de 30 g SV/L até o 120º dia de operação. Após esse dia a concentração tem um leve crescimento e estabiliza-se em torno de 35 g SV/L. longo da altura do reator UASB.

A figura 5.39, obtida a partir dos valores da tabela H.2 ,do anexo H, apresenta o comportamento da massa total de lodo no interior do reator UASB do longo do ensaio B.

Figura 5.39: Comportamento da massa total de lodo no interior do reator UASB. Ensaio B.

Na figura 5.39 pode-se observar que praticamente até o 50º dia de operação ocorre uma severa lavagem do lodo do reator devido, tanto a retirada semanal quanto, a saída de lodo junto com o efluente. Nesse período houve a redução de cerca de 60% do lodo introduzido com o inóculo. A seguir observa-se o aumento da massa de lodo no interior do reator, apesar de continuarem as retiradas semanais de lodo.

Para reduzir a presença de lodo no decantador do reator UASB e controlar o crescimento da massa de lodo foram feitas retiradas praticamente semanais de lodo do reator pelo ponto de amostragem L_6 ou L_7 . A quantidade média de lodo retirada do reator UASB pode ser estimada considerando o período após a lavagem do lodo do inóculo, ou seja, entre o 29º e 236º dia de operação. Nesse período o volume retirado foi em média de cerca de 540 litros/semana com uma concentração média de sólidos voláteis de 7,2 g/L, correspondendo em média a aproximadamente 4 kg SV/semana (5,6 kg ST/semana), o que representa cerca de 12% da massa total média de sólidos presentes no reator no referido período (33 kg SV).

A saída dos sólidos inertes, do lodo que não tem boas propriedades de sedimentação e as retiradas semanais de lodo ao longo do período de operação, resultaram na melhora da relação SV/ST (diminuição da mineralização do lodo) do lodo no interior do reator como pode ser observado na figura 5.40, cujos valores foram obtidos na tabela H.2, do anexo H.

A figura 5.40 mostra que, tanto a lavagem quanto, a retirada de lodo, contribuíram para a melhora da qualidade do lodo no interior do reator ao longo do ensaio B, especialmente no fundo do reator (ponto de amostragem L_1). A relação SV/ST cresceu continuamente até o 120º dia de operação. A partir desse dia praticamente não se observa mais crescimento e esta passa a variar entre 0,70 e 0,74 nos pontos superiores do reator e entre 0,80 e 0,84 no fundo do reator.

Com relação à granulação do lodo biológico, este fenômeno foi perceptível nas semanas que antecederam o final do ensaio. A partida foi realizada com lodo não granulado e posteriormente foi possível visualizar, a olho nu, a presença de pequenos grânulos com forma esférica de diâmetro em torno de 1 mm.

Figura 5.40: Comportamento da relação SV/ST no ao longo da altura do reator UASB. Ensaio B.

5.2.3.3. Remoção de sólidos no reator UASB

As figuras 5.41 e 5.42, obtidas a partir dos valores apresentados nas tabelas G.3 e G.7, do anexo G, apresentam respectivamente o comportamento da concentração dos sólidos totais e sólidos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB ao longo do ensaio B. Para a elaboração dessa figura foram suprimidos os resultados do afluente do 89º dia de operação e do 33º, 173º e 194º dia do efluente.

Nas figuras 5.41 e 5.42 pode-se verificar que a concentração de sólidos no afluente apresentou grande variação e que foi crescente ao longo do ensaio B. No efluente do reator UASB, em função da saída de lodo, a concentração também apresentou uma grande amplitude de variação, com diversos valores maiores que os do afluente.

As figura 5.43 e 5.44, obtidas a partir dos valores apresentados nas tabelas G.3 e G.7, do anexo G, apresentam o comportamento da concentração dos sólidos suspensos totais e dos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB no ensaio B, respectivamente. Para a elaboração dessas figuras foram suprimidos os resultados do afluente do 89º dia de operação e dos dias 33º e 194º do efluente.

Figura 5.41: Comportamento da concentração de sólidos totais (ST) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.

Figura 5.42: Comportamento da concentração de sólidos voláteis (SV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.

Figura 5.43: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB. Ensaio B.

Figura 5.44: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB. Ensaio B.

Nas figuras de 5.41 a 5.44 pode-se observar que, a menos de alguns resultados, não foi possível estabilizar a concentração de sólidos no efluente em um valor abaixo da concentração do afluente, provavelmente devido a qualidade do lodo de inóculo aliada ao pequeno volume do decantador e também a velocidade crítica nas aberturas do decantador. O desempenho do reator UASB em termos de sólidos sugere que o lodo introduzido como inóculo possivelmente não foi de boa qualidade, isto é, continha muito lodo de difícil sedimentação. Este provavelmente necessitaria de um tempo maior para deixar o reator, do que os 30 dias da partida, e assim facilitar a seleção e formação de um leito de lodo denso no fundo do reator e desse modo permitir uma operação mais estável, em termos de sólidos, nas demais fases.

Outro fato observado foi que as concentrações médias de lodo no reator, tanto na fase A.II quanto, na fase B.II foram praticamente iguais, entretanto na fase A.II foi possível, pelo menos em relação aos sólidos suspensos, operar o reator durante um bom período com uma concentração de lodo no efluente menor que a do afluente. Esse resultado pode estar ligado a forma como foi realizada a partida na fase A.II onde se consumiu quase 6 meses na partida.

A tabela 5.36. apresenta a concentração média $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB na fase B.II. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas tabelas G.3 e G.7, do anexo G. Para a elaboração dessa tabela não foram considerados os resultados do afluente (E_1) do 89º dia de operação e do 33º, 89º, 173º e 194º dia do efluente (E_2).

Tabela 5.36: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.

Valor	E_1		E_2	
	ST (mg/L)	SV (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)
Média $\pm$ Desvio Padrão	822 $\pm$ 187	495 $\pm$ 152	864 – 193	393 – 118
Faixa de Variação	538 – 1382	304 - 994	562 – 1284	220 – 634

Os resultados da tabela 5.36 mostram que no afluente em média 60% dos sólidos totais são voláteis. A relação SV/ST no efluente é, em média de 45%.

A tabela 5.37. apresenta a concentração média $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB na fase B.II. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas

tabelas G.3 e G.7, do anexo G. Para a elaboração dessa tabela foram suprimidos os resultados do afluente (E_1) do 89º dia de operação e dos dias 33º, 89º, 173º e 194º do efluente (E_2).

Tabela 5.37: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.

Valor	E_1		E_2	
	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
Média $\pm$ Desvio Padrão	240 $\pm$ 57	207 $\pm$ 49	319 – 215	234 – 156
Faixa de Variação	152 – 372	132 - 320	96 – 960	46 – 700

Os resultados da tabela 5.37 mostram que no afluente em média 85% dos sólidos suspensos são voláteis. Os sólidos suspensos voláteis no efluente representam em média cerca de 73% dos sólidos suspensos totais. Esses resultados mostram que, tanto no afluente quanto no efluente, quase a totalidade da matéria orgânica encontra-se na forma suspensa volátil.

Com base nos resultados médios apresentados nas tabelas 5.36 e 5.37 não é possível avaliar a remoção de sólidos no reator UASB. Isso decorre do fato de os resultados médios do efluente, apesar de terem sido desconsiderados os resultados de alguns dias, ainda levam em consideração uma série de valores afetados pela saída de sólidos o que acaba elevando o valor médio. Porém a partir dos valores da tabela H.4, do anexo H, pode-se verificar que o reator UASB apresentou uma eficiência de remoção de sólidos. A tabela 5.38 apresenta as eficiências médias de remoção de sólidos para o reator UASB na fase B.II.

Tabela 5.38: Valores da eficiência média de remoção de sólidos no reator UASB. Fase B.II.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção de Sólidos (%)			
	ST	SV	SST	SSV
Valor	26	39	40	44

A partir dos resultados da tabela 5.38 pode-se verificar que o reator UASB, operando com tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de sólidos totais (ST) de 26% e de 39% de sólidos voláteis (SV), respectivamente. A concentração média de ST e SV no efluente (E_2) ficou na média em 864 mg/L e 393 mg/L, respectivamente.

Com relação aos sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) as eficiências foram em média de 40% e 44%, respectivamente. As concentrações médias de SST e SSV no efluente (E_2) ficaram em média em 319 mg/L e 234 mg/L, respectivamente.

5.2.3.4. Remoção de matéria orgânica no reator UASB

Na figura 5.45, obtida a partir dos valores apresentados nas tabelas G.3 e G.7, do anexo G, é mostrado o comportamento da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB no ensaio B.

Figura 5.45: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.

Na figura 5.45 pode-se observar a partir dos valores de DQO filtrada do efluente, o bom desempenho do reator UASB na remoção de matéria orgânica do afluente. Também é possível observar que as variações da DQO do afluente foram bem assimiladas e que embora ocorram variações também na DQO do efluente, o reator foi capaz de reduzir a amplitude das variações, favorecendo a operação da lagoa aerada aeróbia.

A figura 5.46, obtida a partir dos valores das tabelas G.3 e G.7, do anexo G, apresenta o comportamento da DBO_5 total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB no ensaio B.

Figura 5.46: Comportamento da DBO_5 total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Ensaio B.

Na figura 5.46 pode-se observar que a concentração de DBO_5 total no efluente (E_2) do reator UASB foi sempre inferior à do afluente (E_1). Também é possível observar que a DBO_5 total, tanto no afluente quanto, no efluente do reator UASB variaram bastante ao longo do ensaio B.

A tabela 5.39 apresenta os valores médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) na fase B.II. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados nas tabelas G.3 e G.7, do anexo G. Para a elaboração da tabela 5.39 foram excluídos os resultados do 99º, 127º e 202º dias de operação.

Dos resultados apresentados na tabela 5.39 pode-se verificar que em média a parcela da DQO total no efluente do reator UASB devido presença de sólidos suspensos no efluente é de 286 mg/L, ou seja 36% da DQO total no efluente (E_2) é consequência da saída de sólidos suspensos.

Tabela 5.39: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO total do afluente (E_1) e da DQO total e filtrada do efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.

Valor	E_1	E_2	
	DQO total (mg/L)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)
Média $\pm$ Desvio Padrão	1431 $\pm$ 445	792 $\pm$ 328	506 $\pm$ 131
Faixa de Variação	612 – 2666	244 – 1690	255 – 813

A tabela 5.40 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO₅ total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB na fase B.II. Esses valores foram obtidos a partir dos resultados apresentados na tabela G.3 e G.7, do anexo G. Para a elaboração da tabela 5.40 foi excluído o resultado do 106° dia de operação.

Tabela 5.40: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fase B.II.

Valor	E_1	E_2
	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)
Média $\pm$ Desvio Padrão	758 $\pm$ 197	335 $\pm$ 149
Faixa de Variação	470 – 1203	125 – 723

Na tabela 5.40 pode-se verificar que a DBO₅ média no efluente (E_2) representa uma condição de pré-tratamento no reator UASB bastante razoável. Também é possível verificar que o reator produziu um efluente com uma DBO₅ total média típica de esgoto doméstico.

A figura 5.47, obtida a partir dos valores das tabelas H.5, do anexo H, apresenta o comportamento da eficiência de remoção de DQO total do reator UASB no ensaio B. Para a elaboração da figura 5.46 foram excluídos os resultados do 99°, 127° e 202° dias de operação.

Na figura 5.47 pode-se verificar que a remoção de DQO total apresentou um comportamento bastante variável, provavelmente devido a que a saída de sólidos no efluente se estendeu praticamente ao longo de todo o ensaio.

A figura 5.48, cujos valores estão apresentados na tabela H.5, do anexo H, mostra o comportamento da eficiência de remoção de DBO₅ total UASB no ensaio B. Para a elaboração da figura 5.48 foi excluído o resultado do 106° dia de operação.

Figura 5.47: Comportamento da eficiência de remoção de DQO total do reator UASB. Ensaio B.

Figura 5.48: Comportamento da eficiência de remoção de DBO₅ total do reator UASB. Ensaio B.

Na figura 5.48 pode-se observar que a eficiência de remoção de DBO₅ total apresentou um comportamento decrescente até o 90º dia de operação. Após esse dia o valor passa a crescer acentuadamente.

A partir dos resultados apresentados na tabela H.5, do anexo H, pode-se calcular as eficiências médias de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB. Os valores em tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas (fase B.II) estão apresentados na tabela 5.41.

Tabela 5.41: Valores das eficiências médias de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB. Fase B.II.

Eficiência Média de Remoção (%)		
Parâmetro	DQO total	DBO ₅ total
Valor	52	57

A partir dos resultados apresentados na tabela 5.41 pode-se verificar que o reator UASB, operando com tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de DQO total de 52% e de 57% de DBO₅ total. As concentrações, tanto de DQO total quanto, de DBO₅ total no efluente (E₂) do reator UASB variaram bastante, devido a saída de sólidos, ficando em média em 822 mg/L e 330 mg/L, respectivamente.

Os resultados da tabela 5.41 mostram ainda que a eficiência média de remoção de matéria orgânica no reator UASB está dentro da faixa citada na literatura. Dos resultados médios de DQO total e de DBO₅ total no efluente verifica-se que o pré-tratamento no reator UASB foi razoável e produziu um efluente com características típicas de esgoto doméstico e conseqüentemente necessitando de uma etapa subsequente de tratamento antes de sua disposição final.

Na operação do reator UASB é importante verificar a taxa orgânica volumétrica que pode ser aplicada, de tal modo que a taxa removida seja significativa e também que a operação do reator possa ser conduzida com segurança quanto a possibilidade de ocorrência de distúrbios, como por exemplo o arraste de lodo biológico ou acúmulo de ácidos orgânicos voláteis.

O comportamento das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida do reator UASB ao longo do ensaio B é mostrado na figura 5.49, cujos valores são provenientes da tabela H.6, do anexo H. Os valores da taxa orgânica volumétrica removida consideram os resultados de DQO total do efluente do reator UASB. A taxa orgânica volumétrica aplicada variou ao longo do ensaio, tanto pela variabilidade da composição do afluente quanto, pela dificuldade em manter a vazão constante.

Figura 5.49: Comportamento das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida no reator UASB no ensaio B.

A figura 5.49 mostra que quanto maior a taxa orgânica volumétrica aplicada, maior a taxa removida o que evidencia que a taxa aplicada não foi fator limitante do reator, mesmo no período com tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas.

Dos valores da tabela H.6, do anexo H, obtém-se que no período de operação do reator UASB em tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas os valores médios das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida total foram de 4,2 kg DQO/m³.dia e 2,3 kg DQO/m³.dia, respectivamente. Considerando a DQO filtrada no efluente do reator UASB a taxa orgânica removida foi em média de 2,8 kg DQO/m³.dia.

Quanto a taxa orgânica específica aplicada no período de operação do reator UASB em tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas o valor médio foi de 0,42 kg DQO/kg SV.dia. Esse valor foi obtido dividindo-se a taxa orgânica volumétrica aplicada média pela concentração média de lodo no reator no período analisado (10 kg SV/ m³).

Resumidamente, a partir dos resultados apresentados, pode-se aplicar taxas orgânicas volumétricas da ordem de 4 kg DQO/m³.dia, correspondendo a um tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas, de modo a obter remoções de DQO total de 52% e de DBO₅ total de 57%.

A figura 5.50, cujos valores foram obtidos na tabela H.6, do anexo H, apresenta a relação entre a taxa orgânica volumétrica aplicada e a taxa orgânica volumétrica removida considerando a DOQ total no efluente do reator UASB no ensaio B. A figura 5.51 é semelhante a anterior apenas leva em consideração a DQO filtrada do efluente do reator UASB no cálculo da taxa orgânica volumétrica removida. Nas figuras estão indicadas as retas e as equações das retas obtidas por regressão linear simples que melhor se ajustam ao conjunto de resultados experimentais e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Figura 5.50: Relação entre as taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida total do reator UASB. Ensaio B.

Figura 5.51: Relação entre as taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida filtrada do reator UASB. Ensaio B.

Nas figuras 5.50 e 5.51 pode-se verificar que quanto maior a taxa orgânica volumétrica aplicada, maior a taxa orgânica volumétrica removida, confirmando que este parâmetro não foi limitante do desempenho do reator UASB.

A equação indicada na figura 5.50 pode ser representada por:

$$(\text{Taxa Orgânica Removida}) = 0,7368 \times (\text{Taxa Orgânica Aplicada}) - 0,8506 \quad (5.4)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,8205$

A da figura 5.51 por:

$$(\text{Taxa Orgânica Removida}) = 0,7606 \times (\text{Taxa Orgânica Aplicada}) - 0,4409 \quad (5.5)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,8967$

Com relação às equações das retas mostradas nas figuras 5.50 e 5.51, sabe-se que estas deveriam passar pela origem. Para os resultados da figura 5.50 a equação da reta obtida por regressão linear simples que passa pelo ponto (0,0) é:

$$(\text{Taxa Orgânica Removida}) = 0,5626 (\text{Taxa Orgânica Aplicada}) \quad (5.6)$$

Coefficiente de correlação: $R = 0,6639$

A partir da equação (5.6) pode-se estimar uma remoção média de 56% em termos de DQO total para toda o ensaio.

5.2.3.5. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no reator UASB

A tabela 5.42 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total e amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E_1) e do efluente (E_2) do reator UASB na fase B.II. Os valores apresentados foram obtidos das tabelas G.2 e G.6, do anexo G.

Tabela 5.42: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total e amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E_1) e efluente (E_2) no reator UASB em tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas. Fase B.II.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão		Faixa de Variação	
	E_1	E_2	E_1	E_2
Nitrogênio total (mg N/L)	57 ± 16	42 ± 8	30 – 92	22 – 56
Nitrogênio amoniacal (mg NH_3L)	$25,6 \pm 5,7$	$29,3 \pm 3,7$	15,6 – 36,0	22,1 – 36,1
Fósforo total (mg P/L)	$12,2 \pm 3,7$	$7,7 \pm 2,5$	7,7 – 19,5	4,4 – 13,3
Cor verdadeira (mg Pt/L)	1028 ± 360	649 ± 286	644 – 2180	386 – 1532

Os resultados da tabela 5.42 mostram que no reator UASB não houve praticamente remoção de nitrogênio, efetivamente o que se verificou foi um pequeno aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, devido a transformação de parte do nitrogênio orgânico do afluente, como é típico em ambientes anaeróbios. O aumento médio foi de cerca de 14% na concentração de nitrogênio amoniacal no efluente do reator UASB. O decréscimo na concentração de nitrogênio orgânico e fósforo total no efluente do reator UASB em relação ao afluente pode ser atribuído ao crescimento bacteriano.

Da tabela H.7, do anexo H, pode-se calcular as eficiências médias de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira. Os valores obtidos para o período em que o reator UASB operou com tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas (fase B.II) estão apresentados na tabela 5.43.

Tabela 5.43: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira no reator UASB. Fase B.II.

Eficiência Média de Remoção (%)			
Parâmetro	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Cor Verdadeira
Valor	34	45	36

Os resultados da tabela 5.43 comprovam os dados da literatura, ou seja, que o tratamento anaeróbio não é eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo.

O reator UASB, operando com um tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de nitrogênio total de 34% e de 45% de fósforo total, resultando um efluente com concentração média de nitrogênio total e fósforo total de 42 mg N/L e 7,7 mg P/L, respectivamente. O reator UASB foi pouco eficiente também na remoção da cor verdadeira, apresentando uma remoção média de 36% da cor verdadeira do afluente, resultando um efluente com concentração média de cor verdadeira de 649 mg Pt/L.

5.2.3.6. Produção de gás no reator UASB

A figura 5.52, cujos valores são provenientes da tabela H.6, do anexo H, apresenta o comportamento do fator de produção de gás do reator UASB no ensaio B. Os valores estão expressos em função da DQO removida, considerando a amostra total. Para a elaboração dessa figura não foram considerados os resultados de valor maior que 0,30 Nm³/kg DQO removida.

Na figura 5.52 pode-se verificar que o fator variou bastante ao longo do ensaio B acompanhando a variação da taxa orgânica volumétrica aplicada.

Dos valores apresentados na tabela H.6, do anexo H, obtém-se que o fator de produção de gás médio para o período em que o reator UASB operou com tempo de detenção hidráulica médio de 8,5 horas foi de 0,15 Nm³/kg DQO removida e desvio padrão de 0,05 Nm³/kg DQO removida. Considerando a DQO filtrada no efluente os valores são: 0,14 Nm³/kg DQO removida e 0,06 Nm³/kg DQO removida, respectivamente. Esses resultados também não consideram os valores maiores que 0,30 Nm³/kg DQO removida.

Figura 5.52: Comportamento do fator de produção de gás do reator UASB. Ensaio B.

O fator de produção de gás médio obtido está de acordo com o obtido por outros autores trabalhando com um afluente semelhante a este e também com esgoto doméstico. (SILVA, 1993)

5.2.4. Fase B.II-1

A fase B.II-1 refere-se ao período do ensaio B onde foi operado o sistema completo com a lagoa aerada aeróbia em tempo de detenção hidráulica programado de 2,5 dias. Essa fase teve início no dia 14/04/2003 e estendeu-se até o dia 12/06/2003. O tempo total de operação nessa fase foi de 60 dias e está compreendido entre o 33º e o 92º dias de operação da fase B.II.

O anexo I apresenta as tabelas com os resultados do período de operação do sistema completo na fase B.II-1 referentes:

- ao acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação.
- às determinações analíticas realizadas nos efluentes da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4).

O anexo J apresenta as tabelas com os valores do período de operação do sistema completo na fase B.II-1 referentes:

- às eficiências de remoção de sólidos, DQO, DBO_5 , nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira.

Os valores que aparecem nas tabelas dos anexos I e J entre parênteses foram excluídos na elaboração das tabelas e/ou gráficos apresentados nos itens da fase B.II-1. Os valores excluídos estão também citados nos respectivos itens

5.2.4.1 Condições de operação no sistema completo

Nessa fase o volume da lagoa aerada aeróbia foi de $21,6 \text{ m}^3$. A partida da lagoa aerada aeróbia foi realizada no dia 14/04/2003 previamente inoculada com $21,6 \text{ m}^3$ do conteúdo de uma das lagoas aeradas aeróbias da ETE - Jundiaí. Imediatamente após a inoculação foi ligada a aeração e iniciada a alimentação com o efluente do reator UASB que já estava operando em tempo de detenção hidráulica de 8 horas. A lagoa de decantação que se encontrava cheia da fase anterior foi esgotada. A concentração de sólidos no inóculo da lagoa aerada aeróbia esta apresentada no quadro que segue:

Parâmetro	ST	SV	SV/ST
Valor	3490 mg/L	1410 mg/L	40%

Parâmetro	SST	SSV	SSV/SST
Valor	2960 mg/L	1225 mg/L	41%

Comparando este inóculo com o empregado na fase A.II-1 verifica-se que as relações, tanto de SV/ST quanto, de SSV/SST são menores nesta fase, indicando um lodo mais mineralizado.

A condição de tempo de detenção hidráulica programada nas unidades individuais do sistema completo na Fase B.II-1 foi a apresentada no quadro a seguir:

Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia	Lagoa de Decantação
8,0 horas	2,5 dias	1,8 dia

A tabela 5.44, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.1 e I.1, dos anexos G e I, respectivamente, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e a faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais, ao longo do período de operação do sistema completo na fase B.II-1.

Tabela 5.44: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais do sistema completo.Fase B.II-1.

Valor	Tempo de Detenção Hidráulica		
	ReatorUASB (horas)	Lagoa AeradaAeróbia (dias)	Lagoa de Decantação (dia)
Médio $\pm$ Desvio Padrão	8,8 $\pm$ 1,2	2,6 $\pm$ 0,4	1,7 $\pm$ 0,2
Faixa de Variação	7,0 – 11,7	2,1 – 3,5	1,5 – 2,1

Como se pode observar pelos resultados apresentados na tabela 5.44 as lagoas aerada aeróbia e de decantação em média operaram praticamente dentro do tempo de detenção hidráulica programado. Apenas a o reator UASB se afastou do programado.

5.2.4.2. Condições ambientais no sistema completo

Essa fase foi desenvolvida durante o período do outono. A temperatura ambiente apresentou um valor médio $\pm$ desvio padrão de 26,1°C $\pm$ 3,2°C e variando entre 21°C e 33°C. Esses resultados foram obtidos na tabela G.1, do anexo G.

A tabela 5.45 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia na fase B.II-1. Os valores para elaborar essa tabela foram obtidos na tabela G.1 e I.1, dos anexos G e I, respectivamente.

Tabela 5.45: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-1.

Valor	Temperatura (°C)		
	E_1	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia
Médio $\pm$ Desvio Padrão	24,4 $\pm$ 1,1	23,9 $\pm$ 1,5	25,2 $\pm$ 1,6
Faixa de Variação	23,0 – 26,0	22,0 – 28,0	23,0 – 28,0

Os resultados apresentados na tabela 5.45 mostram que devido ao isolamento térmico do reator UASB este operou em uma temperatura média próxima à temperatura média do afluente (E_1). Na lagoa aerada aeróbia, como não é dotada de isolamento, a temperatura média de operação ficou mais próxima temperatura ambiente média.

A concentração média de oxigênio dissolvido na lagoa aerada aeróbia, obtida a partir dos resultados da tabela G.1, do anexo G, está apresentada no quadro a seguir:

Valor Médio	Desvio padrão	Faixa de Variação
5,2 mg O ₂ /L	0,4 mg O ₂ /L	4,5 - 5,8 mg O ₂ /L

O nível de oxigênio dissolvido sempre foi superior ao recomendado pela literatura para processos biológicos aeróbios que é de 2 mg O₂/L.

A figura 5.53, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2, G.6, I.2 e I.3, dos anexos G e I, respectivamente, apresenta a variação do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-1.

Figura 5.53: Comportamento do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase B.II-1.

Na figura 5.53 pode-se observar que o pH do afluente e efluente do reator UASB variaram bastante. Após 68º dia de operação a lagoa aerada aeróbia foi capaz de absorver as variações e reduzir a sua amplitude. O efluente da lagoa de decantação apresentou um pH ligeiramente maior que o da lagoa de aerada aeróbia, provavelmente devido a presença de algas na superfície da lagoa de decantação, que removiam parte do gás carbônico fazendo com que o pH aumentasse.

A tabela 5.46 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-1. Os valores foram obtidos nas tabelas G.2, G.6, I.2 e I.3, dos anexos G e I, respectivamente

Tabela 5.46: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-1.

Valor	pH			
	E_1	E_2	E_3	E_4
Média $\pm$ Desvio Padrão	$6,9 \pm 0,3$	$6,7 \pm 0,2$	$7,2 \pm 0,2$	$7,5 \pm 0,2$
Faixa de Variação	6,5 – 7,4	6,5 – 7,1	6,9 – 7,4	7,3 – 7,7

Na tabela 5.46 pode-se verificar que o pH do afluente foi em média levemente ácido e que o reator UASB em média não operou dentro do pH ótimo para as bactérias metanogênicas. Também é possível verificar que em média o pH da lagoa de decantação é maior que o da lagoa aerada aeróbia, provavelmente devido a presença de algas na primeira.

A figura 5.54, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2, G.6 e I.3, dos anexos G e I, respectivamente, apresenta a variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-1.

Figura 5.54: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-1.

Na figura 5.54 pode-se observar que no efluente reator UASB (E_2) houve aumento da alcalinidade total em relação a do afluente. A alcalinidade total no efluente final (E_4) foi menor que a do efluente do reator UASB e variando praticamente entre 100 e 200 mg CaCO_3/L .

Na tabela 5.47 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação, da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-1.

Tabela 5.47: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-1.

Valor	Alcalinidade Total (mg CaCO_3/L)		
	E_1	E_2	E_4
Média $\pm$ Desvio Padrão	161 ± 28	274 ± 61	144 ± 42
Faixa de Variação	120 – 209	199 – 380	108 – 231

Os resultados da tabela 5.47 mostram que em termos médios não houve muita variação na alcalinidade total entre o afluente e o efluente final do sistema completo. No reator UASB houve um ligeiro aumento na alcalinidade total provavelmente devido a formação de sais de ácido acético. Nas tabelas G.6 e G.7, do anexo G, obtém-se que a relação DQO:N:P para o efluente (E_2) do reator UASB foi em média de 85:6:1. Esse resultado mostra a presença de um residual de nitrogênio e fósforo no efluente do reator UASB, indicando que também nessa etapa do ensaio B não houve falta desses nutrientes para o processo no reator UASB. A relação DQO/DBO₅ média é de 2,2 então a relação DBO:N:P média presente no efluente (E_2) do reator UASB foi de 42:5,5:1, ou seja, superior a mínima recomendada para processos aeróbios que é de 100:5:1.

5.2.4.3. Concentração de sólidos na lagoa aerada aeróbia

A figura 5.55, cujos valores foram obtidos na tabela I.2, do anexo I, apresenta o comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia na fase B.II-1. Para a elaboração dessa figura não foram considerados os resultados do 61º, 68º e 75º dias de operação.

Na figura 5.55 pode-se observar que a concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia sofreu até o 54º dia de operação uma severa lavagem do lodo do introduzido com o inóculo. Após esse período a concentração praticamente estabiliza-se entre 200 e 350 mg/L.

Figura 5.55: Comportamento da concentração de sólidos na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-1.

A tabela 5.48 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) da lagoa aerada aeróbia na fase B.II-1. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos na tabela I.2, do anexo I, excluindo-se os resultados do período de lavagem (33° ao 49° dia de operação), bem como os do 61°, 68° e 75° dias de operação.

Tabela 5.48: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-1.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
SST (mg/L)	350 $\pm$ 179	228 – 784
SSV (mg/L)	238 $\pm$ 122	160 – 530

A partir dos resultados da tabela 5.48 verifica-se que a relação SSV/SST foi em média de 0,68. Na fase B.II-1, tanto a relação SSV/SST quanto, concentração média de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia estiveram dentro do normalmente encontrada em lagoas aeradas tratando esgoto doméstico.

5.2.4.4. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo

O comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-1 é mostrado na figura 5.56. Os valores para elaborar são provenientes das tabelas G.3, G.7 e I.4, dos anexos G e I, respectivamente, excluindo-se os resultados do afluente (E_1) do 89º dia de operação e do 33º dia do efluente (E_2) bem como o do 54º dia de operação do efluente da lagoa de decantação.

Figura 5.56: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-1.

Dos resultados apresentados na figura 5.56 observa-se que a concentração de sólidos suspensos no efluente do reator UASB variou bastante chegando em vários dias a ser maior que a do afluente. Apesar disso, o conjunto lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação foi capaz de suportar essas cargas de sólidos e produzir um efluente final com baixa concentração de sólidos.

O comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-1 é mostrado na figura 5.57. Os valores para elaborar a figura foram obtidos nas tabelas G.3, G.7 e I.4, dos anexos G e I,

respectivamente, excluindo-se os resultados do afluente (E_1) do 89º dia de operação e do 33º dia do efluente (E_2) bem como o do 40º dia de operação do efluente da lagoa de decantação.

O comportamento das curvas das figuras 5.56 e 5.57 é muito semelhante logo os comentários feitos acima com relação a concentração de sólidos suspensos totais são válidos também para os resultados apresentados na figura 5.57.

Figura 5.57: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-1

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-1 é apresentado na tabela 5.49. Os valores foram obtidos nas tabelas G.3, G.7 e I.4, dos anexos G e I, respectivamente. Esses valores também não consideram os resultados excluídos para a elaboração das figuras 5.56 e 5.57.

Dos valores apresentados na tabela 5.49 observa-se que em média a concentração de sólidos suspensos no efluente (E_2) do reator UASB foi maior que a do afluente (E_1). Esse fato ocorreu em metade dos dias de ensaio nessa fase o que se reflete na média, impossibilitando a partir desses resultados avaliar a remoção de sólidos no reator UASB na fase B.II-1. Também é possível observar

que a relação SSV/SST é de 85% o que mostra que uma parcela significativa da matéria orgânica presente no efluente final (E_4) encontra-se na forma suspensa.

Tabela 5.49: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-1.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	SST (mg/L)	204 ± 36	160 – 258
	SSV (mg/L)	171 ± 28	136 – 214
E_2	SST (mg/L)	267 ± 143	146 – 636
	SSV (mg/L)	175 ± 100	86 – 364
E_4	SST (mg/L)	29 ± 21	12 – 71
	SSV (mg/L)	24 ± 16	10 – 56

A eficiência média de remoção de sólidos suspensos ao longo do sistema completo pode ser calculada a partir dos resultados da tabela e J.1, do anexo J, excluindo-se os resultados referentes ao reator UASB do 47° e 89° dias de operação, da lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação do 33°, 40° e 54° dias e do sistema completo do 40°, 54° e 89° dias de operação. A tabela 5.50 apresenta a eficiência média de remoção de SST e SSV na fase B.II-1.

Tabela 5.50: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase B.II-1.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
SST	39 ⁽¹⁾	86	87
SSV	53 ⁽¹⁾	82	87

(1) Média de três resultados.

A partir dos resultados da tabela 5.50 pode-se verificar que o reator UASB foi pouco eficiente na remoção de sólidos. Operando em média com tempo de detenção médio de 8,8 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de SST de cerca de 40%.

A lagoa aerada seguida da lagoa de decantação removeu em média 77% dos sólidos suspenso totais do efluente do reator UASB (E_2), para um tempo de detenção hidráulica médio de 2,6 dias na lagoa aerada e 1,7 dia na lagoa de decantação. O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 87% dos SST presentes no afluente (E_1), produzindo um efluente final (E_4) com uma concentração média de SST de 29 mg/L.

5.2.4.5. Remoção de matéria orgânica no sistema completo

A figura 5.58, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7, I.2 e I.4, dos anexos G e I, respectivamente, apresenta o comportamento na fase B.II-1, da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada (E_3) e de decantação (E_4).

Figura 5.58: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-1.

Dos resultados apresentados na figura 5.58 pode-se observar, tanto a variação da DQO total do afluente (E_1) quanto, a do efluente (E_2) do reator UASB. Como poderá ser visto na próxima figura o comportamento da DQO total na saída do reator UASB foi resultado do arraste de lodo com o efluente. A concentração de DQO total no efluente da lagoa aerada eróbia (E_3) também variou bastante influenciada pela saída de lodo. Apesar das variações acima descritas verifica-se que a lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação foi capaz de absorver essas variações, atenuando a sua amplitude e produzindo um efluente final (E_4) com DQO total baixa.

A figura 5.59, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7, I.2 e I.4, dos anexos G e I, respectivamente, apresenta o comportamento na fase B.II-1, da DQO total do afluente do reator

UASB (E_1), e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2) e das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4).

Figura 5.59: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2) e das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-1.

Na figura 5.59 pode-se verificar que a DQO filtrada do efluente do reator UASB foi baixa ao longo dessa fase confirmando o que foi dito acima a respeito da DQO total no efluente (E_2). Pode-se verificar também que o valor da DQO filtrada dos efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação são muito próximos sendo o valor desta última menor devido a sedimentação dos sólidos.

A figura 5.60, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e I.4, dos anexos G e I, respectivamente, apresenta o comportamento da DBO_5 total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-1.

A figura 5.61, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e I.4, dos anexos G e I, respectivamente, apresenta o comportamento da DBO_5 total do afluente do reator UASB (E_1), e da DBO_5 filtrada do efluente do reator UASB (E_2) e efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-1.

Figura 5.60: Comportamento da DBO₅ total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-1.

Figura 5.61: Comportamento da DBO₅ total do afluente do reator UASB (E₁) e da DBO₅ filtrada dos efluentes do reator UASB (E₂) e da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-1.

O comportamento das curvas de DBO_5 total nas figuras 5.60 e 5.61 é muito semelhante ao da DQO total apresentado nas figuras 5.58 e 5.59, logo são válidos os mesmos comentários feitos em relação ao parâmetro DQO.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-1, é apresentado na tabela 5.51. Os valores das tabelas foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, I.2 e I.4, dos anexos G e I, respectivamente.

Tabela 5.51: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-1.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	DQO total (mg/L)	1136 ± 233	776 – 1588
E_2	DQO total (mg/L)	784 ± 322	388 – 1690
	DQO filtrada (mg/L)	552 ± 74	480 – 664
E_3	DQO total (mg/L)	538 ± 129	293 – 735
	DQO filtrada (mg/L)	210 ± 67	132 – 310
E_4	DQO total (mg/L)	170 ± 53	100 – 289
	DQO filtrada (mg/L)	165 ± 57	88 – 269

Dos resultados da tabela 5.51 pode-se verificar que em média a DQO no efluente do reator UASB devida a sólidos suspensos é de 232 mg/L, ou seja cerca de 30% da DQO total é resultado da saída de sólidos suspensos junto com o efluente. Em todas as fases, a relação da DQO particulada com a concentração de SSV não é possível de ser feita porque as determinações não foram feitas na mesma amostra.

