USP

Campus de São Carlos

FORMAÇÃO DE ALDEÍDOS E TRIALOMETANOS DA DESINFECÇÃO POR OZONIZAÇÃO, CLORAÇÃO E OZONIZAÇÃO/CLORAÇÃO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO SANITÁRIO

GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA

ORIENTADOR: LUIZ ANTONIO DANIEL

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Gustavo Henrique Ribeiro da Silva

FORMAÇÃO DE ALDEÍDOS E TRIALOMETANOS DA DESINFECÇÃO POR OZONIZAÇÃO, CLORAÇÃO E OZONIZAÇÃO/CLORAÇÃO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO SANITÁRIO

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

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel

SÃO CARLOS

2008

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

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

S586f

Silva, Gustavo Henrique Ribeiro da
Formação de aldeídos e trialometanos da desinfecção por ozonização, cloração e ozonização/cloração de efluente de tratamento anaeróbio de esgoto sanitário / Gustavo Henrique Ribeiro da Silva ; orientador Luiz Antonio Daniel. -- São Carlos, 2008.

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

1. Subprodutos de águas residuárias. 2. Ozônio. 3. Cloro. 4. Esgoto doméstico. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA**

Tese defendida e julgada em 09/09/2008 perante a Comissão Julgadora:

APROVADO

Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Titular **JURADYR POVINELLI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **EDSON APARECIDO ABDUL NOUR**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

APROVADO

Profª. Drª. **ENY MARIA VIEIRA**
(Instituto de Química de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Associado **ROQUE PASSOS PIVELI**
(Escola Politécnica/USP)

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

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

De tudo restaram três coisas::

A certeza de que estamos começando,

A certeza de que é preciso continuar e

A certeza de que podemos ser interrompidos antes de terminar

Fazer da interrupção um caminho novo,

Fazer da queda um passo de dança,

Do medo uma escola,

Do sonho uma ponte,

Da procura um encontro,

E assim terá valido a pena existir!

(Fernando Sabino)

Agradeço...

À Deus, sempre fiel ao meu lado;

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio Daniel, pela orientação, dedicação para a conclusão desta pesquisa de doutorado, paciência, confiança e boa vontade em atender-me assim que solicitado;

Aos Professores Dr. Wim Rulkens e Dr. Harry Bruning pela orientação e amizade recebida na Universidade de Wageningen, *Sub-Department of Environmental Technology*;

Às secretárias do *Sub-Department of Environmental Technology*: Liesbeth Kesaulya e Anita van de Weerd, aos técnicos: Vinnie de Wilde, Bert Willemsen, Katja Grolle e Hillion Wegh;

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos/USP, pela oportunidade de realização de meu doutorado;

Aos Professores José Roberto Campos, Silvia Claudia Semensato Povinelli e Eny Maria Vieira pelas contribuições realizadas nas qualificações;

Aos meus pais David e Sonia e a toda minha família por todo apoio recebido durante toda a minha vida;

Aos amigos do LATAR (Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas): Luci, Curió, Andrey, Jaque, Gabriel, Renata, Juliana e Glauce (técnica do Laboratório);

Às alunas de iniciação científica Natasha Schincariol e Elizabeth Shen Liotti que contribuíram em parte da pesquisa;

Aos amigos do Laboratório de Saneamento: Orlando, Sulita, Thais, Silvia, Ronan, Renato Siman, Camila, Marcio Salla e Leonardo Vieira;

Aos amigos do Laboratório de Processos Biológicos: Leonardo Damasceno, Dani e Renata Medici;

À Janja, técnica do Laboratório de Processos Biológicos (Cromatografia), pelas orientações técnicas na cromatográfica assim como a amizade, paciência, confiança e boa vontade em ajudar-me assim que solicitada;

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento Paulo Fragiácomo, Júlio Cesar Trofino, Cidinha e Juliana pela amizade e auxílio nas análises laboratoriais;

À Clarice do Laboratório de Ecotoxicologia e Ecofisiologia de Organismos Aquáticos (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) USP – São Carlos, pela realização dos bioensaios de toxicidade aguda;

Aos amigos da Universidade de Wageningen: Ricardo Sampaio, Pasquale Sinopoli, Fernando Fermoso, Gabriel Hernandez, Markus Lenz, Gabor Szanto, Nguyen Thi Phuong Loan, Justina Racyte, Hoda Daniel e Oleg;

À todos os funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento, em especial à Rose pela sua constante simpatia e boa vontade, Pavi, Sá, Flávia e Fernanda.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento a Pesquisa (CNPq) pelo fornecimento da bolsa de estudos, n° 140080/2004-0;

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....i

Lista de Tabelas.....xv

Lista de Símbolos e Abreviações.....xxi

RESUMO.....*xxv*

ABSTRACT.....*xxvii*

1 - INTRODUÇÃO.....*1*

2 - OBJETIVOS.....*5*

2.1 - Objetivos da pesquisa realizada no Brasil:.....5

2.2 - Objetivos da pesquisa realizada na Holanda:.....5

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....*7*

3.1 - Generalidades.....7

3.2 - Desinfecção.....8

3.2.1 - Considerações iniciais.....8

3.2.2 - Ozonização.....11

3.2.2.1 - Inativação e Eficácia da Desinfecção por Ozonização.....20

3.2.2.2 - Subprodutos da ozonização.....23

3.2.3 - Cloração.....27

3.2.3.1 - Hipoclorito de Sódio (NaOCl).....31

3.2.3.2 - Inativação e Eficácia da Desinfecção por Cloração.....32

3.2.3.3 - Subprodutos da cloração.....33

3.2.4 - Peroxização.....40

3.2.4.1 - Inativação e Eficácia da Desinfecção por Peroxização.....42

4 - MATERIAL E MÉTODOS.....*45*

4.1 Pesquisa realizada no Brasil.....45

4.1.1 Considerações Iniciais.....45

4.1.2 Equipamentos.....45

4.1.2.1 – Coluna de Ozonização.....46

4.1.2.2 – Frasco Lavador de Gás.....49

4.1.2.3 – Gerador de Ozônio.....50

4.1.2.4 – Instalação Experimental da ETE/USP Campus São Carlos.....52

4.1.3 – Ensaios de Desinfecção Aplicando Ozônio.....54

4.1.3.1 - Determinação da Produção de Ozônio.....56

4.1.3.2 - Dosagem de Ozônio.....57

4.1.3.3 Concentração de ozônio residual dissolvido e no *off-gas*.....58

4.1.4 - Ensaios de Desinfecção Aplicando Cloro.....60

4.1.5 Ensaios de Desinfecção Aplicando Ozônio/Cloro.....62

4.1.6 - Análises e Exames 63
4.1.6.1 - Determinação de Aldeídos 66
4.1.6.2 - Trialometanos 70
4.1.6.3 - Controle Microbiológico 71
4.1.6.3.1 - *Escherichia coli* 71
4.1.6.4 - Bioensaios de toxicidade aguda 72
4.1.6.4 - Análises estatísticas 75
4.2 Pesquisa realizada na Holanda – Universidade de Wageningen 76
4.2.1 Considerações Iniciais 76
4.2.2 - Ensaios de Desinfecção e Oxidação 79
4.2.2.1 - Desinfecção com Ozônio 80
4.2.2.2 - Desinfecção Ozônio/Cloro 82
4.2.2.3 - Desinfecção Ozônio/Peróxido de Hidrogênio 83
4.2.3 - Análises e Exames 85
4.2.3.1 – Determinação de Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) 86
4.2.3.2 – Determinação de Ácido Fórmico 88
4.2.3.3 – Determinação de Ácido Oxálico 88
4.2.3.4 – Determinação de Alcalinidade Total 89
4.2.3.5 – Determinação de Carbono Total, Carbono Inorgânico Total e Carbono Orgânico Total 90
4.2.3.6 – Determinação de Cloreto 92
4.2.3.7 – Determinação de Cloro Residual 92
4.2.3.8 – Determinação de *Escherichia coli.* 93
4.2.3.9 – Determinação da concentração de ozônio residual gasoso 95
4.2.3.10 – Determinação da concentração de ozônio residual dissolvido 95
4.2.3.11 – Determinação da concentração de peróxido de hidrogênio 96
4.2.3.12 – Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) 96
4.2.3.13 – Determinação de Aldeídos 97
4.2.3.14 – Determinação de Fósforo Total, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio Amoniacal 97
4.2.3.15 – Determinação de Sulfato 98
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO *99*
5.1 - Resultados e Discussão dos dados obtidos no Brasil 100
5.1.1 - Condições experimentais dos ensaios de ozonização 100
5.1.1.1 - Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e concentração no *off-gas* 100
5.1.1.2 - Alcalinidade Total e pH 103
5.1.1.3 - Demanda Química de Oxigênio 107
5.1.1.4 - Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Orgânico e Nitrogênio Amoniacal 113
5.1.1.5 - Nitrito e Nitrato 118
5.1.1.6 - Sulfeto 122
5.1.1.7 - Sólidos em Suspensão Totais (SST), Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV) e Sólidos em Suspensão Fixos (SSF) 125
5.1.1.8 - Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV) . 130
5.1.1.9 - Subprodutos da ozonização (Aldeídos) 134
5.1.1.10 - Inativação de Coliformes Totais e *E. coli.* 143
5.1.1.11 - Bioensaios 150
5.1.2 - Condições experimentais dos ensaios de cloração 159
5.1.2.1 - Cloro consumido, cloro residual livre e cloro residual total 159
5.1.2.2 - Alcalinidade, pH 162
5.1.2.3 - Demanda Química de Oxigênio 165
5.1.2.4 - Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Orgânico e Nitrogênio Amoniacal 168
5.1.2.5 - Nitrito e Nitrato 173
5.1.2.6 - Cloreto 176
5.1.2.7 - Sulfeto 178

5.1.2.8 - Sólidos em Suspensão Totais (SST), Sólidos em Suspensão Fixos (SSF) e Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV) 180
5.1.2.9 - Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV) . 184
5.1.2.10 - Subprodutos da cloração (THMs) 189
5.1.2.11 - Inativação de Coliformes Totais e *E. coli*. 193
5.1.2.12 - Bioensaios 199
5.1.3 - Condições experimentais dos ensaios de ozonização/cloração 201
5.1.3.1 - Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido, *off-gas*, Cloro consumido, cloro residual livre e cloro residual total 202
5.1.3.2 - Alcalinidade, pH 205
5.1.3.3 - Demanda Química de Oxigênio 208
5.1.3.5 - Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Orgânico e Nitrogênio Amoniacal 210
5.1.3.4 - Nitrito e Nitrato 213
5.1.3.6 - Cloreto 216
5.1.3.7 - Sulfeto 217
5.1.3.8 - Sólidos em Suspensão Totais (SST), Sólidos em Suspensão Fixos (SSF) e Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV) 218
5.1.3.9 - Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV) . 221
5.1.3.10 Subprodutos da ozonização (Aldeídos) 224
5.1.3.11 - Subprodutos da cloração (THMs) 230
5.1.3.12 - Inativação de Coliformes Totais e *E. coli*. 234
5.1.3.13 - Bioensaios 238
5.2 - Resultados e Discussão dos ensaios realizados na Holanda 245
5.2.1 - Condições experimentais dos ensaios de ozonização 245
5.2.1.1 - Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e *off-gas* 246
5.2.1.2 - Alcalinidade, pH e Temperatura 248
5.2.1.3 - Ácidos Orgânicos Voláteis 251
5.2.1.4 - Demanda Química de Oxigênio 253
5.2.1.5 - Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico Total (CIT) e Carbono Total (CT) 255
5.2.1.6 - Cloreto 258
5.1.2.7 - Nitrito e Nitrato 260
5.2.1.8 - Sulfato 262
5.2.1.9 - Subprodutos da ozonização (Aldeídos) 263
5.1.2.10 - Inativação de *E. coli* 266
5.2.2 - Condições experimentais dos ensaios de ozonização/cloração 267
5.2.2.1 - Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido, *off-gas*, cloro aplicado, cloro residual e cloro consumido 267
5.2.2.2 - Alcalinidade, pH e Temperatura 269
5.2.2.3 - Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) 273
5.2.2.4 - Demanda Química de Oxigênio 275
5.2.2.5 - Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico Total (CIT) e Carbono Total (CT) 276
5.2.2.6 - Cloreto 279
5.2.2.7 - Nitrito e Nitrato 281
5.2.2.8 - Sulfato 284
5.2.2.9 - Subprodutos da ozonização/cloração (Aldeídos) 285
5.2.2.10 - Inativação de *E. coli* 287
5.2.3 - Condições experimentais dos ensaios de peroxização 288
5.2.3.1 - Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido, *off-gas*, peróxido de hidrogênio aplicado, peróxido de hidrogênio residual e peróxido de hidrogênio consumido 289
5.2.3.2 - Alcalinidade, pH e Temperatura 291
5.2.3.3 - Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) 296
5.2.3.4 - Demanda Química de Oxigênio 298

5.2.3.5 - Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico Total (CIT) e Carbono Total (CT) 300
5.2.3.6 - Cloreto 305
5.2.3.7 - Nitrito e Nitrato 307
5.2.3.8 - Sulfato 310
5.2.3.9 - Subprodutos da ozonização/peroxização (Aldeídos) 312
5.2.3.10 - Inativação de *E. coli* 315
6 - CONCLUSÕES *317*
6.1 - Conclusões dos dados obtidos no Brasil 317
6.1.1 - Ozonização 317
6.1.2 - Cloração 320
6.1.3 - Ozonização/Cloração 321
6.2 - Conclusões dos dados obtidos na Holanda 324
6.2.1 - Ozonização 324
6.2.2 - Ozonização/Cloração 325
6.2.2 - Peroxização 325
7 - RECOMENDAÇÕES *327*
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS *329*
APÊNDICE *345*

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Esquema do Processo Corona para Geração de Ozônio..... 13
Figura 3.2: Rotas de oxidação de compostos durante o processo de ozonização..... 16
Figura 3.3: Esboço esquemático do processo ozônio/peróxido de hidrogênio..... 42
Figura 4.1: Esquema da unidade piloto utilizada nos ensaios de ozonização..... 46
Figura 4.3: Esquema da câmara de contato gás-líquido 48
utilizada nos ensaios com ozônio 48
Figura 4.4: Dimensões do difusor microporoso 49
Figura 4.5: Fotografia do difusor microporoso 49
Figura 4.6: Detalhes da Coluna de Ozonização em Acrílico..... 49
Figura 4.7: Gerador de ozônio (PZ 7) 51
Figura 4.8: Rotâmetro (Marca – Dwyer, modelo RMA 26)..... 51
Figura 4.10: Esquema do reator $UASB_{mod}$ 53
Figura 4.11: Fluxograma simplificado do sistema experimental 54
Figura 4.12: Procedimento analítico para identificação e quantificação de aldeídos no esgoto usando PFBOA.HCl como derivatizante 69
Figura 4.13: Cromatograma de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal na concentração 25,0 $\mu g.L^{-1}$, para identificação dos aldeídos (formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal) 69
Figura 4.14: Cromatograma dos padrões na concentração de 150,0 $\mu g.L^{-1}$ dos trialometanos ($CHCl_3$, $CHBrCl_2$, $CHBr_2Cl$ e $CHBr_3$)..... 71
Figura 4.15: Estação de Tratamento de Esgotos de Bennekom 78
Figura 4.16: Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos de Bennekom 78
Figura 4.17: Esquema da unidade experimental 80
Figura 4.18: Coluna de ozonização de 1,45 litros..... 81
Figura 4.19: Coluna de ozonização de 2,90 litros..... 81
Figura 4.20: Cromatograma dos padrões dos ácidos orgânicos voláteis 87
Figura 4.21: Titulador automático Schott 89
Figura 4.22: Procedimento de análise para o CT e CIT..... 91
Figura 4.23: Cromatograma dos padrões de flúor, cloreto, nitrito, brometo, nitrato, sulfato e fosfato 92
Figura 4.24: Espectrofotômetro Xion 500 (Dr. Lange) 93

Figuras 4.25 e 4.26: Spiral Plater-Eddy Jet 94
Figura 4.27: Colônias de *E. coli* em placa Petri para amostra ozonizada e não ozonizada . 95
Figura 5.1: Concentração de ozônio consumido para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 100
Figura 5.2: Concentração de ozônio consumido para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 101
Figura 5.3: Concentração de ozônio consumido para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 101
Figura 5.4: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 103
Figura 5.5: Valores médios pH para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 104
Figura 5.6: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 104
Figura 5.7: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 104
Figura 5.8: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos 105
Figura 5.9: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos 105
Figura 5.10: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 107
Figura 5.11: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 108
Figura 5.13: Remoção média de DQO para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 109
Figura 5.14: Remoção média de DQO para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 109
Figura 5.15: Remoção média de DQO para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 109
Figura 5.16: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 113
Figura 5.17: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 113
Figura 5.18: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 114
Figura 5.19: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 115
Figura 5.20: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 115
Figura 5.21: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 115

Figura 5.22: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 117
Figura 5.23: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 117
Figura 5.24: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 117
Figura 5.25: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 119
Figura 5.26: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 119
Figura 5.27: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 119
Figura 5.28: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 120
Figura 5.29: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 120
Figura 5.30: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 121
Figura 5.31: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 122
Figura 5.32: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 123
Figura 5.33: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 123
Figura 5.34: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 125
Figura 5.35: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 126
Figura 5.36: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 126
Figura 5.37: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 127
Figura 5.38: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 127
Figura 5.39: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 128
Figura 5.40: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 128
Figura 5.41: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 129
Figura 5.42: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 129

Figura 5.43: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 130
Figura 5.45: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 131
Figura 5.46: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 131
Figura 5.47: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 132
Figura 5.48: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 132
Figura 5.49: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 133
Figura 5.50: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 133
Figura 5.51: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 133
Figura 5.53: Concentração média de formação de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para o efluente ozonizado 137
Figura 5.54: Concentração média de formação de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para o efluente ozonizado 140
Figura 5.55: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 144
Figura 5.56: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 144
Figura 5.57: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 144
Figura 5.58: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 146
Figura 5.59: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 146
Figura 5.60: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 147
Figura 5.61: Concentração média de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 159
Figura 5.62: Concentração média de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 160

Figura 5.63: Concentração média de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 161
Figura 5.64: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 163
Figura 5.65: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 163
Figura 5.66: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 163
Figura 5.67: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 164
Figura 5.68: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 164
Figura 5.69: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 165
Figura 5.70: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 166
Figura 5.71: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 166
Figura 5.72: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 167
Figura 5.73: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 168
Figura 5.74: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 169
Figura 5.75: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 169
Figura 5.76: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 170
Figura 5.77: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 170
Figura 5.78: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 170
Figura 5.79: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 171
Figura 5.80: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 171
Figura 5.81: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 172
Figura 5.82: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos..... 173

Figura 5.83: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 173
Figura 5.84: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 174
Figura 5.85: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 175
Figura 5.86: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 175
Figura 5.87: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 175
Figura 5.88: Concentração média de cloreto para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 176
Figura 5.89: Concentração média de cloreto para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 177
Figura 5.90: Concentração média de cloreto para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 177
Figura 5.91: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 178
Figura 5.92: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 178
Figura 5.93: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 179
Figura 5.94: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 180
Figura 5.95: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 180
Figura 5.96: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 181
Figura 5.97: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 182
Figura 5.98: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 182
Figura 5.99: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 182
Figura 5.100: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 183
Figura 5.101: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 183
Figura 5.102: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 184
Figura 5.103: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 185

Figura 5.104: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 185
Figura 5.105: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 185
Figura 5.106: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 186
Figura 5.107: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 186
Figura 5.108: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 187
Figura 5.109: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 187
Figura 5.110: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 188
Figura 5.111: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 188
Figura 5.112: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 194
Figura 5.113: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 194
Figura 5.114: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 195
Figura 5.115: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 195
Figura 5.116: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 196
Figura 5.117: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos 196
Figura 5.118: Concentração de ozônio consumido, para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ com tempo de contato de 5 minutos, 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ com tempo de contato de 10 minutos e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ com tempo de contato de 15 minutos 202
Figura 5.119: Concentração de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos 203
Figura 5.120: Concentração de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 204
Figura 5.121: Concentração de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos 204
Figura 5.122: Valores médios de pH para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 205

Figura 5.123: Alcalinidade total média para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 206
Figura 5.124: DQO média para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 208
Figura 5.125: Concentração média de NTK para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 210
Figura 5.126: Concentração média de nitrogênio amoniacal para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 211
Figura 5.127: Concentração média de nitrogênio orgânico para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 212
Figura 5.128: Concentração média de nitrito para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 214
Figura 5.129: Concentração média de nitrato para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 215
Figura 5.130: Concentração média de cloreto para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 216
Figura 5.131: Concentração média de sulfeto para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 217
Figura 5.132: Concentração média de SST para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 219
Figura 5.133: Concentração média de SSF para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 219
Figura 5.134: Concentração média de SSV para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 219
Figura 5.135: Concentração média de ST para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 222
Figura 5.136: Concentração média de STF para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 222
Figura 5.137: Concentração média de STV para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 222
Figura 5.138: Concentração média de formaldeído para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 226
Figura 5.139: Concentração média de acetaldeído para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 227
Figura 5.140: Concentração média de glioxal para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 228
Figura 5.141: Concentração média de metilglioxal para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 229
Figura 5.142: Valores médios de inativação de coliformes totais para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 234
Figura 5.143: Valores médios de inativação de *E. coli* para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 236

Figura 5.144: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 246
Figura 5.145: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 247
Figura 5.146: Valores de pH para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 248
Figura 5.147: Valores de pH para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 248
Figura 5.148: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 249
Figura 5.149: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 249
Figura 5.150: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 249
Figura 5.151: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 250
Figura 5.152: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 251
Figura 5.153: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 252
Figura 8.154: Cromatograma da GC/FID de ácidos voláteis produzido nos ensaios de ozonização..... 253
Figura 5.155: DQO para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos 253
Figura 5.156: DQO para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 254
Figura 5.157: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 256
Figura 5.158: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 256
Figura 5.159: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 256
Figura 5.160: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 257
Figura 5.161: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 257
Figura 5.162: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 257
Figura 5.163: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 259
Figura 5.164: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 259

Figura 5.165: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 260
Figura 5.166: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 260
Figura 5.167: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 261
Figura 5.168: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 261
Figura 5.169: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos..... 262
Figura 5.170: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos..... 263
Figura 5.171: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 268
Figura 5.172: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 9,340 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 268
Figura 5.173: Valores de pH para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 270
Figura 5.174: Valores de pH para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 270
Figura 5.175: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 270
Figura 5.176: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 271
Figura 5.177: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 271
Figura 5.178: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 271
Figura 5.179: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato 15 minutos 273
Figura 5.180: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato 30 minutos 273
Figura 5.181: Cromatograma da GC/FID de ácidos voláteis dos ensaios de ozonização/cloração 274
Figura 5.182: DQO para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos 275
Figura 5.183: DQO para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos 275
Figura 5.184: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 277

Figura 5.185: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 277
Figura 5.186: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 277
Figura 5.187: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 278
Figura 5.188: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 278
Figura 5.189: Concentração de CT para dosagem aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 278
Figura 5.190: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 280
Figura 5.191: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 280
Figura 5.192: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 281
Figura 5.193: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 282
Figura 5.194: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 15 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 282
Figura 5.195: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 15 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 282
Figura 5.196: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos..... 284
Figura 5.197: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 15 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos..... 284
Figura 5.198: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 289
Figura 5.199: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 290
Figura 5.200: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 290
Figura 5.201: Valores de pH para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos 292
Figura 5.202: Valores de pH para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 292
Figura 5.203: Valores de pH para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 292
Figura 5.204: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos 293
Figura 5.205: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$ tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 293

Figura 5.206: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$ tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 293
Figura 5.207: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos 294
Figura 5.208: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 294
Figura 5.209: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 294
Figura 5.210: Concentrações de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos 296
Figura 5.211: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos 296
Figura 5.212: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 297
Figura 5.213: Cromatograma da GC/FID de ácidos voláteis dos ensaios de peroxização. 298
Figura 5.214: DQO para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos 298
Figura 5.215: DQO para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos 299
Figura 5.216: DQO para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos 299
Figura 5.217: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos..... 301
Figura 5.218: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos..... 301
Figura 5.219: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos..... 301
Figura 5.220: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos..... 302
Figura 5.221: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos..... 302
Figura 5.222: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos..... 302
Figura 5.223: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos..... 303
Figura 5.224: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos..... 303
Figura 5.225: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos..... 303

Figura 5.226: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos 305
Figura 5.227: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 306
Figura 5.228: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 306
Figura 5.229: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 307
Figura 5.230: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos..... 307
Figura 5.231: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 308
Figura 5.232: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 308
Figura 5.233: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 308
Figura 5.234: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 309
Figura 5.235: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos 310
Figura 5.236: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 310
Figura 5.237: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 311
Figura 239: Cromatograma da amostra 7, dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato de 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos..... 314

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Alguns dos organismos patogênicos encontrados em esgoto sanitário..... 7
Tabela 3.2: Comparação das características de desinfetantes atualmente usados 10
Tabela 3.3: Tendências, ênfase e práticas na desinfecção de esgotos para alguns países 11
Tabela 3.4: Vantagens e desvantagens da desinfecção pelo processo de ozonização 21
Tabela 3.5: Subprodutos da desinfecção de esgotos com ozônio que contêm componentes inorgânicos e orgânicos 25
Tabela 3.6: Principais propriedades físicas do cloro 28
Tabela 3.7: Vantagens e desvantagens da desinfecção pelo processo de cloração..... 30
Tabela 4.1: Características técnicas do Sistema PXZ3507 51
Tabela 4.2: Características do esgoto sanitário afluente e efluente ao reator $UASB_{mod}$ 52
Tabela 4.2: Dosagens de ozônio aplicadas e tempos de contato utilizados 60
Tabela 4.3: Dosagens de cloro aplicadas e tempos de contato utilizados nos ensaios..... 62
Tabela 4.4: Dosagens de ozônio/cloro e tempos de contato aplicados nos ensaios de ozonização/cloração 63
Tabela 4.5: Métodos dos exames e análises realizados durante os ensaios de desinfecção utilizando ozônio, cloro e ozônio/cloro 64
Tabela 4.6: Características da Estação de Tratamento de Esgotos de Bennekom 79
Tabela 4.7: Cronograma de ensaios realizados utilizando ozônio 85
Tabela 4.8: Cronograma de ensaios realizados utilizando ozônio/cloro 85
Tabela 4.9: Cronograma de ensaios realizados utilizando ozônio/peróxido de hidrogênio .. 85
Tabela 4.10: Métodos dos exames e análises realizados durante os ensaios de desinfecção utilizando ozônio, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio 86
Tabela 4.11: Tempo de retenção, área e concentração dos ácidos orgânicos voláteis identificados 87
Tabela 4.12: Composição do meio de cultura Oxoid CM 0956 94
Tabela 5.1: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para efluente reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados 135
Tabela 5.2: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para afluente e efluentes ozonizados 137

Tabela 5.3: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para afluente e efluentes ozonizados 139
Tabela 5.4: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 151
Tabela 5.5: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ 152
Tabela 5.6: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o ensaio que se aplicou tempo de contato 5 minutos (efluente ozonizado 1) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ 152
Tabela 5.7: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o ensaio que se aplicou tempo de contato 10 minutos (efluente ozonizado 2) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ 153
Tabela 5.8: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o ensaio que se aplicou tempo de contato 15 minutos (efluente ozonizado 3) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ 154
Tabela 5.9: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 155
Tabela 5.10: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 156
Tabela 5.11: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 157
Tabela 5.12: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ 157
Tabela 5.13: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para os efluentes ozonizados para a dosagem de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos 158
Tabela 5.14: Concentraçao de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato 10, 20 e 30 minutos para efluente reator $UASB_{mod}$ e efluentes clorados/desclorados 189
Tabela 5.15: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato 10, 20 e 30 minutos para efluente reator $UASB_{mod}$ e efluentes clorados/desclorados 190
Tabela 5.16: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato 10, 20 e 30 minutos para efluente reator $UASB_{mod}$ e efluentes clorados/desclorados 190
Tabela 5.17: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ 199

Tabela 5.18: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ 200
Tabela 5.19: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente 2 (efluente clorado-desclorado) para a dosagem de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos 200
Tabela 5.20: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente 3 (efluente clorado-desclorado) para a dosagem de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos 201
Tabela 5.21: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal formados no ensaio 1 para efluente reator $UASB_{mod}$, efluente ozonizado e ozonizado/clorado-desclorado 225
Tabela 5.22: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal formados no ensaio 2 para efluente reator $UASB_{mod}$, efluente ozonizado e ozonizado/clorado-desclorado 225
Tabela 5.23: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal formados no ensaio 3 para efluente reator $UASB_{mod}$, efluente ozonizado e ozonizado/clorado-desclorado 226
Tabela 5.24: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para o ensaio 1 para os efluentes ozonizados (afluente) e efluentes ozonizados/clorados-desclorados 230
Tabela 5.25: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para o ensaio 2 para os efluentes ozonizados (afluente) e efluentes ozonizados/clorados-desclorados 231
Tabela 5.26: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para o ensaio 3 para os efluentes ozonizados (afluente) e efluentes ozonizados/clorados-desclorados 232
Tabela 5.27: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para os efluentes do reator $UASB_{mod}$ para os ensaios 1, 2 e 3 238
Tabela 5.28: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado para o ensaio 1 239
Tabela 5.29: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 1 240
Tabela 5.30: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado da etapa ozônio/cloro para o ensaio 2 241
Tabela 5.31: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 2 242
Tabela 5.32: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado da etapa ozônio/cloro para o ensaio 3 243
Tabela 5.33: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 3 244
Tabela 5.34: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 3 245

Tabela 5.29: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal observados nos ensaios de ozonização 264
Tabela 5.30: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal detectados nos ensaios de ozonização/cloração 286
Tabela 5.31: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal detectados nos ensaios de peroxização 312
Tabela A.1: Concentrações de ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e *off-gas* para os ensaios de ozonização 345
Tabela A.2: Alcalinidade Total e pH para os ensaios de ozonização 346
Tabela A.3: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de ozonização 347
Tabela A.4: NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico para os ensaios de ozonização 348
Tabela A.5: Nitrito e Nitrato para os ensaios de ozonização 350
Tabela A.6: Sulfeto para os ensaios de ozonização 351
Tabela A.7: SST, SSF e SSV para os ensaios de ozonização 352
Tabela A.8: ST, STF e STV para os ensaios de ozonização 354
Tabela A.9: Inativação de coliformes totais em função do tempo de contato e a concentração efetiva de ozônio consumida para o efluente ozonizado para dosagens aplicadas de 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos 355
Tabela A.10: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e a concentração efetiva de ozônio consumida para o efluente ozonizado para dosagens aplicadas de 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos 356
Tabela A.11: Concentração de cloro consumido, concentração de cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração 357
Tabela A.12: Alcalinidade Total e pH para os ensaios de cloração 358
Tabela A.13: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de cloração 359
Tabela A.14: NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico para os ensaios de cloração 360
Tabela A.15: Nitrito e Nitrato para os ensaios de cloração 362
Tabela A.16: Cloreto para os ensaios de cloração 363
Tabela A.17: Sulfeto para os ensaios de cloração 364
Tabela A.18: SST, SSF e SSV para os ensaios de cloração 366
Tabela A.19: ST, STF e STV para os ensaios de cloração 367
Tabela A.20: Inativação de coliformes totais em função do tempo de contato e a concentração efetiva de cloro consumida para os ensaios de cloração 368
Tabela A.21: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e a concentração efetiva de cloro consumida para os ensaios de cloração 369
Tabela A.22: Concentrações de ozônio consumido, ozônio dissolvido e *off-gas* para os ensaios de ozonização 370
Tabela A.23: Concentração de cloro consumido, concentração de cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração 371

Tabela A.24: Alcalinidade Total e pH para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 371
Tabela A.25: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 372
Tabela A.26: NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 374
Tabela A.27: Nitrito e Nitrato para todos os ensaios de ozonização/cloração para os para os ensaios 1, 2 e 3 375
Tabela A.28: Cloreto para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios de 1, 2 e 3 376
Tabela A.29: Sulfeto para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 ... 377
Tabela A.30: SST, SSF e SSV para todos os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 378
Tabela A.31: ST, STF e STV para os ensaios ozonização/cloração para os ensaios de 1, 2 e 3 379
Tabela A.32: Inativação de coliformes totais em função do tempo de contato e a concentração efetiva de ozônio/cloro consumida para o efluente ozonizado e clorado-desclorado para os ensaios 1, 2 e 3 380
Tabela A.33: Inativação de E. coli em função do tempo de contato e concentração efetiva de ozônio/cloro consumida para o efluente ozonizado e clorado-desclorado para os ensaios 1, 2 e 3 381
Tabela A.34: Concentrações de ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e *off-gas* para os ensaios de ozonização 382
Tabela A.35: Alcalinidade, pH e temperatura para os ensaios de ozonização 382
Tabela A.36: Ácidos Orgânicos Voláteis para os ensaios de ozonização 383
Tabela A.37: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de ozonização 384
Tabela A.38: COT, CIT e CT para os ensaios de ozonização 385
Tabela A.39: Cloreto para os ensaios de ozonização 385
Tabela A.40: Nitrito e Nitrato para os ensaios de ozonização 386
Tabela A.41: Sulfato para os ensaios de ozonização 387
Tabela A.42: Inativação de E. coli em função do tempo de contato e concentração efetiva de ozônio aplicado 388
Tabela A.43: Concentrações de ozônio consumido, ozônio dissolvido e *off-gas* para os ensaios de ozonização/cloração 388
Tabela A.44: Cloro aplicado, Cloro Residual e Cloro Consumido 389
Tabela A.45: Alcalinidade, pH e temperatura para os ensaios de ozonização/cloração 389
Tabela A.46: Ácidos Orgânicos Voláteis para os ensaios de ozonização/cloração 390
Tabela A.47: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de ozonização/cloração.... 391
Tabela A.48: COT, CIT e CT para os ensaios de ozonização/cloração 391
Tabela A.49: Cloreto para os ensaios de ozonização/cloração 392
Tabela A.50: Nitrito e Nitrato para os ensaios de ozonização/cloração 393
Tabela A.51: Sulfato para os ensaios de ozonização/cloração 393

Tabela A.52: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e concentração de ozônio/cloro consumidos 394
Tabela A.53: Concentrações de ozônio consumido, ozônio dissolvido e *off-gas* para os ensaios de peroxização 394
Tabela A.54: Peróxido de hidrogênio aplicado, peróxido de hidrogênio residual e peróxido de hidrogênio consumido 395
Tabela A.55: Alcalinidade, pH e temperatura para os ensaios de peroxização 396
Tabela A.56: Ácidos Orgânicos Voláteis para os ensaios de peroxização para os ensaios 1, 2 e 3 396
Tabela A.57: DQO para os ensaios de peroxização para os ensaios 1, 2 e 3 397
Tabela A.58: COT, CIT e CT para os ensaios de ozonização/peroxizados para os ensaios 1, 2 e 3 398
Tabela A.59: Cloreto para os ensaios de peroxização para os ensaios 1, 2 e 3 399
Tabela A.60: Nitrito e Nitrato para os ensaios de peroxização para os ensaios 1, 2 e 3 400
Tabela A.61: Sulfato para os ensaios de peroxização 400
Tabela A.62: Inativação de E. coli em função do tempo de contato e dosagem de ozônio/ peróxido de hidrogênio consumido para os ensaios 1, 2 e 3 401

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIAÇÕES

ABES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AOV: Ácidos Orgânicos Voláteis

APHA: American Public Health Association

Atm: Atmosfera

AWWA: American Water Works Association

CAS: Chemical Abstracts Service

CE (50): Concentrações Efetivas 50 por cento

CETESB: Companhia de Tecnologia e Saneamento ambiental

CF: Coliformes Fecais

CIT: Carbono Inorgânico Total

CL(50): Concentrações Letais 50 por cento

Coff-gas = dosagem off-gas de ozônio ou concentração de ozônio residual gasoso

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

Condut.: Condutividade

COT: Carbono Orgânico Total

CT: Carbono Total

C_T*: Coliformes totais*

d: dia

DBO: Demanda bioquímica de oxigênio

$D_{off\text{-}gas}$ *: excesso de ozônio gasoso*

DQO: Demanda química de oxigênio

Dr.: Doutor

EESC: Escola de Engenharia de São Carlos

ETE: Estação de tratamento de esgoto

EU: Europe Union

g: Grama

H: Altura

HPLC: High-performance liquid chromatography

IARC: The International Agency for Research on Câncer

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IC: Intervalo de confiança

Kg: Kilograma

kWh: Quilo-watt hora

L: Litro

ld: limite de detecção

LPM: Litro por minuto

log: Logarítmo ou unidade logarítmica

mg: miligrama

mL: Mililitros

mm: milímetro

N: Número de microrganismos

N_0*: Número inicial de microrganismos*

N-amoniacal: Nitrogênio amoniacal

NBR: Norma Brasileira

NMP: Número mais provável

N_t*: Normalidade do tiossulfato de sódio*

NTK: Nitrogênio Total Kjedhal

OD.: Oxigênio dissolvido,

OH^-*: Radicais Hidroxila*

OMS: Organização Mundial de Saúde

pH: Potencial hidrogeniônico

POAs: Processos de Oxidação Avançados

ppb: Partes por bilhão

ppm: Partes por milhão

PVC: Cloreto de Polivinila

R: variável a ser analisada;

s: segundo

SSF Sólidos em suspensão fixos

SST Sólidos em suspensão totais

SSV Sólidos em suspensão voláteis

ST: Sólidos totais

STF: Sólidos totais fixos

STV: Sólidos totais voláteis

t: tempo

TA: toxicidade aguda

Tc: Temperatura crítica

THM: Trialometano

$UASB_{mod}$: Upflow Anaerobic Sludge Blanket modificado

UFC: Unidade formadora de colônia

USEPA: United States Environmental Protection Agency

USP: Universidade de São Paulo

V: volume

WEF: Water Environment Federation

WHO – World Health Organization

ß0: coeficiente que indica de quanto varia o 'R' em função da variação de uma unidade de 'dosagem de desinfetante' e/ou 'tempo'

ß1: coeficiente que indica de quanto varia o 'R' em função da variação de uma unidade de 'dosagem de desinfetante' e/ou 'tempo'

ß2: coeficiente que indica de quanto varia o 'R' em função da variação de uma unidade de 'dosagem de desinfetante' e/ou 'tempo'

e: erro aleatório

Δ_{Vt}: volume de tiossulfato

µg: microgramas

°C: Celsius

RESUMO

SILVA, G. H. R. (2008). *Formação de Aldeídos e Trialometanos da Desinfecção por Ozonização, Cloração e, Ozonização/Cloração de Efluente de Tratamento Anaeróbio de Esgoto Sanitário*. 401 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

O presente trabalho foi realizado em sua maior parte no Brasil. Entretanto, com o intuito de enriquecer a pesquisa, realizou-se coleta de dados por um período de seis meses na Universidade de Wageningen – Holanda. Na etapa realizada no Brasil se propôs: estudar a formação de subprodutos (aldeídos e trialometanos) da desinfecção de efluente de tratamento anaeróbio esgoto sanitário com ozônio, cloro e ozônio/cloro; verificar como os desinfetantes atuam no processo de oxidação; conhecer o grau de toxicidade bem como o efeito do residual do ozônio e cloro empregando *Daphnia similis* e *Danio rerio* como organismos-teste e, ainda, analisar a eficiência do ozônio, cloro, ozônio/cloro na inativação de microrganismos. Na etapa da pesquisa realizada na Holanda se propôs: estudar a formação de subprodutos (aldeídos) da desinfecção de efluente de tratamento anóxico com ozônio, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio (peroxônio); verificar como os desinfetantes atuam no processo de oxidação; e, ainda, analisar a eficiência do ozônio, ozônio/cloro na inativação de microrganismos indicadores. Nos estudos realizados, pode-se verificar uma expressiva formação de aldeídos com predominância de formaldeído e, principalmente, acetaldeído que apresentou uma maior concentração de formação para os ensaios realizados no Brasil. A formação de aldeídos nos ensaios realizados na Holanda seguiram o mesmo comportamento dos realizados no Brasil, porém, como uma menor formação. Para os ensaios de cloração e ozonização/cloração foi observada a baixa formação de trialometanos. Os

testes de toxicidade que usaram como organismo-teste - *Daphnia similis* - apresentaram toxicidade nos ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$, assim como em todas dosagens aplicadas nos ensaios de cloração e, também, para o ensaio de ozonização/cloração para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$/10 mg $Cl_2.L^{-1}$. Em relação ao organismo-teste - *Danio rerio* - foi detectado toxicidade aguda no ensaio em que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato 5 minutos e 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato 15 minutos.

Palavras-chave: subprodutos, ozonização, cloração, efluente doméstico, efluente anaeróbio.

ABSTRACT

SILVA, G. H. R. (2008). *Aldehydes and Trihalomethanes Formation from Desinfection in Ozonization, Chloration and, Ozonation/Chloration in Anaerobic Effluent from Sanitary Wastewater.* 401 p. Ph.D. Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

The present work was mostly carried out in Brazil. However, aiming to enhance the research, a six-month data collection was performed at the Wageningen University – The Netherlands. The step carried out in Brazil proposed: to study the formation of by-products (aldehydes and trihalomethanes) from the disinfection of an anaerobic treatment wastewater effluent with ozone, chlorine and ozone/chlorine; to verify how disinfectants act in the oxidation process; to know the degree of toxicity as well as the effects of residual ozone and chlorine employing *Daphnia similis* and *Danio rerio* as test-organisms; and, yet, to analyze the efficiency of ozone, chlorine and ozone/chlorine in the inactivation of microorganisms. The step of this research that was carried out in The Netherlands proposed: to study the formation of by-products (aldehydes) from the disinfection of an anoxic treatment effluent with ozone, ozone/chlorine and ozone/hydrogen peroxide (peroxonium); to verify how disinfectants act in the oxidation process; and, to analyze the efficiency of ozone, ozone/chlorine in the inactivation of indicating microorganisms. It was possible to indentify, in the performed studies, an expressive formation of aldehydes with a formaldehyde predominance and, mainly, acetaldehyde that presented a higher formation concentration in the essays carried out in Brazil. The aldehydes formation concentration detected in the essays carried out in The Netherlands followed the same behavior of the ones carried out in Brazil, however with a smaller formation. A low formation of trihalomethanes was observed for the chloration and

ozonization/chloration, essays. The toxicity tests that used *Daphnia similis* as test-organisms presented toxicity in the essays that 8.0 mg $O_3.L^{-1}$ was applied, as well as for all applied dosages in the chloration essays and, also, for the ozonation/chloration for the applied dosage of 5.0 mg $O_3.L^{-1}$/10 mg $Cl_2.L^{-1}$. Regarding the *Danio rerio* test-organism, acute toxicity was detected in the essay in which 5.0 mg $O_3.L^{-1}$ and contact time of 5 minutes was applied and also for 8.0 mg $O_3.L^{-1}$ and contact time of 15 minutes.

Key-words: byproducts, ozonation, chloration, sanitary effluent, anaerobic effluent.

1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, devido à maior conscientização da população em relação aos problemas realicionados com a água, a sociedade – com justificada razão – cobra maiores ações governamentais referentes à construção de estações tratamento de esgoto.

Entretanto, a carência de escolas e hospitais e a falta de segurança são os maiores anseios do próprio governo. Por isso, nem sempre foi fácil convencê-lo de aplicar recursos na despoluição de mananciais que recebem efluentes industriais, águas de drenagem de terras agriculturadas e de esgoto sanitário. Compete ao Estado captar, tratar e distribuir água à população. Um outro papel a ser desempenhado pelo Estado é o de coletar e tratar o esgoto sanitário. Para tanto, faz-se necessário a escolha do processo de tratamento e planejamento de projetos que requeiram menor custo de implantação e operação dos sistemas.

Tratamentos convencionais como sedimentação, lodos ativados, filtros biológicos, entre outros, são citados na literatura por diminuírem a concentração de microrganismos patogênicos. Tais processos, não são suficientes para remover as elevadas cargas de microrganismos patogênicos do esgoto sanitário, que contaminam a água e causam agravos à saúde ambiental e a saúde pública e etapas específicas de desinfecção são necessárias (LAZAROVA et al., 1999).

Por muitas décadas a cloração tem sido o método mais utilizado de desinfecção. Além de eficiente desinfetante, é de baixo custo e relativa facilidade de aplicação.

Nos últimos anos, tem havido uma preocupação maior com a possível toxicidade dos agentes desinfetantes e os respectivos subprodutos da desinfecção.

Pesquisas têm relatado a potencialidade carcinogênica, mutagênica e teratogência de certos compostos organoclorados, como trialometanos, clorofórmio, diclorometano, subprodutos da cloração. Outro aspecto ainda discutido é a ação tóxica do cloro residual (EVANS, 1972 e SAMPAIO, 1985).

A adoção de um sistema de desinfecção deve compreender um estudo de risco-benefício, no qual o tipo de tratamento, a tecnologia aplicada, o desinfetante a ser utilizado e o nível de remoção a ser atingido são os principais pontos a serem observados. O objetivo é minimizar o custo total: custo dos serviços de água e custos associados aos agravos à saúde; devido à ação microbiológica e ao impacto de subprodutos do processo, podendo-se até mesmo, em função dos fins a que se destina, desprezar o uso da desinfecção (USEPA, 2001).

Desse modo, métodos de desinfecção como ozonização, ozônio/peróxido de hidrogênio que têm se destacado como métodos promissores na desinfecção de esgoto sanitário, precisam ser melhor estudados, bem como sua potencialidade na formação de subprodutos como trialometanos, que são potencialmente carcinogênicos em seres humanos e aldeídos por serem compostos carcinogênicos, mutagênicos e provocarem tumores em animais de laboratório. Esta pesquisa foi realizada na sua maior parte no Brasil, mas também houve coleta de dados por um período de seis meses na Universidade de Wageningen – Holanda. Na etapa realizada no Brasil se propôs: estudar a formação de subprodutos (aldeídos e

trialometanos) da desinfecção de efluente de tratamento anaeróbio esgoto sanitário com ozônio, cloro e ozônio/cloro; verificar como os desinfetantes atuam no processo de oxidação; conhecer o grau de toxicidade dos produtos usados na desinfecção e, ainda, analisar a eficiência do ozônio, cloro, ozônio/cloro na inativação de microrganismos. Na etapa da pesquisa realizada na Holanda se propôs: estudar a formação de subprodutos (aldeídos) da desinfecção de efluente de tratamento anóxico com ozônio, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio (peroxônio); verificar como os desinfetantes atuam no processo de oxidação; e, ainda, analisar a eficiência do ozônio, ozônio/cloro na inativação de microrganismos indicadores.

No próximo capítulo estão apresentados os objetivos desta pesquisa. O capítulo 3 compreende a revisão bibliográfica dos principais temas abordados nesta pesquisa, ou seja: ozônio, cloro, ozônio/peróxido de hidrogênio e seus respectivos subprodutos formados. Por meio do capítulo 4, podem-se verificar as instalações experimentais utilizadas e também as metodologias empregadas para a realização dos experimentos. No capítulo 5 estão apresentados e discutidos os resultados obtidos na coleta de dados no Brasil e na Holanda. Os capítulos 6 e 7 se referem às conclusões obtidas nesta pesquisa, bem como as recomendações para uma possível continuação desta pesquisa.

No capítulo 8 encontram-se as tabelas referentes a todos os dados obtidos nessa pesquisa.

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivos da pesquisa realizada no Brasil:

1) Identificar e quantificar em efluente de tratamento anaeróbio, desinfetado com ozônio, cloro e ozônio/cloro a formação de aldeídos e trialometanos;
2) Avaliar a ação dos desinfetantes: ozônio, cloro e ozônio/cloro no processo de oxidação da matéria orgânica e inativação de coliformes termotolerantes;
3) Determinar o grau de toxicidade, bem como o efeito do residual do ozônio, empregando *Daphnia similis* e *Danio rerio* como organismos-teste.

2.2 - Objetivos da pesquisa realizada na Holanda:

1) Identificar e quantificar em efluente de tratamento anaeróbio, desinfetado com ozônio, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio (peroxônio) a formação de aldeídos;
2) Avaliar a ação dos desinfetantes: ozônio, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio (peroxônio) no processo de oxidação da matéria orgânica e inativação de coliformes termotolerantes;

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Generalidades

No Brasil, a situação do setor de saneamento tem conseqüências muito graves para a qualidade de vida da população, principalmente para a faixa mais pobre. A relação entre saúde e saneamento é, portanto, muito estreita, podendo-se dizer que o primeiro não poderá existir de modo pleno sem a presença do segundo (ESGOTO É VIDA, 2000).