Ainda na tabela 5.51 pode-se verificar que em valores médios praticamente toda a matéria orgânica presente no efluente final (E_4) se encontra dissolvida.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO_5 do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-1, é apresentado nas tabelas 5.52. Os valores das tabelas foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, I.2 e I.4, dos anexos G e I, respectivamente.

Tabela 5.52: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO₅ do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase B.II-1.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	DBO ₅ total (mg/L)	611 $\pm$ 76	493 – 727
E ₂	DBO ₅ total (mg/L)	337 $\pm$ 99	229 – 514
E ₃	DBO ₅ filtrada (mg/L)	39 $\pm$ 20	17 – 72
E ₄	DBO ₅ total (mg/L)	28 $\pm$ 18	13 – 57
	DBO ₅ filtrada (mg/L)	23 $\pm$ 16	9 – 49

Com relação aos resultados da tabela 5.52 pode-se verificar que a matéria orgânica dissolvida no efluente da lagoa de decantação representa em média cerca de 80% da matéria orgânica total biodegradável.

Dos resultados apresentados nas tabelas 5.52 e 5.53 verifica-se que os valores, tanto da DQO quanto, da DBO₅ nas amostras total e filtrada do efluente da lagoa de decantação não apresentaram modificação sensível.

Com relação a qualidade da matéria orgânica presente no efluente do reator UASB, é provável que este consumiu a matéria orgânica afluente de mais fácil degradação, restando para a lagoa aerada aeróbia a mais difícil. Esse comentário baseia-se no fato de a relação DQO/DBO₅ no efluente em relação ao afluente ter aumentado em média de 1,8 para 2,3.

As eficiências médias de remoção de DQO total e DBO₅ total na fase B.II-1 estão apresentadas na tabela 5.53. Os valores foram obtidos na tabela J.2, do anexos J.

Tabela 5.53: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO₅ total. Fase B.II-1.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total	43	78	85
DBO ₅ total	45	92	96

Dos resultados da tabela 5.53 verifica-se que o reator UASB não teve um bom desempenho na remoção de matéria orgânica. O reator, operando em média com um tempo de detenção hidráulica médio de 8,8 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de DQO de 43% e de 45% de DBO₅.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação mostrou-se bastante eficiente na remoção da matéria orgânica biodegradável presente no efluente do reator UASB, com uma eficiência média de remoção de DBO₅ total de 92%, para um tempo de detenção hidráulica médio de 2,6 dias na lagoa aerada aeróbia e 1,7 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência de remoção de DBO₅ total em média de 96%, produzindo um efluente final (E₄) com uma DBO₅ média de 28 mg/L.

5.2.4.6. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo

A tabela 5.54 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e fósforo total, do afluente (E₁), efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação na fase B.II-1. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos nas tabelas G.2, G.6 e I.3, dos anexos G e I, respectivamente.

Tabela 5.54: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-1.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	Nitrogênio total (mg N/L)	51 $\pm$ 10	38 – 68
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	28,7 $\pm$ 5,0	22,4 – 36,0
	Fósforo total (mg P/L)	9,5 $\pm$ 1,2	7,7 – 11,1
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	836 $\pm$ 215	644 – 1144
E ₂	Nitrogênio total (mg N/L)	42 $\pm$ 6	34 – 50
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	30,4 $\pm$ 4,2	26,0 – 35,2
	Fósforo total (mg P/L)	7,9 $\pm$ 2,2	4,4 – 10,5
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	513 $\pm$ 95	416 – 644
E ₄	Nitrogênio total (mg N/L)	24 $\pm$ 2	22 – 26
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	5,1 $\pm$ 4,9	1,4 – 11,8
	Fósforo total (mg P/L)	3,4 $\pm$ 1,6	1,7 – 5,5
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	375 ⁽¹⁾	292 – 458

(1) média de três resultados

Na tabela 5.54 pode-se observar que no reator UASB não houve praticamente remoção de nitrogênio, efetivamente o que se verificou foi um pequeno aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, devido a transformação de parte do nitrogênio orgânico do afluente, como é típico em ambientes anaeróbios. No reator UASB a redução na concentração de nitrogênio orgânico pode ter sido devido ao crescimento bacteriano, já que o balanço de nitrogênio não fecha.

A redução na concentração de nitrogênio amoniacal no efluente da lagoa de decantação em relação ao efluente do reator UASB (afluente da lagoa aerada aeróbia), indica que nas condições de operação da lagoa aerada aeróbia a nitrificação foi parcial.

As eficiências médias de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira na fase B.II-1, estão apresentadas na tabela 5.55. Os valores foram obtidos nas tabelas J.3, J.4 e J.5, do anexos J.

Tabela 5.55: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase B.II-1.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
Nitrogênio total	30 ⁽¹⁾	46	52
Nitrogênio amoniacal		85	83
Fósforo total	37 ⁽¹⁾	56	64
Cor verdadeira	36	26 ⁽¹⁾	56 ⁽¹⁾

(1) média de três resultados

Os resultados apresentados na tabela 5.55 confirmam os dados de literatura de que o processo anaeróbio é pouco eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo.

O reator UASB operando em média com um tempo de detenção hidráulica de 8,8 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de 30% do nitrogênio total e de 37% do fósforo total do afluente. Na mesma condição de operação, também foi pouco eficiente na remoção de cor verdadeira, alcançando em média cerca de 36% de eficiência.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média respectivamente 46%, 56% e 26% do nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do efluente do reator UASB, para um tempo de detenção hidráulica em média de 2,6 dias na lagoa aerada aeróbia e 1,7 dia na lagoa de decantação. A remoção média de nitrogênio amoniacal foi de 85%.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 52% do nitrogênio total, 83% do nitrogênio amoniacal, 64% do fósforo total e 56% da cor verdadeira presentes no afluente (E₁), resultando um efluente final (E₄) com uma concentração média de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira de 24 mg N/L, 5,1 mg NH₃/L, 3,4 mg P/L e 375 mg Pt/L, respectivamente.

5.2.5. Fase B.II-2

A fase B.II-2 refere-se ao período do ensaio II onde foi operado o sistema completo com a lagoa aerada aeróbia em tempo de detenção hidráulica programado de 1,5 dia. Essa fase teve início no dia 13/06/2003 e estendeu-se até o dia 25/08/2003. O tempo total de operação nessa fase foi de 75 dias e está compreendido entre o 93° e o 166° dias de operação do ensaio B.

O anexo K apresenta as tabelas com os resultados do período de operação do sistema completo na fase B.II-2 referentes:

- ao acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação.
- às determinações analíticas realizadas nos efluentes da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4).

O anexo L apresenta as tabelas com os valores do período de operação do sistema completo na fase B.II-2 referentes:

- às eficiências de remoção de sólidos, DQO, DBO_5 , nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira.

Os valores que aparecem nas tabela dos anexos K e L entre parênteses foram excluídos na elaboração das tabelas e/ou gráficos apresentados nos itens da fase B.II-2. Os valores excluídos estão também citados nos respectivos itens

5.2.5.1. Condições de operação do sistema completo

Nessa fase o volume da lagoa aerada aeróbia foi reduzido de 21,6 m³ para 14,4 m³ descartando-se o volume correspondente e a seguir continuando-se a operação normal do sistema completo.

A condição de tempo de detenção hidráulica programada para as unidades individuais do sistema completo na Fase B.II-2 está apresentada no quadro a seguir:

Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia	Lagoa de Decantação
8,0 horas	1,5 dia	1,8 dia

A tabela 5.56, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.1 e K.1, dos anexos G e K, respectivamente, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e a faixa de variação do tempo de detenção hidráulica, medido nas unidades individuais na fase B.II-2.

Tabela 5.56: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica, medido nas unidades individuais. Fase B.II-2.

Valor	Tempo de Detenção Hidráulica		
	Reator UASB (horas)	Lagoa Aerada Aeróbia (dia)	Lagoa de Decantação (dia)
Médio $\pm$ Desvio Padrão	8,3 $\pm$ 1,3	1,7 $\pm$ 0,3	1,8 $\pm$ 0,3
Faixa de Variação	6,0 – 12,5	1,2 – 2,0	1,2 – 2,4

Como se pode observar pelos resultados apresentados na tabela 5.56, tanto o reator UASB quanto, as lagoas aerada aeróbia e de decantação em média operaram praticamente dentro do tempo de detenção hidráulica programado.

5.2.5.2. Condições ambientais no sistema completo

Essa fase do experimento foi desenvolvida durante o período do inverno. A temperatura ambiente apresentou um valor médio $\pm$ desvio padrão de 24,8°C $\pm$ 3,5°C e variando entre 14°C e 32°C. Esses resultados foram obtidos na tabela G.1, do anexo G.

A tabela 5.57 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia na fase B.II-2. Os valores para elaborar essa tabela foram obtidos na tabela G.1 e K.1, dos anexos G e K, respectivamente.

Tabela 5.57: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das temperaturas do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-2.

Valor	Temperatura (°C)		
	E_1	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia
Médio $\pm$ Desvio Padrão	22,5 $\pm$ 1,1	22,2 $\pm$ 1,2	21,7 $\pm$ 1,7
Faixa de Variação	21,0 – 25,0	18,0 – 25,0	17,0 – 25,0

Os resultados apresentados na tabela 5.57 mostram que o reator UASB operou em média numa temperatura próxima à temperatura média do afluente (E_1) devido ao isolamento térmico.

Dos valores apresentados na tabela H.1, do anexo H, obtém-se que a relação DQO:N:P para o afluente (E_1) foi em média de 119:5:1 logo, em média a quantidade dos nutrientes nitrogênio e fósforo durante o ensaio foi superior à mínima requerida para o processo anaeróbio.

Nas tabelas G.6 e G.7, do anexo G obtém-se que a relação DQO:N:P para o efluente (E_2) do reator UASB foi em média de 131:5:1. Esse resultado mostra a presença de um residual de nitrogênio e

fósforo no efluente do reator UASB, indicando que também nessa etapa do ensaio não houve falta desses nutrientes para o processo no reator UASB, admitindo que estes estavam numa forma disponível para as bactérias.

A partir dos resultados apresentados na tabela G.7, do anexo G, obtém-se que a relação DQO/DBO₅ média para o efluente (E₂) do reator UASB na fase B.II-2 foi de cerca de 2,2, então verifica-se que a relação DBO:N:P média presente no efluente (E₂) do reator UASB foi de 60:5:1, ou seja, superior a mínima recomendada para os processos aeróbios que é de 100:5:1.

Com relação a qualidade da matéria orgânica remanescente no efluente do reator UASB, considerando que houve um aumento da relação DQO/DBO₅ no efluente, é provável que este consumiu a matéria orgânica afluyente de mais fácil degradação restando para a lagoa aerada aeróbia a de mais difícil.

A concentração média de oxigênio dissolvido na lagoa aerada aeróbia, obtida a partir dos resultados da tabela K.1, do anexo K, está apresentada no quadro a seguir:

Valor Médio	Desvio Padrão	Faixa de Variação
5,5 mg O ₂ /L	1,4 mg O ₂ /L	2,0 - 8,1 mg O ₂ /L

Em média o nível de oxigênio dissolvido foi superior ao recomendado pela literatura para processos biológicos aeróbios que é de 2 mg O₂/L. Cabe ressaltar que não havia maneira de controlar o fornecimento de ar de modo a reduzir a concentração de oxigênio na lagoa aerada aeróbia.

A figura 5.62, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2, G.6, K.2 e K.3, dos anexos G e K, respectivamente, apresenta a variação do pH do afluyente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-2.

A partir dos resultados da figura 5.62 verifica-se que o reator UASB na fase B.II-2 praticamente não apresentou variação no valor do pH entre a entrada e saída. Os efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação também apresentaram um pH muito próximo, sendo o da lagoa de decantação ligeiramente superior.

A tabela 5.58 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluyente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-2.

Figura 5.62: Comportamento do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase B.II-2.

Tabela 5.58: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase B.II-2.

Valor	pH			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Média $\pm$ Desvio Padrão	6,5 $\pm$ 0,2	6,6 $\pm$ 0,2	7,4 $\pm$ 0,2	7,5 $\pm$ 0,1
Faixa de Variação	6,1 – 6,9	6,4 – 7,1	7,0 – 7,6	7,4 – 7,7

Na tabela 5.58 pode-se verificar que o pH do afluente foi em média levemente ácido e que o reator UASB em média não operou dentro do pH ótimo para as bactérias metanogênicas. Também é possível verificar quantificado o que foi dito acima com relação aos efluentes das lagoas aerada aeróbia e a decantação.

A figura 5.63, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2, G.6 e K.3, dos anexos G e K, respectivamente, apresenta a variação da alcalinidade total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação na fase B.II-2.

Figura 5.63: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação. Fase B.II-2.

Na figura 5.63 pode-se observar que no reator UASB houve aumento da alcalinidade total no efluente (E₂) em relação ao afluente (E₁), provavelmente devido a formação de sais de ácido acético. Também é possível observar que no efluente da lagoa de decantação a alcalinidade total variou pouco ficando entre 150 e 200 mg CaCO₃/L.

A tabela 5.59 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e efluente (E₄) da lagoa de decantação na fase B.II-2.

Tabela 5.59: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-2.

Valor	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)		
	E ₁	E ₂	E ₄
Média $\pm$ Desvio Padrão	172 $\pm$ 18	335 $\pm$ 61	239 $\pm$ 36
Faixa de Variação	138 – 194	270 – 433	176 – 281

Os resultados da tabela 5.59 mostram que em termos médios a alcalinidade total no efluente do reator UASB foi o dobro da medida no afluente e que após as lagoas aerada aeróbia e de decantação houve uma redução de cerca de 30% na alcalinidade total.

5.2.5.3. Concentração de sólidos na lagoa aerada aeróbia

A figura 5.64, cujos valores foram obtidos na tabela K.2, do anexos K, apresenta o comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia na fase B.II-2. Os valores do 96º, 161º e 166º dias de operação da concentração de sólidos no efluente da lagoa aerada aeróbia não foram considerados na elaboração da figura 5.63.

Figura 5.64: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-2.

Na figura 5.64 pode-se observar que a grande variação da concentração de sólidos ao longo do período de operação na fase B.II-2 o que evidencia a dificuldade em estabilizar a concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia. Esse comportamento deve ter sido agravado em parte pela impossibilidade de estabilizar também a concentração de sólidos no efluente do reator UASB.

A tabela 5.60 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) da lagoa aerada aeróbia na fase B.II-2. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos na tabela K.2, do anexo K. Os resultados da tabela 5.61 não consideram os mesmos valores que foram excluídos no caso da figura 5.63.

A tabela 5.60: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada. Fase B.II-2.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
SST (mg/L)	410 $\pm$ 158	142 – 736
SSV (mg/L)	310 $\pm$ 118	134 – 556

A partir dos resultados da tabela 5.60 verifica-se que a concentração média de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia na fase B.II-2 foi ligeiramente superior à normalmente encontrada em lagoas aeradas aeróbias tratando esgoto doméstico. A relação SSV/SST foi em média de 0,76, que é um valor típico de lagoas aeradas aeróbias tratando esgoto doméstico.

5.2.5.4. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo

O comportamento na fase B.II-2 da concentração dos sólidos suspensos totais (SST) e do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação é mostrado na figura 5.65. A figura 5.66 apresenta o comportamento da concentração dos sólidos suspensos voláteis (SSV). Os valores para elaborar as figuras são provenientes das tabelas G.3, G.7 e K.4, dos anexos G e K, respectivamente.

Dos resultados apresentados nas figuras 5.65 e 5.66 observa-se que a concentração de sólidos suspensos no reator UASB, tanto no afluente quanto, no efluente variou bastante chegando a concentração no efluente em alguns dias a ser maior que no afluente. Apesar disso, o conjunto lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação foi capaz de suportar essas cargas de sólidos atenuando a sua amplitude e produzindo um efluente final com baixa concentração de sólidos.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-2, é apresentado na tabela 5.61. Os valores foram obtidos nas tabelas G.3, G.7 e K.4, dos anexos G e K, respectivamente.

Figura 5.65: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-2.

Figura 5.66: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-2.

Tabela 5.61: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-2.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	SST (mg/L)	234 ± 70	152 – 328
	SSV (mg/L)	212 ± 64	132 – 320
E_2	SST (mg/L)	221 ± 124	100 – 412
	SSV (mg/L)	167 ± 76	96 – 296
E_4	SST (mg/L)	39 ± 22	20 – 92
	SSV (mg/L)	38 ± 18	18 – 78

Dos valores apresentados na tabela 5.61 observa-se que em média a concentração de sólidos suspensos no efluente (E_2) do reator UASB foi maior que a do afluente (E_1). A concentração de sólidos no efluente do reator UASB foi maior que a do afluente em metade dos resultados nessa fase o que se reflete sobremaneira na média, impossibilitando a partir desses resultados avaliar a remoção de sólidos no reator UASB na fase B.II-2. Ainda a partir da tabela 5.63 pode-se verificar que a relação SSV/SST é de 97% o que mostra que praticamente toda a matéria orgânica presente no efluente final encontra-se suspensa.

A eficiência média de remoção de sólidos no reator UASB pode ser calculada a partir dos resultados da tabela L.1, do anexo L, excluindo-se os resultados referentes ao reator UASB do 145° e 152° dias de operação. A tabela 5.62 apresenta a eficiência média de remoção de SST e SSV ao longo do período de operação do sistema completo na fase B.II-2. Para a elaboração dessa tabela foram excluídos os resultados de eficiência do reator UASB do 145° e 152° dias de operação.

Tabela 5.62: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase B.II-2.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
SST	57	77	81
SSV	59	75	80

A partir dos resultados da tabela 5.62 pode-se verificar que o reator UASB foi pouco eficiente na remoção de sólidos. O reator UASB, operando em média com um tempo de detenção hidráulica de 8,3 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de SST de 57%.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média 77% dos sólidos suspenso totais do efluente do reator UASB, para um tempo de detenção hidráulica médio de 1,7 dia na lagoa aerada aeróbia e 1,8 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 81% dos SST presentes no afluente (E_1), produzindo um efluente final com uma concentração média de SST de 39 mg/L.

5.2.5.5. Remoção de matéria orgânica no sistema completo

A figura 5.67, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7, K.2 e K.4, dos anexos G e K, respectivamente, apresenta o comportamento na fase B.II-2, da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Para a elaboração da figura 5.66 foram excluindo os resultados referentes a lagoa de decantação do 120º e 141º dias de operação.

Figura 5.67: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-2.

Dos resultados apresentados na figura 5.67 pode-se observar, tanto a variação da DQO total do afluente (E_1) do reator UASB quanto, a do efluente (E_2). Como poderá ser visto na próxima figura o

comportamento da DQO total no efluente do reator UASB foi devido ao arraste de lodo com o efluente visto que a DQO filtrada apresenta um valor mais baixo além de variar numa faixa mais estreita. A concentração de DQO total no efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3) também variou bastante como resultado do comportamento da concentração de sólidos no efluente. Apesar do comportamento da DQO total do efluente (E_2) verifica-se que a lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação foi capaz de absorver essas flutuações, atenuando a amplitude de variação e produzindo um efluente final (E_4) com DQO total baixa.

A figura 5.68, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7, K.2 e K.4, dos anexos, G e K, respectivamente, apresenta o comportamento na fase B.II-2, da DQO total do afluyente do reator UASB (E_1), e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2) e das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4).

Figura 5.68: Comportamento da DQO total do afluyente do reator UASB (E_1) e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2) e das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-2.

Na figura 5.68 pode-se verificar que a DQO filtrada do efluente do reator UASB foi baixa ao longo dessa fase confirmando o que foi dito acima a respeito do valor da DQO total do efluente (E_2).

Pode-se verificar também que os valores das DQO filtrada dos efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação são muito próximos sendo o valor desta última ligeiramente menor devido a sedimentação dos sólidos.

Comparando os resultados da DQO total e filtrada do efluente (E_4) apresentados nas figuras 5.67 e 5.68, pode-se verificar que são muito próximos mostrando que a matéria orgânica remanescente no efluente final encontra-se praticamente toda dissolvida. esse resultado também mostra a boa eficiência da lagoa de decantação na separação dos sólidos do efluente da lagoa aerada aeróbia.

A figura 5.69, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e K.4, dos anexos G e K, respectivamente, apresenta o comportamento da DBO_5 total do afluentes (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-2.

Figura 5.69: Comportamento da DBO_5 total do afluentes (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-2.

A figura 5.70, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e K.4, dos anexos G e K, respectivamente, apresenta o comportamento da DBO_5 total do afluentes do reator UASB (E_1), e da DBO_5 filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2) e da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-2.

Figura 5.70: Comportamento da DBO₅ total do afluente do reator UASB (E₁) e da DBO₅ filtrada do efluente do reator UASB (E₂) e efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-2.

O comportamento das curvas de DBO₅ nas figuras 5.69 e 5.70 é muito semelhante ao da DQO apresentado nas figuras 5.67 e 5.68, logo são válidos os mesmos comentários feitos em relação ao parâmetro DQO.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-2, é apresentado na tabela 5.63. Os valores das tabelas foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, K.2 e K.3, dos anexos G e K, respectivamente, excluindo-se o resultado de DQO total da lagoa aerada aeróbia do 146º dia de operação.

Dos resultados apresentados na tabela 5.63, pode-se verificar que em média a DQO no efluente do reator UASB devida a sólidos (DQO particulada) é de 396 mg/L, ou seja, cerca de 41% da DQO total é devida a presença de sólidos suspensos no efluente. Pode-se verificar também que em valores médios uma grande parcela (93%) da matéria orgânica presente no efluente final (E₄) encontra-se dissolvida.

Tabela 5.63: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-2.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	DQO total (mg/L)	1541 ± 504	612 – 2518
E_2	DQO total (mg/L)	975 ± 346	354 – 1517
	DQO filtrada (mg/L)	579 ± 140	349 – 813
E_3	DQO total (mg/L)	662 ± 240	296 – 1141
	DQO filtrada (mg/L)	262 ± 40	179 – 308
E_4	DQO total (mg/L)	229 ± 45	159 – 296
	DQO filtrada (mg/L)	213 ± 39	161 – 265

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO_5 do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-2, é apresentado na tabela 5.64. Os valores das tabelas foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, K.2 e K.4, dos anexos G e K.

Tabela 5.64: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO_5 do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-2.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	DBO_5 total (mg/L)	888 ± 231	565 – 1203
E_2	DBO_5 total (mg/L)	434 ± 182	178 – 723
E_3	DBO_5 filtrada (mg/L)	80 ± 29	47 – 139
E_4	DBO_5 total (mg/L)	57 ± 21	33 – 97
	DBO_5 filtrada (mg/L)	53 ± 18	33 – 86

A partir dos resultados de DBO_5 do efluente da lagoa de decantação apresentados na tabela 5.64, verifica-se que em média 93% da matéria orgânica presente no efluente final se encontra dissolvida.

Dos resultados apresentados nas tabelas 5.63 e 5.64 verifica-se que os valores, tanto da DQO quanto, da DBO_5 nas amostras total e filtrada não apresentaram modificação sensível e bem definida após passar pela lagoa de decantação.

As eficiências médias de remoção de DQO total e DBO_5 total na fase B.II-2 estão apresentadas na tabela 5.65. Os valores foram obtidos na tabela L.2, do anexo L.

Tabela 5.65: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO₅ total. Fase B.II-2.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total	50	73	86
DBO ₅ total	55	86	93

Dos resultados da tabela 5.65 verifica-se que o reator UASB teve um desempenho na remoção de matéria orgânica biodegradável dentro do citado na literatura. O reator, operando em média com um tempo de detenção hidráulica médio de 8,3 horas, apresentou uma eficiência de remoção de DQO total de 50% e de 55% de DBO₅ total.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação mostrou-se adequado para complementar a remoção da matéria orgânica biodegradável do efluente do reator UASB (E₂), com uma eficiência média de remoção de DBO₅ total de 86%, para um tempo de detenção hidráulica de 1,7 dia na lagoa aerada aeróbia e 1,8 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência de remoção de DBO₅ total em média de 93%, produzindo um efluente final (E₄) com uma DBO₅ média de 57 mg/L.

5.2.5.6. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo.

A tabela 5.66 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira, do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação na fase B.II-2. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos nas tabelas G.2, G.6 e K.3, dos anexos G e K, respectivamente.

A partir dos resultados apresentados na tabela 5.66 verifica-se que no reator UASB não houve praticamente remoção de nitrogênio o que está dentro do esperado. No efluente verificou-se um pequeno aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, devido a transformação de parte do nitrogênio orgânico do afluente, como é típico em ambientes anaeróbios. No reator UASB a redução na concentração de nitrogênio total pode ser devido ao consumo de nitrogênio orgânico para crescimento bacteriano, já que o balanço de nitrogênio não fecha.

Tabela 5.66: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-2.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	Nitrogênio total (mg N/L)	62 $\pm$ 16	44 – 84
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	23,1 $\pm$ 5,9	16,3 – 32,4
	Fósforo total (mg P/L)	14,3 $\pm$ 3,9	10,0 – 17,9
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	1337 ⁽¹⁾	76,4 – 2180
E ₂	Nitrogênio total (mg N/L)	44 $\pm$ 7	32 – 50
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	32,6 $\pm$ 6,9	27,3 – 43,1
	Fósforo total (mg P/L)	9,1 $\pm$ 2,9	6,9 – 13,3
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	852 ⁽¹⁾	386 – 1532
E ₄	Nitrogênio total (mg N/L)	25 $\pm$ 3	22 – 28
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	10,6 $\pm$ 4,4	4,4 – 15,7
	Fósforo total (mg P/L)	5,5 $\pm$ 1,0	4,1 – 6,6
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	597 ⁽¹⁾	452 – 692

(1) média de três resultados

Em dois dias ao longo da fase B.II-2 foram determinadas as concentrações de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito do efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). A tabela 5.67 apresenta o resultado dessas determinações.

Tabela 5.67: Valores das concentrações de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito no efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	Efluente da Lagoa Aerada Aeróbia (E ₃)			
	Concentração de Nitrogênio			
	Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH ₃ /L)	Nitrato (mg NO ₃ ⁻ /L)	Nitrito (mg NO ₂ ⁻ /L)
132°	36	11,1	4,1	2,2
160°	48	14,6	6,3	3,4

A tabela 5.68, cujos valores foram obtidos na tabela G.6 e K.3, dos anexos G e K, respectivamente, apresenta as concentrações de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal no afluente da lagoa aerada aeróbia (E₂) (efluente do reator UASB) e no efluente da lagoa de decantação (E₄) em dois dias na fase B.II-2.

A partir dos resultados das tabelas 5.67 e 5.68 pode-se verificar que no efluente da lagoa aerada aeróbia em relação ao afluente houve uma redução média de cerca de 60% na concentrações de nitrogênio amoniacal. Esse resultado e a presença de nitrato e nitrito no efluente da lagoa indicam que pelo menos nesses dois dias houve algum grau de nitrificação na lagoa aerada aeróbia. O

aumento na concentração de nitrogênio orgânico no efluente da lagoa aerada aeróbia em relação ao afluente foi provavelmente devido a saída de sólidos biológicos no efluente.

Tabela 5.68: Valores das concentrações de nitrogênio total e amoniacal no afluente da lagoa aerada aeróbia (E₂) e no efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	Concentração de Nitrogênio			
	E ₂		E ₄	
	Total	Amoniacal	Total	Amoniacal
	(mg N/L)	(mg NH ₃ /L)	(mg N/L)	(mg NH ₃ /L)
132°	32	29	22	12,7
160°	48	36	26	15,7

Ainda a partir dos resultados das tabelas 5.67 e 5.68 pode-se verificar uma redução na concentração de nitrogênio total no efluente da lagoa de decantação em relação ao efluente da lagoa aerada aeróbia devido a sedimentação dos sólidos. Também é possível observar que a concentração de nitrogênio amoniacal não sofre alteração de valor ao passar pela lagoa de decantação.

As eficiências médias de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira na fase B.II-2, estão apresentadas na tabela 5.69. Os valores foram obtidos nas tabelas L.3, L.4 e L.5, do anexo L.

Tabela 5.69: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase B.II-2.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
Nitrogênio total	26	42	58
Nitrogênio amoniacal		66	54
Fósforo total	37	36	60
Cor verdadeira	30 ⁽¹⁾	42 ⁽²⁾	49 ⁽¹⁾

(1) média de três resultados

(2) média de dois resultados

Os resultados da tabela 5.69 confirmam os dados de literatura de que o reator UASB é pouco eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo. O reator UASB, operando em média com um tempo de detenção hidráulica de 8,3 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de 26% do nitrogênio total e de 37% do fósforo total do afluente. Ainda a partir dos resultados apresentados na tabela 5.69 verifica-se que o reator UASB, operando em média com um tempo de detenção

hidráulica de 8,3 horas, também não foi eficiente na remoção de cor verdadeira, alcançando em média 30% de eficiência.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média respectivamente, 42%, 36% e 42% do nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do efluente do reator UASB (E_2), para um tempo de detenção hidráulica em média de 1,7 dia na lagoa aerada aeróbia e de 1,8 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 58% do nitrogênio total, 54% do nitrogênio amoniacal, 60% do fósforo total e 50% da cor verdadeira presente no afluente (E_1), resultando em um efluente final (E_4) com concentrações médias de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira de 25 mg N/L, 10,6 mg NH_3 /L, 5,5 mg P/L e 597 mg Pt/L, respectivamente.

5.2.6 Fase B.II-3

A fase B.II-3 refere-se ao período do ensaio B onde foi operado o sistema completo com a lagoa aerada aeróbia em tempo de detenção hidráulica programado de 1,0 dia. Essa fase teve início no dia 26/08/2003 e estendeu-se até o dia 09/10/2003. O tempo total de operação nessa fase foi de 45 dias e está compreendido entre o 167° e o 211° dias de operação do ensaio B.

O anexo M apresenta as tabelas com os resultados do período de operação do sistema completo na fase B.II-3 referentes:

- ao acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação.
- às determinações analíticas realizadas nos efluentes da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4).

O anexo N apresenta as tabelas com os valores do período de operação do sistema completo na fase B.II-3 referentes:

- às eficiências de remoção de sólidos, DQO, DBO_5 , nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira.

Os valores que aparecem nas tabelas dos anexos M e N entre parênteses foram excluídos na elaboração das tabelas e/ou figuras apresentados nos itens da fase B.II-3. Os valores excluídos estão também citados nos respectivos itens.

5.2.6.1. Condições de operação do sistema completo

Nessa fase o volume da lagoa aerada aeróbia foi reduzido de 14,4 m³ para 7,2 m³ descartando-se o volume correspondente e a seguir continuando-se a operação normal do sistema completo.

A condição de tempo de detenção hidráulica programada nas unidades individuais do sistema completo na Fase B.II-3 está apresentada no quadro a seguir:

Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia	Lagoa de Decantação
8,0 horas	1,0 dia	1,8 dia

A tabela 5.70, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.1 e M.1, dos anexos G e M, respectivamente, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e a faixa de variação do tempo de detenção hidráulica, medido nas unidades individuais na fase C-II.

Tabela 5.70: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais. Fase B.II-3.

Valor	Tempo de Detenção Hidráulica		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia	Lagoa de Decantação
	(horas)	(dias)	(dia)
Médio $\pm$ Desvio Padrão	8,6 $\pm$ 1,4	0,9 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,2
Faixa de Variação	6,7 – 12,3	0,7 – 1,2	1,3 – 2,3

Como se pode observar pelos resultados apresentados na tabela 5.70 as lagoas aerada aeróbia e de decantação em média operaram praticamente dentro do tempo de detenção hidráulica programado. Apenas o reator UASB se afastou do programado.

5.2.6.2. Condições ambientais no sistema completo

Essa fase do experimento foi desenvolvida durante o fim do inverno e começo da primavera. A temperatura ambiente apresentou um valor médio $\pm$ desvio padrão de 27,3°C $\pm$ 5,4°C e variando entre 15°C e 35°C. Esses resultados foram obtidos na tabela G.1, do anexo G.

A tabela 5.71 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura, do afluente (E₁), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia na fase B.II-3. Os valores para elaborar essa tabela foram obtidos na tabela G.1 e M.1, dos anexos G e M, respectivamente.

Tabela 5.71: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-3.

Valor	Temperatura (°C)		
	E_1	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia
Médio $\pm$ Desvio Padrão	23,2 $\pm$ 1,6	23,4 $\pm$ 2,1	22,0 $\pm$ 1,9
Faixa de Variação	20 – 26	20 – 29	18 – 25

Os resultados apresentados na tabela 5.71 mostram que devido ao isolamento térmico do reator UASB este operou em uma temperatura média próxima à temperatura média do afluente (E_1). Na lagoa aerada aeróbia a temperatura média de operação ficou acima de 20 °C.

Dos valores apresentados na tabela H.1, do anexo H, obtém-se que a relação DQO:N:P para o afluente (E_1) na fase B.II-3 foi em média de 173:6:1 logo, em média a quantidade dos nutrientes nitrogênio e fósforo durante o ensaio foi superior à mínima requerida para o processo.

Nas tabelas G.6 e G.7, do anexo G, obtém-se que a relação DQO:N:P para o efluente (E_2) do reator UASB foi em média de 94:5,4:1. Esse resultado mostra a presença de um residual de nitrogênio e fósforo no efluente do reator UASB, indicando que também nessa fase não houve falta desses nutrientes para o processo no reator UASB. A relação DQO/DBO₅ média é de 2,4 então a relação DBO:N:P média presente no efluente (E_2) do reator UASB foi de 39:5:1, ou seja, superior a mínima recomendada para processos aeróbios que é de 100:5:1.

A concentração média de oxigênio dissolvido na lagoa aerada aeróbia, obtida a partir dos resultados da tabela M.1, do anexo K, está apresentada no quadro a seguir:

Valor Médio	Desvio padrão	Faixa de Variação
5,7 mg O ₂ /L	0,8 mg O ₂ /L	4,3 - 7,7 mg O ₂ /L

O nível de oxigênio dissolvido na fase B.II-3 foi superior ao mínimo recomendado pela literatura para processos biológicos aeróbios que é de 2 mg O₂/L.

A figura 5.71, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2, G.6, M.2 e M.3, dos anexos G e M, respectivamente, apresenta a variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-3.

Figura 5.71: Comportamento do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-3.

A partir da figura 5.71 pode-se verificar que o pH do afluente do reator UASB apresentou-se ácido enquanto o do efluente variou praticamente entre 6,5 e 6,9. A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação foi capaz de absorver as variações do pH, reduzindo sua amplitude e produzindo um efluente final com pH acima de 7,0.

A tabela 5.72 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação, do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-3.

Tabela 5.72: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-3.

Valor	pH			
	E_1	E_2	E_3	E_4
Média $\pm$ Desvio Padrão	$6,2 \pm 0,5$	$6,8 \pm 0,3$	$7,5 \pm 0,1$	$7,4 \pm 0,2$
Faixa de Variação	5,3 – 6,7	7,4 – 6,5	7,4 – 7,8	7,1 – 7,7

Na tabela 5.72 pode-se verificar que o pH do afluente foi em média levemente ácido e que após o reator UASB em média o pH aumentou, ficando próximo do neutro. Também é possível verificar a pequena diferença entre os valores do pH das lagoas aerada aeróbia e de decantação.

A figura 5.72, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2, G.6 e M.3, dos anexos G e M, respectivamente, apresenta a variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-3.

Figura 5.72: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.

Na figura 5.72 pode-se observar que a alcalinidade total no efluente do reator UASB aumentou em relação ao afluente, enquanto no efluente final (E_4) não houve muita alteração em relação ao valor no efluente do reator UASB.

A tabela 5.73 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total, do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-3.

Tabela 5.73: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-3.

Valor	Alcalinidade Total (mg CaCO_3/L)		
	E_1	E_2	E_4
Média $\pm$ Desvio Padrão	154 ± 36	296 ± 38	285 ± 46
Faixa de Variação	107 – 201	257 – 350	223 – 348

Os resultados da tabela 5.73 mostram que em termos médios não houve muita variação na alcalinidade total entre o afluente e o efluente final do sistema completo. Ainda a partir dos resultados da tabela 5.75 pode-se verificar que no reator UASB houve um ligeiro aumento na alcalinidade total, provavelmente devido a formação de sais de ácido acético, porém não foi suficiente para manter o pH na faixa neutra.