Há uma grande variedade de microrganismos no esgoto sanitário, alguns deles patogênicos ao homem, dentre estes bactérias, vírus, protozoários e vermes, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Alguns dos organismos patogênicos encontrados em esgoto sanitário

Bactérias	Vírus	Protozoários	Vermes
Vibrio cholerae	Poliovirus	*Entamoeba histolytica*	*A. lumbricoides*
Salmonella typhi	Coxsackie	*Giardia lamblia*	*S. mansoni*
Salmonella paratyphi	Echovirus	*Balantidium coli*	*Taenia solium*
Shigella spp	Adenovirus		*Ancilostonia duodenale*
Brucela spp	Hepatite A		

FONTE: WEF (1996)

A inativação de organismos patogênicos presentes em águas residuárias, além da questão da saúde, biologicamente viabiliza seu reaproveitamento.

A importância da desinfecção em tratamento de águas residuárias pode ser entendida como última barreira para proteger os corpos receptores dos microrganismos patogênicos (WEF, 1996).

3.2 - Desinfecção

3.2.1 - Considerações iniciais

O que é desinfecção?

A meta principal da desinfecção de água de abastecimento de esgoto é proteger a saúde pública. Por este ponto de vista, o foco da desinfecção está na prevenção de doenças pela redução de organismos patogênicos por processos que possam removê-los ou inativá-los. Esta redução deve ser a um grau que nem a água de abastecimento nem o esgoto sirvam para a veiculação de doenças na comunidade. Portanto, deve assegurar que a água a ser distribuída deva ser microbiologicamente segura ou desinfetada.

É importante notar que a desinfecção é também um processo de tratamento empregado para diminuir riscos de doenças seja, por métodos biológicos ou físico-químicos que possam remover ou inativar os organismos patogênicos. Processos que reduzem o risco à saúde associado aos microrganismos patogênicos por inativação (ao contrário de remoção) tradicionalmente são chamados "desinfecção". É comum dizer também que o termo desinfecção foi emprestado da comunidade médica, cujos produtos químicos são usados para desinfetar mãos, instrumentos e superfícies de trabalho.

No processo de desinfecção usa-se um agente químico ou físico, com o objetivo de eliminar microrganismos patogênicos ou microrganismos indesejáveis presentes na água. Os processos específicos de desinfecção podem ser classificados como (LAUBUSCH, 1971):

- tratamento físico – aplicação de calor; irradiação, luz ultravioleta e outros agentes físicos;
- íons metálicos – cobre e prata;
- compostos alcalinos;
- compostos tenso ativos – sais de amônia quartenários;
- oxidantes – halogênios, ozônio e outros compostos orgânicos e inorgânicos.

As principais características que se deseja de um desinfetante podem ser resumidas em (FAIR et al[a]. *apud* ROSSIM, 1987):

- capacidade de destruir em um tempo razoável, os organismos patogênicos a serem eliminados, na quantidade em que se apresentam e nas condições encontradas na água;
- desinfetante não deve ser tóxico para o homem e para os animais domésticos e, nas dosagens usuais, não devem causar à água cheiro e gosto que prejudiquem o seu consumo;
- custo de utilização deve ser razoável, além de apresentar facilidade e segurança no transporte, armazenamento, manuseio e aplicação;
- concentração na água tratada deve ser fácil e rapidamente determinável;

[a] FAIR, G. M.; GEYER, J. C. & OKUM, D. A. (1954). *Water and Wastewater Engineering*. New York: John Wiley & Sons.

- devem-se produzir concentrações residuais persistentes na água, de maneira a constituir barreira sanitária contra eventual recontaminação antes do uso.

De acordo com a USEPA (1999b), os agentes químicos mais utilizados são: cloro, dióxido de cloro, cloraminas, ozônio e permanganato de potássio.

Na Tabela 3.2 é apresentado uma comparação dos desinfetantes atualmente usados.

Tabela 3.2: Comparação das características de desinfetantes atualmente usados

Característica	Cloro	Hipoclorito de sódio	Hipoclorito de cálcio	Dióxido de Cloro	Ozônio	Radiação UV
Disponibilidade/ Custo	Baixo custo	Moderada Baixo custo	Moderada Baixo custo	Moderada Baixo custo	Moderada Alto custo	Moderada Alto custo
Capacidade de desodorização	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Alta	Não aplicável
Homogeneidade	Homogêneo	Homogêneo	Homogêneo	Homogêneo	Homogêneo	Não aplicável
Interação com material estranho	Oxida matéria orgânica	Oxidante ativo	Oxidante ativo	Alto	Oxida matéria orgânica	Absorbância de radiação UV
Corrosível	Altamente corrosivo	Corrosivo	Corrosivo	Altamente corrosivo	Altamente corrosivo	Não aplicável
Não tóxico a formas de vida superiores	Altamente tóxico a formas de vida superiores	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Penetração	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada
Preocupação com a segurança	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Baixa
Solubilidade	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Não aplicável
Estabilidade	Estável	Ligeiramente instável	Relativamente estável	Instável, deve ser gerado no local de uso	Instável, deve ser gerado no local de uso	Não aplicável
Tóxico para microrganismos	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Toxicidade a temperaturas ambientes	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

FONTE: METCALF & EDDY (2002)

A Tabela 3.3 apresenta as principais tendências, ênfases e práticas em desinfecção de esgotos em vários países. A desinfecção de esgotos não é obrigatória em muitos países.

Tabela 3.3: Tendências, ênfase e práticas na desinfecção de esgotos para alguns países

País	Tendências, Ênfase e Práticas
Itália	Instalação de um sistema de emergência de desinfecção em estações de tratamento de esgotos; pesquisas recomendaram o uso de radiação ultravioleta, dióxido de cloro, ácido peracético e hipoclorito/peróxido de hidrogênio para tratamento terciário de esgotos.
Finlândia	Conformidade com os padrões de qualidade.
Romênia	Ênfase em reabilitação de Estações de Tratamento de Esgoto.
Japão	A promoção de tecnologias alternativas de desinfecção tal como radiação ultravioleta e ozonização; aumentaram a ênfase em controle de qualidade de água de abastecimento e de esgotos.
Hong Kong	Pesquisas enfatizam uso de ozônio, dosagem em multipontos de hipoclorito, membrana de filtração e desinfecção eletroquímica. Aplicação de desinfecção após tratamento primário tem aumentado.
Portugal	Ênfase sobre a década passada em construção de sistemas de desinfecção de esgotos, particularmente radiação ultravioleta e lagoas de estabilização; aumentaram o uso de alternativas ao cloro para desinfecção.
Noruega	A garantia de uma boa desinfecção facilita a aqüicultura.
Eslováquia	Ênfase na manutenção de desinfecção adequada através do uso de cloro gasoso e hipoclorito.
França	Ênfase em desinfecção de efluentes secundários e terciários.
Tunísia	Maior ênfase em reusar água e uso de radiação ultravioleta.
Espanha	O uso de radiação ultravioleta para desinfecção de esgotos previamente tratados; as pesquisas estão direcionadas a reutilizar o esgoto em áreas áridas usando membranas, ozônio e radiação ultravioleta para desinfecção.
África do Sul	Pesquisas em esgotos focam metodologias alternativas para controlar organismos patogênicos e *E.Coli*; ênfase no uso de radiação ultravioleta para desinfecção.
Estados Unidos	Maior ênfase em reutilizar o esgoto, usando membranas para proposta de desinfecção; um aumento do uso de radiação ultravioleta em efluentes de tratamento secundário.
Alemanha	O uso de radiação ultravioleta para desinfecção e membranas para remoção de patogênicos.
Bulgária	Ênfase na desinfecção com cloro para esgotos domésticos e industriais.
Grã-Bretanha	Ênfase na aplicação de radiação ultravioleta para desinfecção de esgotos, aplicação de produtos químicos para a sedimentação antes da desinfecção e, membrana.
República Tcheca	Ênfase no uso de cloro para atingir padrões de microbiológicos; aplicação de tratamento térmico é empregada em casos seletos.

FONTE: JACANGELO e TRUSSELL (2002)

3.2.2 - Ozonização

O ozônio foi descoberto em 1785 pelo físico holandês Van Marum (KINMAM, 1972) e batizado pelo químico suíço Christian Friedrich Schönbein em 1840 (PONTIUS, 1990). A palavra “ozônio” origina-se do grego “ozein” que significa “cheiro”, pelo seu cheiro característico. Em 1845 de la Rive e Marignac obtiveram

ozônio submetendo a passagem de um arco elétrico em ambiente de oxigênio puro (TAMURA et al., 1982). Posteriormente, investigações realizadas por Hunt sobre as propriedades oxidantes do ozônio permitiram ao autor postular que a molécula do ozônio é constituída por três átomos de oxigênio (SILVA et al., 2003).

A molécula ozônio, O_3 (número CAS [10028-15-6]) em condições normais é um gás (ponto de ebulição a 1 atm é -111,9 °C, temperatura critica Tc é -12°C). É parcialmente solúvel em água, sua solubilidade é cerca de 30 vezes a do oxigênio para a temperatura entre 0 e 30 °C; é por volta 12 vezes menos solúvel que o cloro.

O ozônio é um gás instável de alto poder oxidante. Essas duas características o tornam atrativo para a desinfecção de esgotos domésticos. A instabilidade desse gás é uma característica desejável porque quando o efluente é lançado no meio ambiente não haverá residual de oxidante que possa ser danoso à biota aquática. O alto poder oxidante é desejável porque diminui muito as concentrações e o tempo necessário para a desinfecção. O tempo de contato e as concentrações sendo reduzidos propiciarão uma economia na construção e operação das instalações. Existe ainda a vantagem da redução de cor, que mesmo nas dosagens relativamente baixas necessárias para a desinfecção, tem se mostrado efetiva.

A produção comercial do ozônio é realizada pelo "processo corona", o que é baseado na aplicação de uma voltagem alternada entre dois eletrodos separados por um fluxo de oxigênio puro seco ou ar. O campo elétrico aplicado fornece energia suficiente aos elétrons para que estes rompam as duplas ligações da molécula de O_2, gerando dois átomos de oxigênio. Estes átomos de oxigênio reagem com outra molécula de O_2 para formar as moléculas de O_3 (Figura 3.1).

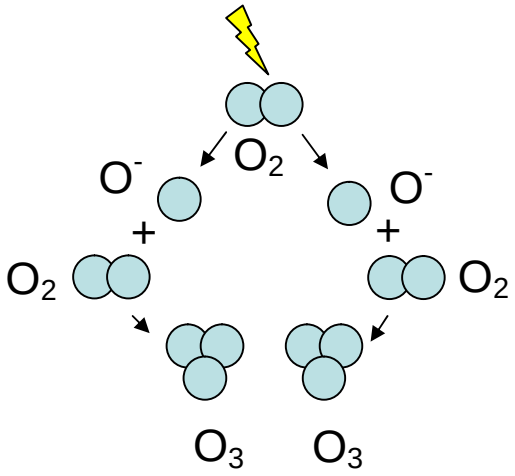


Figura 3.1: Esquema do Processo Corona para Geração de Ozônio

Os primeiros experimentos sobre desinfecção com ozônio foram realizados na França por De Meritens em 1886 (CAMEL & BERMOND, 1998). Em 1893 e em 1900 passou a ser utilizado para tratamento de águas de abastecimento na Holanda (USEPA, 1986) e na França (METCALD & EDDY, 2002), respectivamente. Seu uso se espalhou pela Europa Ocidental, bem antes de atingir a América do Norte.

A primeira unidade de ozonização para desinfecção de água de abastecimento foi implantada em Nice na França, em 1906.

O ozônio é usado para o tratamento de água potável e para os seguintes propósitos (RICE, 1981):

- Desinfecção bacteriana, descoloração, desodorização e desintoxicação de efluentes e melhoria da biodegradabilidade.
- Inativação de vírus
- Oxidação de ferro solúvel e/ou manganês
- Remoção de cor (oxidação)
- Remoção de algas (oxidação)
- Oxidação de compostos orgânicos:

Fenóis

Detergentes

Pesticidas

- Microfloculação de orgânicos dissolvidos (oxidação)
- Oxidação de inorgânicos:

  Cianeto

  Sulfeto

  Nitrato

- Turbidez ou remoção de sólidos em suspensão (oxidação)
- Pré-tratamento para processos biológicos (oxidação):

  na areia

  no carvão antracito

  no carvão ativado

- Água de resfriamento;
- Efluentes de indústrias químicas e farmacêuticas;
- Água de processo;
- Efluente de fábrica de papel e celulose;
- Redução de odor e NOX;
- Processos de branqueamento; água mineral (enxágüe de desinfecção de reatores, tanques, garrafas);
- Processo de lavagem (saladas, etc.);
- Tratamento de lixívia, chorume;
- efluente de indústria têxtil;
- Branqueamento de matérias primas e produtos;
- Oxidação de gases;

- Desinfecção de água de processo e água de resfriamento.

O emprego do ozônio com oxidante primário antes da cloração normalmente atenderá as exigências das normas para água potável e lançamento de efluentes após tratamento biológico. Esta prática também poderá reduzir a concentração “precursores” dos trialometanos, reduzindo também a dosagem de cloro a ser utilizada após a ozonização e por conseqüência reduzirá a formação de subprodutos, tal como os trialometanos.

Em estações de tratamento de esgoto, o ozônio esta sendo estudado principalmente para desinfetar (após tratamento primário e/ou secundário), mas também para reduzir a demanda biológica (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO), oxidação de amônia, remoção de cor, nutrientes e sólidos em suspensão.

O primeiro estudo aplicando ozônio em esgoto sanitário foi realizado pelo exército norte-americano em 1955 (VENOSA, 1972).

Em 1991, aproximadamente 40 estações de tratamento de água, mais de 10.000 habitantes cada uma delas, operavam nos Estados Unidos. Por volta de 1998 este número já atingia 264, a maioria delas de pequeno porte, produzindo menos que 4.000 m^3 por dia (USEPA, 1999a).

A primeira estação de tratamento a aplicar a desinfecção de esgoto com ozônio foi construída em 1975, nos Estados Unidos (ROBSON & RICE, 1991). Até o ano 2002, já haviam sido construídas pelo menos 45 outras estações, quase todas utilizando o ozônio como desinfetante. Existem, também, duas estações em operação no Canadá (LAROCQUE, 1999), 370 no Japão e muitas na Coréia (MATSUMOTO & WATANABE, 1999). Segundo Paraskeva & Graham (2002), existem duas grandes estações em operação na França e 134 na Alemanha, estas

últimas tratando efluentes de ETE. Devido à falta de um levantamento atual nas referências atuais, esse número pode ser maior atualmente.

Em países do sul da Europa, o ozônio tem sido utilizado de forma crescente para desinfecção de efluentes destinados ao uso agrícola (PARASKEVA & GRAHAM, 2002).

O ozônio na água se decompõe rapidamente e espontaneamente por um mecanismo complexo, envolvendo a geração de radicais hidroxilas, que é considerado um agente poderoso de oxidação. Todavia, a meia vida dos radicais hidroxilas é da ordem de microssegundos. As duas rotas de oxidação de compostos durante o processo de ozonização estão apresentadas na Figura 3.2.

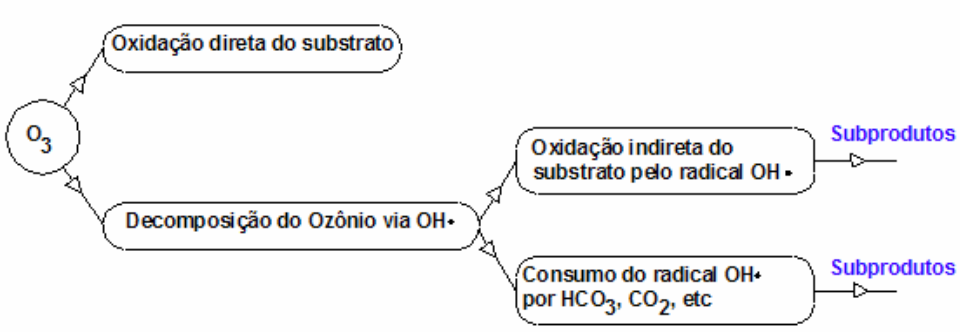


Figura 3.2: Rotas de oxidação de compostos durante o processo de ozonização
FONTE: (USEPA, 1999)

A oxidação direta do substrato com ozônio molecular é relativamente lenta, por outro lado, a reação com os radicais hidroxilas é rápida, mas com concentração relativamente mais baixa em relação ao ozônio molecular.

Os fatores que intervêm na eficiência do processo de desinfecção por ozônio estão associados a características físico-químicas do efluente, que intervêm sobre a sua concentração, especiação e grau de contato com os organismos alvo, ou às características de resistência biológica dos microrganismos ao ozônio. Pode ocorrer ainda uma combinação entre ambos os fatores.

Segundo Langlais et al. (1991) as principais características físico-químicas que influem no processo de desinfecção por ozônio são as seguintes:

- ***Temperatura:*** A taxa de decaimento dos microrganismos aumenta com o aumento da temperatura do líquido. De acordo com a teoria de Van't Hoff Arrehenius a temperatura determina em parte a taxa de difusão do desinfetante através das membranas do microrganismo e também sua taxa de reação com o substrato. Geralmente um acréscimo de 10 ºC aumenta por um fator de 2 ou 3 à taxa de reação com o substrato. No entanto, quando ocorre um aumento de temperatura, o ozônio torna-se menos solúvel e menos estável em água, embora a taxa de reação com o substrato orgânico dos microrganismos aumente. Segundo dados da USEPA (1989), ocorre um aumento da taxa de decaimento de cistos com o aumento da temperatura. Um grande número de experimentos tem mostrado que para uma faixa de temperatura compreendida entre 0 e 30 ºC o efeito da instabilidade do ozônio em água é amplamente compensado pelo aumento da sua reatividade com o substrato orgânico dos microrganismos (ROY, 1980). Ainda segundo Langlais et al. (1991, p. 223):

  > [...] em função desse fenômeno, a medição do fator CT (concentração x tempo) é menos precisa para o ozônio que para os outros desinfetantes, devido a sua alta volatilidade e reatividade e conseqüente dificuldade em manterem-se teores residuais na fase líquida.

- ***Turbidez:*** Os microrganismos, geralmente aparecem em meio aquático agregados a partículas sólidas de origem mineral ou orgânica que podem protegê-los do contato direto com o agente

desinfetante. Pode ocorrer ainda que bactérias e vírus permaneçam protegidos do desinfetante por serem ingeridos por nematóides ou outros macro invertebrados (BITTON,1994). A turbidez, no entanto, não é um bom parâmetro para avaliar a demanda de ozônio residual necessário para a desinfecção. O efeito de inibição está mais associado à composição das partículas do que ao seu tamanho ou concentração na fase líquida. Assim, partículas de natureza mineral, ou seja, de difícil oxidação, tem mostrado pouco efeito de inibição sobre a taxa de decaimento dos microrganismos, ao passo que partículas orgânicas, mesmo em baixas concentrações tem sido bem mais efetivas em reduzir esta taxa. Experimentos realizados por Foster et al. (1980) demonstraram redução na taxa de decaimento por ação do ozônio para poliovirus 1, quando estes vinham associados a coliformes fecais em uma solução que possuía apenas 5 NTU de turbidez. Em outro experimento, a taxa de decaimento do poliovírus 1 não foi significativamente afetada, por uma solução de bentonita que tinha os mesmos 5 NTU de turbidez.

- ***COT:*** A concentração de carbono orgânico total na fase líquida é um dos parâmetros mais importantes para a determinação da concentração de ozônio a ser aplicada, uma vez que a matéria orgânica provoca o consumo de oxidante que de outra forma estaria disponível para reagir com os microrganismos. A magnitude desse consumo é muito significativa. Por exemplo, a dose aplicada para a desinfecção em água filtrada em uma ETA convencional é cerca de

duas vezes menor que a necessária para desinfetar esgotos tratados de uma ETE de lodos ativados por aeração prolongada.

- ***pH:*** A maioria dos dados disponíveis na literatura indica que a eficiência da desinfecção por ozônio é pouco afetada para a faixa de pH dos efluentes domésticos (entre 6 e 8). No entanto, experiências realizadas por Facile et al. (2000) demonstram diferenças no valor de CT para esporos de bactérias aeróbicas, relacionadas à variação do pH de 6,3 para 8,2, sendo que o fator CT necessário foi menor para o pH mais baixo. Outros dados levantados por Wickramanayake et al. (1984) sugerem que a inativação de cistos de *Giardia muris* aumenta quando o pH passa de 7 para 9. O cruzamento das informações dos dois trabalhos anteriormente citados sugere que o efeito do pH esteja relacionado ao tipo de microrganismo alvo e não a uma influência relacionada à especiação do ozônio em água, a qual é influenciada pelo pH.

Nos últimos 30 anos, equipamentos que geram o ozônio têm sido melhor estudados e aperfeiçoados na busca do aumento da concentração de ozônio produzida na corrente gasosa e também a diminuição do custo energético de sua produção. Além disso, reatores de desinfecção e dispositivos de contato entre o gás desinfetante e a corrente líquida têm sido desenvolvidos para aumentar a eficiência de transferência de massa, um dos parâmetros críticos à viabilização econômica desta tecnologia. Estas iniciativas vêm tornando o ozônio economicamente competitivo entre os processos de desinfecção (WHITE, 1999; XU et al., 2002).

No tratamento de esgotos domésticos, o ozônio é aplicado para desinfecção, principalmente quando é necessário alcançar padrões microbiológicos

para lançamento nos corpos receptores ou em casos em que se deseje reusar o efluente (PARASKEVA & GRAHAM, 2002; METCALF & EDDY, 2002). Pode também ser usado para remoção de odor e cor, degradação de micropoluentes orgânicos, aumento de biodegradabilidade e oxigenação do efluente.

3.2.2.1 - Inativação e Eficácia da Desinfecção por Ozonização

O ozônio é efetivo na inativação da maioria dos microrganismos comumente encontrados no esgoto, incluindo vírus, diversos tipos de bactérias, protozoários e mesmo organismos resistentes à cloração, como o poliovírus Tipo 3, os protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* podem ser inativados. Também é efetivo na oxidação da matéria orgânica e não é tão susceptível quanto o cloro aos efeitos da presença de amônia e variações de pH (TYRRELL et al., 1995; WEF, 1996; DOE, 1998; LAZAROVA et al., 1998; HUNT & MARINAS, 1999; RENNECKER et al., 1999 e GONÇALVES, 2003).

A desinfecção de efluentes de tratamento de esgotos sanitários com ozônio tem despertado interesse em relação à cloração devido à preocupação com a formação de compostos orgânicos clorados à toxicidade de efluentes e o custo adicional da descloração (NUVOLARI et al. 2003).

Na Tabela 3.4 estão apresentadas as vantagens e desvantagens da desinfecção pelo processo de ozonização.

Tabela 3.4: Vantagens e desvantagens da desinfecção pelo processo de ozonização

Vantagens	Desvantagens
O ozônio é mais eficiente que o cloro, cloraminas e dióxido de cloro para inativação de vírus, *Cryptosporidium* e *Giardia*	Baixas dosagens de ozônio podem não ser efetivas na inativação de alguns vírus, esporos e cistos
Oxida ferro e manganês	Não mantém residual para água de abastecimento
Controla cor, sabor e odor	Deficiência dos métodos de injeção de ozônio
Auxilia no processo de clarificação e turbidez	Custo inicial do equipamento relativamente alto
Na ausência do bromo, substâncias halogenadas não são formadas, não existindo residuais prejudiciais que devam ser removidos depois da ozonização, devido a sua rápida decomposição	Não é econômico para águas residuárias com altos níveis de sólidos em suspensão, alta demanda bioquímica de oxigênio, alta demanda química de oxigênio, ou altos teores de carbono orgânico total
Sobre decomposição o único residual é o oxigênio dissolvido	A geração de ozônio requer muita energia devendo ser gerado no local de uso
Depois da ozonização não existe o reaparecimento dos microrganismos, exceto para aqueles protegidos por partículas presentes na água residuária	O ozônio é altamente corrosivo e reativo, portanto requer materiais resistentes à corrosão, tais como: aço inoxidável
Por ser gerado no local, existem poucos problemas associados à segurança do transporte e manuseio	O ozônio é extremamente irritante e possivelmente tóxico, portanto o gás não utilizado deve ser destruído para prevenir a exposição dos trabalhadores. Necessita-se de dispositivo para exaustão do ozônio do reator para prevenir toxicidade
Eleva a concentração de oxigênio dissolvido no efluente, podendo assim eliminar a necessidade de reaeração e também a necessidade de se elevar à concentração de oxigênio dissolvido no corpo receptor	Tecnologia mais complexa de desinfecção quando comparada ao cloro e a radiação ultravioleta, requerendo complicados equipamentos e eficientes sistemas de contato
Tratamento de água com ozônio não conduz a uma elevação dos sólidos totais dissolvidos	Decai rapidamente em altos valores de pH e temperaturas
Pequenos tempos de tratamento (aproximadamente 10 minutos para ozônio comparado com 30 a 45 minutos do cloro)	Subprodutos orgânicos halogenados são formados particularmente na presença de bromo e matéria orgânica

FONTE: Adaptado de (VIGNESWARAN & VISVANATHAN, 1995; USEPA, 1999c; ROSEN[b] *apud* WEBER, 1972; WEF, 1996)

A desinfecção com ozônio destaca-se pelos seguintes aspectos: rapidez da ação de desinfecção, elevada eficiência na inativação de microrganismos e baixa toxicidade encontrada nos efluentes ozonizados.

Basicamente, o que diferencia o ozônio dos diversos agentes desinfetantes, é o seu mecanismo de destruição dos microrganismos. O cloro, por exemplo, atua por difusão através da parede celular, para então agir sobre os elementos vitais no interior da célula, como enzimas, proteínas, DNA e RNA. O ozônio, por ser mais

[b] ROSEN, H. M. (1972) Ozone Generation and Its Economical Application in Wastewater Treatment. Wtr. Sewage Works, v. 119, n 9, p.14.

oxidante, age diretamente na parede celular, causando sua ruptura, demandando menor tempo de contato e tornando impossível sua reativação.

A USEPA (1999c) afirma que o êxito do processo está no controle da dose, da mistura e do tempo de contato. Um sistema de ozonização deve fornecer máxima transferência de ozônio para a água e a concentração de ozônio deve atender a demanda das rápidas reações de oxidação das espécies orgânicas e inorgânicas, bem como as reações com os vários microrganismos presentes.

Chiang et al. (1999) comprovaram que para se aumentar a eficiência de absorção, o gás contendo ozônio deve ser introduzido na água sob a forma de pequenas bolhas, para permitir melhor contato entre o ar ozonizado e as substâncias dissolvidas no líquido. A produção de ozônio, a partir de oxigênio puro é mais eficiente que a partir de ar, com rendimento até quatro vezes maior que o obtido com ar.

Entretanto, a presença de substâncias como ferro e manganês, de turbidez pela presença de matéria orgânica e inorgânica, de gás sulfídrico e compostos inorgânicos e orgânicos nitrogenados, interferem sensivelmente na eficiência da inativação microbiana. A matéria particulada, dependendo de seu tamanho, pode associar-se ao microrganismo a ponto de impossibilitar seu contato com o agente oxidante (WEF, 1996).

O ozônio é eficaz mesmo contra esporos e cistos que são as formas mais resistentes (SOARES,1997).

Com dosagens menores ou iguais a 10 $mg.L^{-1}$, o ozônio pode inativar 99,0% das bactérias coliformes em efluentes secundários de esgoto sanitário (WEF, 1996). Na pesquisa realizada por Lazarova et al. (1998) foi aplicada dosagem de ozônio de 7,0 $mg.L^{-1}$ (concentração residual = 0,1 $mg.L^{-1}$) sendo que os autores conseguiram

inativação de 3 a 4 log de coliformes fecais e *Streptococcus faecalis*, com tempo de contato de 10 minutos, resultando em concentração menor ou igual a 200 CF/100 mL, no efluente final. Os autores também registram que, para que sejam atingidos padrões mais restritivos de 2,20 CF/100 mL podem ser utilizadas altas dosagens de 40,0 a 50,0 $mg.L^{-1}$.

A inativação de *Escherichia Coli* por ozônio é da ordem de 3125 vezes mais rápida do que com o cloro (OLIVIERI & RIBEIRO, 1993).

Daniel (1993) cita que embora o ozônio seja um efetivo biocida, é necessário que se conheça a possibilidade de geração de subprodutos tóxicos. A ozonização de água que contenha matéria orgânica, principalmente substâncias húmicas, não produz trialometanos, mas a oxidação da matéria orgânica pode gerar outros subprodutos que potencialmente podem ser prejudiciais à saúde humana. Porém, os significados na saúde pública destas possibilidades prejudicais ainda não são conhecidos. A França tem aplicado o ozônio por muitas décadas e não expressa nenhuma preocupação em relação à formação de subprodutos, mesmo assim, seus estudos em relação aos seus efeitos na saúde publica, sua toxicidade continuam.

3.2.2.2 - Subprodutos da ozonização

Devido ao alto potencial de oxidação do ozônio, existe uma preocupação quanto à natureza dos subprodutos formados e sua possível toxicidade (PARASKEVA & GRAHAM, 2002; MONARCA et al., 2000). Existe, entretanto, escassez de informação quanto aos subprodutos formados pela ozonização de efluentes municipais, devido à dificuldade prática de identificar e quantificar

compostos individuais em baixas concentrações em uma matriz complexa como o esgoto sanitário.

Alguns pesquisadores têm identificado a formação de compostos específicos (aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos) como subprodutos da ozonização (MILTNER et al., 1992; KUO & SMITH, 1996 e CHIANG et al., 1999). A natureza do mecanismo de reação do ozônio com a matéria orgânica (reação direta ou indireta) determina os subprodutos formados.

A matéria orgânica natural, ou seja, substâncias húmicas reagem com o ozônio por três mecanismos de reação: através das duplas ligações carbono – carbono, dos anéis aromáticos ativados, ou ainda dos sítios contendo metais complexados. Além disso, as substâncias húmicas podem atuar como iniciadores na geração de radicais intermediários que participam de uma grande variedade de reações de oxidação não seletivas. O resultado seria a formação de subprodutos diferentes daqueles esperados pela reação de ataque direto do ozônio. Estes subprodutos podem ser formados principalmente em função das reações envolvendo o radical hidroxila e podem incluir hidroxilização de anéis benzeno, que normalmente não se mostram reativos frente ao ozônio. Desta forma, tais anéis, tornam-se mais suscetíveis a outras interações, ocorrendo a clivagem dos mesmos, formando assim ácidos e aldeídos.

Ao reagir com a matéria orgânica o ozônio não gera subprodutos halogenados, mas se o íon brometo estiver presente, podem ser gerados produtos como bromofórmio, ácidos acéticos brominados, bromopicrina, acetonitrilo brominado, bromocianeto, ácido hipobromoso e íon bromato, que são considerados como sendo os subprodutos mais tóxicos da desinfecção, sendo bastante reativos e

podendo gerar compostos orgânicos halogenados. Pode ser formado também peróxido de hidrogênio (Tabela 3.5).

Liberti & Notarnicola (1999) avaliaram a taxa de formação de BrO_3^-, $CHBr_3$ e aldeídos em amostras ozonizadas e encontraram quantidades apreciáveis de aldeídos em relação as demais espécies (cerca de 350 $\mu g.L^{-1}$).

Tabela 3.5: Subprodutos da desinfecção de esgotos com ozônio que contêm componentes inorgânicos e orgânicos

Aldeídos	Ácidos	Aldo e ceto-ácidos	Subprodutos bromados	Outros
Formaldeído	Ácido Acético	Ácido piruvico	Íon Bromato	Peróxido de Hidrogênio
Acetaldeído	Ácido fórmico		Bromofórmio	
Metilglioxal	Ácido oxalico		Ácidos acéticos brominado	
Glioxal	Ácido succinico		Bromopicrina	
			Acetonitrilo Brominado	
			Bromocianeto	

FONTE: METCALF & EDDY (2002)

Os aldeídos são um dos principais subprodutos da ozonização de interesse devido aos efeitos à saúde, embora nenhuma legislação seja estabelecida para seu controle dessas substâncias. Vários autores citam que os principais aldeídos formados são o formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal (GLAZE et al., 1989; JACANGELO et al., 1989; MILTNER et al., 1992; SCHECHTER e SINGER, 1995 e LIPPMAN, 2000).

O formaldeído é considerado um composto mutagênico e carcinogênico em testes realizados com animais (CRAFTSTORM, 1983; SCHEUPLEIN, 1985; TOMKINS, 1989); o acetaldeído induz os tumores (THORELL et al. 1992; BULL e KOPFLER; 1996;) o propanol, butanol, pentanol, hexanal, nonanal, glioxal, metilglioxal são mutagênicos em animais de laboratório. O formaldeído e acetaldeído

por serem compostos voláteis, também geram tumores no aparelho respiratório e o glioxal pode causar tumores no estômago (CAN e GUROL, 2003).

De acordo com Ward (1976), residuais de ozônio podem ser muito tóxicos à vida aquática, mas como o ozônio dissipa-se rapidamente, normalmente não são encontrados residuais de ozônio porque o efluente leva certo tempo para chegar ao corpo receptor. Vários pesquisadores têm relatado que a ozonização pode produzir algumas substâncias tóxicas mutagênicas e/ou compostos carcinogênicos. Compostos esses que normalmente são instáveis, presentes apenas poucos minutos em água ozonizada. White (1999) reporta que o ozônio destrói certas substâncias orgânicas refratárias (ácido húmico que é precursor na formação de trialometanos) e malathion.

Langlais (1991) discute que é elevada a complexidade da formação e do controle dos subprodutos da ozonização. O ozônio provoca alterações na formação e concentração dos subprodutos na água final. Sendo estas modificações principalmente devido à capacidade que o mesmo possui de:

- destruir ou formar, imediatamente, subprodutos;
- destruir ou gerar agentes precursores;
- alterar determinadas características da água de modo que os processos de tratamento subseqüentes possam ser melhorados ou piorados na remoção dos subprodutos formados;
- alterar determinadas características da água de modo que os processos de tratamento subseqüentes possam ser melhores ou piores na remoção dos agentes precursores da formação de subprodutos; e,

- permitir o uso de menores dosagens de outros desinfetantes que possam ser usados em conjunto com o ozônio, ou ainda, permitir alterações do ponto de aplicação dos mesmos.

Muitas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de determinar e identificar novos subprodutos da ozonização, mas são necessários mais estudos na área.

3.2.3 - Cloração

O cloro é um elemento da família dos halogênios, mas nunca encontrado na forma livre na natureza. É uma substância química versátil e suas propriedades diferem nos estados líquido, gasoso e aquoso. O cloro (do grego χλωρος, que significa "amarelo esverdeada") foi descoberto na fase gasosa, em 1774, pelo químico sueco Karl W. Scheele, quando ele aqueceu um óxido de manganês com ácido hidroclórico:

$$MnO_2 + 4\ HCl \xrightarrow{calor} MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O \qquad (1)$$

Em 1810, o químico inglês Humphry Davy demonstrou que se tratava de um elemento químico e lhe deu o nome de cloro devido à sua coloração amarelo-esverdeada.

O cloro possui forte cheiro e é extremamente irritante para as vias respiratórias.

Em 1805, Thomas Northmore liquefez o gás descoberto por Scheele por meio de compressão (WHITE, 1999).

Na Tabela 3.6 são apresentadas as principais propriedades físicas do cloro.

Tabela 3.6: Principais propriedades físicas do cloro

Propriedade	Característica
Ponto de Fusão	-101 °C (pressão atmosférica normal)
Ponto de Ebulição (líquido)	-34 °C (pressão atmosférica normal)
Temperatura crítica	143,5 °C
Pressão crítica	7,6 atm
Massa específica crítica	0,57 g/cm^3
Massa específica (líquido)	1,57 g/cm^3 (t= -34 °C)
Massa específica (em relação ao ar)	2,5 vezes maior (gás)
Massa específica (em relação à água)	1,5 vezes maior (líquido)
Solubilidade em água	± 7 g/m^3 a 20 °C e 1 atm
1 litro de cloro líquido	Transforma-se em cerca de 460 L de gás ã pressão atmosférica normal

FONTE: (WHITE, 1999)

Em todo o mundo o agente químico mais utilizado no processo de desinfecção de águas de abastecimento e residuárias é o cloro, por questões de produção, custo, armazenamento, transporte e facilidade na aplicação.

Um dos primeiros usos de cloro documentados foi em 1850 por John Snow quando ele o usou para desinfetar água na estação de tratamento na cidade de Londres depois de uma epidemia de cólera (WHITE, 1999). Alguns anos mais tarde, em 1890, hipocloritos foram usados na Europa como uma medida provisória contra epidemias de febre tifóide (Baker, 1930) e em 1897, o hipoclorito foi usado por Sims Woodhead para tratar água potável depois de uma epidemia de febre tifóide em Kent, Inglaterra (LEAL, 1909).

Desde o primeiro registro do uso do cloro como agente desinfetante para água, em 1896 (Base naval Austro-Húngara de Pola, no mar Adriático) o uso do cloro se disseminou por todo o mundo.

A primeira vez que o cloro foi utilizado de forma contínua para o tratamento de água ocorreu na Bélgica em 1902. Em 1905, foi aplicado também em Lincoln, Inglaterra (WHIPPLE, 1906; HOUSTON, 1913). Nos Estados Unidos, o uso da cloração iniciou-se em Loisville, Kentucky em 1896, mas a primeira aplicação para uso contínuo para água de abastecimento ocorreu em Nova Jersey em 1908 (WHITE, 1999). Estas aplicações eram realizadas com hipoclorito de cálcio.

Para a desinfecção de esgotos a primeira aplicação foi noticiada por Soper na Inglaterra em 1879 para tratar as fezes de pacientes com febre tifóide (WHITE, 1999). Em escala de estações de tratamento a cloração foi aplicada pela primeira vez em Hamburgo, em 1883, para tentar combater a epidemia de febre tifóide.

As vantagens e desvantagens da desinfecção pelo processo de cloração podem ser observadas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Vantagens e desvantagens da desinfecção pelo processo de cloração

Vantagens	Desvantagens
Tecnologia bem estabelecida, sendo o método mais usado e conhecido	O conteúdo de cloretos nas águas residuárias é crescente
Atualmente apresenta uma relação custo/eficiência menor quando comparado ao ozônio e a radiação ultravioleta (exceto quando a descloração e requerida), sendo o método de menor custo	Todas as suas formas são corrosivas e tóxicas. Portanto, a armazenagem, o transporte, o manuseio expõe riscos, requerendo regulamentações de segurança mais restritivas;
É efetivo em oxidar certos compostos orgânicos e inorgânicos, removendo uma parcela da matéria orgânica por oxidação, diminuindo a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de reduzir a turbidez e a cor do efluente	O cloro residual é instável na presença de altas concentrações de materiais que reagem com ele, requerendo assim doses maiores para efetivar a desinfecção
É seguro e efetivo a uma larga variedade de microrganismos, sendo um excelente biocida	A concentração de sólidos totais dissolvidos cresce no efluente tratado
Está disponível como hipoclorito de sódio e de cálcio, sendo esses mais vantajosos em sistemas pequenos, quando comparado ao cloro gasoso, pois são mais seguros, mais fáceis de manusear, além de que se usam menos equipamentos, quando comparado ao cloro gasoso.	Algumas espécies de parasitas têm demonstrado resistência a baixas doses de cloro, como é o caso de alguns vírus, de oocistos de *Cryptosporidium parvum*, cistos de protozoários e ovos de helmintos
Tem controle de dosagem bem flexível	Os hipocloritos de sódio e de cálcio são mais caros que o cloro gasoso
Elimina alguns odores	O cloro residual é tóxico à vida aquática, até mesmo em baixas concentrações, podendo requerer a descloração e essa necessidade eleva os custos em 20,0 a 30,0%.
	O residual que permanece nos efluentes das águas residuárias pode causar efeitos tóxicos nos organismos do corpo de água ao qual for lançado.

FONTE: (USEPA, 1999a)

Quando se adiciona cloro gasoso na água ocorre a formação de ácido hipocloroso (HOCl) e ácido clorídrico (HCl):

$$Cl_2 + H_2O \leftrightarrow HOCl + HCl \qquad (2)$$

Para valores de pH acima de 4,0 o equilíbrio se desloca para a direita e a quantidade de Cl_2 que existe em solução é pequena.

O ácido hipocloroso sofre ionização em uma reação praticamente instantânea, formando íon hidrogênio (H^+) e íon hipoclorito (OCl^-), sendo que o grau de ionização depende do pH e da temperatura.

$$HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^- \quad (3)$$

Para valores de pH inferiores a 6,0 predomina o ácido hipocloroso, porém à medida que a temperatura e o pH se elevam aumenta o grau de ionização do ácido e conseqüentemente, a concentração do íon hipoclorito.

Para valores de pH maiores que 9,6 e a temperatura de 20º C, praticamente todo ácido hipocloroso sofreu ionização.

O ácido hipocloroso e o íon hipoclorito são denominados cloro livre.

O hipoclorito de sódio (NaOCl) e de cálcio Ca $(OCl)_2$ também produzem íon hipoclorito, o qual estabelecerá um equilíbrio com o íon hidrogênio da mesma forma que a equação 2.

$$NaOCl + H_2O \rightarrow NaOCl + H_2O \quad (4)$$

$$Ca(OCl)_2 + H_2O \rightarrow Ca(OCl)_2 + H_2O \quad (5)$$

Portanto, independentemente de se utilizar o cloro gasoso ou hipocloritos o equilíbrio entre o ácido hipocloroso e o íon hidrogênio se estabelecerá (equação 2).

3.2.3.1 - Hipoclorito de Sódio (NaOCl)

Quando o gás cloro é dissolvido em solução de hidróxido de sódio tem-se o hipoclorito de sódio. O NaOCl é um líquido claro, amarelo, que é altamente alcalino e

corrosivo. Normalmente a solução possui 12,5 a 17,0% de cloro disponível no momento que foi gerado (WHITE, 1999).

O hipoclorito de sódio tem uma tendência a elevar o pH da solução a que é adicionado. Em valores de pH superiores a 6, diminui-se a concentração de ácido hipocloroso (HOCl) e aumenta a concentração íon hipoclorito (OCl^-), que leva a eficiência reduzida de desinfecção.

A estabilidade da solução de hipoclorito de sódio depende muito da concentração de hipoclorito de sódio, do tempo de armazenamento, da temperatura de armazenamento, das impurezas contidas na solução e da exposição à luz.

Uma solução de 16,0 % de cloro disponível estocada a uma temperatura de 26,5 °C irá perder 10,0% de sua concentração em 10 dias, 20,0% em 25 dias e 30,0% em 43 dias (METCALF & EDDY, 2002).

3.2.3.2 - Inativação e Eficácia da Desinfecção por Cloração

A ação do cloro como desinfetante envolve uma série de fatores, de maneira que não foi possível até hoje se determinar com precisão sua atuação sobre as bactérias e outros microrganismos. Uma das teorias mais difundidas se refere à reação do ácido hipocloroso (HOCl) com um sistema enzimático (possivelmente sobre triosefosfato dihidrogenase) que é essencial na oxidação da glicose, processo este muito importante para o metabolismo celular bacteriano.

Comprovadamente o ácido hipocloroso exerce maior ação desinfetante que o íon hipoclorito (OCL^-), o que se explica pela maior facilidade de penetração do ácido através da parede celular, por ser uma molécula pequena e neutra. O íon hipoclorito por sua vez tem maior dificuldade em atravessar a parede celular e atingir

o sistema enzimático em função da sua carga negativa. Portanto, é possível que a maior dificuldade na eliminação das formas esporuladas se deva à resistência a penetração do agente desinfetante oferecido pelo seu envoltório de proteção.

A necessidade de dosagens mais elevadas de cloro para a destruição de vírus favorece a teoria de que a ação bactericida se dê por ação enzimática. Sendo os vírus desprovidos de enzimas a sua destruição só é possível por oxidação direta da matéria protéica, o que exige muito mais cloro.

Toda desinfecção deverá ser controlada por exames bacteriológicos e, para uma ação operacional mais rápida, também através da determinação do teor de cloro residual. Para garantia da desinfecção e prevenção a futuras contaminações a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde recomenda concentração mínima de 0,2 $mg.L^{-1}$ de cloro livre em qualquer ponto da rede de distribuição.

Entretanto, a quantidade de cloro, para desinfecção de efluentes de ETEs deve ser reavaliada em face da melhor qualidade dos efluentes atualmente obtidos, o que demanda menores dosagens de cloro e, por conseguinte, apresenta menor risco ambiental oriundo dos subprodutos (ANDRADE NETO, 2002).

3.2.3.3 - Subprodutos da cloração

A partir de 1974 vem crescendo a preocupação com a presença de compostos organoclorados em águas desinfetadas, colocando em risco a saúde dos seres humanos, animais e peixes. Os principais subprodutos são os trialometanos (THMs).

A USEPA publicou em 1977 um relatório com o resultado de uma pesquisa efetuada em 113 sistemas de abastecimento de água, procurando detectar a concentração de 27 compostos orgânicos suspeitos de causar problemas à saúde da população. Dentre estes 27 compostos, verificaram a presença de quatro tipos de THMs, os quais foram detectados em todas as águas que recebiam cloro como desinfetante e em concentrações superiores aos demais contaminantes organo-sintéticos.

Os THMs são considerados os principais subprodutos da cloração (ROOK,1974; BELLAR *et. al*.,1974). A formação de THMs é o resultado da reação entre o cloro livre e a matéria orgânica natural presente na água, a qual é comumente chamada de "precursores de THMs". Os THMs são os seguintes: clorofórmio ($CHCl_3$), bromodiclometano ($CHBrCl_2$), dibromoclorometano ($CHBr_2Cl$), bromofórmio ($CHBr_3$), dicloroiodometano, bromocloroidometano, clorodiiodometano, dibromoiodometano, bromodiiodometano, triiodometano. Entretanto os compostos que têm concentração mais significativa em água potável e residuárias são os quatro primeiros: clorofórmio ($CHCl_3$), bromodiclorometano ($CHBrCl_2$), dibromoclorometano ($CHBr_2Cl$) e bromofórmio ($CHBr_3$). O THM mais facilmente detectável é o clorofórmio.

Os ácidos fúlvicos e húmicos são considerados dos “precursores” dos trialometanos.

A reação de formação dos TMHs se inicia quando existe o contato entre os reagentes (cloro e precursores) e pode continuar ocorrendo por muito tempo, enquanto houver reagente disponível (principalmente cloro livre).

Em relação ao comportamento químico dos THMs, são compostos estáveis, não facilmente oxidáveis, não diretamente combustíveis, não-inflamáveis e

acumulam em ambientes aquáticos e no solo. Existe o perigo de percolação e acumulação, quanto a efluentes de reuso previamente clorados que possam ser utilizados na irrigação e recarga de aqüífero (NARKIS E KOTT, 1992).

Os principais fatores que influenciam no aparecimento dos trialometanos nas águas são (KHORDAGUI & MANCY, 1983; SANTOS, 1987; VAN BREMEM, 1984):

- ***Tempo:*** a formação dos trialometanos pode não ser instantânea. Em alguns casos a sua formação pode completar-se em menos de uma hora, em outros casos é possível que se exijam vários dias antes que ocorra a máxima produção de trialometanos Os THms, que possivelmente chegam ao consumidor, são em grande parte produzidos ao longo do sistema de distribuição, cujo o contato do cloro livre com os precursores ocorre por um longo período de tempo.
- ***Temperatura:*** cada 10º C de incremento eleva ao dobro a taxa de formação de trialometanos.
- ***pH:*** um incremento do valor de pH para as reações entre o cloro livre e a maioria dos precursores, aumenta a formação de trialometanos, apesar de algumas exceções terem sido observadas. Vários resultados de algumas pesquisas têm mostrado uma forte dependência do pH; um incremento do triplo da formação, por cada unidade de aumento de pH.
- ***Brometos e iodetos:*** os brometos e iodetos, na presença de cloro aquoso, são oxidados a espécies capazes de participar da reação de substituição orgânica, resultando na formação de THM.

- ***Características e concentrações dos precursores:*** quanto maior a concentração de ácidos húmicos e fúlvicos, maior será a formação de THM. As características da água e dos precursores presentes também irão influenciar a formação de THM.
- ***Dosagem e tipo de cloro:*** qualquer oxidante usado para desinfecção da água atuará com os produtos químicos já presentes na água bruta e efluentes para formar outros produtos indesejáveis. Por conseqüente, algo fundamental na potabilização das águas e desinfecção de esgotos é eliminar ao máximo os precursores antes da adição do oxidante para reduzir ao mínimo a demanda do desinfetante e a possível formação de subprodutos nocivos. Quanto maior a dosagem de cloro, maior será a probabilidade de formação de THM. A forma sob o qual o cloro se apresenta também é importante; o cloro livre tem maior poder de formação de THM do que o cloro combinado.