5.2.6.3. Concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia

A figura 5.73, cujos valores foram obtidos na tabela M.2, do anexo M, apresenta o comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia na fase B.II-3. Para a elaboração da figura não foram considerados os resultados do 168°, 173°, 182° e 210° dias de operação.

Figura 5.73: Comportamento da concentração de SST e SSV na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-3.

Na figura 5.73 pode-se observar que a concentração de sólidos na lagoa aerada aeróbia após um período de relativa estabilidade entre 150 – 250 mg/L passa, a partir do 187º dia de operação, a aumentar coincidindo com um período de grande perda de sólidos com o efluente do reator UASB.

A tabela 5.74 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia na fase B.II-3. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos na tabela M.2, do anexo M. Os resultados da tabela 5.77 não consideram os mesmos valores que foram excluídos no caso da figura 5.73.

A tabela 5.74: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-3.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
SST (mg/L)	302 $\pm$ 107	172 – 484
SSV (mg/L)	236 $\pm$ 79	186 – 372

A partir dos resultados da tabela 5.74 verifica-se que a relação SSV/SST na lagoa aerada aeróbia foi em média de 0,78. Na fase B.II-3, tanto esse resultado quanto, a concentração média de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia estiveram dentro dos valores típicos de lagoas aeradas aeróbia tratando esgoto doméstico.

5.2.6.4. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo

As figuras 5.74 e 5.75 respectivamente apresentam o comportamento da concentração de sólidos suspensos totais e suspensos voláteis do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-3. Os valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente. Para elaborar essas figuras foi excluído o resultado do efluente (E_2) do 194 º dia de operação.

Dos resultados apresentados nas figuras 5.74 e 5.75 observa-se que a concentração de sólidos suspensos no afluente (E_1) variou muito pouco nesta fase. A concentração no efluente do reator UASB, entretanto, variou bastante em função da saída de sólidos ficando praticamente sempre em valores bem superiores ao do afluente. Apesar disso, a lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação foi capaz de suportar essas cargas de sólidos e produzir um efluente final com uma concentração de sólidos suspensos, tanto totais quanto, voláteis abaixo de 100 mg/L.

Figura 5.74: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.

Figura 5.75: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração, de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-3, é apresentado na tabela 5.75. Os valores foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, M.2 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente. Aqui também foi desconsiderado o resultado do efluente (E_2) do 194º dia de operação.

Tabela 5.75: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-3.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	SST (mg/L)	264 ± 32	228 – 322
	SSV (mg/L)	232 ± 29	204 – 286
E_2	SST (mg/L)	595 ± 309	128 – 960
	SSV (mg/L)	444 ± 224	100 – 700
E_4	SST (mg/L)	54 ± 18	38 – 87
	SSV (mg/L)	50 ± 14	41 – 75

Dos valores apresentados na tabela 5.75 observa-se que em média a concentração de sólidos suspensos no efluente do reator UASB foi praticamente o dobro que a do afluente (E_1). Comparando estes resultados com os das outras fases do ensaio B, esta foi a que apresentou em média as mais altas concentração de sólidos suspensos no efluente final (E_4). Em relação por exemplo à fase B.II-2 houve um aumento de pouco mais de 30% na concentração de SSV no efluente da lagoa de decantação. Ainda pode-se verificar que a relação SSV/SST é de 92% o que mostra que praticamente toda a matéria orgânica presente no efluente final encontra-se na forma suspensa.

Nesta fase foi impossível avaliar a remoção de sólidos suspensos no reator UASB devido a que a concentração de sólidos no efluente (E_2) foi maior do que a do afluente (E_1) em cinco dos seis resultados disponíveis. Com base no único resultado em que ocorreu o contrário, a remoção de SST foi de 48% e a de SSV de 51%.

As eficiências médias de remoção de SST e SSV no sistema completo (exceto reator UASB) na fase B.II-3 pode ser calculada a partir dos resultados da tabela N.1, do anexo N e estão apresentadas na tabela 5.76.

Tabela 5.76: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase B.II-3.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)	
	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
SST	86	79
SSV	82	78

A partir dos resultados da tabela 5.76 pode-se verificar que a lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média 86% dos sólidos suspenso totais do efluente do reator UASB, para um tempo de detenção hidráulica médio de 0,9 dia na lagoa aerada aeróbia e 1,8 dia na lagoa de decantação. O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de cerca de 80% dos SST presentes no afluente (E_1), produzindo um efluente final (E_4) com uma concentração média de SST de 54 mg/L.

5.2.6.5. Remoção de matéria orgânica no sistema completo

A figura 5.76, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7, M.2 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente, apresenta o comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-3.

Figura 5.76: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-3.

Dos resultados apresentados na figura 5.76 pode-se observar a variação da DQO total do afluente (E_1) do reator UASB e como poderá ser visto na próxima figura, analisando os resultados da DQO filtrada do efluente do reator UASB, a DQO total de saída do reator UASB foi alta devido ao arraste de lodo com o efluente. A concentração de DQO total no efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3) variou bastante como resultado da saída de sólidos. Apesar do comportamento da DQO total no efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3) verifica-se que a lagoa de decantação foi capaz de absorver essas flutuações, atenuando a amplitude de variação e produzindo um efluente final (E_4) com DQO total praticamente entre 200 e 300 mg/L.

A figura 5.77, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7, M.2 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente, apresenta o comportamento da DQO total do afluente do reator UASB (E_1) e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2), da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-3.

Figura 5.77: Comportamento da DQO total do afluente do reator UASB (E_1) e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2), da lagoa aerada aeróbia (E_3) da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-3.

Na figura 5.77 pode-se verificar que a DQO filtrada do efluente do reator UASB foi baixa nessa fase confirmando o que foi dito acima a respeito do valor da DQO total no efluente (E_2). Pode-se verificar também que o valor da DQO filtrada dos efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação são muito próximos sendo o valor desta última menor devido a sedimentação dos sólidos.

Comparando os resultados de DQO total e filtrada do efluente (E_4) apresentados nas figuras 5.76 e 5.77, pode-se verificar que são muito próximos mostrando que a matéria orgânica remanescente no efluente final encontra-se praticamente toda dissolvida.

A figura 5.78, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente, apresenta o comportamento da DBO_5 total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-3. A figura 5.79, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente, apresenta o comportamento da DBO_5 total do afluente do reator UASB (E_1), e da DBO_5 filtrada do efluente do reator UASB (E_2) e efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-3.

Figura 5.78: Comportamento da DBO_5 total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-3.

Figura 5.79: Comportamento da DBO₅ total do afluente do reator UASB (E₁) e da DBO₅ filtrada do efluente do reator UASB (E₂) e efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-3.

O comportamento das curvas de DBO₅ nas figuras 5.78 e 5.79 é muito semelhante ao da DQO apresentado nas figuras 5.76 e 5.77, logo são válidos os mesmos comentários feitos em relação ao parâmetro DQO.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-3, é apresentado na tabela 5.77. Os valores da tabela foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, M.2 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente. Para elaborar a tabela foi excluído o resultado de DQO total do efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃) do 204º dia de operação e do 174º da lagoa de decantação (E₄).

Dos resultados da tabela 5.77 pode-se verificar que em média a DQO no efluente do reator UASB devida a sólidos é de 340 mg/L, ou seja cerca de 44% da DQO total é devida à saída de sólidos suspensos junto com o efluente (E₂). Pode-se verificar também que no efluente da lagoa aerada aeróbia cerca de 57% da DQO total é devida a sólidos suspensos. Finalmente verifica-se que em valores médios 90% da matéria orgânica presente no efluente final encontra-se dissolvida.

Tabela 5.77: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluentes (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase B.II-3.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	DQO total (mg/L)	1507 $\pm$ 239	1157 – 1926
E ₂	DQO total (mg/L)	779 $\pm$ 205	568 – 1194
	DQO filtrada (mg/L)	439 $\pm$ 77	326 – 517
E ₃	DQO total (mg/L)	552 $\pm$ 190	285 – 1021
	DQO filtrada (mg/L)	238 $\pm$ 39	189 – 291
E ₄	DQO total (mg/L)	265 $\pm$ 39	233 – 341
	DQO filtrada (mg/L)	237 $\pm$ 10	223 – 246

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO₅ do afluentes (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-3, é apresentado na tabela 5.78. Os valores da tabela foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, M.2 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente.

Tabela 5.78: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO₅ do afluentes (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase B.II-3.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	DBO ₅ total (mg/L)	757 $\pm$ 185	470 – 963
E ₂	DBO ₅ total (mg/L)	272 $\pm$ 74	197 – 384
E ₃	DBO ₅ filtrada (mg/L)	59 $\pm$ 17	47 – 87
E ₄	DBO ₅ total (mg/L)	83 $\pm$ 64	50 – 132
	DBO ₅ filtrada (mg/L)	52 $\pm$ 13	41 – 69

Com relação aos resultados de DBO₅ do efluente da lagoa de decantação apresentados na tabela 5.78, verifica-se que em média um pouco mais de 63% da matéria orgânica biodegradável presente no efluente final encontra-se dissolvida.

Com relação a qualidade da matéria orgânica no efluente (E₂) do reator UASB é provável que este consumiu a matéria orgânica do afluentes (E₁) de mais fácil degradação restando para a lagoa aerada aeróbia a de mais difícil.

As eficiências médias de remoção de DQO total e DBO₅ total na fase B.II-3 estão apresentadas na tabela 5.79. Os valores foram obtidos na tabela N.2, do anexos N. Para elaborar a tabela foram

excluídos os resultados de remoção de DQO total da lagoa aerada aeróbia + da lagoa de decantação e do sistema completo do 174º dia de operação e do 202º do reator UASB.

Dos resultados da tabela 5.79 verifica-se que o reator UASB teve um bom desempenho na remoção de matéria orgânica. O reator, operando em média com tempo de detenção hidráulica médio de 8,6 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de DQO total de 51% e de 63% de DBO₅ total.

Tabela 5.79: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO₅ total. Fase B.II-3.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total	51	61	82
DBO ₅ total	63	67	87

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação mostrou-se adequado para complementar a remoção da matéria orgânica biodegradável do efluente do reator UASB (E₂), com uma eficiência média de remoção de DBO₅ total de 67%, para um tempo de detenção hidráulica médio de 0,9 dia na lagoa aerada aeróbia.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de DBO₅ total de 87%, produzindo um efluente final (E₄) com uma DBO₅ média de 83 mg/L.

5.2.6.6. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo.

A tabela 5.80 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e fósforo total na fase B.II-3, do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos nas tabelas G.2, G.6 e M.3, dos anexos G e M, respectivamente.

Na tabela 5.80 pode-se verificar que no reator UASB houve uma pequena redução na concentração de nitrogênio total no efluente em relação ao afluente, devido a transformação de parte do nitrogênio orgânico do afluente em nitrogênio amoniacal, como é típico em ambientes anaeróbios. Além desse consumo de nitrogênio orgânico, outra parte deve ter sido usada no crescimento bacteriano, já que o balanço de nitrogênio não fecha.

Tabela 5.80: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-3.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	Nitrogênio total (mg N/L)	53 $\pm$ 5	48 – 60
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	20,7 $\pm$ 2,7	17,7 – 24,0
	Fósforo total (mg P/L)	9,2 $\pm$ 1,7	6,7 – 10,4
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	1019 ⁽¹⁾	940 – 1144
E ₂	Nitrogênio total (mg N/L)	48 $\pm$ 6	40 – 56
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	30,7 ⁽¹⁾	28,9 – 32,3
	Fósforo total (mg P/L)	9,0 $\pm$ 1,9	7,1 – 11,5
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	704 ⁽¹⁾	492 – 904
E ₄	Nitrogênio total (mg N/L)	38 $\pm$ 6	32 – 44
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	18,9 ⁽¹⁾	17,4 – 20,0
	Fósforo total (mg P/L)	6,4 $\pm$ 1,8	5,1 – 8,5
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	577 ⁽¹⁾	500 – 614

(1) média de três resultados

Em dois dias ao longo da fase B.II-3 foram determinadas as concentrações de nitrogênio total, amoniacal, nitrato e nitrito no efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). A tabela 5.81 apresenta o resultado dessas determinações.

Tabela 5.81: Valores das concentrações de nitrogênio total, amoniacal, nitrato e nitrito no efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	Efluente da Lagoa Aerada Aeróbia (E ₃)			
	Concentração de Nitrogênio			
	Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH ₃ /L)	Nitrato (mg NO ₃ ⁻ /L)	Nitrito (mg NO ₂ ⁻ /L)
202°	52	14,8	2,9	1,3
209°	100	8,8	10,4	3,5

A tabela 5.82, cujos valores foram obtidos na tabela G.6 e M.4, dos anexos G e M, respectivamente, apresenta as concentrações de nitrogênio total e amoniacal no afluente da lagoa aerada aeróbia (E₂) (efluente do reator UASB) e no efluente da lagoa de decantação (E₄) em dois dias na fase B.II-3.

A partir dos resultados das tabelas 5.81 e 5.82 pode-se verificar que no efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃) em relação ao afluente (E₂) houve uma redução de mais de 50% na concentração de nitrogênio amoniacal. Esse resultado e a presença de nitrato e nitrito no efluente da lagoa indicam que pelo menos nesses dois dias houve algum grau de nitrificação na lagoa aerada aeróbia. O

aumento na concentração de nitrogênio orgânico no efluente da lagoa aerada aeróbia em relação ao afluente foi provavelmente é devido a saída de sólidos biológicos no efluente.

Tabela 5.82: Valores das concentrações de nitrogênio total e amoniacal no afluente da lagoa aerada aeróbia (E_2) e no efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	Concentração de Nitrogênio			
	E_2		E_4	
	Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH_3 /L)	Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH_3 /L)
202°	56	31	34	19
209°	48	29	32	17

Ainda a partir dos resultados das tabelas 5.81 e 5.82 pode-se verificar uma redução na concentração de nitrogênio total no efluente da lagoa de decantação em relação ao efluente da lagoa aerada aeróbia é resultado da sedimentação dos sólidos.

As eficiências médias de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira na fase B.II-3, estão apresentadas na tabela 5.83. Os valores foram obtidos nas tabelas N.3, N.4 e N.5, do anexo N.

Tabela 5.83: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase B.II-3.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
Nitrogênio total	16 ⁽¹⁾	27	28 ⁽²⁾
Nitrogênio amoniacal		38 ⁽²⁾	13 ⁽¹⁾
Fósforo total	11 ⁽²⁾	36 ⁽¹⁾	39
Cor verdadeira	40 ⁽²⁾	23 ⁽²⁾	42 ⁽¹⁾

(1) média de três resultados

(2) (2) :média de dois resultados.

Os resultados da tabela 5.83 confirmam os dados de literatura que o processo anaeróbio é pouco eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo. O reator UASB, operando em média com tempo de detenção hidráulica de 8,6 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de 16% do nitrogênio total e de 11% do fósforo total presentes no afluente (E_1). Ainda a partir dos resultados da tabela 5.83 verifica-se que o reator UASB também não foi eficiente na remoção de cor verdadeira do afluente, alcançando em média 40% de eficiência.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média respectivamente 27%, 36% e 23% do nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do efluente do reator UASB, para um tempo de detenção hidráulica médio de 0,9 dia na lagoa aerada aeróbia e de 1,8 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 28% do nitrogênio total, 13% do nitrogênio amoniacal, 39% do fósforo total e 42% da cor verdadeira presente no afluente (E_1), resultando em um efluente final (E_4) com uma concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira em média de 38 mg N/L, 19 mg NH_3 /L, 6,4 mg P/L, e 577 mg Pt/L, respectivamente.

5.2.7. Fase B.II-4

A fase B.II-4 refere-se ao período do ensaio II onde foi operado o sistema completo com a lagoa aerada aeróbia em tempo de detenção hidráulica programado de 3,5 dias. Essa fase teve início no dia 10/10/2003 e estendeu-se até o dia 19/11/2003. O tempo total de operação nessa fase foi de 41 dias e está compreendido entre o 212º e o 252º dias de operação do ensaio II.

O anexo O apresenta as tabelas com os resultados do período de operação do sistema completo na fase B.II-4 referentes:

- ao acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação.
- às determinações analíticas realizadas nos efluentes da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4).

O anexo P apresenta as tabelas com os valores do período de operação do sistema completo na fase B.II-4 referentes:

- às eficiências de remoção de sólidos, DQO, DBO_5 , nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira.

Os valores que aparecem nas tabelas dos anexos O e P entre parênteses foram excluídos na elaboração das tabelas e/ou figuras apresentados nos itens a seguir. Os valores excluídos estão também citados nos respectivos itens.

5.2.7.1. Condições de operação do sistema completo

Para a execução dessa fase foi restabelecido o volume de 21,6 m³ na lagoa aerada aeróbia apenas enchendo com o efluente do reator UASB e continuando-se a operação normal do sistema completo.

A condição de tempo de detenção hidráulica programada nas unidades individuais do sistema completo na Fase B.II-4 está apresentada no quadro a seguir:

Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia	Lagoa de Decantação
8,0 horas	3,5 dias	1,8 dia

A tabela 5.84, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.1 e O.1, dos anexos G e O, respectivamente, apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e a faixa de variação do tempo de detenção hidráulica, medido nas unidades individuais na fase B.II-4.

Tabela 5.84: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do tempo de detenção hidráulica medido nas unidades individuais. Fase B.II-4.

Valor	Tempo de Detenção Hidráulica		
	Reator UASB (horas)	Lagoa Aerada Aeróbia (dias)	Lagoa de Decantação (dia)
Médio $\pm$ Desvio Padrão	8,2 $\pm$ 1,3	3,8 $\pm$ 0,7	1,7 $\pm$ 0,1
Faixa de Variação	5,5 – 13,1	3,1 – 5,4	1,5 – 1,8

Como se pode observar pelos resultados apresentados na tabela 5.84, tanto o reator UASB quanto, a lagoa de decantação em média operaram praticamente dentro do tempo de detenção hidráulica programado. A lagoa aerada aeróbia entretanto se afastou ligeiramente do programado.

5.2.7.2. Condições ambientais no sistema completo

Essa fase do experimento foi desenvolvida durante a primavera. A temperatura ambiente apresentou um valor médio $\pm$ desvio padrão de 27,4°C $\pm$ 4,0°C e variando entre 19°C e 35°C. Esses resultados foram obtidos na tabela G.1, do anexo G.

A tabela 5.85 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E₁), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia na fase B.II-4. Os valores para elaborar essa tabela foram obtidos nas tabelas G.1 e O.1, dos anexos G e O, respectivamente.

Tabela 5.85: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da temperatura do afluente (E_1), do reator UASB e da lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-4.

Valor	Temperatura (°C)		
	E_1	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia
Médio $\pm$ Desvio Padrão	24,4 $\pm$ 1,3	24,3 $\pm$ 1,0	24,1 $\pm$ 1,9
Faixa de Variação	21 – 26	22 – 26	21 – 28

Os resultados apresentados na tabela 5.85 mostram que o reator UASB, que é dotado de isolamento térmico, operou em média numa temperatura próxima à temperatura média do afluente (E_1). A temperatura média na lagoa aerada aeróbia manteve-se praticamente igual a do reator UASB.

Dos valores apresentados nas tabelas G.2 e G.3, do anexo G, obtém-se que a relação DQO:N:P para o afluente (E_1) foi em média de 140:5:1 logo, em média a quantidade dos nutrientes nitrogênio e fósforo durante o ensaio foi superior à mínima requerida para o processo.

Nas tabelas G.6 e G.7, do anexo G obtém-se que a relação DQO:N:P para o efluente (E_2) do reator UASB foi em média de 97:9:1. Esse resultado mostra a presença de um residual de nitrogênio e fósforo no efluente do reator UASB, indicando que também na fase B.II-4 não houve falta desses nutrientes para o processo no reator UASB, admitindo que estes estavam numa forma disponível para as bactérias. A relação DQO/DBO₅ média é de 2,5 então a relação DBO:N:P média presente no efluente (E_2) do reator UASB foi de 39:9:1, ou seja, superior a mínima recomendada para processos aeróbios que é de 100:5:1.

A concentração média de oxigênio dissolvido na lagoa aerada aeróbia, obtida a partir dos resultados da tabela O.1, do anexo O, está apresentada no quadro a seguir:

Valor Médio	Desvio padrão	Faixa de Variação
6,0 mg O ₂ /L	0,5 mg O ₂ /L	5,0 - 7,4 mg O ₂ /L

Em média o nível de oxigênio dissolvido foi superior ao recomendado pela literatura para processos biológicos aeróbios que é de 2 mg O₂/L.

A figura 5.80, cujos valores foram obtidos nas tabelas G.2, G.6, O.3 e O.4, dos anexos G e O, respectivamente, apresenta a variação do pH do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-4.

Figura 5.80: Comportamento do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase B.II-4.

Na figura 5.80 pode-se observar que o pH do afluente se mostrou um pouco ácido. No efluente do reator UASB o pH aumentou em relação ao afluente porém ainda ficou abaixo de 6,8. Já o pH na lagoa de decantação se manteve acima de 7,2, ligeiramente maior que na lagoa de aerada aeróbia.

A tabela 5.86 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-4. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos nas tabelas G.2, G.6, O.3 e O.4, dos anexos G e O, respectivamente.

Tabela 5.86: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação do pH do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄). Fase B.II-4.

Valor	pH			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Média $\pm$ Desvio Padrão	6,4 $\pm$ 0,4	6,6 $\pm$ 0,2	7,2 $\pm$ 0,2	7,3 $\pm$ 0,1
Faixa de Variação	5,8 – 7,0	6,4 – 6,9	7,0 – 7,4	7,2 – 7,5

Na tabela 5.86 pode-se verificar que o pH do afluente foi em média de 6,4. O pH do efluente do reator UASB apresentou um valor médio de 6,6, indicando que o reator não operou dentro do pH ótimo para as bactérias metanogênicas. Também é possível verificar na tabela 5.90 a pequena diferença entre os pH das lagoas aerada aeróbia e de decantação, sendo o valor médio nesta última ligeiramente maior provavelmente devido a presença de algas na superfície da lagoa de decantação, que removiam parte do gás carbônico fazendo o pH aumentar.

A figura 5.81, cujos valores provem das tabelas G.2, G.6 e O.4, dos anexos G e O, respectivamente, apresenta a variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-4.

Figura 5.81: Comportamento da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.

Na figura 5.81 pode-se observar que a alcalinidade total do afluente (E_1) se manteve praticamente entre 100 e 150 mg CaCO₃/L e que, tanto no efluente final (E_4) quanto, no efluente do reator UASB (E_2) a alcalinidade foi sempre superior à do afluente.

A tabela 5.87 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação na fase B.II-4, da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação.

Tabela 5.87: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da alcalinidade total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-4.

Valor	Alcalinidade Total (mg CaCO_3/L)		
	E_1	E_2	E_4
Média $\pm$ Desvio Padrão	143 ± 34	329 ± 82	230 ± 71
Faixa de Variação	93 – 189	223 – 452	144 – 302

Os resultados da tabela 5.87 mostram que em média no efluente do reator UASB a alcalinidade total mais que dobrou o valor, provavelmente devido a formação de sais de ácido acético, porém ainda assim não foi suficiente para manter o pH no efluente na faixa neutra. No efluente final houve uma redução na alcalinidade total em relação ao efluente do reator UASB.

5.2.7.3. Concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia

A figura 5.82, cujos valores foram obtidos na tabela O.2, do anexo O, apresenta o comportamento da concentração de SST e SSV na lagoa aerada aeróbia na fase B.II-4.

Figura 5.82: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-4.

A tabela 5.88 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração dos sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia na fase B.II-4. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos na tabela O.2, do anexo O. Os resultados de SST e SSV da tabela 5.92 não consideram os valores do 236° e 245° dias de operação.

A tabela 5.88: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) na lagoa aerada aeróbia. Fase B.II-4.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
SST (mg/L)	541 $\pm$ 358	104 – 1090
SSV (mg/L)	379 $\pm$ 245	77 – 760

A partir dos resultados da tabela 5.88, tanto pelo valor do desvio padrão quanto, pela amplitude da faixa de variação, pode-se verificar a grande variação da concentração de sólidos suspensos na lagoa aerada aeróbia na fase B.II-4. A relação SSV/SST foi em média de 0,70, valor este típico de lagoas aeradas aeróbias tratando esgoto doméstico.

5.2.7.4. Remoção de sólidos suspensos no sistema completo

O comportamento da concentração de sólidos suspensos totais do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação na fase B.II-4 é mostrado na figura 5.83. Os valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e O.5, dos anexos G e O, respectivamente. De forma semelhante a figura 5.84 apresenta o comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis.

Dos resultados apresentados nas figuras 5.83 e 5.84 observa-se que a concentração de sólidos suspensos no efluente do reator UASB variou bastante em função da saída de sólidos, chegando em alguns dias a ser maior que a do afluente. Apesar disso, o conjunto lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação foi capaz de suportar essas cargas de sólidos e produzir um efluente final com uma concentração de sólidos suspensos praticamente abaixo de 50 mg/L.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4) na fase B.II-4, é apresentado na tabela 5.89. Os valores foram obtidos nas tabelas G.3, G.7 e O.5, dos anexos G e O, respectivamente.

Figura 5.83: Comportamento da concentração de sólidos suspensos totais (SST) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.

Figura 5.84: Comportamento da concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.

Tabela 5.89: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de SST e SSV do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-4.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	SST (mg/L)	278 ± 57	216 – 372
	SSV (mg/L)	224 ± 42	180 – 288
E_2	SST (mg/L)	330 ± 140	198 – 464
	SSV (mg/L)	257 ± 84	184 – 332
E_4	SST (mg/L)	45 ± 18	28 – 65
	SSV (mg/L)	39 ± 16	23 – 55

Dos valores apresentados na tabela 5.89 verifica-se que a relação SSV/SST foi em média de 0,80 no afluente (E_1). Pode-se observar também que em média a concentração de sólidos no efluente (E_2) do reator UASB foi maior que a do afluente (E_1). Esse comportamento do efluente do reator UASB ocorreu em metade dos resultados de sólidos disponíveis nessa fase, o que acabou influenciando muito as médias, impossibilitando a partir desses resultados avaliar a remoção de sólidos no reator UASB na fase B.II-4. Ainda a partir dos resultados da tabela 5.89 pode-se verificar que a relação SSV/SST no efluente final (E_4) é em média de 0,87, o que mostra que grande parte da matéria orgânica encontra-se na forma suspensa.

As eficiências médias de remoção de SST e SSV na fase B.II-4, podem ser calculada a partir dos resultados da tabela P.1, do anexo P, estão apresentadas na tabela 5.90

Tabela 5.90: Valores da eficiência média de remoção de SST e SSV. Fase B.II-4.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
SST	20 ⁽¹⁾	84	84
SSV	22 ⁽²⁾	84	83

(1) média de dois resultados.

(2) apenas um resultado disponível

A partir dos resultados apresentados na tabela 5.90 pode-se verificar que o reator UASB foi pouco eficiente na remoção de sólidos. O reator UASB, operando em média com tempo de detenção hidráulica de 8,2 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de SST de 20%.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média 84% dos sólidos suspenso totais do efluente do reator UASB, para um tempo de detenção hidráulica médio de 3,8 dias na lagoa aerada aeróbia e 1,7 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 84% dos SST presentes no afluente (E_1), produzindo um efluente final (E_4) com uma concentração média de SST de 45 mg/L.

5.2.7.5. Remoção de matéria orgânica no sistema completo

A figura 5.85, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7, O.2 e O.5, dos anexos G e O, respectivamente, apresenta o comportamento na fase B.II-4 da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Para a elaboração da figura 5.85 foi excluindo o resultado do efluente da lagoa de decantação do 237º dia de operação.

Figura 5.85: Comportamento da DQO total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-4.

Dos resultados apresentados na figura 5.85 pode-se observar a variação da DQO total do afluente (E_1) do reator UASB e que como poderá ser visto adiante, analisando os resultados de DQO filtrada do efluente do reator UASB, a DQO total de saída do reator UASB foi alta devido ao arraste de lodo com o efluente. A concentração de DQO total no efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3) também variou bastante devido a presença de lodo o que acaba aumentando o valor da DQO. Apesar disso, verifica-se que a lagoa aerada aeróbia seguida de lagoa de decantação foi capaz de absorver essas flutuações, atenuando a amplitude de variação e produzindo um efluente final (E_4) com DQO total menor que 200 mg/L.

A figura 5.86, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7, O.2 e O.5, dos anexos G e O, respectivamente, apresenta o comportamento na fase B.II-4 da DQO total do afluente do reator UASB (E_1), e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2), da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4).

Figura 5.86: Comportamento da DQO total do afluente do reator UASB (E_1) e da DQO filtrada dos efluentes do reator UASB (E_2), da lagoa aerada aeróbia (E_3) e da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-4.

Na figura 5.86 pode-se verificar que a DQO filtrada do efluente do reator UASB foi baixa ao longo dessa fase confirmando o que foi dito acima a respeito da DQO total no efluente (E_2). Pode-se verificar também que o valor da DQO filtrada dos efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação são muito próximos sendo o valor desta última ligeiramente menor.

Comparando os resultados de DQO total e filtrada do efluente (E_4) apresentados nas figuras 5.85 e 5.86, pode-se verificar que são muito próximos mostrando que a matéria orgânica remanescente no efluente final encontra-se praticamente toda dissolvida.

A figura 5.87, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e O.5, dos anexos G e O, respectivamente, apresenta o comportamento na fase B.II-4 da DBO_5 total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E_4). A figura 5.88, cujos valores são provenientes das tabelas G.3, G.7 e O.5, dos anexos G e O, respectivamente, apresenta o comportamento na fase B.II-4 da DBO_5 total do afluente do reator UASB (E_1), e da DBO_5 filtrada do efluente do reator UASB (E_2) e efluente da lagoa de decantação (E_4).

Figura 5.87: Comportamento da DBO_5 total do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e do efluente (E_4) da lagoa de decantação. Fase B.II-4.

Figura 5.88: Comportamento da DBO₅ total do afluente do reator UASB (E₁) e da DBO₅ filtrada do efluente do reator UASB (E₂) e efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-4.

O comportamento das curvas de DBO₅ nas figuras 5.87 e 5.88 é muito semelhante ao da DQO apresentado nas figuras 5.85 e 5.86, logo são válidos os mesmos comentários feitos em relação ao parâmetro DQO.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E₃) e de decantação (E₄) na fase B.II-4 é apresentado na tabela 5.95. Os valores das tabelas foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, O.2 e O.5, dos anexos G e O, respectivamente. Para a elaboração da tabela 5.91 foram excluídos os resultados de DQO total dos efluentes das lagoas aerada aeróbia e de decantação do 237º dia de operação.

Tabela 5.91: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DQO do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-4.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	DQO total (mg/L)	1584 ± 581	759 – 2666
E_2	DQO total (mg/L)	498 ± 168	244 – 790
	DQO filtrada (mg/L)	363 ± 71	255 – 440
E_3	DQO total (mg/L)	572 ± 236	187 – 990
	DQO filtrada (mg/L)	162 ± 21	133 – 181
E_4	DQO total (mg/L)	183 ± 45	120 – 277
	DQO filtrada (mg/L)	167 ± 30	133 – 201

Dos resultados apresentados na tabela 5.91, pode-se verificar que em média a DQO no efluente do reator UASB devida a sólidos (DQO particulada) é de 135 mg/L, ou seja cerca de 30% da DQO total é devida a presença de sólidos suspensos no efluente. Pode-se verificar também que no efluente da lagoa aerada aeróbia cerca de 72% da DQO total é devida a sólidos suspensos. Finalmente verifica-se que em valores médios 91% da matéria orgânica total presente no efluente final (E_4) encontra-se dissolvida.

O valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO_5 do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4) na fase B.II-4 é apresentado na tabela e 5.92. Os valores das tabelas foram obtidos nas tabelas G.3, G.7, O.2 e O.5, dos anexos G e O, respectivamente.

Tabela 5.92: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da DBO_5 do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB e dos efluentes das lagoas aerada aeróbia (E_3) e de decantação (E_4). Fase B.II-4.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E_1	DBO_5 total (mg/L)	751 ± 165	516 – 980
E_2	DBO_5 total (mg/L)	217 ± 70	125 – 317
E_3	DBO_5 filtrada (mg/L)	41 ± 13	26 – 54
E_4	DBO_5 total (mg/L)	64 ± 26	24 – 94
	DBO_5 filtrada (mg/L)	48 ± 17	24 – 70

Com relação aos resultados de DBO_5 do efluente na lagoa de decantação, apresentados na tabela 5.92, verifica-se que em média 75% da matéria orgânica biodegradável total presente no efluente final se encontra dissolvida.

Com relação a qualidade da matéria orgânica remanescente no efluente do reator UASB, considerando que no efluente houve um aumento da relação DQO/DBO₅ em comparação com o afluente, é provável que este consumiu a matéria orgânica afluente de mais fácil degradação restando para a lagoa aerada aeróbia a de mais difícil.

As eficiências médias de remoção de DQO total e DBO₅ total na fase B.II-4 estão apresentadas na tabela 5.93. Os valores foram obtidos na tabela P.2, do anexo P.

Tabela 5.93: Valores da eficiência média de remoção de DQO total e DBO₅ total. Fase B.II-4.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total	67	59	88
DBO ₅ total	72	70	92

Dos resultados da tabela 5.93 verifica-se que o reator UASB não teve um bom desempenho na remoção de matéria orgânica. O reator, operando em média com tempo de detenção hidráulica médio de 8,2 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de DQO total de 67% e de 72% de DBO₅ total.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação mostrou-se adequado para complementar a remoção da matéria orgânica biodegradável do efluente do reator UASB (E₂), com uma eficiência média de remoção de DBO₅ total de 70%, para um tempo de detenção hidráulica médio de 3,8 dias na lagoa aerada aeróbia e de 1,7 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência de remoção de DBO₅ total em média de 92% produzindo um efluente final (E₄) com uma DBO₅ média de 64 mg/L.

5.2.7.6. Remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira no sistema completo.

A tabela 5.94 apresenta o valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e fósforo total na fase B.II-4, do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente (E₄) da lagoa de decantação. Os valores para elaborar a tabela foram obtidos nas tabelas G.2, G.6 e O.4, dos anexos G e O, respectivamente.

Tabela 5.94: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB e do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-4.

Ponto	Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
E ₁	Nitrogênio total (mg N/L)	61 $\pm$ 24	30 – 92
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	26,0 $\pm$ 6,3	15,6 – 34,2
	Fósforo total (mg P/L)	13,6 $\pm$ 4,1	9,1 – 19,5
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	1002 $\pm$ 156	792 – 1220
E ₂	Nitrogênio total (mg N/L)	41 $\pm$ 4	34 – 46
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	27,1 $\pm$ 3,6	22,1 – 30,9
	Fósforo total (mg P/L)	5,2 $\pm$ 1,0	4,6 – 7,0
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	601 $\pm$ 130	516 – 826
E ₄	Nitrogênio total (mg N/L)	28 $\pm$ 14	12 – 48
	Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	15,6 $\pm$ 9,2	6,6 – 28,3
	Fósforo total (mg P/L)	4,3 $\pm$ 2,4	1,9 – 8,2
	Cor verdadeira (mg Pt/L)	383 $\pm$ 56	348 – 448

A partir dos resultados apresentados na tabela 5.94 verifica-se que no reator UASB não houve praticamente remoção de nitrogênio, efetivamente o que se verificou foi um pequeno aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, devido a transformação de parte do nitrogênio orgânico do afluente, como é típico em ambientes anaeróbios. A redução na concentração de nitrogênio orgânico e fósforo total pode ser atribuída ao crescimento bacteriano, já que o balanço desse compostos não fecha.

A tabela 5.95 apresenta os valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação das concentrações, de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito no efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Os valores para elaborar a tabela foram obtidos na tabela O.3, do anexo O.

Tabela 5.95: Valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação da concentração de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito no efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Fase B.II-4.