O clorofórmio, que é o THM mais comumente formado durante a cloração, é um carcinógeno (Pieterse, 1988) e pode causar câncer se exposto a altas concentrações por períodos longos de tempo.

Villanueva et al. (2000), relacionaram o aumento da incidência de câncer de bexiga e cólon com os THMs na Espanha; Brock et al. (1998), ressaltou os graves efeitos prejudiciais à saúde humana ocasionados pelos ácidos haloacéticos e, Tardiff (1979), que ressaltou os efeitos nocivos do clorofórmio;.

Dados toxicológicos demonstram que o clorofórmio, em dose elevada, é um carcinógeno nos roedores (ratos e ratazanas). Como o metabolismo destes animais é qualitativamente semelhante ao do homem, suspeita-se que seja também um

carcinógeno humano. Investigações recentes assinalaram uma correlação positiva entre os níveis de clorofórmio na água e os carcinomas da bexiga e do intestino baixo.

O clorofórmio apresentou a maior carcinogenicidade em animais de laboratório em diversos estudos (IARC, 1999). A Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (IARC) avaliou a evidência como "suficiente" para a carcinogenicidade do clorofórmio em animais de laboratório e classificou o clorofórmio como um possível carcinogênico aos seres humanos (Grupo 2B, IARC, 1999). Em ratos e ratazanas de ambos os sexos tumores no fígado e rins e câncer na tiróide têm sido constatados em função do clorofórmio, mas associações significativas não foram observadas no homem.

O câncer de cólon é o segundo câncer mais comum em homens e mulheres de países desenvolvidos (GHADIRIAN et al., 1998 e HERRERO-JIMENEZ et al., 1998). Populações humanas expostas a concentrações de trialometanos de 50,0 $\mu g.L^{-1}$ ou mais por pelo menos 35 anos desenvolveram 1,5 vezes mais câncer de cólon (KING et al., 2000).

No entanto, clorofórmio não é considerado um perigo agudo ao homem nas baixas concentrações em que é encontrado na água (WHITE, 1999). Isso também pode ser confirmado pelos inúmeros estudos científicos rigorosos realizados e nenhuma evidência conclusiva jamais foi provada que THMs, nas quantidades em que eles são encontrados na água de abastecimento, são prejudiciais aos seres humanos.

Alguns estudos realizados para verificar toxicidade do bromofórmio em ratos (BORZELLECA e CARCHMAN, 1982; RUDDICK et al., 1983; GULATI et al., 1989;) mostraram que altas doses (100 $mg.kg^{-1}d^{-1}$) não causou adversos e nos estudos de

Gulati et al. (1989) não foi constatado nenhum efeito na fertilidade nem na reprodução em doses até 200 $mg.kg^{-1}d^{-1}$.

Resultados semelhantes foram para dibromoclorometano (Ruddick et al., 1983) e bromodiclorometano (RUDDICK et al., 1983; NAROTSKY et al., 1992).

Hildesheim et al. (1998) verificaram em seus estudos que a exposição às águas de abastecimento cloradas, tem aumentado estatisticamente o risco de se desenvolver câncer retal.

Os efeitos potencialmente adversos causados por uso extensivo de cloro como desinfetante de esgoto foram reconhecidos pelos governos do Canadá e dos Estados Unidos, motivo pelo qual houve suspensão da exigência de desinfecção total nos Estados Unidos em 1976. No entanto, diversos autores têm realizado alguns estudos epidemiológicos para investigar melhor as possíveis causas de formação e os malefícios desses subprodutos. Corey (1996) mostra que a revisão da literatura epidemiológica dos últimos vinte anos não fornece razões para que se recomende a eliminação do cloro como desinfetante. Mesmo com evidências insuficientes, os estudos epidemiológicos sugerem ser moderado o risco de câncer devido à exposição aos trialometanos. É preciso ressaltar que na água para consumo são tão baixas as concentrações desses compostos que uma pessoa normal precisaria, de uma só vez, milhares de litros de água, para ingerir a mesma quantidade de THMs referida.

Em uma entrevista realizada pela USEPA, o Dr. Robert Tardiff concluiu que o risco de doenças causadas por organismos patogênicos é muito maior que o risco causado por subprodutos suspeitos de causar câncer em seres humanos.

Há diferenças significativas: doenças causadas por organismos patogênicos têm alta incidência de ocorrência, o período de tempo (estado latente) entre a exposição e doença é curto e a chance da pessoa ficar doente é muito maior.

Segundo Howlett (1995)[c] *apud* Souza (2000), no final da década de 1980 e início de 1990, o Peru suspendeu a cloração de água para não expor a população aos trialometanos e logo depois houve uma epidemia de cólera, agravada pela falta de desinfecção que em 1991, causou a morte de 4000 pessoas.

No Brasil as normas e o padrão de potabilidade de água para consumo humano, atualmente em vigência (Portaria 518, 2004) o valor máximo permissível de trialometanos totais (THMs) é de 100 $\mu g.L^{-1}$. Em 1998, a União Européia determinou um limite de 150 $\mu g.L^{-1}$ que deveria ser aplicado até 2003. Em 2008, o padrão será diminuído para 100 $\mu g.L^{-1}$ (EU, 1998). Nos Estados Unidos a USEPA determina 80 $\mu g.L^{-1}$ de trialometanos totais (USEPA,1998).

Algumas alternativas têm sido propostas para controlar a formação destes subprodutos, dentre elas, o uso de oxidantes e desinfetantes alternativos ao cloro tais como: ácido peracético, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, ozônio, radiação ultravioleta e monocloramina.

De acordo com White (1999), a desinfecção por ozônio, seguida por cloração, reduz a probabilidade de formação de THMs.

Para uma melhor decisão sobre a eliminação ou não da cloração, ou a substituição por outro desinfetante, é imprescindível avaliar-se a relação benefício-prejuízo, porque os males gerados pelos subprodutos da cloração podem ser menos

---

[c] HOWLETT, C. T. (1995). Chlorine: Basic Benefits, Universal Uses/Apresentado ao Economia Comission for Europe Geneva.

prejudiciais à saúde do que as doenças de veiculação e transmissão hídrica as quais a população estaria sujeita em caso de não haver tipo algum de desinfecção.

3.2.4 - Peroxização

As características da desinfecção pelo processo de peroxização têm recebido atenção especial nas pesquisas realizadas, assim como outros processos oxidativos. Em geral a peroxização e outros processos oxidativos avançados apresentam resultados semelhantes ou mais eficientes que ozônio para inativação de patogênicos (METCALF & EDDY, 2002).

O peróxido de hidrogênio é menos reativo que ozônio (Hughes, 1992); por isso freqüentemente é usada a combinação de ozônio e peróxido de hidrogênio.

O peroxônio envolve o uso de ozônio e peróxido de hidrogênio. O peroxônio é obtido em duas etapas: dissolução de ozônio e adição de peróxido de hidrogênio.

O peróxido de hidrogênio pode ser adicionado depois do ozônio, permitindo que o ozônio aja como desinfetante em primeiro lugar, ou antes do ozônio, de forma que o peróxido de hidrogênio atue como pré-oxidante, seguido da formação de radicais hidroxila. A adição direta dos dois oxidantes pode ser também de forma simultânea. Entretanto, a adição do peróxido de hidrogênio após o ozônio é a melhor opção, pois o peróxido de hidrogênio irá atuar por meio dos radicais hidroxila, melhorando a eficiência de inativação de organismos patogênicos.

A adição de peróxido de hidrogênio tem a função de acelerar a decomposição de ozônio que conduz à produção de concentrações relativamente altas de radicais hidroxila, de acordo com a reação seguinte:

$$H_2O_2 + 2O_3 \rightarrow 2OH^{\bullet} + 3O_2 \quad (6)$$

No método peroxônio há acréscimo da concentração de $OH^{\bullet}$ em relação ao método de ozonização. Com adição de água oxigenada, a produção líquida do radical hidroxila é de 1:1 de ozônio, aumentando o potencial de oxidação e de desinfecção. Nesse método, a eficiência de oxidação é aumentada pela conversão de moléculas de ozônio em radicais hidroxila e pelo aprimoramento da transferência do ozônio da fase gasosa para a fase líquida, aumentando as taxas de reação. (DANIEL, 2001).

A eficiência da peroxização é dependente da relação entre as concentrações de peróxido de hidrogênio e ozônio. Uma relação ótima para dosagem de H_2O_2/O_3 tem mostrado ser de 0.5-1 (mol/mol) dependendo da presença de promotores e consumidores de radicais livres. O peróxido pode agir como um consumidor assim como um inibidor, então a relação ótima de dosagem é importante (GOTTSCHALK et al., 2000). Segundo a USEPA (1999) a relação ótima é de 0,2 a 0,3. De acordo com os dados apresentados, mais estudos devem ser realizados para que se exista uma faixa mais próxima para a utilização correta desta relação da dosagem de H_2O_2/O_3.

Como no processo por ozonização a oxidação por meio da peroxização acontece devido a duas reações:

- Oxidação direta dos compostos por ozônio aquoso; e
- Oxidação de compostos radicais hidroxila produzidos pela decomposição do ozônio.

Uma grande diferença entre os processos de ozonização e peroxização é que a ozonização é fortemente baseada na oxidação direta por meio do ozônio aquoso enquanto a peroxização por meio dos radicais hidroxila.

Os residuais de ozônio são menores no processo de peroxização, isto porque o peróxido de hidrogênio acelera sua decomposição.

Os valores de pH e alcalinidade desempenham importante papel na eficiência do processo de peroxização (GLAZE e KANG, 1988). Estes fatores estão relacionados principalmente à competição do bicarbonato e carbonato para reagir com os radicas hidroxila no caso de alto valor de alcalinidade e o carbonato em altos valores de pH. O peróxido de hidrogênio em excesso pode limitar a formação de radicais hidroxila e diminuir a eficiência do processo de peroxização.

O esboço esquemático, do processo O_3/H_2O_2 está apresentado na Figura 3.3.

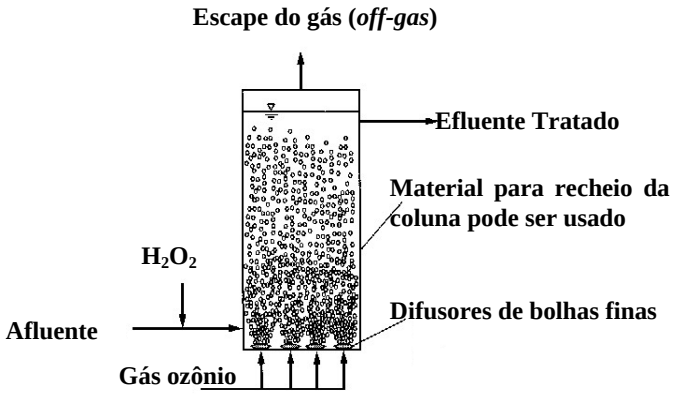


Figura 3.3: Esboço esquemático do processo ozônio/peróxido de hidrogênio
FONTE: METACALF & EDDY (2002)

3.2.4.1 - Inativação e Eficácia da Desinfecção por Peroxização

Geralmente para a inativação de patogênicos o processo peroxônio e outros Processos de Oxidação Avançados (POAs) têm alcançado resultados semelhantes,

ou até mais efetivos que ozônio (USEPA, 1999b). A combinação de ozônio e peróxido de hidrogênio é usada para contaminantes de difícil oxidação, que consomem grandes quantidades de oxidantes.

Muttamara et al. (1995) comprovaram que o ozônio combinado com peróxido de hidrogênio, além de ser eficiente na inativação de coliformes, aumenta a remoção de carbono orgânico total. Aplicações em água com tricloetileno e percloroetileno tiveram significativas reduções com peróxido de hidrogênio e ozônio para gerar $OH^{\bullet}$ (KARIMI et al., 1997).

Paillard et al. (1988) estudaram a eliminação de atrazina em água filtrada do rio de Sena - França. Os resultados mostraram melhor degradação do pesticida em água tratada com ozônio/peróxido de hidrogênio comparado apenas com ozônio. A relação ótima de massa H_2O_2/O_3 foi de 0,35 a 0,45. O desempenho do processo depende da dosagem de ozônio, tempo de contato e alcalinidade da água.

Duguet et al. (1985), quando trataram água do lago Cholet, estabeleceram a importância de ponto de aplicação do peróxido de hidrogênio: o melhor desempenho foi alcançado quando o peróxido de hidrogênio foi adicionado depois da oxidação de substâncias altamente reativas com ozônio.

Costa (2003) estudou a peroxização de efluente anaeróbio de esgoto sanitário proveniente de um reator anaeróbio de leito expandido. Em sua pesquisa, a autora aplicou 14,40 ± 1,90 mg $O_3.min^{-1}$ em tempos de contato de 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e a razão da mistura peróxido de hidrogênio e ozônio foi de 0,33 ± 0,01; com essas dosagens verificou-se que a eficiência de remoção de DQO e carbono orgânico total melhoraram significativamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Pesquisa realizada no Brasil

4.1.1 Considerações Iniciais

No presente trabalho de doutorado, o foco principal do estudo foi a formação de subprodutos (aldeídos e trialometanos) na desinfecção de esgoto sanitário por ozonização, cloração e ozonização/cloração. A pesquisa foi dividida em quatro etapas:

1ª Etapa: Testes preliminares para reformar as instalações e para adaptações necessárias, para os ensaios de desinfecção;

2ª Etapa: Ensaios empregando ozônio;

3ª Etapa: Ensaios empregando cloro;

4ª Etapa: Ensaios empregando ozônio/cloro;

4.1.2 Equipamentos

A unidade experimental piloto foi instalada na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Campus I - USP – São Carlos, cujos componentes básicos utilizados estão apresentados no esquema da Figura 4.1 e constam de compressor de ar,

gerador de ozônio, coluna de ozonização, coluna retentora de espuma e frasco lavador de gás para a captura do ozônio que não reagisse no processo de ozonização.

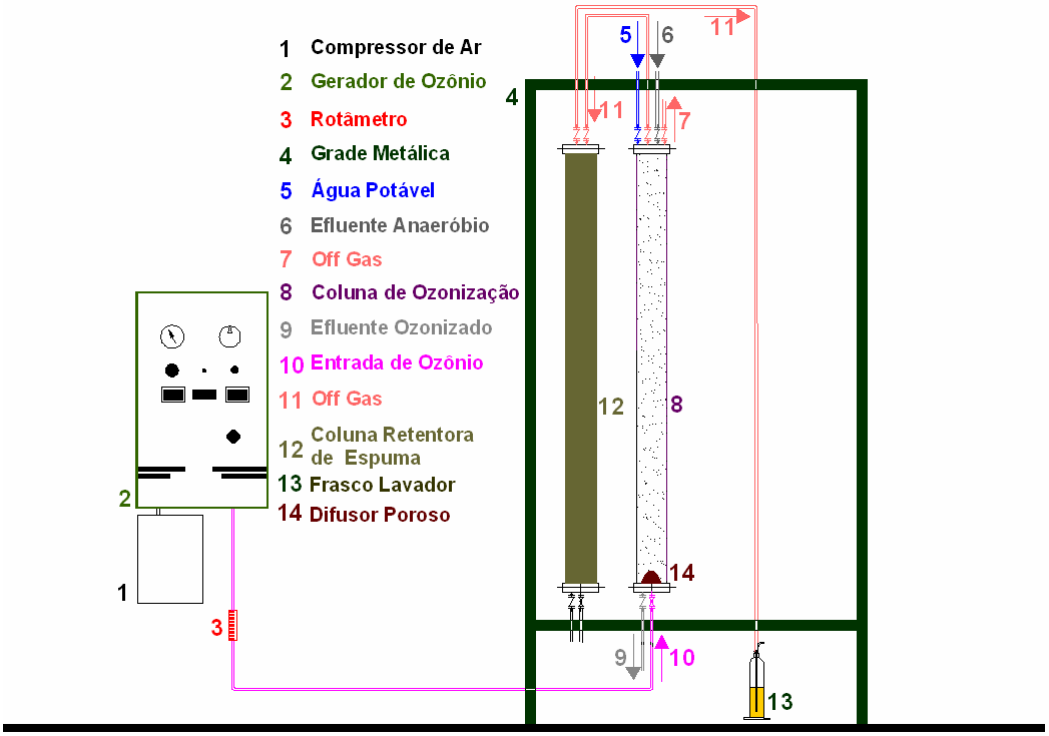


Figura 4.1: Esquema da unidade piloto utilizada nos ensaios de ozonização

4.1.2.1 – Coluna de Ozonização

Os ensaios foram realizados em batelada, em uma unidade experimental de ozonização em escala piloto (Figuras 4.1 e 4.2).

A coluna de ozonização foi construída a partir de um tubo de acrílico de 5mm de espessura, 100mm de diâmetro externo e 2m de altura, fixadas em grade metálica (Figura 4.1) com abraçadeiras de 60mm de diâmetro cada. A fotografia e o esquema da câmara de contato gás-líquido utilizada nos ensaios com ozônio podem ser observadas nas Figuras 4.2 e 4.3, respectivamente.

Na base da coluna de ozonização havia uma tampa de acrílico flangeada e presa por parafusos de aço inox de ¼", na qual uma conexão de 1'' em PVC com rosca interna foi colocada para fixação do difusor de ar. O difusor de ar – utilizado para geração de bolhas ascensionais de ozônio – foi confeccionado em plástico microporoso e, de acordo com informações da empresa fornecedora do equipamento, possui poros de 20 µm, vazão de ar de até 3 $m^3.h^{-1}$, 75 mm de diâmetro em sua base e 70 mm de altura e formato cônico, conforme apresentado nas Figuras 4.4 e 4.5.

Na tampa inferior da coluna, também havia um registro de esfera – em aço inox – para abertura e fechamento do fluxo de ozônio, conectada a uma mangueira de silicone. Havia, também, outro registro (em PVC) para o descarte do líquido da coluna de ozonização.

No topo da coluna de ozonização encontravam-se quatro furos roscáveis: dois para liberação do *off-gas*, um para preencher a coluna de ozonizacão com esgoto e outro para limpeza da coluna com água potável.

Na Figura 4.6 estão apresentadas fotografias do topo e base da coluna de ozonização.

Figura 4.2: Instalação experimental ETE/USP Campus São Carlos: (a) Coluna Retentora de Espuma em PVC; (b) Coluna de contato gás-líquido utilizada nos ensaios com ozônio

LEGENDA

(a) Registro de saída do *off gas* para coluna retentora de espuma
(b) Registro de entrada de água
(c) Registro de entrada do efluente do UASB
(d) Registro de esfera em inox para saída *off gas*
(f) Difusor poroso
(g) Descarga de fundo
(h) Entrada de ozônio

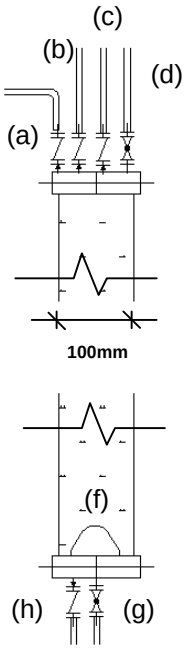


Figura 4.3: Esquema da câmara de contato gás-líquido utilizada nos ensaios com ozônio

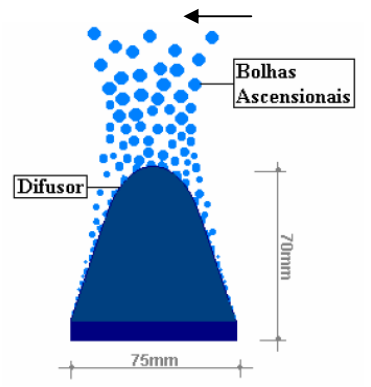
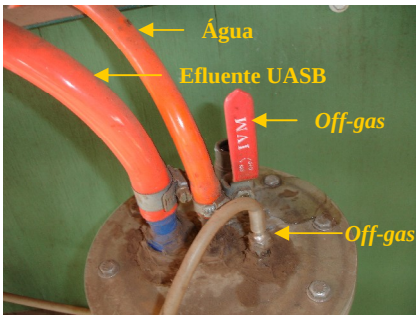


Figura 4.4: Dimensões do difusor microporoso FONTE: Salla (2006)

Figura 4.5: Fotografia do difusor microporoso



a) topo da coluna de ozonização

b) base da coluna de ozonização

Figura 4.6: Detalhes da Coluna de Ozonização em Acrílico

4.1.2.2 – Frasco Lavador de Gás

O gás ozônio que não era transferido para o meio líquido, era capturado por um frasco lavador preenchido com solução de iodeto de potássio (KI) a 2%. Esse procedimento era realizado para a quantificação do *off-gas* (Método Iodométrico – APHA, 1998) e destruição do gás ozônio para se evitar que fosse liberado para a atmosfera.

O frasco lavador do *off-gas* era de formato cilíndrico, em vidro, volume igual a 1litro. O frasco era conectado ao topo da coluna retentora de espuma, que por sua

vez era conectado a coluna de ozonização por mangueiras de silicone. Sua tampa era composta por tubo de extremidade porosa mergulhada na solução de iodeto de potássio (2%).

4.1.2.3 – Gerador de Ozônio

O gerador de ozônio, utilizado na presente pesquisa, era da marca EAGLESAT® modelo PZ 7, assim como o gerador de oxigênio (O_2/5 LPM), modelo PX 350; o qual separa o oxigênio do ar utilizando o processo de adsorção chamado PSA (*Pressure Swing Adsorption*). Nesse processo são usadas peneiras moleculares de material poroso que, quando expostas à gases ou líquidos, apresentam forte atração pelos mesmos (Figura 4.7).

O gerador de ozônio era do tipo Descarga Corona, sendo composto por: gerador de alta pressão, chave seletora de tensão (0, 20, 40, 60, 80 ou 100 %), válvulas de controle de pressão e vazão de oxigênio e o reator Descarga Corona.

O sistema PZ 7 estava dimensionado para produzir 7,0 ± 0,7 g O_3 .h^{-1} a partir do fluxo de oxigênio, produzido pelo gerador de oxigênio (PX350). Contudo, de acordo com ensaios realizados por SOARES (2007) e para as condições ambientais nas quais os ensaios foram realizados, a produção máxima alcançada foi de 3 g O_3.h^{-1}.

Por meio da Tabela 4.1 podem-se verificar as características técnicas do Sistema PXZ3507.

Tabela 4.1: Características técnicas do Sistema PXZ3507

Especificações Técnicas do Sistema PXZ3507		
Pressão máxima de gás	0,6 bar	
Peso	PX350	25kg
	PZ 7	10 kg
Dimensões	PX350	30cm x 70cm x 20cm
	PZ 7	37cm x 30cm x 21,5cm
Tensão de alimentação	110V + terra	
Concentração média de O_2	90,0%	
Concentração média de ozônio	2,0%	
Potência	750 Watts	
Produção de O_2	350 $g.h^{-1}$	
Produção de ozônio	7$g.h^{-1}$	
Alarmes	Luminoso Painel	

Figura 4.7: Gerador de ozônio (PZ 7)

Pela necessidade de uma maior precisão, foi posicionado um outro rotâmetro, de material inoxidável, na linha de saída do gerador de ozônio, com objetivo de fixar a vazão desejada do gás na entrada da coluna. Ele era graduado de 0,5 $L.min^{-1}$ a 5,0 $L.min^{-1}$, com exatidão de ± 4 % do fundo de escala segundo o fabricante (Figura 4.8).

Figura 4.8: Rotâmetro (Marca – Dwyer, modelo RMA 26)

4.1.2.4 – Instalação Experimental da ETE/USP Campus São Carlos

O afluente anaeróbio utilizado foi proveniente do reator UASB modificado ($UASB_{mod}$) localizado na ETE Campus I - USP – São Carlos (Figura 4.9). A escolha desse efluente se fez pela menor concentração de sólidos suspensos e DQO e também pela alta concentração de alcalinidade total. Por meio da Tabela 4.2 podem ser verificadas as características do esgoto bruto e efluente do reator $UASB_{mod}$ de acordo com PASSIG (2005).

Tabela 4.2: Características do esgoto sanitário afluente e efluente ao reator $UASB_{mod}$

Variáveis	Esgoto Bruto	Efluente UASBmod
pH	6,3 - 7,5[(1)]	6,5 – 6,6[(1)]
Alcalinidade Total (mg $CaCO_3.L^{-1}$)	212 ± 75[(2)]	303 ± 49[(2)]
DQO ($mg.L^{-1}$)	566 ± 216[(2)]	183 ± 152[(2)]
Sólidos Totais ($mg.L^{-1}$)	557 ± 310[(2)]	388 ± 127[(2)]
Sólidos Totais Voláteis ($mg.L^{-1}$)	350 ± 165[(2)]	249 ± 199[(2)]
Sólidos Totais Fixos ($mg.L^{-1}$)	207 ± 145[(2)]	138 ± 131[(2)]
Sólidos em Suspensão Totais ($mg.L^{-1}$)	121 ± 75[(2)]	82 ± 76[(2)]
Sólidos em Suspensão Voláteis ($mg.L^{-1}$)	91 ± 62[(2)]	56 ± 53[(2)]
Sólidos em Suspensão Fixos ($mg.L^{-1}$)	30 ± 51[(2)]	26 ± 23[(2)]

Notas: [(1)] Valores mínimos e máximos, [(2)] média ± desvio padrão
FONTE: Passig (2005, pág. 45 e 87)

O reator faz parte do complexo da ETE Campus I - USP – São Carlos proposto pelo Prof. Dr. José Roberto Campos. Esse reator possui 2,0 m de lado e 4,7 m de altura útil, com volume total de 18,8 m^3. O reator foi alimentado com esgoto sanitário *in natura*, submetido ao tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia e caixa de gordura).

De acordo com Passig (2005), o esgoto tratado nesta estação era proveniente do Campus da USP e parte da rede coletora de esgotos da cidade de São Carlos, que possuía características que variavam de médio a forte, de acordo com classificação de Metcalf & Eddy (2003).

Figura 4.9: Reatores da ETE/Campus USP – São Carlos

O reator UASB$_{mod}$ foi preenchido parcialmente na sua parte superior com material suporte. Foram usados anéis de PVC corrugado de diâmetro de 2,54 cm por 5,00 cm de comprimento, aleatoriamente dispostos (Figura 4.10).

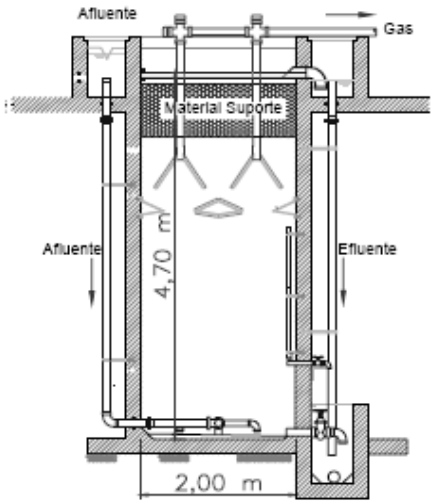


Figura 4.10: Esquema do reator UASB$_{mod}$
FONTE: PASSIG (2005)

Após o tratamento preliminar, o esgoto era bombeado para um tanque pulmão e distribuído por gravidade ao reator. O fluxograma simplificado do sistema está apresentado na Figura 4.11.

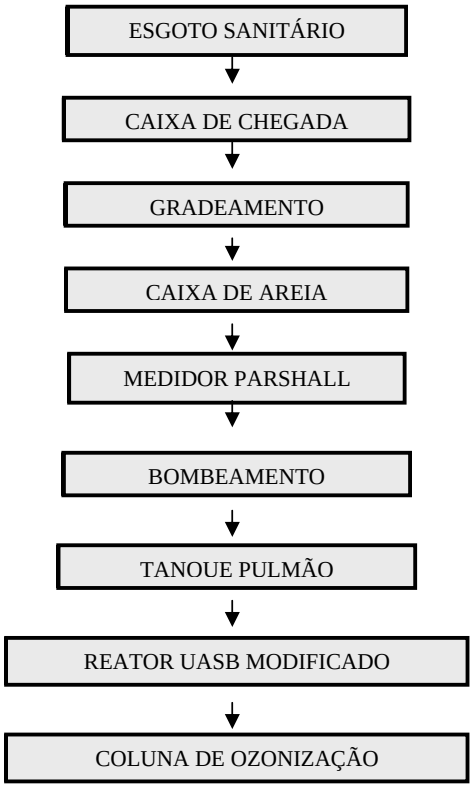


Figura 4.11: Fluxograma simplificado do sistema experimental

4.1.3 – Ensaios de Desinfecção Aplicando Ozônio

Os ensaios de desinfecção aplicando ozônio foram realizados com amostras do esgoto sanitário efluente de reator $UASB_{mod}$ localizado na ETE Campus I - USP – São Carlos. Os ensaios ocorriam no período da manhã, entre 7 e 10 horas para que parte das análises físico-químicas pudessem ser realizadas no mesmo dia.

A seguir está apresentada a seqüência de etapas para os ensaios de ozonização:

- Fechar a descarga de fundo da coluna de ozonização e preencher por gravidade, o volume de 11,94 litros (h=1,52m) do efluente do reator $UASB_{mod}$ para a coluna de ozonização;
- Preencher o frasco lavador de gás, com 600 mL de solução de iodeto de potássio a 2% e conectar a mangueira de silicone da saída da coluna de ozonização;
- Coletar uma fração do efluente do reator $UASB_{mod}$ na própria coluna de ozonização;
- Verificar se todos os registros estão fechados para que apenas o *off-gas* seja encaminhado para o frasco lavador.
- Ligar o gerador de ozônio borbulhando apenas oxigênio;
- Abrir o registro que libera ar para a coluna de ozonização;
- Ajustar a vazão de ozônio necessária para a dosagem pré-determinada;
- Verificar se o gás esta borbulhando no frasco lavador de gás;
- Ajustar as vazões, e apertar o botão “OZÔNIO” e cronometrar o tempo necessário para o ensaio de desinfecção;
- Encerrado o tempo de contato, desligar por meio do botão “OZÔNIO” o gerador de ozônio e aguardar no mínimo 30 s para que se possa desligar o compressor de ar - recomendação do fabricante;
- Após desligar os aparelhos, fechar o registro que libera ar para a coluna de ozonização, abrir o registro no topo da coluna para que o ar que esta acima do nível de esgoto seja liberado. Desconectar o frasco lavador da mangueira de silicone. Concluídas estas etapas, uma

amostra de volume igual a 2,0 L pode ser coletada para posterior caracterização física, química e microbiológica;

- Esvaziar a coluna de ozonização por meio do registro de descarga de fundo;
- Realizar as análises de quantificação de *off-gas* e ozônio residual dissolvido;
- Encher duas vezes a coluna de ozonização com água corrente para limpeza da mesma e recomeçar o procedimento para o próximo ensaio.

A dose de ozônio efetivamente consumida pelo esgoto pôde ser calculada pela equação 7, cujas variáveis estão todas expressas em mg de $O_3.L^{-1}$.

$$\textit{Dose efetiva} = \textit{Dose aplicada} — [0_3\ \textit{Residual Dissolvido} + \textit{Off-gas}] \quad (7)$$

4.1.3.1 - Determinação da Produção de Ozônio

Foram realizados vários ensaios com vistas a avaliar a quantidade de ozônio gerada pelo equipamento, utilizando-se o método iodométrico descrito *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA,1998). Esse método consiste na capacidade de liberar o iodo em solução de iodeto de potássio a 2%. Depois de ozonizada, a solução de iodeto de potássio a 2 % é acidificada e, em seguida, titulada com solução padrão de tiossulfato de sódio (0,025 N) utilizando solução de amido como indicador.

A coluna era preenchida com 11,94 L de solução de iodeto de potássio, preparada conforme APHA (1998). O gerador de ozônio era ligado e o rotâmetro ajustado para um valor constante da vazão de gás. Completado o tempo de contato o sistema será desligado e a solução ozonizada coletada em recipiente plástico de capacidade 5L, para posterior análise.

A partir dos resultados experimentais foram traçados gráficos da produção de ozônio em função da vazão de gás, possibilitando o cálculo das vazões correspondentes às dosagens de ozônio, definidas para este trabalho.

O método iodométrico (APHA, 1998) foi adotado como método de análise para determinação da concentração de ozônio presente na amostra recolhida.

4.1.3.2 - Dosagem de Ozônio

A relação entre produção de ozônio *(P)* e vazão de ar *(Q)*, para as intensidades mínima e máxima do equipamento, foi graficamente determinada a partir da curva de produção em função da vazão. Esse procedimento permitiu estabelecer a vazão de ar necessária para obter as dosagens requeridas em cada ensaio, pela substituição dos resultados anteriores na equação.

$$P = \frac{D \times V_{coluna} \times 60}{t \times 1000} \qquad (8)$$

D: Dosagem de ozônio, em mg.L^{-1};
V_{coluna}: Volume da coluna (L);
60: Fator de conversão (Conversão de minuto em hora);

A metodologia utilizada possibilitou a determinação dos melhores intervalos de vazões nos ajustes mínimo e máximo do equipamento gerador de ozônio.

Neste trabalho foram investigadas as dosagens de 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e os tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos.

4.1.3.3 Concentração de ozônio residual dissolvido e no *off-gas*

A concentração de ozônio no *off-gas* e a concentração de ozônio residual dissolvido foram determinadas de acordo com o descrito em APHA (1998), respectivamente pelos métodos iodométrico e DPD MERCK®. As análises foram feitas após os ensaios de ozonização na ETE Campus I - USP – São Carlos.

A determinação do ozônio no *off-gas* (ozônio residual gasoso) era realizada por meio da solução de iodeto de potássio coletada do frasco lavador de ozônio após o término do experimento.

A seguir, tem-se o roteiro utilizado para determinação da concentração de ozônio no *off-gas*:

- Atingido o tempo de contato pré-estabelecido, coleta-se 200mL de solução de iodeto de potássio ozonizada do frasco lavador de ozônio;
- Fixam-se os 200mL de solução de iodeto de potássio com 4 mL de solução de ácido sulfúrico 1N;
- Depois de fixado, titula-se a amostra com tiossulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) 0,0243N, até que mude a coloração para amarelo-palha;
- Atingida a coloração amarelo-palha, adiciona-se 2mL de solução de amido na amostra, tornando azulada;

- Continuando a titulação, adiciona-se tiossulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) 0,0243N até que a cor azulada desapareça totalmente, ficando transparente;
- Marca-se o volume total de tiossulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) 0,0243N gasto.

Depois de anotado o volume total de tiossulfato de sódio, calcula-se a taxa de ozônio (g O_3 .h^{-1}) no frasco lavador de ozônio por meio da equação 9:

$$Doff - gas = \frac{Nt \times \Delta_{Vt} \times V_{KI} \times 24000 \times 60}{V_{amostra} \times t \times 1000} \quad (9)$$

$D_{off\text{-}gas}$ = excesso de ozônio gasoso, (g O_3.h^{-1});
N_t = normalidade do tiossulfato de sódio, (0,0243);
Δ_{Vt} = vf – vb; vf = volume de tiossulfato consumido na titulação da amostra (mL);
vb= volume de tiossulfato consumido na titulação do branco (mL);
V_{KI}= volume da solução de iodeto de potássio 2% (KI) usado no frasco lavador de gás, (0,60 L);
$V_{amostra}$= volume da amostra coletada para a titulação, (0,20 L);
t= tempo de aplicação do ozônio na coluna de ozonização;
24000, 60, 1000 = fatores de conversão para obtenção da produção em g O_3.h^{-1}.

Adicionalmente à determinação do excesso de ozônio, calcula-se a dosagem ou concentração de ozônio residual gasoso liberado pela coluna de ozonização, em mg.L^{-1} (equação 10).

$$C_{off\ -\ gas} = \frac{off - gas \times t \times 1000}{Vx60} \quad (10)$$

$C_{off\text{-}gas}$ = dosagem off-gas de ozônio ou concentração de ozônio residual gasoso, (mg.L^{-1});
Off-gas= excesso de ozônio no frasco lavador de gás, (g.h^{-1});
t= tempo de aplicação do ozônio na coluna de ozonização;
V= volume de efluente utilizado na coluna de ozonização.

A concentração de ozônio residual dissolvido no meio líquido foram medidas utilizando o espectrofotômetro da marca PROMINENT® – modelo DULCOTEST DT 11 – e reagentes Merck, código Chlor-Test 1.14803.001. De acordo com o fabricante, o intervalo da curva de calibração para a medida de ozônio residual dissolvido é de 0,01 a 1 mg $O_3.L^{-1}$ com precisão de duas casas decimais.

Na Tabela 4.2 pode-se verificar as dosagens de ozônio aplicadas, os tempos de contato utilizados e a freqüência dos ensaios.

Tabela 4.2: Dosagens de ozônio aplicadas e tempos de contato utilizados

OZÔNIO			
Dosagem (mg $O_3.L^{-1}$)	**Tempo de Contato (min)**	**Volume de Esgoto na Coluna (L)**	**N° de ensaios**
5,0	5 10 15	11,94	3
8,0	5 10 15		
10,0	5 10 15		

4.1.4 - Ensaios de Desinfecção Aplicando Cloro

Os ensaios de desinfecção aplicando hipoclorito de sódio como desinfetante foram realizados com amostras do esgoto sanitário efluente de reator $UASB_{mod}$ localizado na ETE - USP Campus I - São Carlos. O esgoto utilizado nos ensaios foi coletado no período da manhã, entre 7 e 10 horas para que parte das análises físico-químicas pudessem ser realizados no mesmo dia. Os ensaios foram realizados em sistema de batelada, empregando béqueres de vidro de borosilicato de 2,0 L de volume, dispostos sobre um equipamento Jar-Test utilizando volume igual a 1,5 litros de efluente. A rotação utilizada no Jar-Test para a agitação da amostra durante o tempo de contato pré-estipulado foi de 70 rpm. Estes ensaios

foram realizados no Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Água (LATAR) – USP – São Carlos.

As soluções utilizadas nos ensaios foram preparadas a partir de uma solução de hipoclorito de sódio de concentração igual a 1,0 $g.L^{-1}$. Os tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos eram cronometrados logo após a aplicação da solução no efluente do reator UASB.

Devido a instabilidade da solução de cloro em relação à sua concentração, à relação à luz e à temperatura ambiente, se fazia necessário a cada ensaio, definir a concentração da solução 1,0 $g.L^{-1}$ de cloro, pois assim poderia se definir o volume da solução de cloro a ser aplicada para satisfazer a concentração de cloro desejada para o ensaio.

Para a determinação do volume da solução a ser aplicado no esgoto, era realizado o mesmo procedimento utilizado para desinfetar o esgoto, porém era utilizada água deionizada. Em um béquer com 1500 mL de água deionizada era adicionado um certo volume da solução de 1,0 $g.L^{-1}$ de cloro para satisfazer a concentração de cloro desejada. Em seguida era coletado um volume igual a 25 mL para se determinar a concentração de cloro aplicado.

A seguir está apresentada a seqüência de etapas para os ensaios de cloração:

- Dispor os béqueres sobre o equipamento Jar-Test;
- Homogeneizar o efluente coletado por meio de agitação manual do recipiente contendo o efluente do reator UASB;
- Transferir 1500 mL de efluente para cada béquer;
- Aplicar a solução de cloro para a dosagem requerida;

- Terminado o tempo de contato, coletar um volume de 25 mL para medição de cloro residual. As análises de cloro residual total e livre foram realizadas pelo método DPD colorimétrico proposto pelo manual Hach DR 4000 Spectrophotometer Handbook, comprimento de onda 530 nm, que também se encontra em APHA (1998).
- Adicionar aproximadamente 30,0 mg metabissulfito de sódio para a descloração do efluente.

Posteriormente, uma fração da amostra era utilizada em análises físicas, químicas e microbiológicas; para um dos três ensaios pré-determinados era reservada uma fração para uso nos bioensaios.

Na Tabela 4.3 pode-se verificar as dosagens de cloro aplicadas, os tempos de contato utilizados nos ensaios.

Tabela 4.3: Dosagens de cloro aplicadas e tempos de contato utilizados nos ensaios

CLORO			
Dosagem (mg $Cl_2.L^{-1}$)	**Tempo de Contato (min)**	**Volume de Efluente (L)**	**N° de ensaios**
10,0	10 20 30	1,50	3
20,0	10 20 30		
30,0	10 20 30		

4.1.5 Ensaios de Desinfecção Aplicando Ozônio/Cloro

Os ensaios de desinfecção aplicando ozônio/cloro foram realizados com amostras do esgoto sanitário efluente de reator $UASB_{mod}$ localizado na ETE Campus I - USP – São Carlos.

Concluído cada ensaio de ozonização (4.1.3), era coletada uma amostra do efluente ozonizado para a determinação da fração de ozônio residual, bem como para as posteriores análises físicas, químicas e de *E. coli*. Além disso, uma alíquota de 200mL da solução de iodeto de potássio do frasco lavador também foi coletada para determinar a concentração de ozônio no *off-gas*.

Aproximadamente 2 litros do efluente eram coletados para posterior desinfecção aplicando cloro. Os ensaios aplicando cloro foram realizados em sistema de batelada e seguiram o mesmo procedimento descrito no 4.1.4.

Posteriormente, uma fração da amostra era utilizada para caracterização física, química e microbiológica; para um dos três ensaios pré-determinados era reservada uma fração para uso nos bioensaios.

Na Tabela 4.4 pode-se verificar as dosagens de ozônio/cloro e tempos de contato aplicados nos ensaios de ozonização/cloração.

Tabela 4.4: Dosagens de ozônio/cloro e tempos de contato aplicados nos ensaios de ozonização/cloração

OZÔNIO/CLORO						
Dosagem (mg $O_3.L^{-1}$)	Tempo de Contato (min)	Volume de Esgoto na Coluna (L)	Dosagem (mg $Cl_2.L^{-1}$)	Tempo de Contato (min)	Volume de Esgoto Pré-Ozonizado(L)	N° de ensaios
5	5		10,0	10		
8	10	11,94	20,0	20	1,50	5
10	15		30,0	30		

4.1.6 - Análises e Exames

Na Tabela 4.5 estão apresentados os exames e as análises que foram realizados com amostras do efluente coletadas antes e após a desinfecção com ozônio, cloro e ozônio/cloro; bem como os procedimentos de análise com

metodologia descrita por APHA (1998), para avaliar a eficiência da desinfecção, a taxa de remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão.

Tabela 4.5: Métodos dos exames e análises realizados durante os ensaios de desinfecção utilizando ozônio, cloro e ozônio/cloro

Parâmetros	Descrição do método
Alcalinidade ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)	Titulação potenciométrica com ácido sulfúrico (RIPLEY et al., 1986)
(*) Cloro Residual Total ($mg.L^{-1}$)	Método Iodométrico, com utilização de kit HACH (10070) e leitura em espectrofotômetro DR 4000 - adaptado de APHA 4500- Cl G
(*) Cloro Residual Livre ($mg.L^{-1}$)	Método DPD colorimétrico, com utilização de kit HACH (10069) e leitura em espectrofotômetro DR 4000 - adaptado de APHA 4500-Cl G
Cloreto ($mg\ Cl^-.L^{-1}$)	Utilização de kit HACH (8113) adaptado de Zall et al. (1956)
Coliformes Fecais (UFC/100 mL)	Membrana Filtrante (meio de cultivo: Chromocult)
Coliformes Totais (UFC /100 mL)	Membrana Filtrante (meio de cultivo: Chromocult)
(*) Concentração ozônio residual dissolvido ($mg.L^{-1}$)	Método colorimétrico índigo - 4500 O_3 - B
Concentração ozônio residual gasoso ($mg.L^{-1}$)	Método Iodométrico - 4500 Cl - B
(*) Demanda Química de Oxigênio (DQO) ($mg\ O_2.L^{-1}$)	Colorimétrico – DR 2000 Hach (Refluxo Fechado) - 5220 D
(*) Nitrato (NO_3^-) ($mg\ N.L^{-1}$)	Método espectrofotométrico – 4500 – NO_3^- B
(*) Nitrito (NO_2^-) ($mg\ N.L^{-1}$)	Método espectrofotométrico – 4500 – NO_2^- B
(*) Nitrogênio Total Kjeldahl	Método Kjeldahl - 4500 B
(*) Nitrogênio amoniacal (NH_3) ($mg\ N.L^{-1}$)	Destilação preliminar seguida de titulação com ácido sulfúrico – 4500 – NH_3 B
(*) Nitrogênio orgânico ($mg\ N.L^{-1}$)	Método Kjeldahl - 4500 B
(*) pH	Potenciométrica - SM 4500H+ B, pHmetro DM 20 - DIGIMED
(*) Sólidos em Suspensão Totais ($mg.L^{-1}$)	Gravimétrico – Filtração em membrana (1,2 μm) – 2540 D
(*) Sólidos Totais ($mg.L^{-1}$)	Gravimétrico – 2540 B
Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal, Metilglioxal ($\mu g.L^{-1}$)	Cromatografia Gasosa (GC), detector de captura de elétrons (ECD) adaptado de Yamada e Somiya (1989)
Trialometanos ($\mu g.L^{-1}$)	Cromatografia Gasosa (GC), detector de captura de elétrons (ECD), Método Adaptado EPA 551 (1990)
Sulfeto ($mg.L^{-1}\ S^{2-}$)	Método espectrofotométrico com utilização de kit HACH (8131) e leitura em espectrofotômetro DR 2000 – aprovado pela USEPA
Temperatura (ºC)	Leitura Direta em termômetro de mercúrio
Tempo de contato (min)	Cronômetro

(*) Metodologias contidas em APHA (1998)

Para avaliar a remoção de matéria orgânica utilizou-se o parâmetro DQO (Demanda Química de Oxigênio) usada como uma medida da quantidade de oxigênio equivalente ao conteúdo de matéria orgânica e inorgânica de uma amostra

que é suscetível à oxidação por um oxidante químico forte (APHA, 1998). Essa variável foi escolhida, pois se desejou determinar a capacidade do ozônio em oxidar a matéria orgânica presente no efluente a ser desinfetado, nas doses necessárias à desinfecção. Mais importante que isso, procurou-se estabelecer qual foi a interferência da DQO na eficiência de desinfecção, já que se sabe que a matéria orgânica exerce demanda pelo oxidante, competindo com os microrganismos pela reação com o ozônio e também avaliar a influência da DQO na formação de subprodutos.

As amostras de efluentes recolhidas após a desinfecção também foram submetidas a análises de pH e alcalinidade, para monitoramento do meio reacional. O pH foi medido com o uso de um medidor de pH DM 20 – DIGIMED (Método: SM 4500H+ B - APHA, 1998) e a alcalinidade pela titulação com ácido sulfúrico 0,179 N até pH 4,30 (alcalinidade total). A alcalinidade foi expressa em mg $CaCO_3$ L^{-1} (RIPLEY et al., 1986).

Para a determinação de sólidos em suspensão totais foi utilizada uma membrana de porosidade 1,2 μm (2540 D - APHA, 1998).

Algumas considerações a respeito da determinação da concentração de DQO, Alcalinidade Total, Temperatura, pH se fazem necessárias.

O método utilizado para determinação de DQO foi o colorimétrico com digestão em refluxo fechado durante duas horas em bloco digestor da marca HACH. As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro marca HACH, modelo DR-2000, em comprimento de onda 620 nm, conforme descrito por APHA (1998).

As concentrações de alcalinidade total foram determinadas medindo o volume de ácido sulfúrico necessário para pH de a amostra atingir o valor de 4,3.

A temperatura e o pH das amostras do efluente anaeróbio e do efluente ozonizado, clorado e ozonizado/clorado foram determinados logo após o término dos ensaios de ozonização, cloração, ozonização/cloração.

4.1.6.1 - Determinação de Aldeídos

Para a determinação dos aldeídos primeiramente testou-se a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

Por este método havia a necessidade de se purificar os padrões. A purificação era realizada da seguinte forma: primeiramente era pesado 1 grama do padrão, em seguida adicionados 40 mL de etanol (95%) e 35 mL de 2,4 DNPH previamente preparado. Desta forma, havia a formação de um precipitado. Este precipitado era então filtrado e dissolvido em um béquer com 50 mL de etanol, então este béquer era levado à banho-maria a temperatura de aproximadamente 75 °C, era então agitado até à dissolução total do precipitado. Após a dissolução mantinha-o em temperatura ambiente para que houvesse a recristalização do padrão e assim se repetia de duas a três vezes com cada padrão.