Parâmetro	Média $\pm$ Desvio Padrão	Faixa de Variação
Nitrogênio total (mg N/L)	44 $\pm$ 14	32 – 68
Nitrogênio amoniacal (mg NH ₃ /L)	14,5 $\pm$ 5,5	7,2 – 21,1
Nitrogênio Nitrato (mg NO ₃ ⁻ /L)	4,7 $\pm$ 2,8	1,2 – 8,3
Nitrogênio Nitrito (mg NO ₂ ⁻ /L)	3,0 $\pm$ 1,1	1,8 – 4,1

A partir dos resultados da tabela 5.95 pode-se verificar que no efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃) em relação ao afluente (E₂) houve uma redução média de 46% na concentração de nitrogênio amoniacal. Esse resultado e a presença de nitrato e nitrito no efluente indicam que houve algum

grau de nitrificação na lagoa aerada aeróbia. O aumento na concentração de nitrogênio total no efluente da lagoa aerada aeróbia em relação ao afluente foi provavelmente devido a saída de sólidos biológicos que geram aumento de nitrogênio orgânico e por consequência de nitrogênio total.

As eficiências médias de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira na fase B.II-4, estão apresentadas na tabela 5.96. Os valores foram obtidos nas tabelas P.3, P.4 e P.5, do anexo P. Para a elaboração da tabela 5.96 foi excluindo o resultado referente a lagoa de decantação do 230º dia de operação.

Tabela 5.96: Valores da eficiência média de remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira. Fase B.II-4.

Parâmetro	Eficiência Média de Remoção (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
Nitrogênio total	33	52 ⁽¹⁾	55
Nitrogênio amoniacal		52	43
Fósforo total	58	41 ⁽¹⁾	72
Cor verdadeira	39	30	60

(1) média de três resultados

Os resultados da tabela 5.96 confirmam os dados de literatura de que o reator UASB é pouco eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo. O reator UASB, operando em média com tempo de detenção hidráulica de 8,2 horas, apresentou uma eficiência média de remoção de 33% do nitrogênio total e de 58% do fósforo total presentes no afluente (E_1). Ainda a partir dos resultados apresentados na tabela 5.96 verifica-se também que o reator UASB não foi eficiente na remoção de cor verdadeira, alcançando em média cerca de 40% de eficiência.

A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação removeu em média respectivamente 52%, 41% e 30% do nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do efluente do reator UASB (E_2), para um tempo de detenção hidráulica em média de 3,8 dias na lagoa aerada aeróbia e 1,7 dia na lagoa de decantação.

O sistema completo apresentou uma eficiência média de remoção de 55% do nitrogênio total, 43% do nitrogênio amoniacal, 72% do fósforo total e 60% da cor verdadeira presente no afluente (E_1), resultando em um efluente final (E_4) com concentração média de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cor verdadeira de 28 mg N/L, 15,6 mg NH_3 /L, 4,3 mg P/L e 383 mg Pt/L, respectivamente.

5.3. Resumo dos resultados

5.3.1. Ensaio A

A tabela 5.97, cujos valores foram obtidos no anexo Q.3, apresenta o valor da concentração média de DQO total, DBO₅ total, SST e nitrogênio total do afluente, efluente do reator UASB e efluente final na fase A.II-1. As figuras 5.89, 5.91, 5.91 e 5.92, respectivamente, mostram esses resultados em forma de gráfico de barras.

As figuras 5.93, 5.94, 5.95 e 5.96, cujos valores são provenientes do anexo Q.4, mostram, na forma de gráficos de barras, as eficiências médias de remoção de DQO total, DBO₅ total, SST e nitrogênio total ao longo do sistema completo.

Tabela 5.97: Concentração média de DQO total, DBO₅ total, SST e nitrogênio total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias)

Ponto	DQO total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	SST (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)
Afluente	1100	544	363	37
Efluente UASB	464	165	70	35
Efluente Final	151	21	25	20

Figura 5.89: Concentração média de DQO total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).

Figura 5.90: Concentração média de DBO₅ total, no afluente, efluente do reator UASB e efluente final. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).

Figura 5.91: Concentração média de SST no afluyente, efluente do reator UASB e efluente final. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).

Figura 5.92: Concentração média de nitrogênio total no afluyente, efluente do reator UASB e efluente final. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).

Figura 5.93: Eficiência média de remoção de DQO total ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).

Figura 5.94: Eficiência média de remoção de DBO₅ total ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).

Figura 5.95: Eficiência média de remoção de SST ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).

Figura 5.96: Eficiência média de remoção de nitrogênio total ao longo do sistema completo. Ensaio A: fase A.II-1 (2,5 dias).

5.3.2. Ensaio B

A tabela 5.98, cujos valores foram obtidos nos anexos Q.7, Q.9, Q.11 e Q.13, apresenta a concentração média de DQO total, DBO₅ total, SST e nitrogênio total ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia no ensaio B. As figuras 5.97, 5.98, 5.99 e 5.100, mostram, respectivamente, esses resultados em forma de gráfico de barras.

As figuras 5.101, 5.102, 5.103 e 5.104, cujos valores são provenientes dos anexos Q.8, Q.10, Q.12 e Q.14, mostram respectivamente, na forma de gráficos de barras, as eficiências médias de remoção de DQO total, DBO₅ total, SST e nitrogênio total ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia no ensaio B (fases: B.II-1, B.II-2, B.II-3 e B.II-4).

Tabela 5.98: Concentração média de DQO total, DBO₅ total, SST e nitrogênio total do afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

Fase	Ponto	DQO total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	SST (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)
B.II-1 (2,5 dias)	Afluente	1136	611	204	51
	Efluente UASB	784	337	267	42
	Efluente Final	170	28	29	24
B.II-2 (1,5 dia)	Afluente	1541	888	234	62
	Efluente UASB	975	434	221	44
	Efluente Final	229	57	39	25
B.II-3 (1,0 dia)	Afluente	1507	757	264	53
	Efluente UASB	779	272	595	48
	Efluente Final	265	83	54	38
B.II-4 (3,5 dias)	Afluente	1584	751	278	61
	Efluente UASB	498	217	330	41
	Efluente Final	183	64	45	28

Figura 5.97: Concentração média de DQO total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

Figura 5.98: Concentração média de DBO₅ total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

Figura 5.99: Concentração média de SST no afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

Figura 5.100: Concentração média de nitrogênio total no afluente, efluente do reator UASB e efluente final em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

Figura 5.101: Eficiência média de remoção de DQO total ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

Figura 5.102: Eficiência média de remoção de DBO₅ total ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

Figura 5.103: Eficiência média de remoção de SST ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

Figura 5.104: Eficiência média de remoção de nitrogênio total ao longo do sistema completo em função do tempo de detenção na lagoa aerada aeróbia. Ensaio B.

5.4. Análise estatísticas dos resultados

Os resultados foram comparados utilizando a técnica da “análise de variância” com um grau de confiança de 95%. O resultado do teste de hipóteses será expresso na forma de “aceitar H_0 ”, o que significa dizer que não há diferença entre as médias. Caso isso não se verifique será usado a expressão “rejeitar H_0 ”.

5.4.1. Reator UASB

Para o reator UASB foram aplicados testes de análise de variância para comparar as características médias do afluente e as eficiências médias de remoção no período de operação do reator em tempo de detenção hidráulica de 8 horas nos ensaios A (fase A.II) e B (fase B.II).

As tabelas 5.99 e 5.100 apresentam os resultados da análise de variância das características médias do afluente e das eficiências de remoção do reator UASB nas fases A.II e B.II, respectivamente.

Os resultados da tabela 5.99 mostram que apenas as médias dos parâmetros SST, SSV e concentração de nitrogênio total não foram estatisticamente iguais nas duas fases.

As fases A.II e B.II de operação do reator UASB foram desenvolvidas em épocas do ano diferentes nas quais as características do esgoto afluente foram diferentes, porém a principal diferença foi sem dúvida a forma de partida do reator. A análise de variância da taxa orgânica volumétrica média aplicada mostrou-se, com 95% de grau de confiança, estatisticamente igual nas duas fases. Os resultados da tabela 5.100 mostram que as diferenças acima citadas tiveram influência apenas sobre as eficiências médias de remoção de DQO total, SST e SSV.

5.4.2. Sistema completo

O mesmo teste estatístico foi aplicado de modo a comparar as fases A.II-1 e B.II-1. Essas fases representam os períodos de operação do sistema completo com a lagoa aerada aeróbia em tempo de detenção hidráulica de 2,5 dias nos ensaios A e B, respectivamente. As tabelas 5.101 e 5.102 apresentam os resultados da análise de variância das características médias do afluente e das eficiências médias de remoção nas fases A.II-1 e B.II-1, respectivamente.

Os resultados da tabela 5.101 mostram que apenas os valores médios das características do afluente concentração de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal não foram estatisticamente iguais nas duas fases. Esse resultado pode ser atribuído pela variabilidade do afluente, já que essas duas fases foram desenvolvidas em períodos diferentes. A análise de variância da taxa orgânica volumétrica média aplicada no reator UASB mostrou-se, com 95% de grau de confiança, estatisticamente igual nas duas fases.

Os resultados da análise de variância apresentados na tabela 5.102 mostram que com 95% de grau de confiança as eficiências médias de remoção do sistema completo nas fases A.II-1 e B.II-1 foram estatisticamente iguais. A análise de variância das características médias do efluente final mostraram-se estatisticamente iguais nas duas fases.

Também foi aplicado o mesmo teste estatístico para comparar os resultados obtidos nas quatro fases do sistema completo do ensaio B, onde o tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia foi variável: 2,5 dias (fase B.II-1), 1,5 dia (fase B.II-2), 1,0 dia (fase B.II-3) e 3,5 dias (fase B.II-4).

As tabelas 5.103, 5.104 e 5.105 apresentam os resultados da análise de variância das características médias do afluente, efluente final e das eficiências médias de remoção do sistema completo nas quatro fases do ensaio B, respectivamente.

Os resultados da tabela 5.103 mostram que em valores médios apenas as características do afluente DQO total e concentração de fósforo total não foram estatisticamente iguais nas quatro fases. Esse resultado pode ser atribuído à variabilidade do afluente. A análise de variância da taxa orgânica volumétrica média aplicada no reator UASB não se mostrou, com 95% de grau de confiança, estatisticamente igual nas quatro fases.

Na tabela 5.104 pode-se verificar que em média as características do efluente final DQO total, DBO₅ total, concentração de nitrogênio amoniacal e cor verdadeira não foram estatisticamente iguais nas quatro fases.

Os resultados da tabela 5.105 mostram que a variação do tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia influenciou apenas as eficiências médias de remoção de DQO total, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal do sistema completo no ensaio B.

Tabela 5.99: Resultados da análise de variância das características médias do afluente (E₁). Fases A.II e B.II.

Parâmetro	Fase A.II		Fase B.II		Estatística F		Resultado
	Média	Variância	Média	Variância	Observado	Crítico	
DQO total (mg/L)	1564	465525	1431	198436	1,0976	3,9603	Aceitar Ho
DBO ₅ total (mg/L)	682	81306	757	38777	0,9081	4,1132	Aceitar Ho
SST (mg/L)	383	41307	240	3279	12,2478	4,0758	Rejeitar Ho
SSV (mg/L)	271	18259	207	2430	5,1830	4,0847	Rejeitar Ho
Nitrogênio total (mg N/L)	58	362	57	256	0,05670	4,1830	Aceitar Ho
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	19,4	39,5	25,6	33,0	7,6860	4,1960	Rejeitar Ho
Fósforo total (mg P/L)	12,6	35,8	12,2	13,5	0,0358	4,2597	Aceitar Ho
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	832	45986	1028	129277	1,7657	4,3512	Aceitar Ho

Tabela 5.100: Resultados da análise de variância das eficiências médias de remoção no reator UASB. Fases A.II e B.II.

Eficiência de Remoção	Fase A.II		Fase B.II		Estatística F		Resultado
	Média	Variância	Média	Variância	Observado	Crítico	
DQO total (%)	66	225	52	251	10,3413	3,9886	Rejeitar Ho
DBO ₅ total (%)	67	521	57	292	2,3110	4,1392	Aceitar Ho
SST (%)	76	114	40	364	27,5643	4,3807	Rejeitar Ho
SSV (%)	71	340	44	430	9,6667	4,3807	Rejeitar Ho
Nitrogênio total (%)	38	238	34	341	0,3995	4,3512	Aceitar Ho
Fósforo total (%)	56	279	45	355	1,6075	4,4139	Aceitar Ho
Cor Verdadeira (%)	25	353	36	229	1,7615	4,4940	Aceitar Ho

Tabela 5.101: Resultados da análise de variância das características médias do afluente (E₁) empregado no sistema completo. Fases A.II-1 e B.II-1.

Parâmetro	Fase A.II-1		Fase B.II-1		Estatística F		Resultado
	Média	Variância	Média	Variância	Observado	Crítico	
DQO total (mg/L)	1100	136855	1136	54136	0,09323	4,2417	Aceitar Ho
DBO ₅ total (mg/L)	544	34282	611	5840	0,6913	4,7472	Aceitar Ho
SST (mg/L)	363	45924	204	1316	4,3011	4,6672	Aceitar Ho
SSV (mg/L)	240	9067	171	807	3,8760	4,6672	Aceitar Ho
Nitrogênio total (mg N/L)	37	15	51	96	7,2092	5,3176	Rejeitar Ho
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	14	1,1	29	25	32,2886	5,3177	Rejeitar Ho
Fósforo total (mg P/L)	7,7	6,5	56,9	9,5	2,1968	5,3176	Aceitar Ho
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	899	55214	836	46218	0,1565	5,9874	Aceitar Ho

Tabela 5.102: Resultados da análise de variância das eficiências médias de remoção. Fases A.II-1 e B.II-1.

Eficiência de Remoção	Fase A.II-1		Fase B.II-1		Estatística F		Resultado
	Média	Variância	Média	Variância	Observado	Crítico	
DQO total (%)	84	125	85	19	0,09607	4,3807	Aceitar Ho
DBO ₅ total (%)	96	3	96	6	0,1959	10,5615	Aceitar Ho
SST (%)	92	57	87	101	0,6499	5,3176	Aceitar Ho
SSV (%)	88	149	87	105	0,01187	5,3176	Aceitar Ho
Nitrogênio total (%)	44	26	52	26	4,2903	5,9874	Aceitar Ho
Nitrogênio Amoniacal (%)	73	96	64	271	0,7019	6,6079	Aceitar Ho
Fósforo total (%)	68	102	56	283	1,0976	7,7086	Aceitar Ho
Cor Verdadeira (%)	62	354	84	194	3,6223	5,9874	Aceitar Ho

Tabela 5.103: Resultados da análise de variância das características médias do afluente (E₁) empregado no sistema completo. Ensaio B.

Parâmetro	Fase B.II-1		Fase B.II-2		Fase B.II-3		Fase A.II-4		Estatística F		Resultado
	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância	Observado	Crítico	
DQO total (mg/L)	1136	54136	1541	251337	1507	57068	1584	337252	3,4894	2,7826	Rejeitar Ho
DBO ₅ total (mg/L)	611	5840	888	53528	757	34208	751	25172	2,7161	3,0984	Aceitar Ho
SST (mg/L)	204	1316	234	4853	264	1025	278	3301	2,5704	3,0088	Aceitar Ho
SSV (mg/L)	170	807	212	4087	232	834	224	1800	2,5598	3,0088	Aceitar Ho
Nitrogênio total (mg N/L)	51	96	62	261	53	25	61	598	0,5937	3,1968	Aceitar Ho
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	26	39	29	25	23	35	21	7,4	2,1200	3,1968	Aceitar Ho
Fósforo total (mg P/L)	9,5	1,4	14,3	15,2	9,2	2,8	13,6	16,5	3,8787	3,2874	Rejeitar Ho
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	836	46219	1337	556209	1019	12037	1002	24477	1,1665	3,5877	Aceitar Ho

Tabela 5.104: Resultados da análise de variância das características médias do efluente final (E₄) no sistema completo. Ensaio B.

Parâmetro	Fase B.II-1		Fase B.II-2		Fase B.II-3		Fase A.II-4		Estatística F		Resultado
	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância	Observado	Crítico	
DQO total (mg/L)	170	2773	229	2052	265	1530	183	1997	7,2781	2,8662	Rejeitar Ho
DBO ₅ total (mg/L)	28	341	57	450	83	1142	64	678	4,7954	3,1273	Rejeitar Ho
SST (mg/L)	29	450	39	470	54	308	45	306	1,6891	3,0280	Aceitar Ho
SSV (mg/L)	24	270	37	332	50	206	39	241	2,4855	3,0725	Aceitar Ho
Nitrogênio total (mg N/L)	24	5	25	7	38	35	28	209	2,4208	3,3439	Aceitar Ho
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	5	24	11	19	19	1,8	16	85	3,6106	3,4105	Rejeitar Ho
Fósforo total (mg P/L)	3,4	2,5	5,5	1,1	6,4	3,4	4,3	7,3	1,9265	3,4903	Aceitar Ho
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	375	6889	597	16225	577	4409	382	3107	6,4987	3,8625	Rejeitar Ho

Tabela 5.105: Resultados da análise de variância das eficiências médias de remoção no sistema completo. Ensaio B.

Eficiência de Remoção	Fase B.II-1		Fase B.II-2		Fase B.II-3		Fase A.II-4		Estatística F		Resultado
	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância	Observado	Crítico	
DQO total (%)	85	19	86	6	82	39	88	4	2,9662	2,8916	Rejeitar Ho
DBO ₅ total (%)	96	6	93	3	87	82	92	8	2,8637	3,1599	Aceitar Ho
SST (%)	87	101	81	154	79	46	84	31	0,6763	3,0491	Aceitar Ho
SSV (%)	87	105	80	133	77	32	83	33	1,1823	3,0984	Aceitar Ho
Nitrogênio total (%)	52	26	57	126	28	91	55	33	10,8215	3,3439	Rejeitar Ho
Nitrogênio Amoniacal (%)	83	280	54	226	13	40	43	581	9,1645	3,4105	Rejeitar Ho
Fósforo total (%)	64	271	60	120	39	531	72	109	2,8674	3,5874	Aceitar Ho
Cor Verdadeira (%)	56	283	49	359	42	143	60	101	0,9929	3,8625	Aceitar Ho

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados dos experimentos pode-se concluir que:

6.1. Características do esgoto afluyente a ETE - Jundiaí

A elevada contribuição de despejos industriais confere ao esgoto afluyente a ETE-Jundiaí características bem diferentes das normalmente encontradas no esgoto tipicamente doméstico, especialmente as relacionadas à composição da matéria orgânica.

6.2. Reator UASB

- O reator UASB apresentou um desempenho satisfatório no pré-tratamento dos esgotos afluentes à ETE – Jundiaí, demonstrando ser uma unidade bastante promissora para integrar-se ao sistema de tratamento da ETE.
- A partida do reator UASB é um fator decisivo para o bom desempenho do reator. A seleção de um inóculo de boa qualidade é muito importante no sentido de tornar a partida mas rápida.
- Taxas orgânicas volumétricas de pouco mais de 4,0 kg DQO/m³.dia, correspondentes a tempos de detenção hidráulica em torno de 8 horas, podem ser aplicadas no reator UASB de modo a obter eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total do afluyente entre 50 - 65% e 55 – 65%, respectivamente. A temperatura variou no reator UASB entre 18 e 30°C.
- A produção de gás foi em média de 0,15 Nm³/kg DQO removida, que é um valor normal para esse tipo de despejo.
- Para evitar a exalação de maus odores, tanto o gás deve ser canalizado e queimado quanto, o efluente líquido deve passar por desgaseificador para remoção do gás sulfídrico solúvel.
- As remoções de cor verdadeira, nitrogênio total e fósforo total foram pouco eficientes.
- Não há a necessidade de adicionar nutrientes ao afluyente e nem corrigir o pH.
- Os problemas de arraste de lodo com o efluente podem ser contornados através de uma programação correta da retirada do excesso de lodo biológico.

6.3. Lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação

- A lagoa aerada aeróbia seguida da lagoa de decantação demonstrou-se viável para o pós-tratamento do efluente do reator UASB.
- A lagoa aerada aeróbia mostrou-se robusta no sentido de absorver com facilidade as variações de carga do efluente do reator UASB.
- A temperatura na lagoa aerada aeróbia variou entre 22° e 25°C durante os experimentos. Não se verificou influência sensível desta variação no desempenho do processo.

- A relação SSV/SST na lagoa aerada aeróbia variou entre 0,60 e 0,70.
- A nitrificação do efluente da lagoa aerada aeróbia foi muito baixa em todos os tempos de detenção hidráulica estudados.
- Embora não seja objetivo deste trabalho obter os parâmetros cinéticos do processo de lagoa aerada aeróbia, a tentativa de estimar a ordem de grandeza dos parâmetros cinéticos não foi possível porque os resultados experimentais não forneceram boas correlações.
- A lagoa de decantação se mostrou viável para a separação dos sólidos do efluente da lagoa aerada aeróbia, operando com um tempo de detenção hidráulica de 1,8 dia.
- Na superfície da lagoa de decantação observou-se a formação de algas.
- A influência dos sólidos suspensos voláteis no efluente final não foi possível de ser estimada porque os resultados experimentais não forneceram boas correlações, tanto para a DQO quanto, para DBO₅.

6.4. Sistema completo

- O sistema composto por reator UASB seguido de lagoa aerada aeróbia e lagoa de decantação mostrou-se uma alternativa viável para o tratamento dos esgotos afluentes a ETE Jundiá.
- O desempenho do sistema completo melhorou com a elevação do tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia.
- A remoção de DBO₅ mostrou-se mais eficiente que a remoção de DQO.
- Não houve alteração significativa de matéria orgânica no efluente filtrado da lagoa de decantação.
- Para tempos de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia entre 1,5 e 3,5 dias (exceto para o parâmetro nitrogênio amoniacal) não houve modificação apreciável nas eficiências de remoção dos parâmetros estudados. Os valores das eficiências de remoção e as respectivas concentrações no efluente final estão dentro das seguintes faixas:

Parâmetro	Remoção	Concentração
DQO total	85 a 87%	170 – 230 mg/L
DBO ₅ total	92 a 96%	30 – 60 mg/L
SST	81 a 87%	30 – 45 mg/L
SSV	80 – 88%	24 – 40 mg/L
Nitrogênio total	52 a 57%	24 – 30 mg N/L
Nitrogênio amoniacal	40 a 80%	5 – 16 mg NH ₃ /L
Fósforo total	60 a 70%	3,5 – 5,5 mg P/L
Cor verdadeira	50 a 60%	375 – 600 mg Pt/L

- O efluente final apresentou os piores resultados para 1,0 dia de tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia.
- A condição que apresentou o melhor conjunto de resultados foi aquela em que a lagoa aerada aeróbia operou com tempo de detenção hidráulica de 2,5 dias.
- A análise estatística mostrou com 95% de grau de confiança que a variação do tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia influenciou apenas as eficiências de remoção de DQO total, nitrogênio total e amoniacal do sistema completo.

Recomenda-se, com base nos resultados obtidos, que sejam investigadas alternativas para melhorar a eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo, de modo a adequar o efluente final às exigências da legislação ambiental.

7. ANEXOS

7.1. Anexo A

Figura 1: Desenho esquemático do reator UASB e suas dimensões básicas.

Figura 1 : Desenho esquemático do reator UASB e suas dimensões básicas.

7.2. Anexo B

Figura 2: Desenho esquemático da lagoa aerada aeróbia e suas dimensões básicas.

Figura 3: Desenho esquemático da lagoa de decantação e suas dimensões básicas.

Figura 2 : Desenho esquemático da lagoa aerada aeróbia e suas dimensões básicas.

Figura 3 : Desenho esquemático da lagoa de decantação e suas dimensões básicas.

7.3. Anexo C

Tabela C.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela C.2: Resultados do afluente (E_1) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela C.3: Resultados complementares do afluente (E_1) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela C.4: Resultados do perfil de pH do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela C.5: Resultados do perfil de sólidos do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela C.6: Resultados do efluente (E_2) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela C.7: Resultados complementares do efluente (E_2) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela C.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)		Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB		
16/05/2002	1			40,0	
17/05/2002	2			40,0	
18/05/2002	3			40,0	
19/05/2002	4			40,0	
20/05/2002	5			40,0	
21/05/2002	6			40,0	
22/05/2002	7			40,0	
23/05/2002	8			40,0	
24/05/2002	9			40,0	
25/05/2002	10			40,0	
26/05/2002	11			40,0	
27/05/2002	12			40,0	
28/05/2002	13			40,0	
29/05/2002	14			31,3	
30/05/2002	15			31,3	
31/05/2002	16			31,3	
01/06/2002	17			31,3	
02/06/2002	18			31,3	
03/06/2002	19			31,3	
04/06/2002	20			20,6	
05/06/2002	21			20,6	
06/06/2002	22			20,6	
07/06/2002	23			20,6	
08/06/2002	24			20,6	
09/06/2002	25			20,6	
10/06/2002	26			20,6	
11/06/2002	27		21,0	20,6	
12/06/2002	28		22,0	20,6	
13/06/2002	29		23,0	20,6	
14/06/2002	30		22,0	20,6	
15/06/2002	31		22,0	20,6	
16/06/2002	32		22,0	20,6	
17/06/2002	33		22,0	20,6	
18/06/2002	34	26,0	23,0	20,6	0,28
19/06/2002	35	30,0	21,0	20,6	0,50
20/06/2002	36	27,0	22,0	20,6	0,55
21/06/2002	37	28,0	22,0	15,0	0,51
22/06/2002	38	25,0	21,0	15,0	0,33
23/06/2002	39	26,0	22,0	15,0	0,42
24/06/2002	40	23,0	21,0	15,0	0,49
25/06/2002	41	22,0	21,0	15,0	0,33
26/06/2002	42	25,0	21,0	15,0	0,77
27/06/2002	43	26,0	21,0	15,0	0,63
28/06/2002	44	27,0	22,0	12,0	0,63
29/06/2002	45	28,0	22,0	12,0	0,63

Tabela C.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)		Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB		
30/06/2002	46	28,0	23,0	12,0	0,42
01/07/2002	47	27,0	22,0	12,0	0,45
02/07/2002	48	27,0	21,0	12,0	0,51
03/07/2002	49	27,0	22,0	12,0	0,54
04/07/2002	50	26,0	23,0	12,0	0,73
05/07/2002	51	25,0	24,0	12,0	0,64
06/07/2002	52	25,0	22,0	12,0	0,65
07/07/2002	53	19,0	21,0	12,0	0,46
08/07/2002	54	18,0	20,0	12,0	0,48
09/07/2002	55	20,0	21,0	12,0	0,42
10/07/2002	56	19,0	19,0	12,0	0,42
11/07/2002	57	19,0	20,0	12,0	0,43
12/07/2002	58	20,0	20,0	12,0	0,55
13/07/2002	59	21,0	20,0	12,0	0,48
14/07/2002	60	21,0	20,0	12,0	0,47
15/07/2002	61	23,0	22,0	12,0	0,43
16/07/2002	62	21,0	20,0	12,0	0,46
17/07/2002	63	21,0	20,0	12,0	0,39
18/07/2002	64	22,0	19,0	12,0	0,43
19/07/2002	65	24,0	19,0	12,0	0,45
20/07/2002	66	22,0	21,0	12,0	0,63
21/07/2002	67	20,0	20,0	12,0	0,46
22/07/2002	68	20,0	21,0	12,0	0,47
23/07/2002	69	30,0	21,0	12,0	0,44
24/07/2002	70	27,0	20,0	12,0	0,65
25/07/2002	71	28,0	22,0	12,0	
26/07/2002	72	31,0	21,0	12,0	
27/07/2002	73	30,0	22,0	12,0	
28/07/2002	74	26,0	22,0	12,0	
29/07/2002	75	24,0	18,0	12,0	0,41
30/07/2002	76	29,0	19,0	12,0	0,52
31/07/2002	77	27,0	18,0	12,0	0,55
01/08/2002	78	26,0	21,0	12,0	0,59
02/08/2002	79	24,0	20,0	12,0	0,49
03/08/2002	80	20,0	20,0	12,0	0,57
04/08/2002	81	28,0	23,0	12,0	0,48
05/08/2002	82	27,0	21,0	12,0	0,71
06/08/2002	83	25,0	21,0	12,0	0,60
07/08/2002	84	32,0	25,0	12,0	0,58
08/08/2002	85	33,0	23,0	12,0	0,76
09/08/2002	86	34,0	25,0	12,0	0,76
10/08/2002	87	33,0	24,0	12,0	0,34
11/08/2002	88	28,0	22,0	12,0	0,47
12/08/2002	89	30,0	22,0	12,0	0,58
13/08/2002	90	31,0	25,0	12,0	0,33

Tabela C.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)		Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB		
14/08/2002	91	32,0	26,0	12,0	0,67
15/08/2002	92	30,0	23,0	12,0	0,55
16/08/2002	93	29,0	23,0	12,0	0,55
17/08/2002	94	30,0	25,0	12,0	0,44
18/08/2002	95	30,0	26,0	12,0	0,51
19/08/2002	96	27,0	23,0	12,0	0,58
20/08/2002	97	23,0	23,0	12,0	0,54
21/08/2002	98	28,0	25,0	12,0	0,39
22/08/2002	99	30,0	27,0	12,0	0,58
23/08/2002	100	27,0	27,0	12,0	0,08
24/08/2002	101	27,0	28,0	12,0	0,60
25/08/2002	102	33,0	30,0	12,0	0,58
26/08/2002	103	30,0	28,0	12,0	0,34
27/08/2002	104	27,0	27,0	12,0	0,68
28/08/2002	105	27,0	27,0	12,0	1,20
29/08/2002	106	25,0	25,0	12,0	0,56
30/08/2002	107	24,0	26,0	12,0	0,35
31/08/2002	108	26,0	22,0	12,0	0,55
01/09/2002	109	26,0	21,0	12,0	0,55
02/09/2002	110	24,0	21,0	12,0	0,29
03/09/2002	111	26,0	26,0	12,0	0,58
04/09/2002	112	25,0	26,0	12,0	0,51
05/09/2002	113	28,0	21,0	12,0	0,65
06/09/2002	114	29,0	23,0	12,0	0,75
07/09/2002	115	20,0	22,0	12,0	0,33
08/09/2002	116	18,0	19,0	12,0	0,27
09/09/2002	117	25,0	21,0	12,0	0,57
10/09/2002	118	25,0	22,0	12,0	0,70
11/09/2002	119	30,0	23,0	12,0	0,85
12/09/2002	120	29,0	23,0	12,0	0,77
13/09/2002	121	26,0	25,0	10,0	0,88
14/09/2002	122	24,0	25,0	10,0	0,58
15/09/2002	123	28,0	24,0	10,0	0,79
16/09/2002	124	23,0	24,0	10,0	0,79
17/09/2002	125	30,0	24,0	10,0	0,80
18/09/2002	126	31,0	25,0	10,0	0,80
19/09/2002	127	30,0	26,0	10,0	0,80
20/09/2002	128	21,0	22,0	10,0	0,72
21/09/2002	129	19,0	22,0	10,0	0,78
22/09/2002	130	20,0	21,0	10,0	0,26
23/09/2002	131	20,0	22,0	10,0	0,66
24/09/2002	132	17,0	22,0	10,0	0,72
25/09/2002	133	25,0	23,0	10,0	0,71
26/09/2002	134	28,0	23,0	10,0	0,74
27/09/2002	135	28,0	23,0	10,0	0,62

Tabela C.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)		Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB		
28/09/2002	136	30,0	24,0	10,0	0,42
29/09/2002	137	29,0	24,0	10,0	0,54
30/09/2002	138	33,0	26,0	10,0	0,49
01/10/2002	139	20,0	24,0	10,0	0,46
02/10/2002	140	27,0	25,0	10,0	0,54
03/10/2002	141	31,0	25,0	10,0	0,62
04/10/2002	142	30,0	26,0	10,0	0,61
05/10/2002	143	34,0	28,0	10,0	0,61
06/10/2002	144	33,0	25,0	10,0	0,64
07/10/2002	145	33,0	25,0	10,0	0,83
08/10/2002	146	35,0	27,0	10,0	0,83
09/10/2002	147	34,0	25,0	10,0	0,55
10/10/2002	148	34,0	27,0	10,0	0,43
11/10/2002	149	35,0	26,0	10,0	1,65
12/10/2002	150	35,0	27,0	10,0	1,27
13/10/2002	151	36,0	29,0	10,0	0,72
14/10/2002	152	35,0	26,0	10,0	0,94
15/10/2002	153	35,0	26,0	10,0	0,86
16/10/2002	154	35,0	26,0	10,0	0,98
17/10/2002	155	28,0	25,0	10,0	0,95
18/10/2002	156	30,0	26,0	10,0	0,73
19/10/2002	157	32,0	24,0	10,0	1,09
20/10/2002	158	35,0	28,0	10,0	0,74
21/10/2002	159	30,0	29,0	10,0	0,80
22/10/2002	160	23,0	25,0	10,0	0,80
23/10/2002	161	24,0	23,0	10,0	0,74
24/10/2002	162	30,0	27,0	10,0	0,93
25/10/2002	163	34,0	26,0	10,0	0,72
26/10/2002	164	31,0	25,0	10,0	0,22
27/10/2002	165	33,0	26,0	10,0	1,69
28/10/2002	166	35,0	28,0	9,5	0,77
29/10/2002	167	36,0	29,0		1,19
30/10/2002	168	25,0	26,0		1,23
31/10/2002	169	25,0	25,0	9,8	1,28
01/11/2002	170	28,0	25,0		1,22
02/11/2002	171	29,0	25,0		0,97
03/11/2002	172	31,0	25,0		0,79
04/11/2002	173	29,0	26,0	7,9	1,28
05/11/2002	174	24,0	25,0		0,60
06/11/2002	175	22,0	25,0		0,90
07/11/2002	176	23,0	25,0	8,2	1,12
08/11/2002	177	27,0	24,0	8,7	1,21
09/11/2002	178	30,0	26,0	9,1	1,45
10/11/2002	179	27,0	25,0	8,6	1,23
11/11/2002	180	26,0	25,0		1,47

Tabela C.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluente		
12/11/2002	181	25,0	25,0		8,4	1,12
13/11/2002	182	22,0	23,0		9,5	1,76
14/11/2002	183	28,0	25,0		9,8	1,43
15/11/2002	184	30,0	25,0		8,3	1,47
16/11/2002	185	30,0	25,0		8,1	0,95
17/11/2002	186	28,0	26,0		9,6	0,94
18/11/2002	187	32,0	25,0		9,8	1,58
19/11/2002	188	31,0	27,0		7,0	1,76
20/11/2002	189	33,0	26,0		7,2	1,74
21/11/2002	190	32,0	27,0		8,2	1,75
22/11/2002	191	33,0	28,0		6,4	2,00
23/11/2002	192	32,0	26,0		6,9	1,72
24/11/2002	193	32,0	27,0		8,2	1,50
25/11/2002	194	30,0	28,0		8,1	1,56
26/11/2002	195	24,0	25,0		7,4	1,75
27/11/2002	196	30,0	26,0		6,8	1,68
28/11/2002	197	32,0	26,0		7,8	1,57
29/11/2002	198	32,0	27,0		7,7	1,63
30/11/2002	199	27,0	25,0		7,7	1,23
01/12/2002	200	32,0	26,0		7,5	1,10
02/12/2002	201	30,0	26,0		7,8	1,38
03/12/2002	202	32,0	27,0			0,61
04/12/2002	203	36,0	28,0			0,78
05/12/2002	204	34,0	26,0		8,5	1,80
06/12/2002	205	34,0	27,0		8,7	1,80
07/12/2002	206	35,0	28,0		8,7	1,81
08/12/2002	207	28,0	26,0		9,4	1,43
09/12/2002	208	24,0	26,0		8,2	1,69
10/12/2002	209	27,0	25,0		8,3	1,72
11/12/2002	210	25,0	24,0		9,1	1,76
12/12/2002	211	28,0	27,0		7,8	1,89
13/12/2002	212	30,0	26,0		8,3	2,42
14/12/2002	213	33,0	27,0		8,0	2,01
15/12/2002	214	29,0	27,0		7,9	1,67
16/12/2002	215	27,0	25,0	27,0	7,8	1,91
17/12/2002	216	32,0	26,0	28,0	8,1	1,85
18/12/2002	217	30,0	26,0	28,0	7,7	3,98
19/12/2002	218	33,0	28,0	29,0	8,1	0,78
20/12/2002	219	35,0	25,0	26,0	7,9	1,75
21/12/2002	220	33,0	26,0	28,0	8,5	2,01
22/12/2002	221	32,0	26,0	28,0	8,2	2,09
23/12/2002	222	35,0	28,0	29,0	7,8	2,39
24/12/2002	223	36,0	29,0	30,0	7,6	1,78
25/12/2002	224	26,0	25,0	26,0	7,8	0,79
26/12/2002	225	26,0	25,0	27,0	8,0	1,34

Tabela C.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluente		
27/12/2002	226	28,0	27,0	29,0	8,1	1,55
28/11/2002	227	29,0	25,0	28,0	7,9	1,61
29/12/2002	228	35,0	27,0	28,0	7,9	1,49
30/12/2002	229	35,0	27,0	28,0	8,0	3,47
31/12/2002	230	33,0	28,0	28,0	7,9	0,54
01/01/2003	231	34,0	30,0	28,0	7,9	0,99
02/01/2003	232	31,0	26,0	28,0	8,2	1,47
03/01/2003	233	25,0	27,0	28,0	8,6	1,74
04/01/2003	234	26,0	27,0	28,0	7,9	1,02
05/01/2003	235	24,0	25,0	27,0	8,4	0,74
06/01/2003	236	28,0	26,0		8,2	1,70
07/01/2003	237	32,0	27,0	28,0	8,2	2,2003
08/01/2003	238	34,0	29,0	28,0	8,0	1,77
09/01/2003	239	35,0	30,0	28,0	8,0	2,17
10/01/2003	240	33,0	27,0	28,0	8,5	1,79
11/01/2003	241	33,0	26,0	27,0	8,4	1,71
12/01/2003	242	25,0	27,0	28,0	8,4	0,88
13/01/2003	243	26,0	28,0	28,0	9,4	1,39
14/01/2003	244	27,0	26,0	27,0	9,0	1,88
15/01/2003	245	29,0	26,0	27,0	9,0	2,66
16/01/2003	246	32,0	29,0	28,0	8,3	1,40
17/01/2003	247	33,0	30,0	28,0	8,5	1,63
18/01/2003	248	30,0	26,0	27,0	8,5	2,08
19/01/2003	249	33,0	27,0	28,0	9,0	1,24
20/01/2003	250	29,0	28,0	28,0	7,6	1,97
21/01/2003	251	25,0	27,0	28,0	8,5	1,31
22/01/2003	252	26,0	25,0	26,0	8,2	1,40
23/01/2003	253	27,0	26,0	28,0	7,1	1,39
24/01/2003	254	25,0	25,0	27,0	7,7	1,46
25/01/2003	255	26,0	27,0	26,0	7,9	1,08
26/01/2003	256	27,0	25,0	26,0	8,2	1,29
27/01/2003	257	23,0	25,0	27,0	7,9	1,32
28/01/2003	258	24,0	26,0	26,0	8,4	0,43
29/01/2003	259	23,0	25,0	27,0	7,7	0,80
30/01/2003	260	24,0	25,0	25,0	7,8	0,86
31/01/2003	261	26,0	25,0	26,0	7,7	1,50
01/02/2003	262	28,0	26,0	29,0	7,9	2,39
02/02/2003	263	29,0	27,0	30,0	8,0	1,27
03/02/2003	264	33,0	26,0	27,0	7,6	1,97
04/02/2003	265	33,0	26,0	27,0	7,8	1,06
05/02/2003	266	35,0	28,0	28,0	7,7	3,36
06/02/2003	267	34,0	26,0	28,0	7,4	1,46
07/02/2003	268	34,0	26,0	28,0	7,5	1,51
08/02/2003	269	32,0	27,0	28,0	7,5	1,50
09/02/2003	270	35,0	28,0	29,0	7,4	1,73

Tabela C.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluente		
10/02/2003	271	35,0	27,0	29,0	7,8	1,81
11/02/2003	272	34,0	27,0	27,0	7,6	1,98
12/02/2003	273	34,0	27,0	28,0	7,5	1,95
13/02/2003	274	35,0	28,0	29,0	8,0	1,33
14/02/2003	275	27,0	25,0	27,0	8,4	1,64
15/02/2003	276	22,0	24,0	26,0	8,3	1,79
16/02/2003	277	30,0	26,0	27,0	8,4	1,09
17/02/2003	278	20,	23,0	27,0	8,1	1,87
18/02/2003	279	21,0	22,0	25,0	8,2	1,71
19/02/2003	280	29,0	26,0	27,0	8,3	1,33
20/02/2003	281	29,0	26,0	27,0	8,3	1,33
21/02/2003	282	30,0	26,0	28,0	8,2	1,98

Tabela C.2: Resultados do afluente (E₁) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
1	7,20						
5	7,70	36	714				
6				36,0	13,3	11,3	
12	7,16	90	836				
13				48,0	10,7		
19	7,34		514				
20				56,0	18,8	22,7	1014
27				88,0	19,6	20,2	
34				64,0	14,8	18,1	
36							1026
40	7,80	48	504				
41				68,0	21,7		
47	7,16	67	305				
48				64,0	21,0	15,9	
50							936
54	7,20	130	273				
55				56,0	21,5	14,7	
61	7,22	220	169				
62				52,0	26,5		
64							1128
68	7,29						
69				24,0	14,5	7,6	
75	7,00		357				
76				48,0	17,7		

Tabela C.2: Resultados do afluente (E₁) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.).