A análise cromatográfica foi realizada primeiramente em cromatógrafo líquido, em uma coluna C-18 supelco (150mmm x 6,0 mm d.i.;com partículas de 5 μm de diâmetro) e um detector de captura de elétrons. Os aldeídos foram analisados nas seguintes condições: vazão de 1 $mL.min^{-1}$, gradiente de eluição: metanol-água (65:35 v/v) por min, seguido metanol-água (85:15 v/v) em 4 min, (80:20 v/v) em 10min e (65:35 v/v) em 5 min. Para determinação dos aldeídos utilizou-se uma solução de 0,4% de 2,4 dinitrofenihidrazina em acetonitrila. Em um frasco

volumétrico foram adicionados consecutivamente, 1,0 mL da solução de dinitrofenihidrazina (0,4%), 4,00 mL da amostra (sem tratamento prévio) e 50 μL de $HClO_4$ 1M. Porém na etapa anterior, purificação do padrão por meio de cristralização, os padrões de glioxal e metilglioxal não se dissolviam, desta forma decidiu-se realizar a detecção dos aldeídos por meio de Cromatografia Gasosa.

Yamada e Somiya (1989) usaram o método de derivatização utilizando PFBOA como derivatizante para demonstrar pela primeira vez a presença de moléculas de baixo peso molecular de aldeídos em águas superficiais e esgotos. O método utilizado pelos autores utilizou uma coluna empacotada para cromatografia gasosa, utilizando dois programas de temperatura para análises de carboxílicos derivatizados da faixa de interesse.

Reagentes utilizados: para derivatizar os aldeídos usou-se o O-(2,3,4,5,6-Pentafluorobenzil hidroxilamina hidrocloreto (PFBOA-HCl) (Aldrich Chemical,Milwaukee, WI), que foi preparado gravimetricamente a 1,0 $mg.mL^{-1}$ em água. A solução estoque dos padrões foi preparada com 135 mg de formaldeído (37% em solução aquosa), 50 mg de acetaldeído,125 mg de glioxal (40% em solução aquosa) e 125 mg de metilglioxal (40% em solução aquosa). A partir desta solução preparou-se uma “solução-mãe”, com todos os componentes a 1000 ppm. As soluções dos padrões usados para a curva de calibração foram preparadas a partir de diluições desta “solução-mãe”. A água utilizada para preparar as soluções padrões, soluções reagentes e brancos foram preparadas por pelo sistema de filtro da Millipore Super-Q. Hexano (Fisher, OPTIMA) foi usado como solvente de extração, ao qual se adicionou o padrão interno, decafluorobifenil (Aldrich, 99%), a 20 $\mu g.L^{-1}$.

Procedimento Analítico: O procedimento analítico para determinação moléculas de baixo peso molecular de compostos carbonílicos na água, é semelhante ao descrito por Yamada e Somiya (1989), conforme apresentado na Figura 4.12.

Foram adicionados 5 mL de amostra em tubos de vidros de volume de 10 mL, 2 gotas de 0,1 M de $Na_2S_20_3$ e a 0,5 mL de solução de PFBOA. A solução foi deixada em temperatura ambiente por 2 horas (Yamada e Somiya deixaram por 1 hora) e então acidificada com 1 gota de 18N H_2SO_4. Os derivatizados foram extraídos no mesmo frasco adicionando 1 mL de n-hexano contendo o padrão interno , que foi então agitado por 30 segundos. O hexano extraído foi transferido para outro frasco por meio de uma pipeta Pasteur, então adicionados 5 mL de 0,1 N de H_2SO_4, agitado e transferido novamente para outro frasco. Foi adicionado aproximadamente 50 mg de sulfato de sódio anidro para secar.

A solução extraída foi analisada em um Cromatógrafo a Gás HP 5890 equipado com detector de captura de elétrons (GC/ECD) e coluna HP-5 (Crosslinked 5% PH ME Siloxane), de 30 m x 0,32 mm x 0,25 μm, com hidrogênio como gás de arraste. As temperaturas do injetor e do detector foram 280°C e 300°C, respectivamente. O programa de temperatura usado na coluna foi o seguinte: 50°C por 1 min, aumentando 5°C por minuto até atingir 220°C.

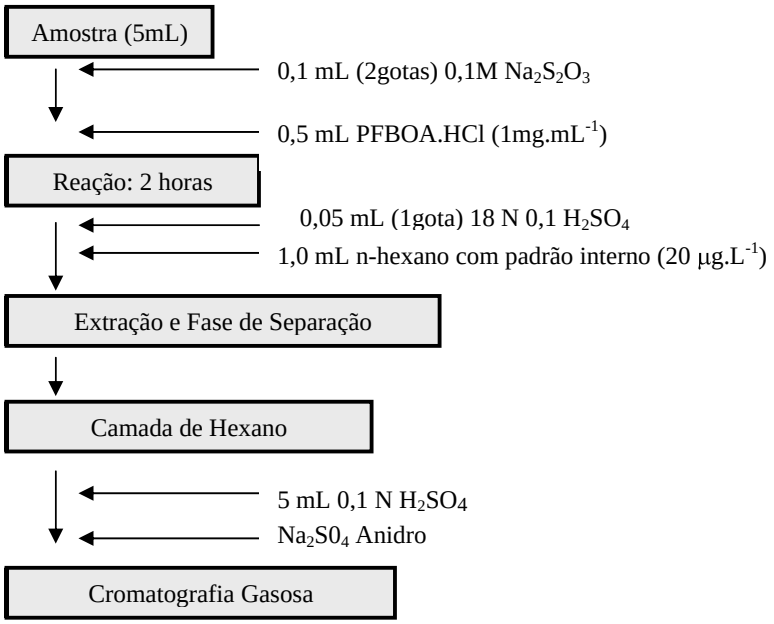


Figura 4.12: Procedimento analítico para identificação e quantificação de aldeídos no esgoto usando PFBOA.HCl como derivatizante

Na Figura 4.13 está apresentado o cromatograma para identificação dos aldeídos para a concentração de 25,0 μg.L^{-1} (formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal).

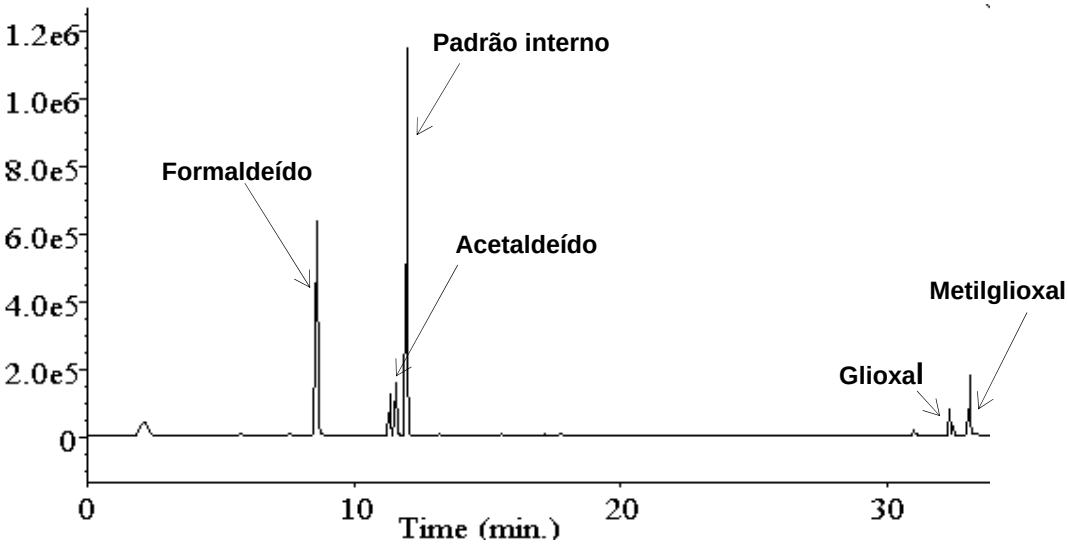


Figura 4.13: Cromatograma de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal na concentração 25,0 μg.L^{-1}, para identificação dos aldeídos (formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal)

4.1.6.2 - Trialometanos

As alíquotas (60mL) foram separadas e colocadas em frascos com o mesmo volume. Foi removido de cada frasco 10 mL de amostra para deixar 10 mL de *headspace* e, em seguida, adicionados 100 µL de brometo de pentafluortolueno (10,0 mgL^{-1}) como padrão interno para cada frasco. A extração foi realizada adicionando 10 g de Na_2SO_4 seguido de 5 mL de n-pentano. Os frascos foram, então, fechados e lacrados com tampas de alumínio. Para a extração os frascos foram vigorasamente agitados por 2 minutos em Vórtex. As análises foram realizadas coletando 1,0 µL da fase orgânica e injetando no cromatógrafo HP5890, equipado com detector de captura de elétrons e coluna HP-5 (30 m × 0.32 mm d.i. × 0.25µm). A temperatura do forno foi programada da seguinte forma: 35°C (5 min), até 145°C (15 min),a 10°C.min^{-1} e até 260°C (30 min), a 20°C.min^{-1}. O modo de injeção splitless (Hewlett-Packard, USA) foi usado na temperatura de 200°C e o detector de captura de elétrons (ECD - Hewlett-Packard) foi usado na temperatura de 290°C. O gás de arraste usado foi H_2, vazão de 4mL min^{-1} (Hautman e Munch, 1997; Gibbons e Laha, 1999). O limite de detecção foi de 0,16; 0,37; 0,12 e 0,11µg.L^{-1}, para $CHCl_3$, $CHBrCl_2$, $CHBr_2Cl$ e $CHBr_3$ (Nikolaou et al., 2004), respectivamente. Os limites de quantificação foram 0,53; 1,23; 0,38 e 0,36 μg L^{-1} para $CHCl_3$, $CHClBr_2$, CHClBr e $CHBr_3$, respectivamente.

Na Figura 4.14 está apresentado o cromatograma de uma solução dos padrões a 150,0 μg.L^{-1}, usada para identificação dos trialometanos $CHCl_3$, $CHBrCl_2$, $CHBr_2Cl$ e $CHBr_3$.

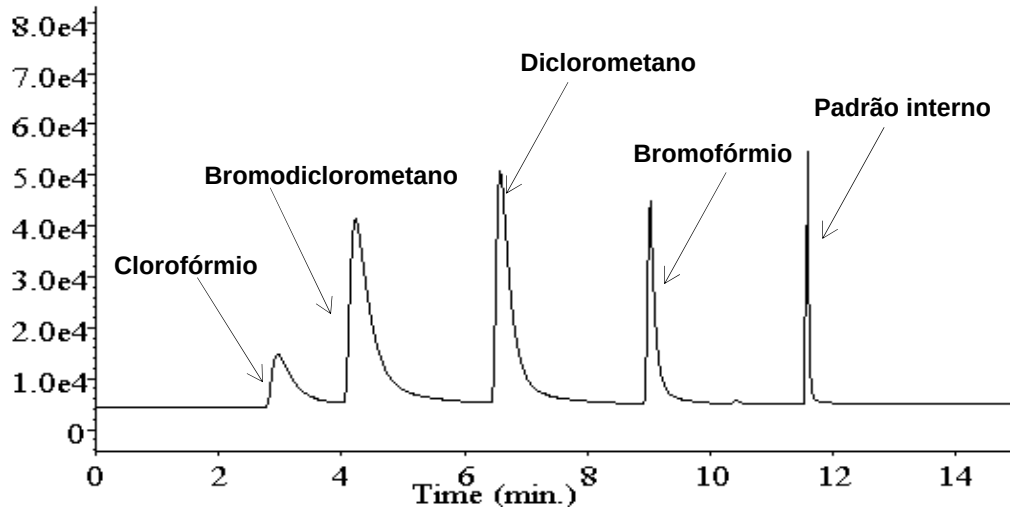


Figura 4.14: Cromatograma dos padrões na concentração de 150,0 $\mu g.L^{-1}$ dos trialometanos ($CHCl_3$, $CHBrCl_2$, $CHBr_2Cl$ e $CHBr_3$)

4.1.6.3 - Controle Microbiológico

O microrganismo indicador de contaminação fecal escolhido e quantificado para controle foi *Escherichia coli*.

4.1.6.3.1 - *Escherichia coli*

O método utilizado nesta pesquisa para a quantificação de *E. coli* foi a filtração em membrana usando como meio de cultura Chromocult® Coliform Agar, que também permite a determinação de coliformes totais e bactérias heterotróficas.

O preparo do meio Chromocult® Coliform Agar (MERCK®) é uma prática simples que requer apenas alguns cuidados para evitar a contaminação do meio. Para o preparo de 50 placas, são necessários 13,25 g do meio dissolvidos em

500 mL de água destilada. A solução deve ser aquecida em banho-maria sem que a temperatura ultrapasse 70°C, evitando-se a evaporação do meio. Após o período de dissolução do meio, volumes de 10 mL são distribuídos em placas de Petri e, após solidificação do meio, estas placas devem ser mantidas sob refrigeração até o seu uso, não ultrapassando o período de 30 dias. A bancada para o preparo do meio foi previamente desinfetada utilizando-se solução de ácido peracético 0,2%. Toda vidraria e frascos de diluição foram previamente esterilizados em autoclave à temperatura de 121°C por um período de 15 minutos.

Para os ensaios aplicando-se cloro foram utilizados meios de cultura desidratados do tipo Chromocult® NKS fabricados pela Sartorius®, que constituem de placas de Petri com o meio de cultura já pronto, sendo apenas necessário a sua hidratação com 3,0 mL de água destilada antes do mecanismo de filtração.

Para a quantificação de *E. coli*. eram filtrados 100 mL de amostra em membrana estéril de porosidade de 0,45 μm (Gelman® GN-6). Após a filtração, as membranas contendo bactérias eram colocadas em placas de Petri sobre o meio de cultura e incubada a 36°C ± 1 °C por 24 ± 1 h. Após o tempo de incubação, as colônias que apresentarem coloração azul escuro/violeta são reconhecidas como *E. coli*. Os resultados devem ser expressos UFC/100 mL.

4.1.6.4 - Bioensaios de toxicidade aguda

Os bioensaios de toxicidade deveriam ter um papel mais importante para o controle da poluição hídrica, pois estão fundamentados na utilização de organismos

vivos que são diretamente afetados por qualquer desequilibro que possa ocorrer no ecossistema aquático (HOFFMAN, 1995; ZAGATTO, 1999).

Como organismo-teste foi utilizada a espécie *Daphnia similis* (Cladocera, Crustaceo), cujos exemplares foram obtidos de culturas mantidas no Laboratório de Ecotoxicologia e Ecofisiologia de Organismos Aquáticos (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) da Universidade de São Paulo, *Campus* São Carlos. A escolha desta espécie deve-se, principalmente, à facilidade de obtenção e manutenção em grande quantidade. Também foi utilizado como organismo-teste a espécie *Danio rerio,* peixe ornamental popularmente conhecido como paulistinha, devido à facilidade da obtenção, baixo custo, fácil manutenção em laboratório, fácil reprodução em condições apropriadas com obtenção de elevado número de ovos, além de uma vasta informação literária a respeito de sua biologia (BARRIONUEVO, 1995), sendo uma espécie sensível e recomendada pelas normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (1993), CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) (1991) e IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente) (1990). Trata-se de uma espécie padronizada internacionalmente.

Foram realizados bioensaios de toxicidade aguda, com amostras do efluente desinfetado com ozônio, cloro, ozônio/cloro visando a obtenção da CL(50), isto é, a concentração na qual se observa a mortalidade de 50% ou mais dos organismos-teste. Neste estudo utilizou-se CL (50) para a indicação do efluente desinfetado com características tóxicas (CL(50) > 50%), indícios de toxicidade (0 < CL(50), 50%) e não tóxicas (CL(50) = 0).

Os bioensaios com *Daphnia similis* foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na NBR 12713 - Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia spp* (Cladocera, Crustácea), (ABNT, 2004),

com modificação em relação à temperatura. O princípio do método consiste expor neonatos com idade de 0 a 24 horas às amostras mais um controle, com água de cultivo. Para cada amostra, incluindo o controle, foram testadas 4 replicatas, cada uma com 10 mL de amostra e 5 neonatos. Durante o período de teste, os organismos foram mantidos no escuro e sem alimento em sala com temperatura de 23 ± 2 °C. Após o período de exposição (48 horas), procedeu-se à contagem dos organismos imóveis, sendo considerados imóveis aqueles que não conseguiram nadar dentro de um intervalo de 15 segundos, após leve agitação da amostra. Os resultados foram expressos em CE(I)50 ou "Tóxica / Não Tóxica" para amostras sem diluição. No início e final dos ensaios são verificados pH, oxigênio dissolvido, dureza e condutividade das amostras e do controle.

Cálculo dos Resultados: a CE/CL50 foi calculada através do método estatístico Trimmed Spearman – Karber (HAMILTON et al.,1977).

A confirmação da toxicidade das amostras sem diluição é feita pela Prova Exata de Fisher (Fisher's Exact Test), que compara os dados de mortalidade das amostras com o controle de laboratório.

Critério de Aceitação: os testes são considerados válidos quando a taxa de imobilidade do controle for igual ou menor que 10%.

Os bioensaios com *D. rerio* foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na Norma NBR 15088:2004 – Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com peixes (ABNT, 2004a). O princípio do método consiste em expor organismos jovens às amostras mais um controle, com água de cultivo. Os testes foram realizados com 3 réplicas, contendo 1g de peixe/litro de amostra, com número mínimo de 10 peixes por diluição/controle. Durante o período de teste, os organismos foram mantidos sem alimento em sala

com fotoperíodo 12/12 horas e temperatura de 25 ± 2 ^{0}C. Após o período de exposição (48 horas), procedeu-se à contagem dos organismos mortos. Os resultados foram expressos em CE(I)50. No início e final dos ensaios são verificados pH, oxigênio dissolvido, dureza e condutividade das amostras e do controle.

Cálculo dos Resultados: a CL(I)50 é calculada através do método estatístico Trimmed Spearman – Karber (HAMILTON et al.,1977).

Critério de Aceitação: os testes são considerados válidos quando a taxa de imobilidade do controle for igual ou menor que 10%.

Os ensaios foram realizados em uma amostra, dos três ensaios realizados para cada dosagem e tempo de contato para ozônio, cloro e ozônio/cloro.

4.1.6.4 - Análises estatísticas

Após a obtenção dos dados, foram realizadas análises estatísticas de modo a verificar a significância da variação das variáveis em função das concentrações e tempos de contato aplicados. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa 'R version 2.6.2'. Para a análise dos dados foi utilizado um modelo matemático linear que considerava a influência da concentração de desinfetante e do tempo de contato, de formas individuais, em função da variável a ser analisada, de acordo com a equação 11.

$$R = \beta_0 + \beta_1 \cdot [de \sin fe \tan te] + \beta_2 \cdot Tempo + \varepsilon \qquad (11)$$

em que:

- 'R' – variável a ser analisada;

- $ß_0$, $ß_1$ e $ß_2$ – coeficientes que indicam de quanto varia o ‘R’ em função da variação de uma unidade de ‘dosagem desinfetante’ e/ou ‘tempo’;
- [desinfetante] – concentração de desinfetante aplicado;
- Tempo – tempo de contato da amostra com o desinfetante;
- ‘e’ – erro aleatório.

No ambiete do programa ‘R version 2.6.2’, primeiramente se carregava os dados a serem analisados. Após isso, inseria-se o modelo matemático e o tipo de distribuição a ser utilizado no cálculo dos erros, no caso foi empregada uma distribuição Gaussiana. Com esses parâmetros, calculavam-se os coeficientes $ß_0$, $ß_1$ e $ß_2$ e a significância estatística da variação das variáveis ‘concentração de desinfetante’ e ‘tempo de contato’.

4.2 Pesquisa realizada na Holanda – Universidade de Wageningen

4.2.1 Considerações Iniciais

O trabalho experimental foi dividido em cinco etapas:

1ª Etapa: Testes preliminares para reformar as instalações e para adaptações necessárias, para os ensaios de desinfecção e oxidação;

2ª Etapa: Escolha do tipo do efluente utilizado para os ensaios de desinfecção e oxidação;

3ª Etapa: Ensaios empregando ozônio;

4ª Etapa: Ensaios empregando ozônio/cloro;

5ª Etapa: Ensaios empregando ozônio/peróxido de hidrogênio.

Foram realizados alguns testes para avaliar o efluente que seria utilizado nos ensaios realizados em Wageningen. O efluente escolhido para os ensaios realizados foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos de Bennekom, que recebe 3600 $m^3.d^{-1}$ e é tratado por meio do processo de lodos ativados (Figuras 4.15 e 4.16). A Estação de Tratamento tem capacidade para 22.000 pessoas e a última reforma que ela sofreu foi em 1989 para implementar a remoção biológica de fósforo.

A Estação de Tratamento foi projetada não apenas para remover compostos orgânicos, mas, também nitrogênio e fosfóro. Ela consiste de um tanque anaeróbio com volume total de 850 m^3 e tanque aeróbio/anóxico com capacidade de 4850 m^3. O tanque aeróbio/anóxico é um compartimento retangular longo com cinco aeradores. O efluente somente depois que passa pelo aerador é considerado aeróbio e antes que se passe novamente pelo outro aerador é considerado anóxico.

Depois do tanque de mistura o lodo ativado é encaminhado para o tanque anaeróbio e em seguida para o tanque aeróbio/anóxico. Após o tanque aeróbio/anóxico parte do efluente vai para o decantador secundário e a maior parte vai para a entrada do tanque aeróbio/anóxico onde é misturado com o lodo ativado do tanque aeróbio. Pode-se assumir que “vazão recirculação do lodo” é 15 vezes maior que a vazão de efluente.

As características da Estação de Tratamento de Esgotos estão apresentadas na Tabela 4.6.

Figura 4.15: Estação de Tratamento de Esgotos de Bennekom

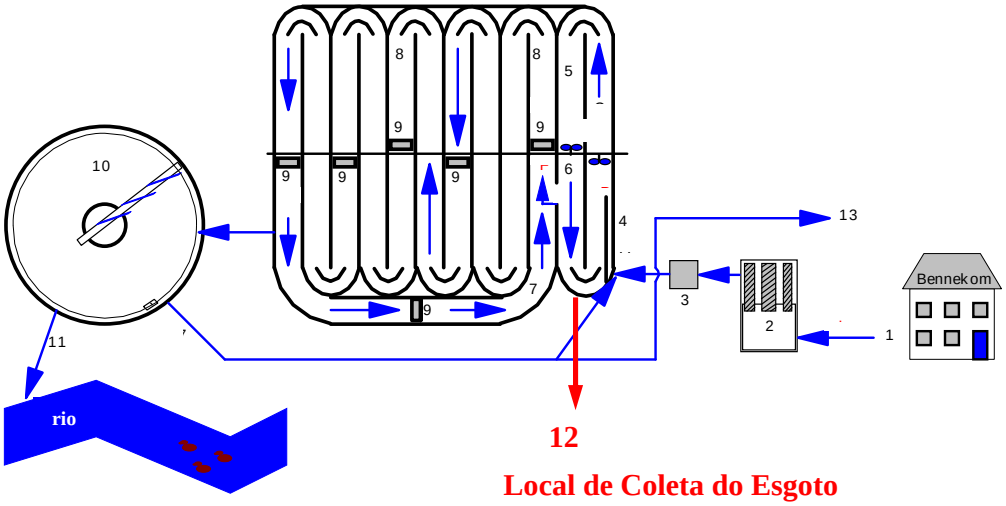


Figura 4.16: Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos de Bennekom

1. Afluente (esgoto doméstico)
2. Esteiras tipo parafuso
3. Grade Grosseira
4. Tanque de Mistura
5. Tanque Anaeróbio
6. Tanque Anaeróbio
7. Circuito de Aeração
8. Tanque Aeróbio/Anóxico
9. Aeradores
10. Decantador Secundário
11. Efluente
12. Coleta do Esgoto
13. Destino final do Lodo

Tabela 4.6: Características da Estação de Tratamento de Esgotos de Bennekom

		1984-1986	1987-1989	1990-1992
Com zona anóxica		não	não	sim
Dosagem de $AlCl_3$		não	sim	não
Vazão Diária	m^3	2,893	3,482	3,630
Características do Esgoto				
DQO	g/m^3	554	536	539
DBO_5	g/m^3		182	183
N_{kTK}	g/m^3	58.5	48.6	52.3
P_{total}	g/m^3	14	10.7	8.1
DQO/P		40	50	67
Qualidade do Efluente				
DQO	g/m^3	40	32	32
DBO_5	g/m^3	4	3	3
N_{NTK}	g/m^3	7.3	6.4	4.4
NO_3-N	g/m^3	3.2	4.6	5.1
P_{total}	g/m^3	9.0	4.3	1.0
Sólidos em Suspensão Totais	g/m^3		8	5
Eficiência	%			
DQO	%	93	94	94
DBO_5	%		98	98
N_{NTK}	%	88	87	92
P_{total}		36	60	88
Lodos Ativados				
Índice Volumétrico de Lodo	$mL.g^{-1}$	175	117	120
Lodo Descartado				
Orgânico	$g.kg^{-1}$	748	713	737
N	$g.kg^{-1}$	65	62	66
P_2O_5	$g.kg^{-1}$	53	62	64
K_2O	$g.kg^{-1}$	10.2	8.4	15.7
ZnO	$g.kg^{-1}$	31	32	37
MgO	$g.kg^{-1}$	8.4	8.2	9.9

4.2.2 - Ensaios de Desinfecção e Oxidação

Os ensaios de desinfecção e oxidação foram realizados com amostras coletadas da Estação de Tratamento de Esgotos da cidade de Bennekom (Holanda).