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
82	7,63		224				
83				72,0	22,8	19,8	
85							736
89	6,73		228				
90				36,0	11,9		
96	7,02		170				
97				48,0	22,3	9,8	
99							1364
103	7,28		367				
104				52,0	28,2	11,7	
110	7,19	115	158				
111				52,0	23,5		
113							2280
117	7,11	105	170				
118				68,0	18,4	19,4	
125				64,0	22,8		
127							776
131	6,82	100	192				
132				80,0	20,7	19,3	
138	6,63	183	290				
139				48,0	18,5		
141							826
145	6,93	101	165				
146					19,7	13,7	
152	5,79	321	175				
153				76,0	19,4		
155							1104
159	7,12	37	224				
160				72,0	21,4	19,7	
166	6,52	216	191				
167				96,0	21,0		
169							636
173	6,29	132	143				
174				72,0	19,3	20,2	
180	6,36	161	156				
181				68,0	20,8		
187	6,30	24	131				
188				56,0	21,8	11,6	
190							928
194	6,53		131				
195				64,0	18,1		
200	6,61	106	138				
202				88,0	21,3	17,7	
208	6,32	17	161				

Tabela C.2: Resultados do afluente (E₁) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.).

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
209				68,0	35,6		
211							736
216	6,44	173	180	80,0	20,1	19,9	
225	7,36		180				542
229	6,47	47	133				
236	6,61		91				
237				40,0	15,0	7,5	1108
243	6,53	43	123				
250	6,55	93	123				
251				40,0	14,8	11,3	584
257	5,67	21	169				
264	6,56	41	11				
265				36,0	13,5	6,9	992
271	6,71	164	165				
278	7,59		126				
279	6,62	136	140	32,0	12,8	5,3	932

Tabela C.3: Resultados complementares do afluente (E₁) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
5			1540	600	280	240
6	1322					
8	2328	1134				
13	1250					
15		541				
19			1080	500	400	300
22	1968	398				
26			1760	580	280	240
27	3524					
29	2808	1211				
34	1884					
36	1621					
40			1620	840	320	160
41	2314					
43	2068	1054				
47			780	340	200	160
48	1806					
50	1576	1042				
54			820	540	320	320
55	1764					

Tabela C.3: Resultados complementares do afluente (E₁) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
57	1384	871				
61			1180	720	240	160
62	1209					
64	1161	681				
68			1060	540	240	140
69	762					
71	1680	1201				
75			1360	680	160	40
76	1186					
78	1372	750				
82			900	500	320	280
83	2604					
85	1110	657				
89			980	540	360	360
90	1024					
92	1098	657				
96			880	520	320	240
97	1315					
99						
103			1380	800	300	300
106	1416	1008				
110			1100	860	320	200
111	2388					
113	2200	938				
117			640	360	280	200
118	1940					
120	1732	1358				
125	2762					
127	2562	1133				
131			900	580	520	400
132	2294					
134	2380	1134				
138			980	520	280	240
139	1980					
141	1708	899				
145			680	260	160	160
146	1624					
148	2188	1208				
152			1320	980	480	440
153	2348					
155	2136	1128				
159			880	520	320	320
160	2100					
162	2364	1208				
166			1280	700	400	280

Tabela C.3: Resultados complementares do afluentes (E_1) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
167	3892					
169	1378	633				
173			1020	580	320	280
174	3124					
176	1682	900				
180			1440	940	840	640
181	1848					
187	1860					
187			820	540	240	160
190	1740	1125				
194			980	640	560	360
195	2316					
197	2414	1204				
200			740	440	280	160
202	3188					
207	1750					
208			920	540	400	320
211	1722	826				
216	1660		1260	680	240	40
218	1684					
225	906	468	640	400	320	200
229			980	520	280	240
232	938	446				
236			640	340	300	200
239	1852	980				
243			1520	960	800	400
246	1530	563				
250			680	420	200	120
251	1603					
253	1067	518				
257			880	560	160	160
258	586					
260	870	467				
264			500	280		
265	1075					
267	814	372				
271			920	540	440	320
274	950	512				
278			780	480	360	240
279	878					
281	1042	492				

Tabela C.4: Resultados do pH ao longo da altura do reator UASB (perfil de pH). Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	Ponto de amostragem interno do reator UASB			
	L ₁	L ₃	L ₅	L ₆
	pH	pH	pH	pH
5	7,15	7,34	7,17	7,09
12	7,21	7,28	7,31	7,29
19	7,15	7,67	7,53	7,45
40	7,23	7,44	7,55	7,45
47	6,98	7,47	7,38	7,28
54	7,15	7,20	7,34	6,94
61	7,12	7,05	7,39	6,76
68	7,17	7,16	7,27	7,04
75	6,92	7,20	7,21	7,05
82	6,96	7,15	7,26	7,08
89	7,00	7,13	7,11	7,06
96	7,18	7,30	7,14	7,04
103	7,00	7,11	7,09	6,91
110	6,99	7,22	7,12	6,97
117	6,96	7,07	7,12	7,11
131	7,04	7,08	7,18	6,88
138	6,92	6,85	6,84	6,66
145	6,54	6,83	6,70	6,90
152	6,72	6,68	6,87	6,72
159	6,93	6,84	6,81	6,79
166	6,73	6,83	6,70	6,64
173	6,77	6,68	6,81	6,86
180	6,64	6,67	6,68	6,64
187	6,46	6,52	6,63	6,65
194	6,65	6,88	6,77	6,82
200	6,61	6,97	6,66	6,99
208	6,67	6,51	6,72	6,75
216	6,73	6,87	6,71	6,73
225	7,03	7,03	6,95	7,02
229	6,77	6,99	6,93	6,93
236	6,75	6,90	7,11	6,84
243	6,71	6,87	6,96	6,85
250	6,62	6,93	6,98	6,61
257	6,64	6,86	6,78	6,74
264	6,77	6,88	6,84	6,75
271	6,80	6,85	6,69	6,74
278	6,79	6,85	6,72	6,72

Tabela C.5: Resultados da concentração de sólidos ao longo da altura do reator UASB (perfil de sólidos). Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	Ponto de amostragem interno do reator UASB							
	L ₁		L ₃		L ₅		L ₆	
	ST (mg/L)	SV (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)
5	73100	37000	42200	37000	16550	9000	22850	11900
12	66500	35300	33800	17400	27400	13500	29600	14900
26	37600	20100	24850	13100	21750	11700	11540	6000
40	34250	18900	26750	14400	24100	13000	28800	16500
47	22500	13400	20800	11200	17900	10100	11700	6000
54	26500	16100	20600	12300	14400	8900	6500	3700
61	17200	10300	16500	10200	19600	11300	10300	6400
68	24100	16100	13000	7100	19500	12200	11900	7700
75	30700	20700	12100	7800	10000	6400	9100	5900
82	40100	26800	14900	9400	14100	9200	6600	4400
89	29300	19900	17400	10900	13900	8800	6800	4900
96	18200	12100	14500	9200	12300	7800	9000	5700
103	22300	14900	11000	7100	8500	5300	6400	4100
110	24200	16700	12500	8800	6700	5000	7600	5400
117	18900	13200	15400	10200	11100	7600	5300	3700
131	23700	16500	12400	8500	15600	10600	9000	6400
138	19500	13800	17600	10000	13500	9100	10200	7200
145	25300	18900	13500	9800	10400	7400	7000	5200
152	21200	15700	15900	11400	15700	11400	12700	9200
159	21300	15600	14100	10300	12100	8700	12100	8700
166	22900	16700	13300	9200	12300	8600	11300	8100
173	27400	19200	12700	8400	13000	9600	11200	7600
180	21700	16300	13300	9300	14100	9800	11300	7900
187	25100	18200	22000	15600	2300	1800	2000	1300
194	28500	21200	26200	18100	3400	1900	2000	1200
200	40200	29700	17100	11500	9400	6300	8800	5800
208	44000	33500	10100	6900	10800	7200	11100	7000
216	37000	28200	13200	9000	11600	7900	8500	5800
225	32500	25600	14300	10200	11800	8100	2600	1700
229	39800	31100	11100	7200	12100	8200	8400	5600
236	54300	41600	11100	7300	12300	8300	11500	7900
243	43000	32220	11700	7700	15000	9900	11900	7700
250	47500	36700	10800	7000	15900	10600	14000	9400
257	37500	29200	15700	10000	15800	10100	15600	10200
264	58500	45500	14100	9100	11600	7600	12300	7900
271	31800	24800	10100	6400	10800	7400	11300	7200
278	40200	31900	9900	7200	12700	8800	13400	9000

Tabela C.6: Resultados do efluente (E₂) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
1	7,84	35	683				
5	7,79	28	670				
6	7,48		713	40,0	30,8	9,9	497
7	7,23		702				
8	7,24		788				
9	7,30		734				
12	7,14		775				
13	7,19		775	32,0	31,7		
14	7,68		775				
16	7,54		836				
19	7,21		792				
20	7,49		781	38,0	28,5	7,1	
21	7,26		802				
22	7,34		802				
23	7,27		881				
26	7,29	105	884				
27	7,41		936	34,0	29,6	7,0	
28	7,41		988				
29	7,14		811				
30	7,04		780				
33	7,26		735				
34	7,40		704	26,0	22,7	3,6	
36	6,99	42	473				672
37	7,07	31	788				
40	7,14		767				
41				32,0	27,6		
42	7,05	38	578				
43	7,25		546				
44	6,94	30	620				
47	7,10		641				
48	7,08	27	536	32,0	27,7	7,0	
49	6,92	40	577				
50	6,81	84	451				652
51	6,84	67	515				
54	6,79	56	399				
55				30,0	28,0	1,7	
56	7,24	49	494				
57	7,01		483				
58	6,85	63	430				
61	6,84	115	399				
62	6,72	27	388	36,0	34,9		
63	6,82	13	483				
64	6,86		441				532
65	6,82	36	420				

Tabela C.6: Resultados do efluente (E₂) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
68	7,02		525				
69	6,76		382	26,0	22,8	6,7	
70	6,76		347				
72	6,84		530				
75	6,92		494				
76	6,78		430	68,0	30,6		
77	6,80		430				
78	6,82		420				
79	6,84		452				
82	6,88		370				
83	6,60		399	64,0	31,0	15,1	
84	6,77		490				
85	6,61		502				606
86	6,69		456				
89	6,83		376				
90	6,67		353	44,0	36,4		
91	6,63		382				
93	6,71		392				
96	7,02		477				
97	7,25		297	36,0	30,	8,0	
98	6,57		318				
99	6,66		371				1088
100	6,81		424				
103	6,75		449				
104	7,09		418	38,0	26,3	5,7	
105	6,60		316				
106	6,77		367				
107	6,47	111	408				
110	6,86	11	242				
111	6,75		252	30,	24,6		
112	6,62	40	336				
113	6,75	14	357				816
114	6,72	63	388				
117	6,60		310				
118	6,66	30	310	44,0	39,4	7,1	
119	6,64	46	310				
120	6,84		360				
121	6,62		530				
124		106					
125	6,51	18	340	56,0	27,0		
126	6,66		310				
127	6,77	54	340				812
128	6,53	70	350				
131	7,39		283				

Tabela C.6: Resultados do efluente (E₂) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
132	6,54	93	316	40,0	28,0	6,4	
133	6,63	74	339				
134	6,69	71	362				
135	6,58	31	362				
138	6,30	258	271				
139	6,81	65	290	36,0	25,8		
140	6,34	110	226				
141	6,30	103	285				956
142	6,62	264	271				
145	6,59	100	330				
146	6,86	40	429	44,0	20,8	6,5	
147	6,66	66	341				
148	6,59	26	836				
149	6,81	15	385				
152	6,86		315				
153	6,86	52	294	44,0	23,6		
154	6,77	95	371				
155	7,04		301				812
156	6,90	30	399				
159	6,69	70	308				
160	6,57	23	343	44,0	26,6	10,0	
161	6,75	70	315				
162	7,29		336				
163	6,96	47	322				
166	6,72	10	307				
167	6,91	110	329	44,0	26,1		
168	6,71	14	286				
169	7,11		276				516
170	6,64	31	276				
173	6,90		245				
174	6,46	38	255	36,0	18,9	6,2	
175	6,51		275				
176	6,83		296				
177	6,70	99	316				
180	6,80	14	210				
181	6,59		294	44,0	23,4		
182	6,95		294				
183	6,40	98	273				
187	6,70		229				
188	6,89	80	316	32,0	23,9	4,1	
189	7,50	40	316				
190	6,58	72	305				844
191	6,82	64	316				
194	7,07		316				

Tabela C.6: Resultados do efluente (E₂) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
195	7,32		316	28,0	14,8		
196	6,87	45	283				
197	6,79	127	316				
198	6,75	90	196				
201	6,97		244				
202	7,80	56	276	40,0	21,3	5,4	
203	6,54		350				
204	6,63	19	297				
205	6,95		371				
208	6,77		235				
209	6,74		257	38,0	32,0		
210	6,92	21	332				
211	6,59	155	310				780
212	6,76	13	353				
216	6,97		297	54,0	27,2	5,2	
217	6,83	24	318				
218	6,76	19	307				
219	6,69	32	289				
225	7,16		190				494
226	6,71	23	380				
229	7,12		265				
236	6,76		212				
237				34,0	18,8	4,5	726
239	6,68						
243	7,08		158				
246		40					
250	6,55	115	185				
251				34,0	17,6	7,3	564
253	6,86	45					
257	7,54	49	185				
260	6,83						
264	6,90		212				
265					19,1	4,1	960
267	6,65	33					
271	6,94		206				
274	6,75						
278	6,87		220				
279				36,0	17,0	7,7	500
281	6,74						

Tabela C.7: Resultados complementares do efluente (E₂) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
5					1120	320	40	40
6	221							
8	412	289	169	110				
12					1340	440	100	60
13	304							
15			43	39				
19					1280	340	20	
22	284	252		103				
26					1440	280	60	60
27	181							
29	302	205	89	84				
34	174							
36	411	266	158	121				
40					1140	380	40	20
41	346							
43	521	432	195	158				
47					1040	280	20	20
48	387							
50	454	395		257				
54					600	200	100	80
55	274							
57	514		284					
61					800	280	160	140
62	329							
64	980	382	421	232				
68					1060	500	80	40
69	1021							
71	385	332	211	179				
75					940	440	160	20
76	1404	378						
78	490	361	260	199				
82					720	240	90	60
83	1396	252	229					
85	1856	422	747	250				
89				640	220	87	87	
90	351							
92	597	522	327	294				
96					2360	1480	1300	1100
97	754							
99	539	480		258				
103					1200	460	80	60
106	571	511		245				
110					400	340	100	80
111	412							
113	453	393	218	196				

Tabela C.7: Resultados complementares do efluente (E₂) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
117					500	280	80	70
118	382							
120	2124	482	539	217				
125	1244	766						
127	1130	584	516	317				
131					480	300	80	80
132	730	457						
134	745	497	317	222				
138					1040	520	100	100
139	646	530						
141	880	593	515	382				
145					2440	1720	1600	1300
146	540	320						
148	1109	615	682	317				
152					1220	720	120	100
153	791	547						
155	734	471	393	305				
159					700	260	180	180
160	694	400						
162	586	498	350	306				
166					760	260	100	100
167	781	441						
169	321	291	158	152				
173					560	220	60	20
174	804							
176	717	552	350	250				
180					580	220	120	100
181	926							
187					480	160	60	60
188	497							
190	931	703	490	392				
194					600	220	120	100
195	798							
197	334	269	120	110				
200					460	160	80	80
202	558							
207	360							
208					500	240	140	120
211	851	633	445	350				
216	339				660	200	80	
218	1053	826						
225	628	395	316	216				
229					620	180	40	40
232	130	108	58	47				
236					540	240	120	120

Tabela C.7: Resultados complementares do efluente (E₂) do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
239	407	342	132	110				
243					360	140	50	40
246	679	266	89	73				
250					740	360	(520)	(320)
251	301							
253	305	259	84					
257					1100	660	(640)	(400)
258	220							
260	1340	215	325					
264					920	520	(480)	(360)
265	354							
267	891	663	372					
271					1280	600	(760)	(360)
274	867	233						
278					680	360	(480)	(400)
279	833							
281	332	240	94					

7.4. Anexo D

Tabela D.1: Valores das relações DQO/N e DQO/P do afluyente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela D.2: Valores da relação SV/ST nos pontos de amostragem, da massa total e da concentração de lodo do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela D.3: Valores das relações SV/ST e SSV/SST do afluyente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela D.4: Resultados das eficiências de remoção de sólidos totais (ST), voláteis (SV), sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela D.5: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO_5 total do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela D.6: Resultados das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e do fator de produção de gás do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela D.7: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tabela D.1: Valores da relação DQO/N e DQO/P do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB.

Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	Afluente (E_1)		Efluente (E_2)	
	DQO/N	DQO/P	DQO/N	DQO/P
6	37	117	6	22
13	26		10	
27	40	174	5	26
34	29	104	7	48
41	34		11	
48	28	114	12	55
55	31	120	9	161
62	23		9	
69	32	100	39	152
76	25		21	
83	36	131	22	93
90	28		8	
97	27	134	20	94
111	43		14	
118	28	100	8	54
125	43		22	
132	29	119	18	114
139	41		18	
146		118	12	83
153	31		18	
160	29	107	16	69
167	40		18	
174	43	155	22	130
181	27		21	
188	33	160	15	121
195	36		28	
202	36	180	14	103
209	26		9	
216	21	83	6	65
237			16	119
251	40	142	20	93
265	30	156		86
279	27	166	23	108

Tabela D.2: Valores da relação SV/ST nos pontos de amostragem, da massa total e da concentração de lodo no reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	Relação SV/ST (%)				Massa de Lodo (kg SV)	Concentração de Lodo (kg SV/m³)
	Ponto de amostragem					
	L ₁	L ₃	L ₅	L ₆		
	SV/ST	SV/ST	SV/ST	SV/ST		
5	51	52	54	85	49	16,4
12	53	51	49	50	49	16,4
26	53	53	54	52	30	10,1
40	55	54	54	57	44	14,8
47	60	54	56	56	25	8,5
54	61	60	62	57	24	7,9
61	60	62	58	62	24	7,9
68	67	55	63	65	27	9,0
75	67	64	64	65	24	7,9
82	67	63	65	67	32	10,6
89	68	63	63	72	27	9,0
96	66	63	63	63	24	7,9
103	67	65	62	64	19	6,4
110	69	70	75	71	24	7,9
117	70	66	68	70	22	7,4
131	70	69	68	71	25	8,5
138	71	57	67	71	25	8,5
145	75	73	71	72	25	8,5
152	74	72	73	72	30	10,1
159	73	73	72	72	27	9,0
166	73	69	70	72	27	9,0
173	70	66	74	68	30	10,1
180	75	70	70	70	25	8,5
187	73	71	78	65	22	7,4
194	74	69	56	60	24	7,9
200	74	67	67	66	30	10,1
208	76	68	67	63	30	10,1
216	76	68	68	68	30	10,1
225	79	71	69	65	27	9,0
229	78	65	68	67	29	9,5
236	77	66	67	69	37	12,2
243	75	66	66	65	32	12,2
250	77	65	67	67	35	11,7
257	78	64	64	65	37	12,2
264	78	65	66	64	41	13,8
271	78	63	69	64	29	9,5
278	79	73	69	67	35	11,7

Tabela D.3: Valores das relações SV/ST e SSV/SST do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	Afluente (E ₁)		Efluente (E ₂)	
	SV/ST (%)	SSV/SST (%)	SV/ST (%)	SSV/SST (%)
5	39	86	29	(100)
12			33	60
19	46	75	27	
26	33	86	19	(100)
40	52	50	33	50
47	44	80	27	(100)
54	66	(100)	33	80
61	61	67	35	88
68	51	58	47	50
75	50	(25)	47	
82	56	88	33	67
89	55	(100)	34	(100)
96	59	75	63	85
103	58	(100)	38	75
110	78	63	85	80
117	56	71	56	88
131	64	77	63	(100)
138	53	86	50	(100)
145	38	(100)	70	81
152	74	92	59	83
159	59	(100)	37	(100)
166	55	70	34	(100)
173	57	88	39	33
180	65	76	38	83
187	66	67	33	(100)
194	65	64	37	83
200	59	57	35	(100)
208	59	80	48	86
216	54	(17)	30	
225	63	63		
229	53	86	29	(100)
236	53	67	44	(100)
243	63	50	39	80
250	62	60	49	62
257	64	(100)	60	63
264	56		57	75
271	59	73	47	47
278	62	67	53	83

Tabela D.4: Resultados das eficiências de remoção de ST, SV, SST e SSV do reator UASB.

Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	ST (%)	SV (%)	SST (%)	SSV (%)
5	27,3	46,7	85,7	83,3
19		32,0	95,0	
26	18,2	51,7	78,6	75,0
40	29,6	54,8	87,5	87,5
47		17,6	90,0	87,5
54	26,8	63,0	68,8	75,0
61	32,2	61,1	33,3	12,5
68		7,4	66,7	71,4
75	30,9	35,3		50,0
82	20,0	52,0	71,9	78,6
89	34,7	59,3	75,8	75,8
103	13,0	42,5	73,3	80,0
110	63,6	60,5	68,8	60,0
117	21,9	22,2	71,4	65,0
131	46,7	48,3	84,6	80,0
138			64,3	58,3
152	7,6	26,5	75,0	77,3
159	20,5	50,0	43,8	43,8
166	40,6	62,9	75,0	64,3
173	45,1	62,1	81,3	92,9
180	59,7	76,6	85,7	84,4
187	41,5	70,4	75,0	62,5
194	38,8	65,6	78,6	72,2
200	37,8	63,6	71,4	50,0
208	45,7	55,6	65,0	62,5
216	47,6	70,6	66,7	
229	36,7	65,4	85,7	83,3
236	15,6	29,4	60,0	40,0
243	76,3	85,4	93,8	90,0
250		14,3		
278	12,8	25,0		

Tabela D.5: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total do reator UASB.

Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (%)	DBO ₅ total (%)
6	83,3	
8	82,3	85,1
13	75,7	
15		92,1
22	85,6	
27	94,9	
29	89,2	92,7
34	90,8	
36	74,6	
41	85,0	
43	74,8	81,5
48	78,6	
50	71,2	
55	84,5	
57	62,9	67,4
62	72,8	
64	15,6	38,2
71	77,1	82,4
76		
78	64,3	65,3
90	65,7	
92	45,6	50,2
97	42,7	
106	59,7	
111	82,7	
113	79,4	76,8
118	80,3	
120		60,3
125	55,0	
127	55,9	54,5
132	68,2	
134	68,7	72,0
139	67,4	
141	48,5	42,7
146	66,7	
148	49,3	43,5
153	66,3	
155	65,6	65,2
160	67,0	
162	75,2	71,0

Tempo de Operação (dias)	DQO total (%)	DBO ₅ total (%)
167	79,9	
169	76,7	75,0
174	74,3	
176	57,4	61,1
181	49,9	
188	73,3	
190	46,5	56,4
195	65,5	
197	86,2	90,0
202	82,5	
207	79,4	
211	50,6	46,1
216	79,6	
218	37,5	
225	30,7	32,5
232	86,1	87,0
239	78,0	86,5
246	55,6	84,2
251	81,2	
253	71,4	83,8
258	62,5	
260		30,4
265	67,1	
274	(8,7)	81,6
279	(5,1)	
281	68,1	

Tabela D.6: Resultados das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e do fator de produção de gás do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	Taxa Orgânica Volumétrica Aplicada (kg DQO/m ³ .dia)	Taxa Orgânica Volumétrica Removida (kg DQO/m ³ .dia)	Fator de Produção de Gás (Nm ³ /kg DQO removida)
6	0,79		
8	1,40	1,15	
13	0,75	0,57	
22	2,30	1,96	
27	4,11	3,90	
29	3,28	2,92	
34	2,20	2,00	0,05
36	1,89	1,41	0,13
41	3,70	3,15	0,03
43	3,31	2,48	0,09
48	3,61	2,84	0,11
50	3,15	2,24	0,05
55	3,53	2,98	0,08
57	2,77	1,74	0,09
62	2,42	1,76	
64	2,32	0,35	
69	1,52		
71	3,36	2,59	
76	2,37		
78	2,74	1,76	0,11
83	5,21	2,42	0,08
85	2,22		
90	2,05	1,35	0,08
92	2,20	1,00	0,18
97	2,63	1,12	01,6
99	1,00		
106	2,83	1,69	0,11
111	4,76	3,95	0,05
113	4,40	3,49	0,06
118	3,88	3,12	0,07
120	3,46		
125	6,63	3,64	0,07
127	6,15	3,44	0,08
132	5,51	3,75	0,06
134	5,71	3,92	0,06
139	4,75	3,20	0,05
141	4,10	1,99	0,10
146	3,90	2,60	0,11
148	5,25	2,59	0,05
153	5,64	3,74	0,08
155	5,13	3,36	0,09
160	5,04	3,37	0,08
162	5,67	4,27	0,07

Tabela D.6: Resultados das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e do fator de produção de gás do reator UASB. Fases A.I e A.II. (cont.).

Tempo de Operação (dias)	Taxa Orgânica Volumétrica Aplicada (kg DQO/m ³ .dia)	Taxa Orgânica Volumétrica Removida (kg DQO/m ³ .dia)	Fator de Produção de Gás (Nm ³ /kg DQO removida)
167	9,34	7,47	0,05
169	3,37	2,59	0,17
176	4,92	2,82	0,13
181	5,28	2,63	0,14
188	6,38	4,67	0,13
190	5,09	2,37	0,25
195	7,51	4,92	0,12
197	7,43	6,40	0,08
202	3,30	2,72	0,07
207	4,47	3,55	0,13
211	5,30	2,68	0,24
216	4,92	3,91	0,16
218	4,99	1,87	0,14
225	2,72	0,83	(0,54)
232	2,75	2,36	0,21
239	5,56	4,34	0,17
246	4,42	3,55	0,13
251	4,53	2,61	0,17
253	3,61	2,58	0,18
258	1,67	1,05	0,14
260	2,68		
265	3,31	2,22	0,16
267	2,64	(0,25)	
274	2,85	(0,13)	
279	2,57	2,05	
281	3,01		0,21

Tabela D.7: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do reator UASB. Fases A.I e A.II.

Tempo de Operação (dias)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo Total (%)	Cor Verdadeira (%)
6		12,4	51,0
13	33,3		
20	32,1	68,7	
27	61,4	65,3	
34	59,4	80,1	
36			34,5
41	52,9		
48	50,0	56,0	
50			30,3
55	46,4	88,4	
62	30,8		
64			52,8
69		11,8	
85			17,7
83	11,1	23,7	
97	25,0	18,4	
99			20,2
104	26,9	51,3	
111	46,4		
113			64,2
118	35,3	63,4	
125	12,5		
132	50,0	66,8	
139	25,0		
146		52,6	
153	42,1		
155			26,4
160	38,9	749,2	
167	54,2		
169			18,9
174	50,0	69,3	
181	35,3		
188	42,9	64,7	
190			9,1
195	56,3		
202	54,5	69,5	
209	44,1		
216	32,5	73,9	
225			8,9
237	15,0	40,0	34,5
251	15,0	35,4	(3,4)
265		40,6	(3,2)
279			46,4

7.5. Anexo E

Tabela E.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Tabela E.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase A.II-1.

Tabela E.3: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase A.II-1.

Tabela E.4: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase A.II-1.

Tabela E.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
30/12/2002	229	29,5	6,4	2,7	
31/12/2002	230	30,3	5,9	2,6	
01/01/2003	231	30,5	6,1	2,6	
02/01/2003	232	29,6	6,7	2,8	
03/01/2003	233	30,6	6,3	2,8	
04/01/2003	234	30,0	6,2	2,6	
05/01/2003	235	29,3	6,5	2,8	
06/01/2003	236	27,1	7,0	2,7	
07/01/2003	237	29,3	6,6	2,7	
08/01/2003	238	29,7	6,4	2,7	
09/01/2003	239	30,3	6,7	2,7	
10/01/2003	240	29,8	6,1	2,8	2,0
11/01/2003	241	29,6	5,8	2,8	
12/01/2003	242	28,9	6,2	2,8	
13/01/2003	243	29,3	6,0	3,1	2,0
14/01/2003	244	28,8	6,4	3,0	
15/01/2003	245	27,2	4,7	3,0	
16/01/2003	246	28,3	4,1	2,8	1,7
17/01/2003	247	29,2	3,8	2,8	
18/01/2003	248	28,6	4,6	2,8	
19/01/2003	249	29,4	3,9	2,9	
20/01/2003	250	28,3	3,5	2,5	1,8
21/01/2003	251	28,8	4,2	2,8	
22/01/2003	252	27,8	3,9	2,7	
23/01/2003	253	28,4	4,5	2,4	1,7
24/01/2003	254	28,5	4,1	2,5	
25/01/2003	255	26,7	3,7	2,6	
26/01/2003	256	27,3	3,5	2,7	
27/01/2003	257	26,2	3,9	2,6	
28/01/2003	258	27,4	3,7	2,8	2,2
29/01/2003	259	27,7	3,6	2,6	
30/01/2003	260	26,5	4,2	2,5	1,7
31/01/2003	261	25,8	3,8	2,6	
01/02/2003	262	26,7	3,6	2,6	
02/02/2003	263	27,8	3,9	2,6	
03/02/2003	264	29,0	(0,3)	2,6	1,7
04/02/2003	265	29,9	(0,4)	2,6	
05/02/2003	266	29,7	(0,3)	2,6	
06/02/2003	267	28,8	(0,5)	2,4	1,9
07/02/2003	268	30,2	(0,8)	2,5	
08/02/2003	269	29,8	(0,4)	2,5	
09/02/2003	270	29,6	(0,7)	2,5	

Tabela E.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase A.II-1. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
10/02/2003	271	30,3	6,0	2,6	1,3
11/02/2003	272	29,2	5,3	2,5	
12/02/2003	273	30,2	6,2	2,5	
13/02/2003	274	30,3	6,0	2,6	1,3
14/02/2003	275	28,3	5,5	2,8	
15/02/2003	276	28,1	5,9	2,8	
16/02/2003	277	27,8	(0,3)	2,8	
17/02/2003	278	27,5	3,5	2,4	1,6
18/02/2003	279	27,3	3,7	2,5	
19/02/2003	280	27,5	6,8	2,5	
20/02/2003	281	28,1	7,3	2,5	
21/02/2003	282	28,2	7,5	2,5	

Tabela E.2: Resultados do efluente (E₃) da lagoa aerada aeróbia. Fase A.II-1.

Tempo de Operação (dias)	pH	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
229					2900	1700	2167	1333
236	6,84				1450	820	1000	600
237		411			840	320	340	200
238		687						
239		657	122	23				
243	6,96				1460	720	920	640
244		377						
245		934			840	380	300	240
246		331	188	30				
250	6,85				860	340	280	160
251		411	169	20				
252		576			980	320	320	220
253		423	155	22				
257	6,93				680	220	160	90
258		150						
259					460	120	27	7
260		201	132	32				
264	6,80				560	180	70	50
265		277						
266					700	200	220	120
267		317	231	36				
271	7,14				900	280	380	200
273					840	300	520	280
274		499	92					
278	6,92				700	340	200	200
279		580						
280					1140	580	440	280

Tabela E.3: Resultados do efluente (E₄) da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Tempo de Operação (dias)	pH	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg P/L)	Cor Verdadeira (mg Pt/L)
			Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH ₃ /L)		
236	7,47	60				
237			22,0	7,1	1,4	237
240						
243	7,26	105				
246						
250	7,26	103				
251			22,0	4,2	2,7	443
253						
257	7,36	175				
258						
260						
264	7,27	161				
265			18,0	12,2	2,6	410
267						
271	7,65	227				
274						
278	7,61	157				
279			20,0	4,1	4,1	320

Tabela E.4: Resultados complementares do efluente (E₄) da lagoa de decantação. Fase A.II-1.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
229							10	10
236					560	180	60	60
239	111		19					
243					640	200	20	20
246	123		22					
250					310	220	15	21
253	158	151	27	20				
257					500	120		
260	112	98	26	20				
264					440	150		
265	124							
267	254	226						
271					550	110		
274	62	44	12					
278					480	140	20	20
279	290							

7.6. Anexo F

Tabela F.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV do reator UASB, da lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e do sistema completo. Fase A.II-1.

Tabela F.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total do reator UASB, da lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e do sistema completo. Fase A.II-1.

Tabela F.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal do reator UASB, da lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e do sistema completo. Fase A.II-1.

Tabela F.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total do reator UASB, da lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e do sistema completo. Fase A.II-1.

Tabela F.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira do reator UASB, da lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e do sistema completo. Fase A.II-1.

Tabela F.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase A.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de SST e SSV (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	SST	SSV	SST	SSV	SST	SSV
229	85,7	83,3	75,0	75,0	96,4	95,8
236	60,0	40,0	50,0	50,0	80,0	70,0
243	93,8	90,0	60,0	50,0	97,5	95,0
250			(97,1)	(96,9)	92,5	91,3
278			(95,8)	(95,0)	94,4	91,7

Tabela F.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase A.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de DQO total e DBO ₅ total (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅
232	86,1	87,0				
239	78,0	86,5	72,7	85,6	94,0	98,1
246	55,6	84,2	81,9	75,3	92,0	96,1
251	81,2					
253	71,4	83,8	48,2	67,9	85,2	94,8
258	62,5					
260		30,4	(91,6)	92,0	(87,1)	94,4
265	67,1		65,0		88,5	
267			71,5		68,8	
274	(8,7)	81,6	92,8	87,2	93,5	97,7
279	(5,1)		65,2		67,0	
281	68,1		62,3		88,0	

Tabela F.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase A.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Nitrogênio (%)				
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
		Total	Amoniacal	Total	Amoniacal
237	15,0	35,3	62,2	45,0	52,7
251	15,0	35,3	76,1	45,0	71,6
265			36,1	50,0	9,6
279		44,4	75,9	37,5	68,0

Tabela F.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase A.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Fósforo Total (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
237	40,0	68,9	81,3
251	35,4	63,0	76,1
265	40,6	36,6	62,3
279		46,8	22,6

Tabela F.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase A.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Cor Verdadeira (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
237	34,5	67,4	78,6
251		24,1	21,5
265	(3,2)	57,3	58,7
279	46,4	36,0	65,7

7.7. Anexo G

Tabela G.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela G.2: Resultados do afluente (E_1) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela G.3: Resultados complementares do afluente (E_1) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela G.4: Resultados do perfil de pH do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela G.5: Resultados do perfil de sólidos do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela G.6: Resultados do efluente (E_2) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela G.7: Resultados complementares do efluente (E_2) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela G.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluentes		
13/03/2003	1	27,0	23,0	28,0	20,8	0,42
14/03/2003	2	28,0	26,0	27,0	21,0	0,27
15/03/2003	3	30,0	25,0	27,0	21,1	0,60
16/03/2003	4	32,0	26,0	28,0	21,0	0,58
17/03/2003	5	28,0	27,0	27,0	21,1	0,60
18/03/2003	6	28,0	25,0	26,0	20,6	0,50
19/03/2003	7	32,0	25,0	27,0	20,7	0,24
20/03/2003	8	31,0	25,0	28,0	33,1	1,10
21/03/2003	9	25,0	25,0	26,0	43,7	0,64
22/03/2003	10	23,0	25,0	25,0	43,8	0,50
23/03/2003	11	24,0	24,0	25,0	44,0	0,39
24/03/2003	12	26,0	25,0	25,0	15,5	0,48
25/03/2003	13	24,0	25,0	25,0	15,3	1,01
26/03/2003	14	25,0	24,0	26,0	15,1	0,74
27/03/2003	15	26,0	25,0	25,0	15,2	0,36
28/03/2003	16	24,0	24,0	25,0	15,5	0,37
29/03/2003	17	25,0	26,0	25,0	15,7	1,31
30/03/2003	18	28,0	25,0	26,0	15,7	0,73
31/03/2003	19	32,0	26,0	26,0	10,2	0,80
01/04/2003	20	29,0	25,0	27,0	10,5	0,81
02/04/2003	21	30,0	26,0	26,0	10,5	0,17
03/04/2003	22	32,0	27,0	27,0	13,1	0,78
04/04/2003	23	23,0	25,0	25,0	12,2	0,59
05/04/2003	24	25,0	25,0	26,0	11,6	0,54
06/04/2003	25	24,0	25,0	27,0	11,6	0,55
07/04/2003	26	24,0	25,0	25,0	9,9	0,73
08/04/2003	27	28,0	25,0	25,0	9,9	0,60
09/04/2003	28	29,0	24,0	25,0	10,5	0,60
10/04/2003	29	28,0	25,0	26,0	9,6	0,77
11/04/2003	30	28,0	25,0	27,0	8,1	0,92
12/04/2003	31	27,0	25,0	25,0	7,7	0,89
13/04/2003	32	23,0	24,0	24,0	7,6	0,49
14/04/2003	33	24,0	25,0	25,0	8,2	0,70
15/04/2003	34	28,0	27,0	24,0	8,5	0,99
16/04/2003	35	27,0	24,0	25,0	8,0	0,84
17/04/2003	36	29,0	25,0	25,0	8,2	0,94
18/04/2003	37	28,0	26,0	26,0	8,4	0,56
19/04/2003	38	29,0	26,0	26,0	8,3	0,52
20/04/2003	39	26,0	24,0	24,0	8,4	0,69
21/04/2003	40	26,0	24,0	25,0	8,3	0,49
22/04/2003	41	28,0	25,0	24,0	8,3	0,66
23/04/2003	42	29,0	25,0	27,0	8,8	0,87
24/04/2003	43	30,0	25,0	25,0	9,7	0,81
25/04/2003	44	30,0	25,0	25,0	11,2	0,60
26/04/2003	45	32,0	26,0	26,0	10,8	1,06

Tabela G.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluente		
27/04/2003	46	33,0	25,0	27,0	11,1	0,46
28/04/2003	47	31,0	25,0	26,0	11,7	0,72
29/04/2003	48	30,0	26,0	25,0	10,5	0,82
30/04/2003	49	32,0	27,0	26,0	10,8	0,68
01/05/2003	50	33,0	28,0	27,0	11,5	1,09
02/05/2003	51	22,0	24,0	23,0	11,1	0,52
03/05/2003	52	21,0	25,0	23,0	11,7	0,65
04/05/2003	53	22,0	22,0	24,0	11,4	0,25
05/05/2003	54	20,0	22,0	24,0	8,4	0,72
06/05/2003	55	22,0	22,0	23,0	8,0	0,79
07/05/2003	56	21,0	22,0	24,0	8,1	0,66
08/05/2003	57	21,0	23,0	23,0	8,4	0,60
09/05/2003	58	22,0	23,0	23,0	8,3	0,62
10/05/2003	59	23,0	22,0	23,0	8,6	0,64
11/05/2003	60	23,0	22,0	24,0	8,5	0,66
12/05/2003	61	26,0	23,0	24,0	8,6	0,73
13/05/2003	62	27,0	23,0	24,0	8,4	0,63
14/05/2003	63	27,0	24,0	23,0	8,5	0,80
15/05/2003	64	25,0	23,0	24,0	8,6	0,77
16/05/2003	65	26,0	23,0	24,0	8,9	0,76
17/05/2003	66	28,0	24,0	25,0	9,1	0,83
18/05/2003	67	26,0	24,0	25,0	9,0	0,59
19/05/2003	68	26,0	24,0	24,0	9,5	0,52
20/05/2003	69	27,0	23,0	25,0	8,5	0,68
21/05/2003	70	28,0	24,0	26,0	7,8	0,69
22/05/2003	71	29,0	26,0	24,0	8,2	0,56
23/05/2003	72	23,0	27,0	24,0	8,3	0,80
24/05/2003	73	22,0	23,0	24,0	7,8	0,70
25/05/2003	74	22,0	22,0	24,0	8,0	0,60
26/05/2003	75	22,0	22,0	23,0	8,3	0,55
27/05/2003	76	21,0	22,0	23,0	8,1	0,60
28/05/2003	77	24,0	22,0	24,0	8,6	0,54
29/05/2003	78	24,0	22,0	23,0	9,1	0,64
30/05/2003	79	27,0	22,0	23,0	8,7	0,48
31/05/2003	80	26,0	25,0	23,0	9,0	0,82
01/06/2003	81	26,0	23,0	24,0	9,1	0,64
02/06/2003	82	26,0	23,0	24,0	8,3	0,75
03/06/2003	83	26,0	23,0	24,0	8,5	0,69
04/06/2003	84	25,0	23,0	24,0	8,6	0,72
05/06/2003	85	23,0	23,0	24,0	7,0	0,76
06/06/2003	86	28,0	23,0	24,0	7,2	0,62
07/06/2003	87	28,0	23,0	25,0	7,2	0,77
08/06/2003	88	25,0	23,0	26,0	7,3	0,55
09/06/2003	89	26,0	23,0	24,0	7,2	0,81
10/06/2003	90	27,0	23,0	24,0	8,0	0,87

Tabela G.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluente		
11/06/2003	91	27,0	23,0	25,0	8,5	1,00
12/06/2003	92	27,0	23,0	25,0	8,6	0,87
13/06/2003	93	27,0	23,0	24,0	6,9	0,88
14/06/2003	94	25,0	22,0	24,0	7,0	0,90
15/06/2003	95	27,0	23,0	25,0	7,1	0,60
16/06/2003	96	26,0	23,0	24,0	7,3	0,80
17/06/2003	97	27,0	23,0	24,0	8,1	1,01
18/06/2003	98	25,0	23,0	24,0	7,3	0,89
19/06/2003	99	25,0	23,0	24,0	7,2	0,66
20/06/2003	100	26,0	23,0	25,0	7,3	0,76
21/06/2003	101	25,0	22,0	24,0	7,4	0,81
22/06/2003	102	25,0	23,0	24,0	7,4	0,69
23/06/2003	103	26,0	22,0	23,0	7,1	0,68
24/06/2003	104	26,0	22,0	23,0	7,1	0,88
25/06/2003	105	25,0	22,0	23,0	13,0	0,93
26/06/2003	106	27,0	23,0	23,0	6,6	0,82
27/06/2003	107	25,0	22,0	24,0	6,8	0,87
28/06/2003	108	24,0	22,0	22,0	7,0	1,00
29/06/2003	109	25,0	23,0	24,0	7,1	0,79
30/06/2003	110	25,0	22,0	24,0	7,4	0,89
01/07/2003	111	24,0	22,0	22,0	6,5	0,51
02/07/2003	112	24,0	22,0	23,0	6,0	0,86
03/07/2003	113	24,0	22,0	22,0	6,6	0,83
04/07/2003	114	25,0	22,0	22,0	9,7	0,84
05/07/2003	115	25,0	22,0	22,0	9,9	0,93
06/07/2003	116	25,0	22,0	23,0	9,6	0,87
07/07/2003	117	28,0	25,0	24,0	8,2	0,75
08/07/2003	118	28,0	25,0	24,0	7,1	1,01
09/07/2003	119	27,0	23,0	22,0	7,6	0,89
10/07/2003	120	17,0	21,0	20,0	8,6	0,62
11/07/2003	121	16,0	20,0	20,0	8,4	0,79
12/07/2003	122	14,0	18,0	20,0	8,0	0,85
13/07/2003	123	19,0	20,0	21,0	10,1	0,80
14/07/2003	124	22,0	22,0	21,0	8,7	0,82
15/07/2003	125	24,0	22,0	21,0	7,7	1,08
16/07/2003	126	26,0	22,0	22,0	7,9	1,24
17/07/2003	127	26,0	21,0	22,0	8,4	0,86
18/07/2003	128	26,0	22,0	22,0	7,5	0,86
19/07/2003	129	26,0	23,0	22,0	7,4	0,97
20/07/2003	130	27,0	24,0	23,0	7,3	0,98
21/07/2003	131	27,0	22,0	22,0	7,7	1,09
22/07/2003	132	28,0	23,0	23,0	7,7	0,91
23/07/2003	133	28,0	23,0	23,0	7,6	0,72
24/07/2003	134	29,0	24,0	23,0	10,0	2,56
25/07/2003	135	26,0	22,0	23,0		1,18

Tabela G.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluente		
26/07/2003	136	23,0	22,0	22,0	10,4	0,93
27/07/2003	137	22,0	22,0	22,0	10,0	0,90
28/07/2003	138	22,0	22,0	22,0	10,1	1,23
29/07/2003	139	27,0	22,0	22,0	8,4	1,44
30/07/2003	140	26,0	23,0	23,0	9,0	0,75
31/07/2003	141	28,0	22,0	23,0	8,4	0,65
01/08/2003	142	29,0	24,0	23,0	8,2	2,76
02/08/2003	143	26,0	23,0	23,0	8,2	1,39
03/08/2003	144	25,0	23,0	23,0	8,6	1,42
04/08/2003	145	27,0	24,0	23,0	9,1	0,62
05/08/2003	146	28,0	25,0		9,6	1,42
06/08/2003	147	24,0	23,0	22,0	8,3	1,13
07/08/2003	148	20,0	21,0	22,0	9,3	1,62
08/08/2003	149	22,0	21,0	22,0	9,0	0,61
09/08/2003	150	21,0	20,0	22,0	9,1	0,94
10/08/2003	151	17,0	21,0	22,0	9,0	0,75
11/08/2003	152	19,0	20,0	21,0	10,0	0,85
12/08/2003	153	18,0	20,0	21,0	9,9	0,83
13/08/2003	154	19,0	21,0	22,0	9,8	2,04
14/08/2003	155	26,0	22,0	22,0	6,6	1,02
15/08/2003	156	25,0	21,0	22,0	9,6	1,08
16/08/2003	157	26,0	22,0	22,0	9,9	1,46
17/08/2003	158	28,0	22,0	23,0	9,9	0,64
18/08/2003	159	21,0	20,0	21,0	6,8	1,02
19/08/2003	160	27,0	21,0	21,0		0,65
20/08/2003	161	28,0	22,0	22,0	6,1	1,72
21/08/2003	162	29,0	23,0	22,0	8,0	1,43
22/08/2003	163	29,0	22,0	22,0	8,1	1,42
23/08/2003	164	30,0	23,0	23,0	8,6	1,20
24/08/2003	165	32,0	24,0	23,0	8,7	0,60
25/08/2003	166	28,0	22,0	22,0	8,3	1,60
26/08/2003	167	17,0	21,0	22,0	9,2	1,41
27/08/2003	168	21,0	21,0	22,0	8,9	1,29
28/08/2003	169	17,0	20,0	21,0	6,9	1,20
29/08/2003	170	17,0	20,0	21,0	7,1	1,39
30/08/2003	171	23,0	21,0	21,0	7,6	1,28
31/08/2003	172	20,0	21,0	21,0	7,4	0,96
01/09/2003	173	29,0	22,0	22,0	7,9	1,22
02/09/2003	174	27,0	21,0	22,0	7,9	1,02
03/09/2003	175	25,0	21,0	22,0	8,3	0,92
04/09/2003	176	28,0	22,0	22,0	8,3	1,50
05/09/2003	177	29,0	22,0	23,0	8,4	0,58
06/09/2003	178	30,0	23,0	23,0	8,9	2,40
07/09/2003	179	30,0	23,0	23,0	8,9	1,24
08/09/2003	180	30,0	23,0	24,0	8,7	0,60

Tabela G.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluente		
09/09/2003	181	28,0	22,0	23,0	9,1	1,04
10/09/2003	182	28,0	23,0	24,0	10,6	2,73
11/09/2003	183	15,0	22,0	22,0	11,0	1,35
12/09/2003	184	25,0	21,0	23,0	10,5	1,27
13/09/2003	185	23,0	21,0	21,0	8,6	1,66
14/09/2003	186	18,0	21,0	20,0	7,1	1,01
15/09/2003	187	29,0	23,0	22,0	6,7	1,27
16/09/2003	188	20,0	22,0	21,0	7,3	1,87
17/09/2003	189	24,0	23,0	21,0	7,1	1,45
18/09/2003	190	25,0	23,0	23,0	7,1	1,75
19/09/2003	191	30,0	23,0	22,0	7,4	1,86
20/09/2003	192	32,0	24,0	24,0	7,1	1,38
21/09/2003	193	33,0	25,0	24,0	7,3	2,47
22/09/2003	194	34,0	26,0	25,0	8,3	1,64
23/09/2003	195	33,0	24,0	25,0	9,6	2,31
24/09/2003	196	34,0	25,0	26,0	9,2	1,69
25/09/2003	197	35,0	26,0	26,0	8,8	1,18
26/09/2003	198	34,0	25,0	25,0	11,9	3,27
27/09/2003	199	24,0	23,0	25,0	12,3	2,32
28/09/2003	200	30,0	24,0	24,0	7,3	1,66
29/09/2003	201	31,0	25,0	25,0	10,0	2,10
30/09/2003	202	32,0	27,0	25,0	9,5	1,83
01/10/2003	202	30,0	24,0	24,0	6,7	1,81
02/10/2003	204	31,0	25,0	25,0	9,2	0,79
03/10/2003	205	34,0	28,0	26,0	8,3	2,85
04/10/2003	206	32,0	29,0	26,0	8,6	2,78
05/10/2003	207	33,0	26,0	23,0	9,3	1,93
06/10/2003	208	28,0	26,0	23,0	7,8	1,41
07/10/2003	209	28,0	25,0	23,0	9,4	1,32
08/10/2003	210	27,0	24,0	25,0	8,8	1,12
09/10/2003	211	26,0	25,0	24,0	11,9	1,24
10/10/2003	212	23,0	24,0	22,0	13,1	1,19
11/10/2003	213	21,0	22,0	21,0	11,6	1,12
12/10/2003	214	22,0	24,0	22,0	8,7	0,93
13/10/2003	215	23,0	24,0	23,0	7,2	1,65
14/10/2003	216	20,0	22,0	23,0	7,4	1,99
15/10/2003	217	25,0	24,0	23,0	7,7	2,44
16/10/2003	218	26,0	25,0	24,0	7,7	0,73
17/10/2003	219	29,0	24,0	24,0	9,4	2,33
18/10/2003	220	30,0	25,0	24,0	7,4	2,2003
19/10/2003	221	31,0	25,0	25,0	7,6	1,39
20/10/2003	222	30,0	25,0	25,0	7,5	2,11
21/10/2003	223	23,0	24,0	24,0	7,7	1,99
22/10/2003	224	28,0	25,0	25,0	5,5	2,26
23/10/2003	225	28,0	25,0	25,0	6,7	1,89

Tabela G.1: Resultados do acompanhamento diário do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Temperatura (°C)			Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Produção de Gás (Nm ³ /dia)
		Ambiente	Reator UASB	Afluente		
24/10/2003	226	29,0	25,0	25,0	7,3	2,32
25/10/2003	227	33,0	25,0	26,0	8,3	2,12
26/10/2003	228	32,0	25,0	26,0	9,0	2,61
27/10/2003	229	28,0	24,0	25,0	8,6	1,12
28/10/2003	230	30,0	25,0	26,0	8,2	1,64
29/10/2003	231	29,0	24,0	25,0	7,9	1,89
30/10/2003	232	29,0	24,0	26,0	6,7	2,28
31/10/2003	233	32,0	25,0	26,0	6,7	2,95
01/11/2003	234	29,0	25,0	26,0	7,0	1,54
02/11/2003	235	20,0	23,0	25,0	8,7	1,44
03/11/2003	236	19,0	23,0	24,0	8,5	1,49
04/11/2003	237	27,0	24,0	24,0	8,9	1,29
05/11/2003	238	28,0	25,0	25,0	7,1	0,94
06/11/2003	239	26,0	22,0	24,0	7,2	2,08
07/11/2003	240	21,0	24,0		8,5	1,22
08/11/2003	241	28,0	25,0		7,8	1,75
09/11/2003	242	29,0	25,0		7,9	3,03
10/11/2003	243	33,0	25,0		7,6	1,97
11/11/2003	244	35,0	26,0		8,1	1,81
12/11/2003	245	32,0	26,0		8,1	1,39
13/11/2003	246	30,0	24,0		8,2	1,99
14/11/2003	247	26,0	25,0		8,3	2,30
15/11/2003	248	31,0	25,0		8,7	1,68
16/11/2003	249	30,0	25,0		8,5	1,53
17/11/2003	250	28,0	23,0		8,5	0,96
09/11/2003	242	29,0	25,0		7,9	3,03
10/11/2003	243	33,0	25,0		7,6	1,97
11/11/2003	244	35,0	26,0		8,1	1,81
12/11/2003	245	32,0	26,0		8,1	1,39
13/11/2003	246	30,0	24,0		8,2	1,99
14/11/2003	247	26,0	25,0		8,3	2,30
15/11/2003	248	31,0	25,0		8,7	1,68
16/11/2003	249	30,0	25,0		8,5	1,53
17/11/2003	250	28,0	23,0		8,5	0,96
18/11/2003	251	28,0	24,0		9,8	1,24
19/11/2003	252	23,0	24,0	24,0	7,8	

Tabela G.2: Resultados do afluente (E₁) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
5	6,49	122	120				
6				32,0	25,0	5,6	
12	6,95	66	138				
19	6,76	123	139				
20				44,0	22,4	12,0	1400
26	6,97		120				
34				18,0	22,4	7,7	1144
36	6,54	171	150				
47	7,35	30	120				
48				38,0	25,3	10,4	
54	6,81		135				
55				68,0	33,0	9,1	644
61	7,37	246	160				
68	7,07	53	187				
62				48,0	27,2	9,4	468
75	6,60		136				
76				52,0	36,0	11,1	788
82	6,69		170				
89	6,54	38	209				
90				52,0	28,5	9,2	
96	6,93		180				
103	6,62						
105				52,0	21,9	10,0	764
110	6,89		187				
117	6,13	258	190				
118				22,0	16,3		
124	6,49	238	170				
131	6,59	148	165				
132				44,0	23,9	17,9	1066
138	6,28	229	156				
145	6,72	111	166				
146				72,0	20,8	12,0	
152	6,43	194	138				
160				56,0	32,4	17,3	2180
166	6,44	225	194				
173	6,72	455	201				
174				52,0	21,7	9,7	940
180	6,46		171				
187	6,35		143				
188				60,0	17,7	6,7	
197	5,83		122				
201	6,49		182				
202				48,0	24,0	10,4	972
208	5,35		107				

Tabela G.2: Resultados do afluente (E₁) do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.).

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
209				52,0	19,5	9,9	1144
215	6,64		93				
216				56,0	29,4	10,9	1220
222	6,98		148				
223				56,0	23,2	9,1	1040
229	5,85		135				
230				92,0	34,2	15,4	1024
236	6,5		189				
237				88,0	26,9	19,5	792
243	6,3		148				
244				44,0	26,4	12,9	936
251				30,0	15,6		

Tabela G.3: Resultados complementares do afluente (E₁) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
5			536	292	140	124
6	768					
8	683	371				
12			554	314	136	122
13	716					
15	876					
19			558	278	172	158
20	1375					
22	1483	704				
26			616	368	268	224
27	1130					
29	961	538				
33			642	350	160	136
34	1379					
40			668	376	206	150
41	799					
43	1323	635				
47			650	358	258	214
48	776					
54			538	304	162	140
55	1000					
57	1588	595				
61			698	398	196	180
62	897					

Tabela G.3: Resultados complementares do afluente (E_1) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
64	1185	630				
68			638	382	218	170
69	1017					
71	1121	586				
75			630	358	184	172
76	1134					
78	1084					
82			720	410	248	204
85	1451	727				
90	1262					
92	1035	493				
96			682	380	162	150
97	1248					
99	1161					
103			686	404	316	280
104	1167					
106	1150	631				
110			706	370	190	170
111	1211					
113	1788	1034				
118	612					
120	966	565				
124						
125	1498		814	508	236	212
127		936				
131			730	448	152	132
132	1455					
134	2088	1123				
138			1094	740	328	320
139	1576					
141	2382	1203				
145			1094	740	328	320
146	2518					
148	1558	726				
152			1382	994	324	268
153	2228					
162	1736	886				
166			774	464	196	184
167	1454					
173			1058	696	272	234
174	1272					
176	1228	702				
180			918	602	252	212
183	1157	470				
187			856	500	248	204

Tabela G.3: Resultados complementares do afluente (E₁) do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
188	1577					
190	1560	826				
194			844	466	228	224
195	1638					
197	1752	963				
201			1002	608	264	232
202	1344					
204	1666	822				
208			992	610	322	286
209	1926					
215			814	472	216	180
216	1355					
218	1790	980				
222			892	494	372	288
223	1608					
225	1387	730				
229			970	622	260	236
230	2558					
232	1422	753				
236			1070	676	264	192
237	2666					
239	1578	775				
243			836	458	276	224
244	1283					
246	1018	516				
251	759					

Tabela G.4: Resultados do pH ao longo da altura do reator UASB (perfil de pH). Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	Ponto de amostragem interno do reator UASB			
	L ₁	L ₃	L ₅	L ₆
	pH	pH	pH	pH
5	6,60	6,57	6,65	6,67
12	6,53	6,51	6,60	6,59
33	6,57	6,77	6,63	6,51
47	6,43	6,48	6,50	6,57
54	6,67	6,77	6,71	6,69
61	6,50	6,60	6,60	6,53
68	6,40	6,51	6,50	6,53
75	6,34	6,73	6,46	6,47
82	6,54	6,58	6,60	6,42
89	6,61	6,63	6,59	6,55
96	6,42	6,42	6,55	6,47
103	6,46	6,60	6,44	6,44
110	6,69	6,69	6,58	6,56
117	6,48	6,53	6,55	6,31
124	6,40	6,37	6,60	6,40
131	6,41	6,35	6,29	6,32
138	6,59	6,53	6,47	6,37
145	6,65	6,62	6,62	6,54
152	6,9	6,51	6,47	6,53
159	6,38	6,47	6,71	6,58
166	6,62	6,65	6,69	6,54
173	6,67	6,59	6,81	6,69
180	6,70	6,75	6,69	6,64
187	6,83	6,68	6,69	6,50
194	6,61	6,39	6,33	6,17
201	6,73	6,59	6,55	6,57
208	6,41	6,51	6,43	6,37
215	6,81	6,70	6,67	6,49
222	6,66	6,65	6,62	6,52
229	6,74	6,51	6,53	6,48
236	6,50	6,60	6,70	6,50
243	6,40	6,40	6,40	6,40

Tabela G.5: Resultados da concentração de sólidos ao longo da altura do reator UASB (perfil de sólidos). Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	Ponto de amostragem interno do reator UASB							
	L ₁		L ₃		L ₅		L ₆	
	ST (mg/L)	SV (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)
5	55460	27660	27810	14140	31580	15790	31250	15250
12	51270	25730	25180	12710	25370	12630	22390	11300
19	45950	24540	23810	12250	17790	9220	24260	12610
26	57810	31560	20800	11130	18030	10500	19710	9820
33	51530	29630	14710	8630	19660	9900	14490	8350
40	50641	31869	14142	8913	1006	500	1018	524
47	41090	26150	16280	10260	1322	598	1162	494
54	46920	31670	15560	9970	9420	6030	9940	6650
61	46580	31480	13690	8690	11230	7200	11320	6960
68	35170	24320	12770	8730	10690	7240	1316	780
75	34660	24560	14340	9280	9610	6720	9040	6030
82	42270	30000	10810	7300	10710	7190	7760	5180
89	44620	32730	11780	8670	9070	6220	10430	7220
96	32380	23800	17040	12200	6050	3540	1216	718
103	32220	24200	11560	8480	15210	10840	10710	7740
110	39320	34930	12320	8880	13020	9270	10400	7110
117	45780	34460	14060	9770	13460	9410	13110	9140
124	26350	20540	25090	17900	13920	9850	12410	8850
131	30470	24560	8380	6220	9130	6800	8930	6990
138	55328	44220	11420	8170	11688	8308	11580	8400
145	49060	38580	12580	8850	12150	8580	8950	6260
152	37680	29820	15450	11070	14590	10610	2400	1480
159	37120	29000	16660	12470	1068	682	1056	642
166	48930	39490	13490	9790	10080	7400	12550	9200
173	39700	32220	11850	8460	13030	9260	11680	8640
180	35810	29420	13730	10040	13070	9530	12770	9280
187	41560	33900	11480	8150	12100	8540	9840	6890
194	52950	44260	11900	8580	11560	8350	12820	9350
201	18970	15830	12330	9180	9970	7460	11260	8420
208	53550	45470	11480	8500	11030	8190	9680	7160
215	46220	38180	13310	9420	12660	8870	3224	2272
222	32100	26370	11690	8010	10700	7370	11380	7940
229	52100	42520	11220	7850	11540	8160	12080	8530
236	43750	36370	14190	10330	21880	16320	857	618
243	42950	35840	12050	8970	16820	12960	18810	14270

Tabela G.6: Resultados do efluente (E₂) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
1	6,87						
5	6,51	26	280				
6	6,56			36,0	20,7	5,3	
7	6,80						
8	6,64		300				
9	6,74						
12	7,04	19	247				
13	6,79						
14	6,75						
15	6,91	20	277				
16	6,50						
19	6,81	130	238				
20	6,76			32,0	24,3	7,0	668
21	7,41						
22	7,59	24	277				
23	6,92						
26	7,14		140				
29	7,22	29					
33	6,92	326	280				
34				46,0	26,3	8,9	492
36	6,46						
43	7,09						
47	6,74		380				
48				40,0	0,7	10,5	
54	6,77		342				
55				34,0	26,0	4,4	498
57	6,59						
61	6,99	90	240				
62				50,0	30,6	9,5	416
68	6,78	19	281				
71	6,65						
75	6,60		199				
76				44,0	35,2	6,7	644
78	6,62						
82	6,94		230				
85	6,43	338					
89	6,55	23	242				
90				40,0	33,9	7,3	
92	6,52	290					
96	6,74	86	270				
103	6,56						
105				50,0	43,1	6,9	386
106	6,68	52					
110	7,08		308				

Tabela G.6: Resultados do efluente (E₂) do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L (em HAc))	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
113	6,44	157					
117	6,47	254	283				
118				84,0	27,6		
120	6,53						
124	6,47	230	433				
127	6,55	30					
131	6,51	108	237				
132				32,0	29,1	8,6	938
134	6,46	44					
138	6,50		343				
141	6,50	27					
145	6,64	86	364				
146				46,0	27,3	7,5	
148	6,69	5					
152	7,12	108	276				
155	6,64						
160				48,0	36,1	13,3	1532
162	6,54						
166	6,68		400				
173	6,76	277	350				
174				48,0	32,3	9,1	716
176	7,42	55					
180	6,84	41	257				
183		30					
187	6,68		265				
188				40,0	-	7,1	
190	6,68						
194	6,56	258	921				
197		30					
201	6,75		332				
202				56,0	30,8	11,5	904
204	7,09						
208	6,6		278				
209				48,0	28,9	8,3	492
211	6,58	51					
216				44,0	26,6	7,0	524
222	6,37		339				
223				42,0	28,1	4,9	826
255	6,49						
229	6,59	18	302				
230				40,0	31,0	4,6	902
232	6,63						
236	6,70		273				
237				46,0	30,9	4,6	536

Tabela G.6: Resultados do efluente (E₂) do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	pH	Ácidos Orgânicos Voláteis (mg/L) (em HAc)	Alcalinidade Total (mg/L) (em CaCO ₃)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg/L) (em P)	Cor Verdadeira (mg/L) (em Pt)
				Total (mg/L) (em N)	Amoniacal (mg/L) (em NH ₃)		
239	6,70		452				
243	6,90		223				
244				38,0	22,1	5,0	516
246	6,60		384				
251				34,0	24,0		

Tabela G.7: Resultados complementares do efluente (E₂) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
5				434	122	46	44
6	633						
8	558	325					
12				636	236	226	122
13	1566						
15	682	423					
19				686	240	284	122
20	350						
22	390	316	136				
26				518	192	72	55
27	504						
29	292	250	136				
33				2554	1398	2064	1224
34	755						
40				705	251	150	86
41	1099						
43	536	482	229				
47				996	356	236	162
48	388						
54				1174	552	536	364
55	485						
57	652	502	283				
61				734	322	344	220
62	898						
64	716	480	314				
68				754	322	272	166
69	747						
71	589	552	305				
75				1102	492	96	46
76	724						
78	900	543					

Tabela G.7: Resultados complementares do efluente (E₂) do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.)

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
82				590	220	146	114
85	1052	664	514				
89				830	410	352	240
90	531						
92	1690	639	374				
96				856	540	384	296
97	966						
99	1051	591	446				
104	507			586	254	100	92
106	1517	466	584				
110				804	400	268	228
111	1459	761					
113	1023	813	556				
118	1074						
120	606	452	218				
124				580	278	110	100
125	1152						
127	1604	597	723				
131				834	448	412	200
132	709						
134	607	529	304				
138				952	382	184	158
139	663						
141	789	625	360				
146	998						
148	354	349	178				
152				874	402	304	232
153	1059						
162	1205	604	534				
166				792	284	116	96
167	663						
173				1626	856	760	570
174	649						
176	568	517	227				
180				1050	608	573	429
183	663	478	197				
187				814	322	128	100
188	806						
190	808	394	384				
194				4426	3036	1590	1094
195	1134						
197	757	478	303				
201				1284	634	960	700
202	1194						
204	610	326	250				

Tabela G.7: Resultados complementares do efluente (E₂) do reator UASB. Fases B.I e B.II. cont.)

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
208				906	498	552	420
209	718						
216	752						
218	790	440	317				
222				1188	470	464	328
223	384						
225	438	349	185				
229				864	640	220	184
230	400						
232	579	362	229				
236				562	238	198	184
237	591						
239	517	411	229				
243				654	478	436	332
244	428						
246	352	255	125				
251	244						

7.8. Anexo H

Tabela H.1: Valores das relações DQO/N e DQO/P do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela H.2: Valores da relação SV/ST dos pontos de amostragem, da massa total e da concentração de lodo no reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela H.3: Valores das relações SV/ST e SSV/SST do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela H.4: Resultados das eficiências de remoção de sólidos totais (ST), voláteis (SV), sólidos suspensos totais (SST) e suspensos voláteis (SSV) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela H.5: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO_5 total do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela H.6: Resultados das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e do fator de produção de gás do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela H.7: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tabela H.1: Valores das relações DQO/N e DQO/P do afluente (E₁) e efluente (E₂) do reator UASB.

Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	Afluente (E ₁)		Efluente (E ₂)	
	DQO/N	DQO/P	DQO/N	DQO/P
6	24,0	137,1	17,6	119,4
20	31,3	114,6	10,9	50,0
34	28,7	179,1	16,4	84,8
48	20,4	74,6	9,7	37,0
55	14,7	109,9	14,3	110,2
62	18,7	95,4	18,0	95,5
76	21,8	102,2	16,5	108,1
90	24,3	137,2	13,3	72,7
118	7,3		48,8	
132	33,1	81,3	22,2	82,4
146	35,0	209,8	21,7	133,1
160	21,5	69,5	24,5	88,3
174	24,5	131,1	13,5	71,3
188	26,3	89,1	20,2	113,5
202	28,0	129,2	21,3	103,8

Tabela H.2: Valores da relação SV/ST nos pontos de amostragem, massa total de lodo e concentração de lodo no reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	Relação SV/ST (%)				Massa Total de Lodo (kg SV)	Concentração de Lodo (kg SV/m³)
	Ponto de Amostragem					
	L ₁	L ₃	L ₅	L ₆		
5	50	51	50	49	44	14,8
12	50	52	50	50	38	12,7
19	53	52	52	52	37	12,2
26	55	53	58	50	37	12,2
33	57	59	50	58	33	11,1
40	63	63	50	52	21	6,9
47	64	63	46	41	19	6,4
54	68	64	64	67	32	10,6
61	68	64	64	61	30	10,1
68	69	68	67	60	21	6,9
75	71	65	70	67	25	8,5
82	71	68	67	67	25	8,5
89	73	74	68	69	30	10,1
96	73	72	58	67	22	7,4
103	75	73	71	72	30	10,1
110	89	72	72	68	33	11,1
117	75	70	70	69	35	11,7
124	78	71	71	72	37	12,2
131	81	84	75	79	25	8,5
138	80	72	71	72	38	12,7
145	79	70	71	71	33	11,1
152	79	72	73	63	30	10,1
159	78	75	64	61	24	8,0
166	81	73	73	74	35	11,7
173	81	72	65	74	35	11,7
180	82	73	73	73	33	11,1
187	81	56	70	70	32	10,6
194	87	72	72	73	38	12,7
201	83	75	75	74	24	7,9
208	85	74	75	74	38	12,7
215	83	71	70	72	32	10,6
222	82	68	69	69	29	9,5
229	82	70	71	70	35	11,7
236	83	73	74	72	33	11,1
243	83	75	77	76	41	13,8

Tabela H.3: Valores das relações SV/ST e SSV/SST do afluente (E_1) e efluente (E_2) do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	Afluente (E_1)		Efluente (E_2)	
	SV/ST (%)	SSV/SST (%)	SV/ST (%)	SSV/SST (%)
5	54	89	28	96
12	57	90	37	54
19	50	92	35	43
26	60	84	37	76
33	55	85	55	59
40	56	73	36	57
47	55	83	36	69
54	57	86	47	68
61	57	92	44	64
68	60	78	43	61
75	57	93	45	48
82	57	82	37	78
96	56	93	63	77
103	59	89	43	92
110	52	89	50	85
124	62	90	48	91
131	61	87	54	49
138	68	98	38	88
145	59	92	40	86
152	72	83	46	76
166	60	94	36	83
173	66	86	53	75
180	66	84	58	75
187	58	82	40	78
194	55	98	69	69
201	61	88	49	73
208	61	89	55	84
215	58	83		
222	55	77	40	71
229	64	91	39	84
236	63	73	42	93
243	55	81	50	76

Tabela H.4: Resultados das eficiências de remoção de ST, SV, SST e SSV do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	ST (%)	SV (%)	SST (%)	SSV (%)
5	19,0	58,2	67,1	64,5
12		24,8		
19		13,7		22,8
26	15,9	47,8	73,1	75,4
33				
40		33,2	27,2	42,7
47			(8,5)	24,3
54				
61				
68		15,7		
75			47,8	73,3
82	18,1	46,3	41,1	44,1
96				
103	14,6	37,1	68,4	67,1
110				
124	28,7	45,3	53,4	52,8
131				
138	25,4	57,8	65,9	69,4
145		8,2	10,7	16,8
152	36,8	59,6	6,2	13,4
166		38,8	40,8	47,8
173				
180				
187	4,9	35,6	48,4	51,0
194				
201				
208	8,7	18,4		
215				
222		4,9		
229	10,9	45,3	15,4	22,0
236	47,5	64,8	25,0	(4,2)

Tabela H.5: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total do reator UASB.

Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (%)	DBO ₅ total (%)
6	17,6	
8	18,3	
15	22,1	
20	74,5	
22	73,7	
27	55,4	
29	69,6	74,7
34	45,3	
43	59,1	63,9
48	50,0	
55	51,5	
57	58,9	52,4
64	39,6	50,2
69	26,5	
71	47,5	48,0
76	36,2	
78	17,0	
85	27,5	29,3
90	57,9	
92		24,1
97	22,6	
99	(9,5)	
104	56,6	
106		(7,4)
113	42,8	46,2
120	37,3	61,4
125	23,1	
127	(8,0)	22,8
132	51,3	
134	70,9	72,9
139	57,9	
141	66,9	70,1
146	60,4	
148	77,3	75,5
153	52,5	
162	30,6	39,7
167	54,4	
174	49,0	
176	53,7	67,7
183	42,7	58,1

Tempo de Operação (dias)	DQO total (%)	DBO ₅ total (%)
188	48,9	
190	48,2	53,5
195	30,8	
197	56,8	68,5
202	(11,2)	
204	63,4	69,6
209	62,7	
216	44,5	
218	55,9	67,7
223	76,1	
225	68,4	74,7
230	84,4	
232	59,3	69,6
237	77,8	
239	67,2	70,5
244	66,6	
246	65,4	75,8
251	67,9	

Tabela H.6: Resultados das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e do fator de produção de gás do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	Taxa Orgânica Volumétrica Aplicada (kg DQO/m ³ .dia)	Taxa Orgânica Volumétrica Removida (kg DQO/m ³ .dia)	Fator de Produção de Gás (Nm ³ /kg DQO removida)
6	0,89	0,6	1,06
8	0,50		
13	1,12		
15	1,38	0,31	0,39
20	3,14	2,34	0,12
22	2,72	2,00	0,13
27	2,74	1,52	0,13
29	2,40	1,67	0,15
34	3,89	1,76	0,19
41	2,31		
43	3,27	1,95	0,14
48	1,77	0,63	(0,43)
55	3,00	1,55	0,17
57	4,54	2,67	0,07
62	2,56		
64	3,31	1,31	0,20
69	2,87	0,76	
71	3,28	1,56	0,12
76	3,36	1,21	0,17
78	2,86	0,49	
85	4,97	1,37	0,19
90	3,79	2,19	0,13
92	2,89		
97	3,70	0,84	(0,40)
99	3,87	(0,37)	(0,60)
104	3,94	2,23	0,13
106	4,00		
111	4,47		
113	6,50	2,78	0,10
118	2,07		
120	2,70	1,00	0,20
125	5,67	1,08	(0,33)
132	4,54	2,33	0,13
134	5,01	3,55	0,24
139	4,50	2,61	0,18
141	6,81	4,55	0,05
146	6,30	3,80	0,12
148	4,02	3,11	0,17
153	5,40	2,83	0,10
162	5,21	1,59	(0,30)
169	5,06	2,75	0,14
174	3,86	1,89	0,18
176	3,55	1,91	0,26

Tabela H.6: Resultados das taxas orgânicas volumétricas aplicada e removida e do fator de produção de gás do reator UASB. Fases B.I e B.II. (cont.).

Tempo de Operação (dias)	Taxa Orgânica Volumétrica Aplicada (kg DQO/m ³ .dia)	Taxa Orgânica Volumétrica Removida (kg DQO/m ³ .dia)	Fator de Produção de Gás (Nm ³ /kg DQO removida)
183	2,52	1,08	(0,42)
188	5,18	2,53	0,25
190	5,27	2,54	0,23
195	4,10	1,26	(0,61)
197	4,78	2,71	0,15
202	3,40	(0,38)	
204	4,35	2,75	0,10
209	4,92	4,92	0,14
216	4,39	4,39	(0,34)
218	5,58	5,58	0,08
223	5,01	5,01	0,17
225	4,97	4,97	0,19
230	7,49	7,49	0,09
232	4,38	4,38	(0,29)
237	7,19	7,19	0,08
239	5,26	5,26	0,20
244	3,80	3,80	(0,31)
246	2,98	2,98	(0,34)
251	1,86	1,86	(0,33)

Tabela H.7: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total, fósforo total e cor verdadeira do reator UASB. Fases B.I e B.II.

Tempo de Operação (dias)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo Total (%)	Cor Verdadeira (%)
6		5,4	
20	27,3	41,7	
34	(4,2)		57,0
55	50,0	51,6	22,7
62			45,8
76	15,4	39,6	18,3
90	23,1	20,7	
105			49,5
118	73,8		
132	27,3	52,0	12,0
146	36,1	37,5	
160	14,3	23,1	29,7
174	(7,7)	(6,2)	23,8
188	33,3	59,9	
202			36,6
209	(7,7)	16,2	57,0
216	21,4	35,8	57,0
223	25,0	46,2	20,6
230	56,5	70,1	41,2
237	47,7	76,4	32,3
244	13,6	61,2	44,9

7.9. Anexo I

Tabela I.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-1.

Tabela I.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase B.II-1.

Tabela I.3: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-1.

Tabela I.4: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-1.

Tabela I.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-1.

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
14/04/2003	33	26,0	5,8	2,4	1,8
15/04/2003	34	26,5	5,5	2,6	
16/04/2003	35	26,8	5,1	2,4	
17/04/2003	36	27,2	5,8	2,5	1,7
18/04/2003	37	27,5	5,5	2,5	
19/04/2003	38	27,8	5,4	2,5	
20/04/2003	39	26,5	5,3	2,5	
21/04/2003	40	26,9	5,8	2,5	
22/04/2003	41	26,8	5,7	2,5	
23/04/2003	42	27,8	5,2	2,6	
24/04/2003	43	27,6	5,9	2,9	1,5
25/04/2003	44	27,9	5,2	3,4	
26/04/2003	45	27,7	5,0	3,2	
27/04/2003	46	27,8	5,3	3,3	
28/04/2003	47	27,7	5,1	3,5	
29/04/2003	48	27,3	4,8	3,2	
30/04/2003	49	27,8	5,2	3,2	0,9
01/05/2003	50	28,0	4,7	3,5	
02/05/2003	51	26,2	5,3	3,3	
03/05/2003	52	25,8	5,8	3,5	
04/05/2003	53	25,1	5,2	3,4	
05/05/2003	54	25,8	4,9	2,5	1,8
06/05/2003	55	24,9	5,1	2,4	
07/05/2003	56	24,3	5,7	2,4	
08/05/2003	57	23,0	5,0	2,5	1,8
09/05/2003	58	24,3	4,8	2,5	
10/05/2003	59	23,8	5,4	2,6	
11/05/2003	60	23,5	5,6	2,6	
12/05/2003	61	24,5	4,7	2,6	
13/05/2003	62	24,2	4,5	2,5	
14/05/2003	63	24,6	5,3	2,6	
15/05/2003	64	23,8	5,8	2,6	
16/05/2003	65	24,3	5,1	2,7	
17/05/2003	66	27,3	4,9	2,7	
18/05/2003	67	24,8	5,3	2,7	
19/05/2003	68	24,3	5,8	2,9	
20/05/2003	69	24,0	5,2	2,6	1,5
21/05/2003	70	25,5	5,4	2,3	
22/05/2003	71	24,8	5,6	2,5	1,8
23/05/2003	72	23,5	5,3	2,5	
24/05/2003	73	23,5	5,1	2,3	
25/05/2003	74	23,8	4,5	2,4	

Tabela I.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-1. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
26/05/2003	75	24,1	5,5	2,5	1,8
27/05/2003	76	23,4	5,0	2,4	
28/05/2003	77	23,5	4,8	2,6	
29/05/2003	78	23,0	5,2	2,7	1,7
30/05/2003	79	23,0	4,6	2,6	
31/05/2003	80	23,8	5,4	2,7	
01/06/2003	81	23,5	5,1	2,7	
02/06/2003	82	23,0	4,8	2,5	1,7
03/06/2003	83	23,2	4,6	2,6	
04/06/2003	84	23,6	5,3	2,6	
05/06/2003	85	23,4	4,7	2,1	1,5
06/06/2003	86	23,7	5,4	2,2	
07/06/2003	87	25,5	4,6	2,2	
08/06/2003	88	25,1	5,3	2,2	
09/06/2003	89	25,0	5,0	2,2	1,7
10/06/2003	90	25,3	5,2	2,4	
11/06/2003	91	25,6	4,6	2,6	
12/06/2003	92	25,2	5,0	2,6	2,3

Tabela I.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Fase B.II-1.

Tempo de Operação (dias)	pH	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
33	7,01				3492	1406	(2968)	(1224)
34		651						
40					2374	998	(1236)	(588)
41		522						
42					1474	680	(1008)	(582)
43		498	168	31				
47	6,87				2016	1002	(964)	(628)
48		500						
49					1450	610	(1136)	(668)
54					900	390	350	206
55		458						
56					755	291	252	165
57		735	161	26				
61	7,12				1732	844	(1432)	(824)
62		293						
63					948	386	300	204
64		466	186	52				
68	7,37				2466	1062	(2184)	(1000)
69		659						
70					1222	536	784	530
71		586	132	36				
75	7,28				1050	424	(38)	(24)
76		327						
77					884	336	280	182
78		418	233					
82	7,42				926	382	280	204
83		539						
85		673	310	72				
89	7,42				892	430	332	252
90		698						
91					804	342	228	160
92		583	282	17				

Tabela I.3: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-1.

Tempo de Operação (dias)	pH	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg P/L)	Cor Verdadeira (mg Pt/L)
			Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH ₃ /L)		
33	7,18	90				
34			22,0	1,4	1,7	292
47	7,75	140				
54	7,35	108				
61	7,64	110				
62			26,0	1,6	2,9	376
68	7,47	125				
75	7,28	147				
76			26,0	5,4	3,4	458
82	7,55	150				
89	7,53	231				
90			22,0	11,8	5,5	

Tabela I.4: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-1.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
33					606	186	12	10
34	170							
40					653	226	(115)	(61)
41	164							
43	146	144	18	14				
47					650	124	40	29
54					661	204	(6)	(5)
57	152	144	13	9				
61					661	185	15	13
62	112							
64	197	149	45	37				
68					698	188	71	56
70					653	226	115	61
71	100	88	19	14				
75					709	192	15	12
76	124							
78	232	203						
82					689	193	18	16
85	289	269	57	49				
89					731	171	33	31
90	191							
92	166	156	15	14				

7.10. Anexo J

Tabela J.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tabela J.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tabela J.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tabela J.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tabela J.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tabela J.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de SST e SSV (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	SST	SSV	SST	SSV	SST	SSV
33			99,4	99,2	92,5	92,6
40	27,2	42,7	23,3	29,1	(44,2)	(59,3)
47	8,5	24,3	83,1	82,1	84,5	86,4
54			98,9	98,6	(96,8)	(96,4)
61			95,6	94,1	92,3	92,8
68			73,9	66,3	67,4	97,1
75	47,8	73,3	84,4	73,9	91,8	93,0
82	41,1	44,1	87,7	86,0	92,7	92,2
89	80,2	71,8	90,6	87,1	(98,1)	(96,4)

Tabela J.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de DQO total e DBO ₅ total (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅
34	45,3				87,7	
41			85,1		79,5	
43	59,1	63,9	72,8	92,1	88,9	97,2
48	50,0					
55	51,5					
57	58,9	52,4	76,7	95,4	90,4	97,8
62			87,5		87,5	
64	39,6	50,2	72,5	85,7	83,4	92,9
69	26,5					
71	47,5	48,0	83,0	93,8	91,1	96,8
76	36,2		82,9		89,1	
78	17,0		74,2		78,6	
85	27,5	29,3	72,5	88,9	80,1	92,2
90	57,9		64,0		84,9	
92		24,1	90,2	96,0	84,0	97,0

Tabela J.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Nitrogênio (%)				
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
		Total	Amoniacal	Total	Amoniacal
34	(4,2)	52,2	94,7	54,2	77,9
48					
55	50,0				
62		48,0	94,8	45,8	69,1
76	15,4	40,9	84,7	50,0	69,4
90	23,1	45,0	65,2	57,7	40,2

Tabela J.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Fósforo Total (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	
			Sistema Completo
34		80,9	93,8
48			
55	51,6		
62		69,1	94,1
76	39,6	49,3	85,0
90	20,7	24,7	58,6

Tabela J.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-1.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Cor Verdadeira (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	
			Sistema Completo
34	57,0	40,7	74,5
55	22,7		
62	45,8	9,6	51,0
76	18,3	28,9	41,9

7.11. Anexo K

Tabela K.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-2.

Tabela K.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase B.II-2.

Tabela K.3: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-2.

Tabela K.4: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-2.

Tabela K.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-2.

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
13/06/2003	93	25,3	4,8	1,4	
14/06/2003	94	25,0	4,5	1,4	
15/06/2003	95	24,1	2,3	1,4	
16/06/2003	96	22,6	6,8	1,5	2,4
17/06/2003	97	22,5	5,2	1,7	
18/06/2003	98	23,0	5,1	1,5	
19/06/2003	99	22,9	6,6	1,4	
20/06/2003	100	23,2	4,2	1,5	1,5
21/06/2003	101	23,2	4,0	1,5	
22/06/2003	102	23,5	4,5	1,5	
23/06/2003	103	22,1	5,3	1,4	1,8
24/06/2003	104	20,2	3,2	1,4	
25/06/2003	105	21,8	2,0	2,6	
26/06/2003	106	21,7	3,9	1,3	1,9
27/06/2003	107	20,1	3,2	1,4	
28/06/2003	108	19,3	2,1	1,4	
29/06/2003	109	19,7	2,0	1,4	
30/06/2003	110	19,5	3,0	1,5	2,1
01/07/2003	111	21,5	5,9	1,3	
02/07/2003	112	20,9	5,2	1,2	
03/07/2003	113	23,2	7,4	1,3	2,0
04/07/2003	114	23,7	7,0	1,9	
05/07/2003	115	22,5	4,8	2,0	
06/07/2003	116	21,6	5,5	1,9	
07/07/2003	117	22,4	7,0	1,6	1,5
08/07/2003	118	22,2	6,5	1,4	
09/07/2003	119	22,8	4,4	1,5	
10/07/2003	120	21,3	3,1	1,7	
11/07/2003	121	21,2	3,8	1,7	
12/07/2003	122	20,9	4,5	1,6	
13/07/2003	123	20,2	4,8	2,0	
14/07/2003	124			1,7	
15/07/2003	125	20,6	5,3	1,5	
16/07/2003	126	20,2	6,2	1,6	
17/07/2003	127	20,6	6,5	1,7	2,1
18/07/2003	128	21,5	6,5	1,5	
19/07/2003	129	22,5	6,7	1,5	
20/07/2003	130	22,5	6,3	1,5	
21/07/2003	131	22,1	8,1	1,5	1,4
22/07/2003	132	22,3	6,5	1,5	
23/07/2003	133	22,5	6,3	1,5	
24/07/2003	134	22,8	6,4	2,0	1,8

Tabela K.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-2. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
25/07/2003	135	23,1	6,1		
26/07/2003	136	22,6	5,4	2,1	
27/07/2003	137	22,4	5,5	2,0	
28/07/2003	138	22,3	5,8	2,0	1,4
29/07/2003	139	22,6	6,2	1,7	
30/07/2003	140	22,4	4,4	1,8	
31/07/2003	141	23,2	4,9	1,7	2,2
01/08/2003	142	23,5	5,1	1,6	
02/08/2003	143	22,8	6,3	1,6	
03/08/2003	144	21,6	6,1	1,7	
04/08/2003	145	22,3	5,0	1,8	1,9
05/08/2003	146			1,9	
06/08/2003	147	22,2	4,8	1,7	
07/08/2003	148	20,8	6,8	1,9	1,7
08/08/2003	149	20,3	6,5	1,8	
09/08/2003	150	20,2	6,0	1,8	
10/08/2003	151	18,3	6,8	1,8	
11/08/2003	152	17,3	7,3	2,0	
12/08/2003	153	17,1	7,0	2,0	
13/08/2003	154	17,8	7,1	2,0	
14/08/2003	155	21,1	8,1	1,3	1,3
15/08/2003	156	20,6	6,8	1,9	
16/08/2003	157	21,3	6,3	2,0	
17/08/2003	158	21,5	6,0	2,0	
18/08/2003	159	18,6	7,9	1,4	1,8
19/08/2003	160	19,3	6,3		
20/08/2003	161	19,8	6,2	1,2	
21/08/2003	162	20,8	5,0	1,6	1,6
22/08/2003	163	23,1	6,6	1,6	
23/08/2003	164	24,0	5,4	1,7	
24/08/2003	165	24,8	5,5	1,7	
25/08/2003	166	23,0	5,8	1,7	1,7

Tabela K.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	pH	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
96	7,45				4260	2840	3550	2620
97		639						
98					950	470	310	245
99		839	256	47				
103	7,47				1086	550	464	336
104		502						
105					964	338	338	220
106		515	239	104				
110	7,49				978	418	272	192
111		761						
112					976	398	430	326
113		1141	291	139				
117	7,29				1186	544	456	344
118		445						
120		479	308	84				
124	7,40				1400	748	736	556
125		814						
126					1174	642	560	464
127		856	269	83				
131	7,35				950	386	296	224
132		332						
133					1074	462	390	296
134		770	253	69				
138					1128	528	392	296
139		483						
140					990	488	331	263
141		839	306	88				
145	7,55				1186	528	496	376
146		1324						
147					952	374	142	134
148		409	179	56				
152	7,64				970	406	248	188
153		296						
154					1304	622	697	503
160		768						
161					3308	2192	2600	1940
162		1019	258	50				
166	7,05				2460	1532	1640	1268

Tabela K.3: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	pH	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg P/L)	Cor Verdadeira (mg Pt/L)
			Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH ₃ /L)		
96	7,71	240				
103	7,46					
105			28,0	4,4	4,1	452
110	7,61	176				
117	7,41	213				
118			42,0	8,1		
124	7,57	217				
131	7,44	278				
132			22,0	12,7	5,7	692
138	7,38	280				
145	7,51	229				
146			26,0	12,2	6,6	
152	7,66	233				
160			26,0	15,7	5,5	646
166	7,45	281				

Tabela K.4: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
96					710	169	37	29
97	980							
100	219	203	33	33				
103					675	169	21	
104	159							
106	174	161	50	44				
110					798	247	92	78
113	220	211	97	86				
117					880	278	139	124
118	612							
120	(654)	(342)	(439)	(100)				
124					788	408	40	38
127	256	235	71	68				
131					758	188	40	38
132	245							
134	262	265	59	55				
138					795	218	49	46
141	(794)	(658)	(316)	(294)				
145					776	166	35	32
146	283							
148	167	166	42	40				
152					734	169	20	18
160	210							
162	257	247	50	46				
166					764	198	30	28

7.12. Anexo L

Tabela L.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tabela L.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tabela L.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tabela L.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tabela L.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tabela L.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de SST SSV (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	SST	SSV	SST	SSV	SST	SSV
98			90,4	90,2	77,2	80,7
103	68,4	67,1	79,0		93,4	
110			65,7	65,8	51,6	54,1
124	53,4	52,8	63,6	62,0	83,1	82,1
131			92,5	84,5	79,6	76,5
138	65,9	69,4	56,3	53,1	85,1	85,6
145	(10,7)	(16,8)	81,0	79,7	83,0	83,2
152	(6,2)	(13,4)	93,4	92,2	93,8	93,3
166	40,8	47,8	74,1	70,8	84,7	84,8

Tabela L.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de DQO total e DBO ₅ total (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅
97	22,6					
99	(9,5)		79,2	92,6	81,1	
104	56,6		68,6		86,4	
106		(7,4)	88,5	91,4	84,9	92,1
111						
113	42,8	46,2	78,5	82,6	87,7	90,6
118						
120	37,3	61,4			(32,3)	(22,3)
125	23,1					
127	(8,0)	22,8	84,0	90,2	85,3	92,4
132	51,3		65,4		83,2	
134	70,9	72,9	56,8	80,6	87,5	94,7
139	57,9					
141	66,9	70,1		(12,2)	(66,7)	(73,7)
146	60,4		71,6		88,8	
148	77,3	75,5	52,8	76,4	89,3	94,2
153	52,5		72,0		86,7	
160	(2,3)		82,1		82,5	
162	30,6	39,7	78,7	90,6	85,2	94,4

Tabela L.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Nitrogênio (%)				
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
		Total	Amoniacal	Total	Amoniacal
106	3,8	44,0	89,8	46,2	79,9
118	50,0	47,6	70,7	73,8	50,3
132	27,3	31,3	56,4	50,0	46,9
146	36,1	43,5	55,3	63,9	41,3
160	14,3	45,8	56,5	53,6	51,5

Tabela L.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Fósforo Total (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
106	31,0	40,6	59,0
118			
132	52,0	33,7	68,2
146	37,5	12,0	45,0
160	23,1	58,6	68,2

Tabela L.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-2.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Cor Verdadeira (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
105	49,5		40,8
132	12,0	26,2	35,1
160	29,7	57,8	70,4

7.13. Anexo M

Tabela M.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-3.

Tabela M.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase B.II-3.

Tabela M.3: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-3.

Tabela M.4: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-3.

Tabela M.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-3.

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
26/08/2003	167	17,6	7,7	0,9	
27/08/2003	168	18,8	7,5	0,9	
28/08/2003	169	18,3	7,0	0,7	
29/08/2003	170	18,0	6,9	0,7	1,8
30/08/2003	171	20,6	6,2	0,8	
31/08/2003	172	19,2	6,9	0,7	
01/09/2003	173	20,3	5,8	0,8	1,6
02/09/2003	174	20,8	6,3	0,8	
03/09/2003	175	19,6	6,8	0,8	
04/09/2003	176	20,3	5,9	0,8	1,8
05/09/2003	177	21,8	5,7	0,8	
06/09/2003	178	22,3	5,3	0,9	
07/09/2003	179	21,8	4,6	0,9	
08/09/2003	180	22,6	6,3	0,9	1,8
09/09/2003	181	21,9	6,0	0,9	
10/09/2003	182	22,4	6,3	1,1	
11/09/2003	183	21,9	6,6	1,1	1,7
12/09/2003	184	22,7	5,9	1,1	
13/09/2003	185	21,3	5,5	0,9	
14/09/2003	186	21,3	6,2	0,7	
15/09/2003	187	21,9	5,6	0,7	1,9
16/09/2003	188	19,2	5,1	0,7	
17/09/2003	189	21,8	5,3	0,7	
18/09/2003	190	22,0	4,3	0,7	1,6
19/09/2003	191	20,8	6,3	0,7	
20/09/2003	192	21,8	5,6	0,7	
21/09/2003	193	22,5	4,3	0,7	
22/09/2003	194	23,5	4,8	0,8	1,7
23/09/2003	195	23,9	6,1	1,0	
24/09/2003	196	23,6	5,6	0,9	
25/09/2003	197	24,2	5,3	0,9	1,8
26/09/2003	198	24,8	5,8	1,2	
27/09/2003	199	23,1	4,9	1,2	
28/09/2003	200	23,8	5,3	0,7	
29/09/2003	201	24,3	5,1	1,0	2,3
30/09/2003	202	24,3	5,5	0,9	
01/10/2003	203	23,6	4,4	0,7	
02/10/2003	204	23,9	5,0	0,9	1,6
03/10/2003	205	24,8	5,2	0,8	
04/10/2003	206	24,5	6,6	0,9	
05/10/2003	207	24,1	4,6	0,9	
06/10/2003	208	22,9	5,3	0,8	1,3

Tabela M.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-3. (cont.)

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
07/10/2003	209	22,0	5,3	0,9	
08/10/2003	210	23,0	5,9		
09/10/2003	211	26,0	4,7	1,2	2,0

Tabela M.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	pH	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
167		470						
168					2404	1496	1620	1220
173	7,43				1642	1044	1148	924
174		1021						
175					1012	510	232	186
176		285	257	48				
180	7,53				868	342	256	216
181		499						
182					1964	1186	1170	900
183		605	189	47				
187	7,83				700	278	172	140
188		466						
190		585	291	87				
194	7,45				6170	3900	362	246
195		493						
196					976	370	240	188
197		612	238	48				
201	7,46				2748	1462		
202		(1179)						
203					1102	472	366	304
204		481	216	65				
208	7,52							

Tabela M.3: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	pH	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg P/L)	Cor Verdadeira (mg Pt/L)
			Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH ₃ /L)		
173	7,66	223				
174			44,0	20,0	8,5	614
180	7,54	300				
187	7,46	316				
188			42,0		7,3	
194	7,14	348				
201	7,47	246				
202			34,0	19,2	5,1	616
208	7,39	278				
209			32,0	17,4	4,6	500

Tabela M.4: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
173					699	214	87	75
174	(523)							
176	249	246	55	44				
180					792	208	58	48
183	341	232	132	41				
187					765	221	46	42
188	367							
190	253	244	100	62				
194					832	219	48	43
197	233	223	502	43				
201					856	203	45	41
202	287							
204	268	242	80	69				
208					670	161	38	38
209	244							

7.14. Anexo N

Tabela N.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tabela N.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tabela N.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tabela N.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tabela N.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tabela N.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de SST e SSV (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	SST	SSV	SST	SSV	SST	SSV
173			88,6	86,8	68,0	67,9
180			89,9	88,8	77,0	77,4
187	48,4	51,0	64,1	58,0	81,5	79,4
194					78,9	80,8
201			65,3	94,1	83,0	82,3
208			93,1		8,2	

Tabela N.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de DQO total e DBO ₅ total (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅
167	54,4					
174	49,0		(19,4)		(58,9)	
176	53,7	67,7	56,2	75,8	79,7	92,2
183	42,7	58,1	48,6	33,0	70,5	71,9
188	48,9					
190	48,2	53,5	68,7	74,0	83,8	87,9
195	30,8					
197	56,8	68,5	69,2	83,5	86,7	94,8
202	(11,2)					
204	63,4	69,6	56,1	68,0	83,9	90,3
209	62,7		66,0		87,3	

Tabela N.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Nitrogênio (%)				
	Reator UASB	Lagoa Aerada aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
		Total	Amoniacal	Total	Amoniacal
174	7,7	8,3	38,1	15,4	7,8
188	33,3			30,0	
202		39,3	37,7	29,2	20,0
209	7,7	33,3	39,8	38,5	10,8

Tabela N.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Fósforo Total (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
174	6,2	12,4	6,6
202		51,0	55,7
209	16,2	53,5	44,6

Tabela N.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-3.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Cor Verdadeira (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
174	23,8	14,2	34,7
202	(7,0)	31,9	36,6
209	57,0		56,3

7.15. Anexo O

Tabela O.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-4.

Tabela O.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase B.II-4.

Tabela O.3: Resultados complementares do efluente da lagoa aerada aeróbia (E_3). Fase B.II-4.

Tabela O.4: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-4.

Tabela O.5: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E_4). Fase B.II-4.

Tabela O.1: Resultados do acompanhamento diário da lagoa aerada aeróbia e da lagoa de decantação. Fase B.II-4.

Data	Tempo de Operação (dias)	Lagoa Aerada Aeróbia			Lagoa de Decantação
		Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)
10/10/2003	212	23,1	6,6		
11/10/2003	213	21,8	6,0		
12/10/2003	214	23,0	6,3	3,0	
13/10/2003	215	23,3	6,2		1,6
14/10/2003	216	21,0	6,3		
15/10/2003	217	22,0	6,1	3,5	1,6
16/10/2003	218	23,0	6,4		
17/10/2003	219	23,4	6,6		
18/10/2003	220	23,0	5,8		
19/10/2003	221	25,0	5,5	3,4	
20/10/2003	222	24,7	5,8		1,7
21/10/2003	223	24,1	6,4		
22/10/2003	224	25,0	6,2	3,1	
23/10/2003	225	25,3	6,1		1,7
24/10/2003	226	25,7	6,3		
25/10/2003	227	27,0	6,0		
26/10/2003	228	27,9	5,5	4,4	
27/10/2003	229	26,0	5,3		1,8
28/10/2003	230	27,0	5,1		
29/10/2003	231	24,0	6,5		
30/10/2003	232	25,0	6,3		
31/10/2003	233	27,0	5,9	3,3	
01/11/2003	234	26,0	5,5		1,7
02/11/2003	235	23,0	5,4		
03/11/2003	236	21,0	6,2		
04/11/2003	237	22,0	5,0		1,8
05/11/2003	238	23,0	5,7		
06/11/2003	239	22,0	7,4	4,2	
07/11/2003	240				1,8
12/11/2003	245			3,9	
13/11/2003	246				1,7
18/11/2003	251				
19/11/2003	252	23,0	5,9	3,7	1,8

Tabela O.2: Resultados do efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	pH	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
215	7,31				796	224	104	77
216		482						
217					920	322	266	190
218			308	179				
222	6,96				4234	2586	802	541
223		187						
224					3020	1830	(2200)	(1610)
225		442	181	54				
229	7,30				3130	1650	(2960)	(2860)
230		673						
231					1160	464	470	333
232		573	173	51				
236	7,40				1980	1060	(1280)	(530)
237		(1425)						
238					1730	860	1090	760
239		544	133	34				
243	7,10				1194	514	516	372
244		770						
235					1920	1040	(1240)	(920)
236		990	162	26				
251		749						

Tabela O.3: Resultados complementares do efluente da lagoa aerada aeróbia (E₃). Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	Nitrogênio				Fósforo Total (mg P/L)	Cor Verdadeira (mg Pt/L)
	Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH ₃ /L)	Nitrato (mg NO ³⁻ /L)	Nitrito (mg NO ²⁻ /L)		
216	34,0	7,2	7,2	2,0		
223	32,0	10,7	8,3	4,1	3,0	350
230	52,0	21,1	4,2	2,8		430
237	68,0	20,2	1,2	1,8	13,5	588
244	32,0	15,6	5,4	4,1	8,3	208
251	44,0	0,7	1,9	12,3		

Tabela O.4: Resultados do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	pH	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	Nitrogênio		Fósforo Total (mg P/L)	Cor Verdadeira (mg Pt/L)
			Total (mg N/L)	Amoniacal (mg NH ₃ /L)		
215	7,38	144				
216			24,0	7,3	1,9	348
222	4,16	170				
229	7,33	302				
230			38,0	28,3	3,7	448
236	7,50	294				
237			48,0	20,8	8,2	408
243	7,40	242				
244			20,0	15,1	3,5	326
251			12,0	6,6		

Tabela O.5: Resultados complementares do efluente da lagoa de decantação (E₄). Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	DQO total (mg/L)	DQO filtrada (mg/L)	DBO ₅ total (mg/L)	DBO ₅ filtrada (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
215					646	157	104	77
216	131							
218			72	70				
222					388	96	65	55
223	203	190						
224	206	201	74	58				
229					768	170	61	53
230	277							
232	194	172	57	47				
236					730		28	23
237	(689)							
239	150	133	94	41				
243					751	123	29	23
244	196							
246	171	141	24	24				
251	120							

7.16. Anexo P

Tabela P.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tabela P.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tabela P.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tabela P.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tabela P.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tabela P.1: Resultados das eficiências de remoção de SST e SSV no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de SST e SSV (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	SST	SSV	SST	SSV	SST	SSV
215					81,5	77,8
222			86,0	83,2	82,5	80,9
229	15,4	22,0	72,3	71,2	76,5	77,5
236	25,0	4,2	85,9	87,5	89,4	88,0
243			93,3	93,1	89,5	89,7

Tabela P.2: Resultados das eficiências de remoção de DQO total e DBO₅ total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de DQO total e DBO ₅ total (%)					
	Reator UASB		Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅
216	44,5		82,6		60,3	
218	55,9	67,7	77,3	77,3	90,0	92,7
223	76,1		47,1		87,4	
225	68,4	74,7	53,0	60,0	85,1	89,0
230	84,4		30,8		89,2	
232	59,3	69,6	66,5	75,1	86,4	92,4
237	77,8				(74,2)	
239	67,2	70,5	71,0	59,0	90,5	87,9
244	66,6		54,2		84,7	
246	65,4	75,8	51,4	80,8	83,2	95,3
251	67,9		50,8		84,2	

Tabela P.3: Resultados das eficiências de remoção de nitrogênio total e amoniacal no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Nitrogênio (%)				
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação		Sistema Completo	
		Total	Amoniacal	Total	Amoniacal
216	21,4	45,5	72,6	57,1	72,2
223	25,0				
230	56,5	5,0	8,7	58,7	17,3
237	47,7		32,7	45,5	22,7
244	13,6	47,4	31,7	54,5	42,8
251		64,7	72,5	60,0	57,7

Tabela P.4: Resultados das eficiências de remoção de fósforo total no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Fósforo Total (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	
			Sistema Completo
216	35,8	72,9	82,6
223	46,2		
230	70,1	19,6	76,0
237	76,4		57,9
244	61,2	30,0	72,9

Tabela P.5: Resultados das eficiências de remoção de cor verdadeira no reator UASB, na lagoa aerada aeróbia + lagoa de decantação e no sistema completo. Fase B.II-4.

Tempo de Operação (dias)	Eficiências de Remoção de Cor Verdadeira (%)		
	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	
			Sistema Completo
216	57,0	33,6	71,5
223	20,6		
230	41,2	25,6	56,3
237	32,3	23,9	48,5
244	44,9	36,8	65,2

7.17. Anexo Q

Tabela Q.1: Resumo dos resultados operacionais do reator UASB. Fase A.II.

Tabela Q.2: Resumo dos resultados de desempenho do reator UASB. Fase A.II.

Tabela Q.3: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase A.II-1.

Tabela Q.4: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase A.II-1.

Tabela Q.5: Resumo dos resultados operacionais do reator UASB. Fase B.II.

Tabela Q.6: Resumo dos resultados de desempenho do reator UASB. Fase B.II.

Tabela Q.7: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase B.II-1.

Tabela Q.8: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase B.II-1.

Tabela Q.9: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase B.II-2.

Tabela Q.10: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase B.II-2.

Tabela Q.11: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase B.II-3.

Tabela Q.12: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase B.II-3.

Tabela Q.13: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase B.II-4.

Tabela Q.14: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase B.II-4.

Tabela Q.1: Resumo dos resultados operacionais do reator UASB. Fase A.II.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Resultado
Temperatura (°C)	26,3 $\pm$ 1,4 (23 – 30)
Tempo de detenção hidráulica (horas)	8,1 $\pm$ 0,6 (6,4 – 9,8)
Taxa orgânica aplicada (kg DQO/m ³ .dia)	4,3 $\pm$ 1,6 (1,7 – 6,4)
Taxa orgânica removida (kg DQO/m ³ .dia)	3,0 $\pm$ 1,3 (0,8 – 6,4)
Taxa específica média aplicada (kg DQO/kg SV.dia)	0,43
Fator de produção de gás (Nm ³ /kg DQO removida)	0,15 $\pm$ 0,05 (0,07 – 0,25)

Tabela Q.2: Resumo dos resultados de desempenho do reator UASB. Fase A.II.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Remoção Média (%)
DQO total	1564 $\pm$ 683 (814 – 3188)	549 $\pm$ 269 (130 – 1053)	66
DQO filtrada		388 $\pm$ 220 (108 – 826)	
DBO ₅ total	683 $\pm$ 285 (372 – 1204)	240 $\pm$ 158 (58 – 490)	67
DBO ₅ filtrada		194 $\pm$ 130 (47 – 392)	
SST	383 $\pm$ 203 (160 – 840)	87 $\pm$ 35 (40 – 120)	76
SSV	271 $\pm$ 135 (120 – 640)	76 $\pm$ 37 (20 – 120)	71
Nitrogênio Total (em N)	58 $\pm$ 19 (32 – 88)	38 $\pm$ 7 (28 – 54)	38
Nitrogênio Amoniacal (em NH ₃)	19,4 $\pm$ 6,3 (12,8 – 35,6)	21,3 $\pm$ 5,0 (14,8 – 27,2)	
Fósforo Total (em P)	12,6 $\pm$ 6,0 (5,3 – 20,2)	5,6 $\pm$ 1,4 (4,1 – 7,7)	56
Cor Verdadeira (em Pt)	832 $\pm$ 214 (542 – 1108)	695 $\pm$ 181 (494 – 960)	25
Ácidos Orgânicos Voláteis (em HAc)	89 $\pm$ 56 (17 – 173)	56 $\pm$ 39 (13 – 155)	
Alcalinidade Total (em CaCO ₃)	143 $\pm$ 24 (91 – 180)	275 $\pm$ 54 (158 – 380)	
pH	6,5 $\pm$ 0,3 (5,7 – 7,4)	6,8 $\pm$ 0,3 (6,4 – 7,8)	

Tabela Q.3: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase A.II-1.

Tempo de detenção hidráulica no reator UASB: 8,1 horas $\pm$ 0,5 hora.

Taxa orgânica aplicada no reator UASB: 3,3 kg DQO/m³.dia $\pm$ 1,2 kg DQO/m³.dia

Taxa orgânica removida no reator UASB: 2,1 kg DQO/m³.dia $\pm$ 1,4 kg DQO/m³.dia

Taxa específica aplicada no reator UASB: 0,25 kg SV/m³.dia $\pm$ 0,20 kg SV/m³.dia

Tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia: 2,7 dias horas $\pm$ 0,2.

Tempo de detenção hidráulica na lagoa de decantação: 1,8 horas $\pm$ 0,3 dia.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Afluente	Efluente Reator UASB	Efluente Lagoa Aerada Aeróbia	Efluente Lagoa de Decantação
DQO total (mg/L)	1100 $\pm$ 370 (586 – 1852)	464 $\pm$ 201 (130 – 891)	432 $\pm$ 163 (150 – 687)	151 $\pm$ 73 (62 – 290)
DQO filtrada (mg/L)		238 $\pm$ 70 (108 – 342)	152 $\pm$ 44 (92 – 231)	128 $\pm$ 67 (44 – 226)
DBO ₅ total (mg/L)	544 $\pm$ 185 (372 – 980)	165 $\pm$ 128 (58 – 372)		21 $\pm$ 6 (12 – 27)
DBO ₅ filtrada (mg/L)		77 ⁽¹⁾ (47 – 110)	28 $\pm$ 6 (20 – 36)	20 ⁽²⁾
SST (mg/L)	363 $\pm$ 214 (160 – 800)	70 ⁽¹⁾ (40 – 120)	316 $\pm$ 111 (160 – 520)	25 $\pm$ 20 (10 – 60)
SSV (mg/L)	240 $\pm$ 95 (120 – 400)	67 ⁽¹⁾ (40 – 120)	199 $\pm$ 62 (90 – 280)	24 $\pm$ 21 (10 – 60)
Nitrogênio Total (mg N/L)	37 $\pm$ 4 (32 – 40)	35 $\pm$ 1 (34 – 36)		20 $\pm$ 2 (18 – 22)
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	14,0 $\pm$ 1,1 (12,8 – 15,0)	18,1 $\pm$ 1,0 (17,0 – 19,1)		6,9 $\pm$ 3,8 (4,1 – 12,2)
Fósforo Total (mg P/L)	7,8 $\pm$ 2,5 (5,3 – 11,3)	5,9 $\pm$ 1,9 (4,1 – 7,7)		2,7 $\pm$ 1,1 (1,4 – 4,1)
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	899 $\pm$ 235 (654 – 1108)	693 $\pm$ 207 (584 – 960)		353 $\pm$ 93 (237 – 443)
Ácidos Orgânicos Voláteis (mg HAc/L)	78 $\pm$ 54 (21 – 164)	56 $\pm$ 33 (33 – 115)		
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	134 $\pm$ 25 (91 – 169)	205 $\pm$ 31 (158 – 265)		141 $\pm$ 56 (60 – 227)
pH	6,5 $\pm$ 0,3 (5,7 – 6,7)	6,9 $\pm$ 0,3 (6,6 – 7,5)	6,9 $\pm$ 0,1 (6,8 – 7,1)	7,4 $\pm$ 0,2 (7,3 – 7,6)
Temperatura (°C)	27,5 $\pm$ 1,0 (25 – 30)	26,5 $\pm$ 1,6 (25 – 30)	28,7 $\pm$ 1,2 (26 – 30)	

(1): média de três resultados.

(2): média de dois resultados de mesmo valor.

Tabela Q.4: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase A.II-1
(valores médios)

Parâmetro	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total (%)	71	70	85
DBO ₅ total (%)	76	82	96
SST (%)	80 ⁽¹⁾	62 ⁽¹⁾	92
SSV (%)	71 ⁽¹⁾	58 ⁽¹⁾	89
Nitrogênio Total (%)	15	38	44
Nitrogênio Amoniacal (%)		63	50
Fósforo Total (%)	39	54	61
Cor Verdadeira (%)	40 ⁽²⁾	46	56

(1): média de três resultados

(2): média de dois resultados

Tabela Q.5: Resumo dos resultados operacionais do reator UASB. Fase B.II.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Resultado
Temperatura (°C)	23,3 $\pm$ 1,7 (18 – 29)
Tempo de detenção hidráulica (horas)	8,5 $\pm$ 1,3 (6,1 – 13,1)
Taxa orgânica aplicada (kg DQO/m ³ .dia)	4,2 $\pm$ 1,3 (1,8 – 7,2)
Taxa orgânica removida (kg DQO/m ³ .dia)	2,4 $\pm$ 1,2 (0,6 – 6,3)
Taxa específica média aplicada (kg DQO/kg SV.dia)	0,42
Fator de produção de gás (Nm ³ /kg DQO removida)	0,15 $\pm$ 0,05 (0,05 – 0,25)

Tabela Q.6: Resumo dos resultados de desempenho do reator UASB. Fase B.II.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Remoção Média (%)
DQO total	1432 $\pm$ 445 (612 – 2666)	792 $\pm$ 328 (244 – 1690)	52
DQO filtrada		506 $\pm$ 131 (255 – 813)	
DBO ₅ total	758 $\pm$ 197 (470 – 1203)	335 $\pm$ 149 (125 – 723)	57
SST	240 $\pm$ 57 (152 – 372)	319 $\pm$ 215 (96 – 960)	40
SSV	207 $\pm$ 49 (132 – 320)	234 $\pm$ 156 (46 – 700)	44
Nitrogênio Total (em N)	57 $\pm$ 16 (30 – 92)	42 $\pm$ 8 (22 – 56)	34
Nitrogênio Amoniacal (em NH ₃)	25,6 $\pm$ 5,7 (15,6 – 36,0)	29,3 $\pm$ 3,7 (22,1 – 36,1)	
Fósforo Total (em P)	12,2 $\pm$ 3,7 (7,7 – 19,5)	7,7 $\pm$ 2,5 (4,4 – 13,3)	45
Cor Verdadeira (em Pt)	1028 $\pm$ 360 (644 – 2180)	649 $\pm$ 286 (386 – 1532)	36
Ácidos Orgânicos Voláteis (em HAc)	194 $\pm$ 123 (30 – 455)	118 $\pm$ 109 (18 – 338)	
Alcalinidade Total (em CaCO ₃)	159 $\pm$ 30 (93 – 209)	329 $\pm$ 133 (199 – 621)	
pH	6,5 $\pm$ 0,4 (5,3 – 7,4)	6,7 $\pm$ 0,2 (6,4 – 7,4)	

Tabela Q.7: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase B.II-1.

Tempo de retenção hidráulica no reator UASB: 8,8 horas $\pm$ 1,2 hora.

Taxa orgânica aplicada no reator UASB: 3,3 kg DQO/m³.dia $\pm$ 0,8 kg DQO/m³.dia

Taxa orgânica removida no reator UASB: 1,4 kg DQO/m³.dia $\pm$ 0,6 kg DQO/m³.dia

Taxa específica aplicada no reator UASB: 0,34 kg SV/m³.dia $\pm$ 0,06 kg SV/m³.dia

Tempo de retenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia: 2,6 dias $\pm$ 0,4 dia.

Tempo de retenção hidráulica na lagoa de decantação: 1,7 dia $\pm$ 0,2 dia.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Afluente	Efluente Reator UASB	Efluente Lagoa Aerada Aeróbia	Efluente Lagoa de Decantação
DQO total (mg/L)	1136 $\pm$ 233 (776 – 1588)	784 $\pm$ 322 (388 – 1690)	538 $\pm$ 129 (293 – 735)	170 $\pm$ 53 (100 – 289)
DQO filtrada (mg/L)		552 $\pm$ 74 (480 – 664)	210 $\pm$ 67 (132 – 310)	165 $\pm$ 57 (88 – 269)
DBO ₅ total (mg/L)	611 $\pm$ 76 (493 – 727)	337 $\pm$ 99 (229 – 514)		28 $\pm$ 18 (13 – 57)
DBO ₅ filtrada (mg/L)			39 $\pm$ 20 (17 – 72)	23 $\pm$ 16 (9 – 49)
SST (mg/L)	204 $\pm$ 36 (160 – 258)	267 $\pm$ 143 (146 – 636)	350 $\pm$ 179 (228 – 784)	29 $\pm$ 21 (12 – 71)
SSV (mg/L)	171 $\pm$ 28 (120 – 400)	175 $\pm$ 100 (86 – 364)	238 $\pm$ 122 (160 – 530)	24 $\pm$ 16 (10 – 56)
Nitrogênio Total (mg N/L)	51 $\pm$ 10 (38 – 68)	42 $\pm$ 6 (34 – 50)		24 $\pm$ 2 (22 – 26)
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	28,7 $\pm$ 5,0 (22,4 – 36,0)	30,4 $\pm$ 4,2 (26,0 – 35,2)		5,1 $\pm$ 4,9 (4,1 – 12,2)
Fósforo Total (mg P/L)	9,5 $\pm$ 1,2 (7,7 – 11,1)	7,9 $\pm$ 2,2 (4,4 – 10,5)		3,4 $\pm$ 1,6 (1,7 – 5,5)
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	836 $\pm$ 215 (644 – 1144)	513 $\pm$ 95 (416 – 644)		375 ⁽¹⁾ (292 – 458)
Ácidos Orgânicos Voláteis (mg HAc/L)	108 $\pm$ 96 (30 – 246)	181 $\pm$ 153 (19 – 338)		
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	161 $\pm$ 28 (120 – 209)	274 $\pm$ 61 (199 – 380)		144 $\pm$ 42 (108 – 231)
pH	6,9 $\pm$ 0,3 (6,5 – 7,4)	6,7 $\pm$ 0,2 (6,5 – 7,1)	7,2 $\pm$ 0,2 (6,9 – 7,4)	7,5 $\pm$ 0,2 (7,3 – 7,7)
Temperatura (°C)	24,4 $\pm$ 1,1 (23 – 26)	23,9 $\pm$ 1,5 (22 – 28)	25,2 $\pm$ 1,6 (23 – 28)	

(1): média de três resultados.

Tabela Q.8: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase B.II-1.

(valores médios)

Parâmetro	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total (%)	43	78	85
DBO ₅ total (%)	45	92	96
SST (%)	39	86	87
SSV (%)	46	82	87
Nitrogênio Total (%)	30 ⁽¹⁾	46	52
Nitrogênio Amoniacal (%)		85	83
Fósforo Total (%)	37 ⁽¹⁾	56	64
Cor Verdadeira (%)	36	26 ⁽¹⁾	56 ⁽¹⁾

(1): média de três resultados.

Tabela Q.9: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase B.II-2.

Tempo de detenção hidráulica no reator UASB: 8,3 horas $\pm$ 1,3 hora.

Taxa orgânica aplicada no reator UASB: 4,5 kg DQO/m³.dia $\pm$ 1,3 kg DQO/m³.dia

Taxa orgânica removida no reator UASB: 2,3 kg DQO/m³.dia $\pm$ 1,2 kg DQO/m³.dia

Taxa específica aplicada no reator UASB: 0,46 kg SV/m³.dia $\pm$ 0,08 kg SV/m³.dia

Tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia: 1,7 dia $\pm$ 0,3 dia.

Tempo de detenção hidráulica na lagoa de decantação: 1,8 dia $\pm$ 0,3 dia.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Afluente	Efluente Reator UASB	Efluente Lagoa Aerada Aeróbia	Efluente Lagoa de Decantação
DQO total (mg/L)	1541 $\pm$ 504 (612 – 2518)	975 $\pm$ 346 (354 – 1517)	662 $\pm$ 240 (296 – 1141)	229 $\pm$ 45 (159 – 296)
DQO filtrada (mg/L)		579 $\pm$ 140 (349 – 813)	262 $\pm$ 40 (179 – 308)	213 $\pm$ 39 (161 – 265)
DBO ₅ total (mg/L)	888 $\pm$ 231 (565 – 1203)	434 $\pm$ 182 (178 – 723)		57 $\pm$ 21 (33 – 97)
DBO ₅ filtrada (mg/L)			80 $\pm$ 29 (47 – 139)	53 $\pm$ 18 (33 – 86)
SST (mg/L)	234 $\pm$ 70 (152 – 328)	221 $\pm$ 124 (100 – 412)	410 $\pm$ 158 (142 – 736)	39 $\pm$ 22 (20 – 92)
SSV (mg/L)	212 $\pm$ 64 (132 – 320)	167 $\pm$ 76 (96 – 296)	310 $\pm$ 118 (134 – 556)	38 $\pm$ 18 (18 – 78)
Nitrogênio Total (mg N/L)	62 $\pm$ 16 (44 – 84)	44 $\pm$ 7 (32 – 50)		25 $\pm$ 3 (22 – 28)
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	23,1 $\pm$ 5,9 (16,3 – 32,4)	32,6 $\pm$ 6,9 (27,3 – 43,1)		10,6 $\pm$ 4,4 (4,4 – 15,7)
Fósforo Total (mg P/L)	14,3 $\pm$ 3,9 (10,7 – 17,9)	9,1 $\pm$ 2,9 (6,9 – 13,3)		5,5 $\pm$ 1,0 (4,1 – 6,6)
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	1337 ⁽¹⁾ (764 – 2180)	852 ⁽¹⁾ (386 – 1532)		597 ⁽¹⁾ (452 – 692)
Ácidos Orgânicos Voláteis (mg HAc/L)	200 $\pm$ 53 (11 – 258)	91 $\pm$ 67 (30 – 230)		
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	172 $\pm$ 18 (138 – 194)	335 $\pm$ 61 (270 – 433)		239 $\pm$ 36 (176 – 281)
pH	6,5 $\pm$ 0,2 (6,1 – 6,9)	6,6 $\pm$ 0,2 (6,4 – 7,1)	7,4 $\pm$ 0,2 (7,0 – 7,6)	7,5 $\pm$ 0,1 (7,4 – 7,7)
Temperatura (°C)	22,5 $\pm$ 1,1 (21 – 25)	22,2 $\pm$ 1,2 (18 – 25)	21,7 $\pm$ 1,7 (17 – 25)	

(1): média de três resultados.

Tabela Q.10: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase B.II-2.

(valores médios)

Parâmetro	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total (%)	50	73	86
DBO ₅ total (%)	55	86	93
SST (%)	57	77	81
SSV (%)	59	75	80
Nitrogênio Total (%)	26	42	57
Nitrogênio Amoniacal (%)		66	54
Fósforo Total (%)	36	36	60
Cor Verdadeira (%)	30 ⁽¹⁾	42 ⁽¹⁾	49 ⁽¹⁾

(1): média de três resultados.

Tabela Q.11: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase B.II-3.

Tempo de detenção hidráulica no reator UASB: 8,6 horas $\pm$ 1,4 hora.

Taxa orgânica aplicada no reator UASB: 4,1 kg DQO/m³.dia $\pm$ 0,8 kg DQO/m³.dia

Taxa orgânica removida no reator UASB: 2,2 kg DQO/m³.dia $\pm$ 0,7 kg DQO/m³.dia

Taxa específica aplicada no reator UASB: 0,39 kg SV/m³.dia $\pm$ 0,07 kg SV/m³.dia

Tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia: 0,9 dia $\pm$ 0,1 dia.

Tempo de detenção hidráulica na lagoa de decantação: 1,8 dia $\pm$ 0,2 dia.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Afluentes	Efluente Reator UASB	Efluente Lagoa Aerada Aeróbia	Efluente Lagoa de Decantação
DQO total (mg/L)	1507 $\pm$ 239 (1157 – 1926)	779 $\pm$ 205 (568 – 1194)	552 $\pm$ 190 (285 – 1021)	265 $\pm$ 39 (233 – 341)
DQO filtrada (mg/L)		439 $\pm$ 77 (326 – 517)	238 $\pm$ 39 (189 – 291)	237 $\pm$ 10 (223 – 246)
DBO ₅ total (mg/L)	757 $\pm$ 185 (470 – 963)	272 $\pm$ 74 (197 – 384)		83 $\pm$ 64 (50 – 132)
DBO ₅ filtrada (mg/L)			59 $\pm$ 17 (47 – 87)	52 $\pm$ 13 (41 – 69)
SST (mg/L)	264 $\pm$ 32 (228 – 322)	595 $\pm$ 309 (128 – 960)	302 $\pm$ 107 (172 – 484)	54 $\pm$ 18 (38 – 87)
SSV (mg/L)	232 $\pm$ 29 (204 – 286)	444 $\pm$ 224 (100 – 700)	236 $\pm$ 79 (186 – 372)	50 $\pm$ 14 (41 – 75)
Nitrogênio Total (mg N/L)	53 $\pm$ 5 (48 – 60)	48 $\pm$ 7 (40 – 56)		38 $\pm$ 6 (32 – 44)
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	20,7 $\pm$ 2,7 (17,7 – 24,0)	30,7 ⁽¹⁾ (28,9 – 32,3)		18,9 ⁽¹⁾ (17,4 – 20,0)
Fósforo Total (mg P/L)	9,2 $\pm$ 1,7 (6,7 – 10,4)	9,0 $\pm$ 1,9 (7,1 – 11,5)		6,4 $\pm$ 1,8 (5,1 – 8,5)
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	1019 ⁽¹⁾ (940 – 1144)	704 ⁽¹⁾ (492 – 904)		577 ⁽¹⁾ (500 – 614)
Ácidos Orgânicos Voláteis (mg HAc/L)		106 $\pm$ 111 (30 – 277)		
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	154 $\pm$ 36 (107 – 201)	296 $\pm$ 38 (257 – 350)		285 $\pm$ 46 (223 – 348)
pH	6,2 $\pm$ 0,5 (5,3 – 6,7)	6,8 $\pm$ 0,3 (6,5 – 7,4)	7,5 $\pm$ 0,1 (7,4 – 7,8)	7,4 $\pm$ 0,2 (7,1 – 7,7)
Temperatura (°C)	23,2 $\pm$ 1,6 (20 – 26)	23,4 $\pm$ 2,1 (20 – 29)	22,0 $\pm$ 1,9 (18 – 25)	

(1): média de três resultados.

Tabela Q.12: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase B.II-3.

(valores médios)

Parâmetro	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total (%)	51	61	82
DBO ₅ total (%)	63	67	87
SST (%)		86	79
SSV (%)		82	78
Nitrogênio Total (%)	16 ⁽¹⁾	27	28 ⁽²⁾
Nitrogênio Amoniacal (%)		38 ⁽²⁾	13 ⁽¹⁾
Fósforo Total (%)	11 ⁽²⁾	36 ⁽¹⁾	39
Cor Verdadeira (%)	40 ⁽²⁾	23 ⁽²⁾	42 ⁽¹⁾

(1): média de três resultados.

(2): média de dois resultados.

Tabela Q.13: Resumo dos resultados de desempenho do sistema completo. Fase B.II-4.

Tempo de detenção hidráulica no reator UASB: 8,2 horas $\pm$ 1,3 hora.

Taxa orgânica aplicada no reator UASB: 4,8 kg DQO/m³.dia $\pm$ 1,6 kg DQO/m³.dia

Taxa orgânica removida no reator UASB: 3,3 kg DQO/m³.dia $\pm$ 1,5 kg DQO/m³.dia

Taxa específica aplicada no reator UASB: 0,50 kg SV/m³.dia $\pm$ 0,16 kg SV/m³.dia

Tempo de detenção hidráulica na lagoa aerada aeróbia: 3,8 dia $\pm$ 0,7 dia.

Tempo de detenção hidráulica na lagoa de decantação: 1,7 dia $\pm$ 0,1 dia.

(valor médio $\pm$ desvio padrão e faixa de variação)

Parâmetro	Afluente	Efluente Reator UASB	Efluente Lagoa Aerada Aeróbia	Efluente Lagoa de Decantação
DQO total (mg/L)	1584 $\pm$ 581 (759 – 2666)	498 $\pm$ 168 (244 – 790)	572 $\pm$ 236 (187 – 990)	183 $\pm$ 45 (120 – 277)
DQO filtrada (mg/L)		363 $\pm$ 71 (255 – 440)	162 $\pm$ 21 (133 – 181)	167 $\pm$ 30 (133 – 201)
DBO ₅ total (mg/L)	751 $\pm$ 165 (516 – 980)	217 $\pm$ 70 (125 – 317)		64 $\pm$ 26 (24 – 94)
DBO ₅ filtrada (mg/L)			41 $\pm$ 13 (26 – 54)	48 $\pm$ 17 (24 – 70)
SST (mg/L)	278 $\pm$ 57 (216 – 372)	330 $\pm$ 140 (198 – 464)	541 $\pm$ 358 (104 – 1090)	45 $\pm$ 18 (28 – 65)
SSV (mg/L)	224 $\pm$ 42 (180 – 288)	257 $\pm$ 84 (184 – 332)	379 $\pm$ 245 (77 – 760)	39 $\pm$ 16 (23 – 55)
Nitrogênio Total (mg N/L)	61 $\pm$ 24 (30 – 92)	41 $\pm$ 4 (34 – 46)	44 $\pm$ 14 (32 – 68)	28 $\pm$ 14 (12 – 48)
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ /L)	26,0 $\pm$ 6,3 (15,6 – 34,2)	27,1 $\pm$ 3,6 (22,1 – 30,9)	14,5 $\pm$ 5,5 (7,2 – 21,1)	15,6 $\pm$ 9,2 (6,6 – 28,3)
Nitrogênio Nitrato (mg NO ₃ ⁻ /L)			4,7 $\pm$ 2,8 (1,2 – 8,3)	
Nitrogênio Nitrito (mg NO ₂ ⁻ /L)			3,0 $\pm$ 1,1 (1,8 – 4,1)	
Fósforo Total (mg P/L)	13,6 $\pm$ 4,1 (9,1 – 19,5)	5,2 $\pm$ 1,0 (4,6 – 7,0)		4,3 $\pm$ 2,4 (1,9 – 8,2)
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	1002 $\pm$ 156 (792 – 1220)	601 $\pm$ 130 (516 – 826)		383 $\pm$ 56 (348 – 448)
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	143 $\pm$ 34 (93 – 189)	329 $\pm$ 82 (223 – 452)		230 $\pm$ 71 (144 – 302)
pH	6,4 $\pm$ 0,4 (5,8 – 7,0)	6,6 $\pm$ 0,2 (6,4 – 6,9)	7,2 $\pm$ 0,2 (7,0 – 7,4)	7,3 $\pm$ 0,1 (7,2 – 7,5)
Temperatura (°C)	24,4 $\pm$ 1,3 (21 – 26)	24,3 $\pm$ 1,0 (22 – 26)	24,1 $\pm$ 1,9 (21 – 28)	

Tabela Q.14: Resumo das eficiências de remoção ao longo do sistema completo. Fase B.II-4.

(valores médios)

Parâmetro	Reator UASB	Lagoa Aerada Aeróbia + Lagoa de Decantação	Sistema Completo
DQO total (%)	67	59	88
DBO ₅ total (%)	72	70	92
SST (%)	20 ⁽¹⁾	84	84
SSV (%)	22 ⁽²⁾	84	83
Nitrogênio Total (%)	33	52	55
Nitrogênio Amoniacal (%)		52	43
Fósforo Total (%)	58	41 ⁽¹⁾	72
Cor Verdadeira (%)	39	30	60

(1): média de três resultados.

(2): apenas um resultado.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEM SOBRINHO, P. e RODRIGUES, M.M. Contribuição ao projeto de sistemas de lagoas aeradas aeróbias para o tratamento de esgotos domésticos. **Revista DAE**. v.42, nº128: p.45-62. 1982.

ALEM SOBRINHO, P. Sistemas de tratamento aeróbio: lagoas aeradas seguidas de lagoas de decantação. In: IPT/CETESB. **Tratamento biológico de resíduos orgânicos líquidos III**. São Paulo. IPT/CETESB. 1989. p.91-122.

ALEM SOBRINHO, P.; GASI, T.M.T. e SILVA, S.J.A. Desenvolvimento de uma nova concepção de sistema de tratamento (reator UASB e lagoa aerada) para esgotos sanitários com elevada parcela carga orgânica industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17º, 1993. Natal. **Anais**. Rio de Janeiro, ABES. p.222-243. v.2, t.I.

ALEM SOBRINHO, P.; PEREIRA, P.C.G. e GASI,T.M.T. Tratamento de esgoto sanitário com elevada parcela de carga industrial por lagoa aerada e lagoa de decantação - determinação de parâmetros de projeto para a ETE Jundiá em escala piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17º, 1993. Natal. **Anais**. Rio de Janeiro, ABES. p.269-290. v.2, t.I.

ALEM SOBRINHO, P. e KATO, M .T. et al. Análise crítica do uso do processo anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários. In: CAMPO,J.R.(coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.301-320.

ALEM SOBRINHO, P. e JORDÃO, E.P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - uma análise crítica. In: CHERNICHARO,C.A.L. (coordenador). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: FINEP, 2001. p.491-512.

BREURE, A.M. Phase separation in anaerobic digestion. In: LETTINGA, G. and HULSHOFF POL, L.W. (coordenadores). **Anaerobic reactor technology**. International Course on Anaerobic Waste Water Treatment. Wageningen, 1993. p.148-163.

CATUNDA, P.F.C.; VAN HAANDEL, A.C. e HIDALGO, N.D. Pós-tratamento em lagoas de estabilização de esgotos digerido anaerobiamente In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17º, 1993. Natal. **Anais**. Rio de Janeiro, ABES. p.468-482. v.2, t.I.

- CHERNICHARO, C.A.L. Introdução. In: CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Reatores anaeróbios**. DESA/UFMG. Belo Horizonte. 1997a. v.5. p.13-22.
- CHERNICHARO, C.A.L. Fundamentos da digestão anaeróbia. In: CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Reatores anaeróbios**. DESA/UFMG. Belo Horizonte. 1997b. v.5. p.23-76.
- CHERNICHARO, C.A.L. et al. Reatores anaeróbios de manta de lodo. In: CAMPOS, J.R. (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.155-195.
- CHERNICHARO, C.A.L. et al. Introdução. In: CHERNICHARO, C.A.L. (coordenador). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: FINEP, 2001. p.19-31.
- CHERNICHARO, C.A.L. and NASCIMENTO, M.C.P. Feasibility of a pilot-scale UASB/trickling filter system for domestic sewage treatment. **Water Science and Technology**, v.44, n.4, p.221-228, 2001.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO JUNDIAÍ. Relatório anual de atividades. Jundiaí: CSJ, novembro de 2001.
- COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1977. p.152-177.
- CRAVEIRO, A.M. **Desempenho e estudos cinéticos de biodigestores híbridos com diferentes porcentagens de enchimento**. 1994, 246p. Tese. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L.S. and GREENBERG, A.E. (Editores). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20° ed. Washington: AWWA, WEF, APHA, 2000.
- ECKENFELDER, W.W. and GRAU, P. Activated Sludge Treatment of Industrial Waters. In: ECKENFELDER, W.W. and GRAU, P. (Editores). **Activated Sludge Process Design and Control. Theory and Practice**. Water Quality Management Library, Vol. 1. Technomic Publishing Company Inc., Lancaster, Pennsylvania. p.127-264, 1992.
- FORESTI, E. Perspectives on anaerobic treatment in developing countries. **Water Science and Technology**, v.44, n.8, p.141-148, 2001.
- FRANKIN, R.J. Full-scale experiences with anaerobic treatment of industrial wastewater. **Water Science and Technology**, v.44, n.8, p. 1-6, 2001.

GASI, T.M.T. e ROSSIN, A.C. Remoção de microorganismos indicadores e patogênicos em reator UASB operando com esgotos domésticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17º, 1993. Natal. **Anais**. Rio de Janeiro, ABES. p.361-378. v.2, t.I.

GIJZEN, H.J. Anaerobic digestion for sustainable development: a natural approach. **Water Science and Technology**, v.45, n.10, p.321-328, 2002.

GIULIANO, R.C.S. **Avaliação do impacto da proliferação de odores ofensivos do tratamento de esgotos sobre a saúde e o bem estar públicos: ETE – Piracicamirim – Piracicaba - SP**. 2002. Tese. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

HIRATA, Y.S. **Influência do íon potássio no processo de digestão anaeróbia do lodo de esgoto primário e de vinhaça**. 1990. 207p. Dissertação. Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo.

IZA, J. et al. International workshop on anaerobic treatment technology for municipal and industrial wastewaters: summary paper. **Water Science and Technology**, v.24, n.8, p.1-16, 1991.

KATO, M.T. et al. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPO, J.R. (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.53-97.

KATO, M.T.; FLORENCIO, L. e ARANTES, R.F.M. Tratamento de esgotos sanitários em reatores tipo EGSB anaeróbio-aeróbio. In: CHERNICHARO, C.A.L. (coordenador). **Pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbio. Coletânea de trabalhos técnicos**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: FINEP, 2001a. v. 2. p.165-174.

KATO, M.T.; FLORENCIO, L. e ARANTES, R.F.M. Pós-tratamento de efluente anaeróbio de reator EGSB com lodo floculento. In: CHERNICHARO, C.A.L. (coordenador). **Pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbio. Coletânea de trabalhos técnicos**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: FINEP, 2001b. v. 2. p.175-184.

LAPPONI, J.C. **Estatística usando o EXCEL**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 2000. 450p.

LETTINGA, G. and HULSHOFF POL, L.W. UASB process design for various types of wastewaters. **Water Science and Technology**, v.24, n.8, p. 87-107, 1991.

LETTINGA, G. and HULSHOFF POL, L.W. Wastewater treatment and resource recovery systems, the place of anaerobic treatment and digestion processes. In: **INTERNATIONAL COURSE ON ANAEROBIC WASTE WATER TREATMENT. ANAEROBIC REACTOR TECHNOLOGY**. Wageningen: IHE, 1993. p.1-6.

- LETTINGA, G.; FIELD, J.; VAN LIER, J.; ZEEMAN, G. and HULSHOFF POL, L.W. Advanced anaerobic wastewater treatment in the near future. **Water Science and Technology**, v.35, n.10, p.5-12, 1997
- LOZADA, P.T. **Tratamento de esgoto sanitário em sistema combinado anaeróbio-aeróbio (UASB-RSB)**. 2000. 99p. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MONTENEGRO, M.A.P. **Avaliação da comunidade microbiana em reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) submetido a aumentos progressivos da concentração do íon sulfato**. 1994. 186p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MORITA, D. M. **Tratamento de águas residuárias industriais**. Palestra proferida dentro da disciplina “ Caracterização e tratamento de despejos industriais”. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, maio de 2002.
- PIVELI, R.P. **Contribuição ao estudo do tratamento anaeróbio de despejos industriais**. 1990. 296p. Tese. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SANCHEZ, C.R. **Crescimento e atividade de endoglicanase de *acetivibrio cellulolyticus* cultivado em três diferentes substratos celulósicos**. 1998. 150p. Dissertação. Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo.
- SILVA, S.M.C.P. **Desenvolvimento de uma nova concepção de tratamento de águas residuárias pela associação de processos anaeróbios e aeróbios**. 1993. 472p. Tese. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SOARES, H.M. **Digestão anaeróbia de efluentes de fábricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB)**. 1990, 253p. Dissertação. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, M.E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, São Paulo, v.44, n.º137, p.88-93, junho de 1984.
- SPIEGEL, M.R. **Estatística** .Coleção Schaum. Tradução de Pedro Cosentino. Rio de Janeiro: Editora McGraw-Hill do Brasil, 1971. 569p.
- TORRES, P. and FORESTI, E. Domestic sewage treatment in a pilot system composed of UASB and SBR reactors. **Water Science and Technology**, v.44, n.4, p.247-253, 2001.
- VAN HAANDEL, A.C. Tratamento anaeróbio-aeróbio de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17º, 1993. Natal. **Anais**. Rio de Janeiro, ABES. p.768-783. v.2, t.I.

- VAN HAANDEL, A.C. and LETTINGA, G. Sewage treatment and sewage treatment systems. In: VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate**. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 1994. p.1-31.
- VAN HAANDEL, A.C. and LETTINGA, G. Application of anaerobic digestion to sewage treatment. In: VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate**. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 1994. p.33-59.
- VAN HAANDEL, A.C. and LETTINGA, G. Performance of UASB reactors treating sewage. In: VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate**. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 1994. p.90-118.
- VAN HAANDEL, A.C. and LETTINGA, G. Sludge treatment. In: VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate**. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 1994. p.147-160.
- VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G and CATUNDA, P.F.C. Post-treatment of UASB effluent. In: VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate**. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 1994. p.162-197.
- VAN HAANDEL, A.C. e MARAIS, G. Introdução. In: VAN HAANDEL, A.C.; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado. Teoria e aplicações para projetos e operação**. Campina Grande, PB: EPGRAF, 1999a. p.1-4.
- VAN HAANDEL, A.C. e MARAIS, G. Remoção Biológica de Nutrientes. In: VAN HAANDEL, A.C.; MARAIS, G. **O comportamento do s lodo ativado. Teoria e aplicações para projetos e operação**. Campina Grande, PB: EPGRAF, 1999b. p.98-184.
- VAZOLLER, R.F. **Estudos sobre isolamento, caracterização e crescimento de culturas puras de bactérias metanogênicas provenientes de biodigestores de lodo de esgoto**. 1989. 145p. Dissertação. Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo.
- VON SPERLING, M. Padrões de efluentes e de corpos d'água adotados no Brasil. Uma análise da resolução CONAMA nº 20. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS – TECNOLOGIA E PERPECTIVAS PARA O FUTURO, Brasília, 9 a 17 de julho de 1996. **Anais**. Brasília. 1996. p.97-113.
- ZEEUW, W.J. de. **Acclimatization of anaerobic sludge for UASB-reactors start-up**. 1984. 156p. Tese. Agricultural University of Wageningen. The Netherlands.
- WIEGANG, W.M. Experiences and potential of anaerobic wastewater treatment in tropical regions. **Water Science and Technology**, v.44, n.8, p. 107-113, 2001.