Semanalmente eram coletados 40 litros de efluente para realização dos ensaios. O local de coleta do efluente estava localizado entre o tanque de mistura e o tanque anaeróbio, indicado na Figura 4.15. As amostras eram homogeneizadas e filtradas (devido à presença de sólidos), utilizando filtro da marca Schleicher &

Schuell (385 mm de diâmetro, nível 2V, 1202-385, 8 μm). Após o processo de filtração o efluente poderia ser utilizado nos ensaios.

4.2.2.1 - Desinfecção com Ozônio

Os ensaios foram realizados em uma unidade experimental de ozonização em escala de laboratório, basicamente composto por cilindro de oxigênio, gerador de ozônio, coluna de ozonização, frascos lavadores de gás para a captura do ozônio que não reagiu no processo de ozonização, computador e espectrofotômetro (Figura 4.17).

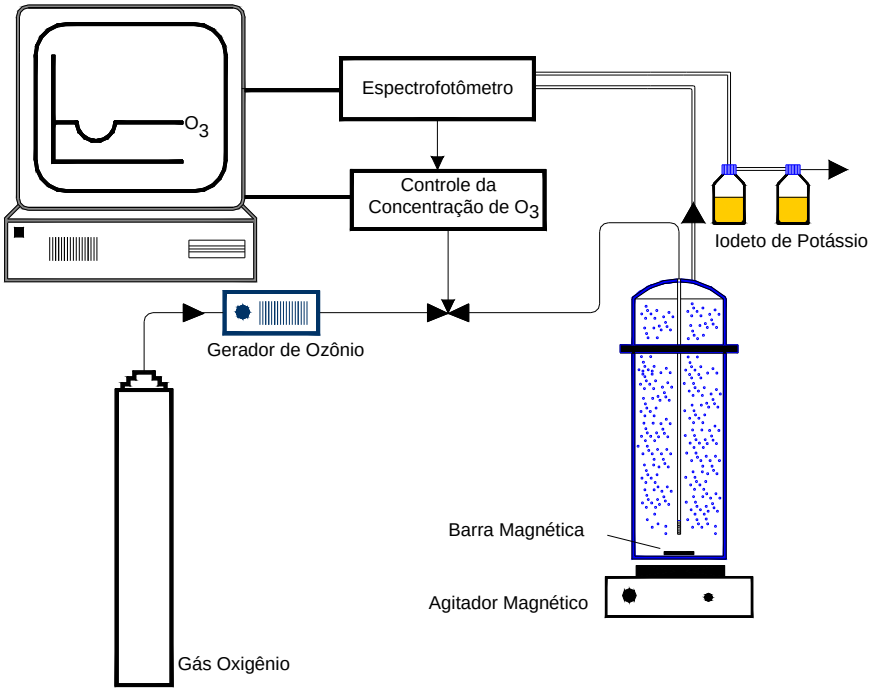


Figura 4.17: Esquema da unidade experimental

Foram realizados alguns testes preliminares com uma coluna de ozonização com as seguintes dimensões: 18 cm de altura e 10 cm de diâmetro, com volume

aproximado de 1,45 litros (Figura 4.18) que foi preenchida com água residuária domiciliar. O frasco lavador de gás foi preenchido com 600 mililitros de solução de iodeto de potássio a 2% para destruição do ozônio que não reagisse. Contudo, estes testes não apresentaram resultados satisfatórios e a coluna foi substituída por uma coluna com as seguintes dimensões: 37 cm de altura e 10 cm de diâmetro, com volume aproximado de 2,90 litros de volume (Figura 4.19). As colunas de ozonização eram confeccionadas de quartzo e não continham nenhuma parte em metal.

Figura 4.18: Coluna de ozonização de 1,45 litros

Figura 4.19: Coluna de ozonização de 2,90 litros

Os procedimentos para os ensaios de desinfecção foram da seguinte forma: Primeiramente era ligado o espectrofotômetro, em seguida o computador, sendo assim, podiam ser abertos os programas e métodos já desenvolvidos para a leitura do ozônio que era aplicado e o ozônio que não reagia na coluna. Em seguida era aberto o cilindro de oxigênio e regulado a vazão de oxigênio. Então o efluente era transferido para o interior da coluna. Depois de se transferir o efluente, era ligado o gerador de ozônio. O gás ozônio era aplicado na base da coluna, que possuía um elemento difusor e um agitador magnético para melhorar sua distribuição e

dissolução no líquido. O gás ozônio que não reagisse na coluna de reação ou ozonização era destruído em solução de iodeto de potássio em um frasco lavador. Concluído o tempo de contato, o efluente era coletado em um frasco com volume igual a 300 mililitros para posteriores caracterizações analíticas e o restante era descartado. Imediatamente após cada tempo de contato, era retirada uma alíquota para medição de ozônio residual dissolvido, cloro residual e residual de peróxido de hidrogênio.

Posteriormente a coluna era lavada, duas vezes com água e, então, preenchida novamente com o efluente para o posterior ensaio.

O gerador de ozônio utilizado foi o da marca Sorbios (GSG 001) alimentado com oxigênio puro da marca Hoekloos-NL.

As dosagens efetivas de ozônio foram calculadas pela Equação (12):

Dosagem efetiva de ozônio (mg $O_3.L^{-1}$)= Dose aplicada – (O_3 residual + *off-gas*) (12)

4.2.2.2 - Desinfecção Ozônio/Cloro

Os ensaios de desinfecção seqüenciais: ozônio/cloro foram realizados em batelada, de maneira análoga aos ensaios com os dois desinfetantes individuais. O ozônio foi o desinfetante primário usado. Os ensaios individuais foram realizados para as dosagens aplicadas médias de 5,81 e 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ (tempo de contato iguais a 10 e 20 minutos respectivamente); as doses de cloro foram de 5,0 e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ (tempo de contato iguais a 15 e 30 minutos respectivamente).

Foi empregado hipoclorito de sódio (NaOCl), que foi diluído em água destilada estéril para obtenção de solução de 1000 $mg.L^{-1}$. A água utilizada não exerceu demanda de cloro, o que foi verificado pelo método utilizado para a medição de cloro residual, método baseado no DPD colorimétrico.

Os ensaios foram realizados em um erlenmeyer de vidro de borosilicato de volume igual a 3,0 L, dispostos sobre um agitador magnético. Eram adicionados 3,0 L do efluente já ozonizado no erlenmeyer e adicionavam-se volumes da solução de hipoclorito de sódio (1000 $mg.L^{-1}$) de forma a se obter as dosagens 5,0 e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ aplicado. Imediatamente após cada tempo de contato, uma alíquota da amostra era retirada para medição do cloro residual e ao restante da amostra do erlenmeyer contendo cloro era adicionado tiossulfato de sódio (3%) na proporção de 0,1 mL para cada 100 mL de amostra (APHA, 1998), a fim de neutralizar o cloro residual excedente.

Para cada ensaio, eram retiradas amostras para as análises físico-químicas e exame microbiológico, sendo as amostras coletadas em frascos plásticos, que a cada ensaio de desinfecção eram lavados abundantemente com água de torneira e a seguir com água destilada.

4.2.2.3 - Desinfecção Ozônio/Peróxido de Hidrogênio

Os ensaios de desinfecção com ozônio/peróxido de hidrogênio foram realizados em batelada.

Os ensaios foram realizados da seguinte forma:

1° Ensaio: Dose média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato igual 10 minutos. Dose aplicada de 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$, aplicou-se um volume igual a 6 mililitros de solução de peróxido de hidrogênio divido em três partes iguais de 2 mililitros, primeira aos 2 minutos e trinta segundos, a segunda aos 5 minutos e a terceira aos sete minutos e trinta segundos.

2° Ensaio: Dose aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato igual 20 minutos. Dose aplicada de 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$, aplicou-se um volume igual a 24 mililitros de solução de peróxido de hidrogênio divido em três partes iguais de 8 mililitros, primeira aos 5 minutos e trinta segundos, a segunda aos 10 minutos e a terceira aos 15 minutos e trinta segundos.

3° Ensaio: Dose aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato igual 10 minutos. Dose aplicada de 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$, aplicou-se um volume igual a 24 mililitros de solução de peróxido de hidrogênio divido em três partes iguais de 8 mililitros, primeira aos 2 minutos e trinta segundos, a segunda aos 5 minutos e a terceira aos sete minutos e trinta segundos.

As soluções de peróxido de hidrogênio foram aplicadas na parte inferior da coluna por meio de uma seringa introduzida em um septo de silicone.

Imediatamente após cada tempo de contato, uma alíquota da amostra era retirada para medição do peróxido de hidrogênio residual e ao restante da amostra levado para as análises físico-químicas e exame microbiológico.

Na Tabela 4.7, 4.8 e 4.9 está apresentado o cronograma de ensaios realizados utilizando ozônio, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio.

Tabela 4.7: Cronograma de ensaios realizados utilizando ozônio

OZÔNIO				
Datas	**Dosagem média aplicada ($mg.L^{-1}$)**	**Tempo de Contato (min)**	**Vol. da Coluna (L)**	**N° de ensaios**
22/11/2005	8,64	20	2,90	5
	2,71	10	2,90	5
30/11/2005	7,89	20	2,90	5
	2,78	10	2,90	5
06/12/2005	7,04	20	2,90	5
	2,49	10	2,90	5

Tabela 4.8: Cronograma de ensaios realizados utilizando ozônio/cloro

OZÔNIO / CLORO					
Datas	**Dose de Ozônio ($mg.L^{-1}$)**	**Dose de Cloro ($mg.L^{-1}$)**	**Tempo de Contato (min)**	**Volume da Coluna (L)**	**N° de ensaios**
13/12/2005	10,0	9,34	20 ⇒ O_3 30 ⇒ Cl_2	2,90	5
	5,0	5,81	10 ⇒ O_3 15 ⇒ Cl_2		
17/01/2006	10,0	9,34	20 ⇒ O_3 30 ⇒ Cl_2		
	5,0	5,81	10 ⇒ O_3 15 ⇒ Cl_2		

Tabela 4.9: Cronograma de ensaios realizados utilizando ozônio/peróxido de hidrogênio

OZÔNIO / PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO					
Datas	**Dose de Ozônio ($mg.L^{-1}$)**	**Dose de peróxido de hidrogênio ($mg.L^{-1}$)**	**Tempo de Contato (min)**	**Volume da Coluna (L)**	**N° de ensaios**
23/01/2006	9,27	2	20	2,90	5
	2,58	2	10		5
30/01/2006	6,65	8	20		6
20/02/2006	2,59	8	20		5
	7,49	2	10		5

4.2.3 Análises e Exames

Na Tabela 4.10 estão apresentados os exames e as análises que foram realizados com amostras do efluente coletados antes e após a desinfecção ozônio, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio, bem como os procedimentos de análise com metodologia descrita por APHA (1998).

Tabela 4.10: Métodos dos exames e análises realizados durante os ensaios de desinfecção utilizando ozônio, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio

Parâmetros	Descrição do método
Ácidos voláteis ($mg.L^{-1}$)	Cromatografia Gasosa e detector FID (ionização de chamas) Weijma et al (2000)
Ácido fórmico ($mg.L^{-1}$)	Cromatografia de Íons
Ácido oxálico ($mg.L^{-1}$)	Cromatografia de Íons
(*) Alcalinidade ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)	Titulação potenciométrica com ácido sulfúrico - 2320
Carbono Total, Carbono Inorgânico Total e Carbono Orgânico Total ($mg.L^{-1}$)	Kit Dr. Lange n° LCK 380
Cloreto ($mg\ Cl^{-1}.L^{-1}$)	Cromatografia de Íons
Concentração de Cloro Residual	Kit Dr. Lange n° LCK 310
Escherichia coli.	Spiral Plater (Media Oxoid - CM 0956)
Concentração ozônio residual dissolvido ($mg.L^{-1}$)	Kit Dr. Lange n° LCK 310
Concentração ozônio residual gasoso ($mg.L^{-1}$)	Espectrofotométrico
Concentração de peróxido de hidrogênio	Espectrofotométrico Kit Nanocolor Peróxido 2 - Teste 8-71
(*) Demanda Química de Oxigênio (DQO) ($mg.L^{-1}$)	Hach (Refluxo Fechado) - 5220 D (Dr. Lange n° LCK 314)
Formaldeído, Acetaldeído, Metilglioxal, Glioxal ($\mu g.L^{-1}$)	Cromatografia Gasosa (GC/ECD), detector de captura de elétrons (ECD)
(*) Nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) ($mg\ N.L^{-1}$)	Auto-Analyser (leitura da absorbância fotometricamente)
(*) Nitrito ($N\text{-}\ NO_2^-$) ($mg\ N.L^{-1}$)	Auto-Analyser (leitura da absorbância fotometricamente)
(*) Sólidos em Suspensão Totais ($mg.L^{-1}$)	Gravimétrico – 2540 D
Sulfato ($mg.L^{-1}$)	Cromatografia de Íons (SIPMA et al, 2004)
Temperatura (ºC)	Leitura em termômetro de mercúrio
Tempo de contato (min)	Cronômetro

(*) Metodologias contidas em APHA (1998)

4.2.3.1 – Determinação de Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV)

A metodologia empregada para a determinação dos AOV foi cromatografia gasosa com detector do tipo FID. As amostras eram centrifugadas a uma rotação de 10000 rpm por 5 minutos. Depois de centrifugadas as amostras pipetadas (0,8mL de amostra e 0,8mL de ácido fórmico 3%), eram transferidas para frascos de vidro e fechadas com tampas de alumínios com um septo de silicone para depois serem encaminhadas ao cromatógrafo a gás. Cromatógrafo a Gás: HP 5890 serie II, Coluna: Alltech AT-Aquawax-DA (part n° 14539) 30 m x 0,32 mm, 0,25 μm, Gás de

arraste: Nitrogênio, Temperatura do injetor = 250 °C, Temperatura do forno = 80 a 210 °C (duração 4,80 minutos), Temperatura do detector = 300 °C.

Os ácidos identificados foram: ácido acético, ácido propiônico, ácido iso-butírico, ácido n-butírico, ácido b-valérico e ácido n-valérico. Por meio da Figura 4.20, pode-se observar um cromatograma típico dos padrões dos ácidos orgânicos voláteis identificados e por meio da Tabela 4.11 os tempos de retenção, área e concentração dos ácidos orgânicos voláteis identificados.

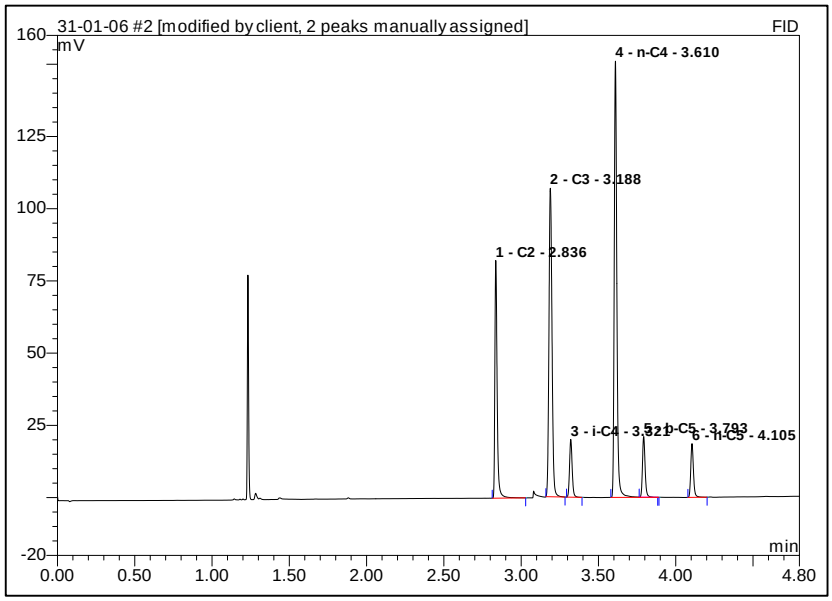


Figura 4.20: Cromatograma dos padrões dos ácidos orgânicos voláteis

Tabela 4.11: Tempo de retenção, área e concentração dos ácidos orgânicos voláteis identificados

No.	Tempo de Retenção		Nome do Pico	Peso	Área	Rel.Área	Concentração
	min			mV	mV*min	%	$mg.L^{-1}$
1	2,84	C2	ácido acético	82,275	1,414	17,69	266,657
2	3,19	C3	ácido propiônico	106,779	2,440	30,52	272,933
3	3,32	i-C4	ácido iso-butirico	19,995	0,394	4,93	30,305
4	3,61	n-C4	ácido n-butirico	151,003	2,960	37,02	263,443
5	3,79	b-C5	ácido b-valérico	20,983	0,412	5,16	29,208
6	4,11	n-C5	ácido n-valérico	18,609	0,374	4,68	29,168
Total:				399,644	7,993	100,00	891,713

4.2.3.2 – Determinação de Ácido Fórmico

As amostras eram encaminhadas para uma coluna de troca de ânions (Dionex, IonPac AS17, 4*250mm P/N 055682), onde os ânions eram separados usando *gradiente hidróxido*. Depois eram detectados por meio de um detector de condutividade.

O eluente era feito on-line usando o EG40 Eluent Generator configurado com CARTUCHO-KOH (Dionex P/N 053921) e água deionizada como fase móvel. A concentração de eluente e vazão puderam ser controlados usando o software Peaknet/Chromeleon. Os padrões utilizados foram da marca Merck (P/N 19896).

Os padrões dos sete ânions analisados foram da Dionex (P/N 56933) 20 $mg.L^{-1}$ F^-; 30 $mg.L^{-1}$ Cl^-; 100 $mg.L^{-1}$ NO_2^-, NO_3^-, Br^-; 150 $mg.L^{-1}$ SO_4^{2-}, PO_4^{3-}.

As amostras eram centrifugadas a uma rotação de 10000 rpm por 5 minutos antes da injeção. Depois deste procedimento as amostras eram inseridas em frascos de vidro e fechadas com tampas de alumínios com um septo de silicone para depois serem encaminhadas ao cromatógrafo DIONEX.

4.2.3.3 – Determinação de Ácido Oxálico

Idem item 4.2.3.2

4.2.3.4 – Determinação de Alcalinidade Total

O método foi baseado no Standard Methods for Water and Wastewater n° 2320 (APHA, 1998).

A conversão do $CO_3^{2-} \rightarrow HCO_3^-$ mostra o ponto de equivalência por volta do pH 8,3, a conversão do $HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3$ mostra o ponto de equivalência por volta do pH 4,1. Para um efluente com valor de pH abaixo de 8,3 a titulação com ácido é suficiente para a determinação da alcalinidade total. Por meio da equação 13 é possível calcular a alcalinidade em mg $CaCO_3.L^{-1}$.

$$Alcalinidade(mgCaCO_3L^{-1}) = \frac{AxBx50X1000}{C} \quad (13)$$

A = volume HCL titulado (mL)

B = normalidade do HCl

C = amostra (mL)

O fator 50 é o peso molecular do $CaCO_3$ (100) dividido por 2 (relação equivalente do HCL e $CaCO_3$)

A titulação foi realizada em um titulador automático da marca Schott (Titroline easy), Figura 4.21.

Figura 4.21: Titulador automático Schott

4.2.3.5 – Determinação de Carbono Total, Carbono Inorgânico Total e Carbono Orgânico Total

Para a determinação de carbono total (CT) e carbono inorgânico total (CIT) foi usado o kit Dr. Lange LCK 380. Os procedimentos para determinação dos mesmos estão descritos abaixo e também está representado pela Figura 4.22:

- Determinação do Carbono Total:
  - ✓ Transferir a porção pré-determinada do reagente A para a cubeta de CT;
  - ✓ Pipetar 2 mL da amostra na cubeta de CT;
  - ✓ Fechar a cubeta com a tampa original e agitar algumas vezes;
  - ✓ Colocar a tampa que contém a membrana na outra cubeta contendo o indicador;
  - ✓ Rosquear a cubeta indicadora em cima da cubeta de CT;
  - ✓ Aquecer a 100 °C por 120 min com a cubeta de CT virada para baixo;
  - ✓ Deixar esfriar em temperatura ambiente;
  - ✓ Inverter e limpar externamente a cubeta para que se faça a leitura na cubeta indicadora no Espectrofotômetro Xion 500 (Dr. Lange).

- Determinação do Carbono Inorgânico Total:
  - ✓ Pipetar 2 mL da amostra na cubeta de CIT;
  - ✓ Fechar a cubeta com a tampa original e agitar algumas vezes;

- ✓ Colocar a tampa que contém a membrana na outra cubeta contendo o indicador;
- ✓ Rosquear a cubeta indicadora em cima da cubeta de CIT;
- ✓ Aquecer a 100 °C por 120 min com a cubeta de CIT virada para baixo;
- ✓ Deixar esfriar em temperatura ambiente;
- ✓ Inverter e limpar externamente a cubeta para que se faça a leitura na cubeta indicadora no Espectrofotômetro Xion 500 (Dr. Lange).

COT (carbono orgânico total) é determinado pela diferença entre o CT e concentrações de CIT.

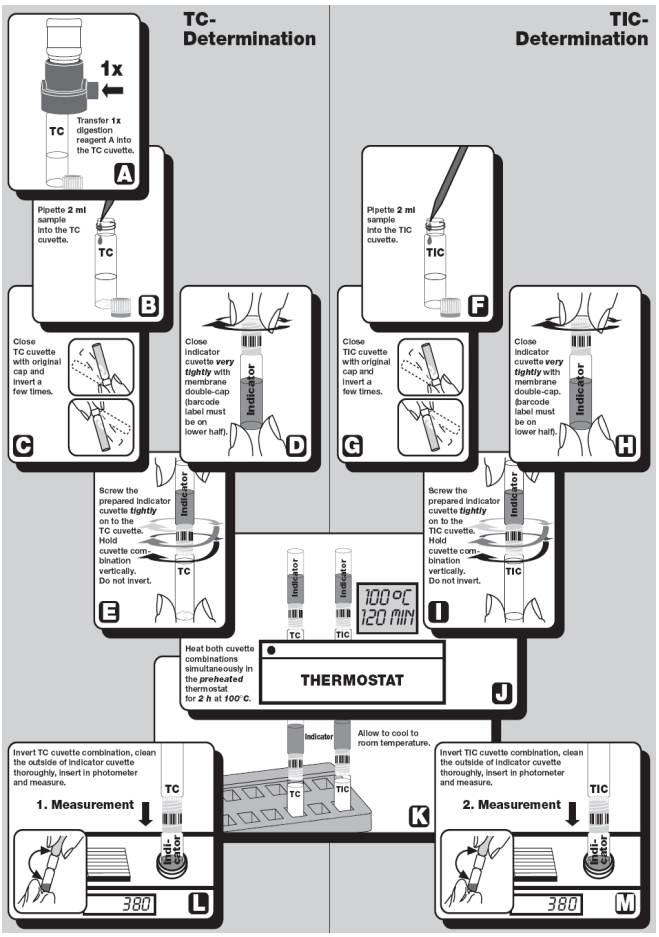


Figura 4.22: Procedimento de análise para o CT e CIT

4.2.3.6 – Determinação de Cloreto

Idem item 4.2.3.2

Por meio da Figura 4.23 pode ser observado o cromatograma para identificação de flúor, cloreto, nitrito, brometo, nitrato, sulfato e fosfato.

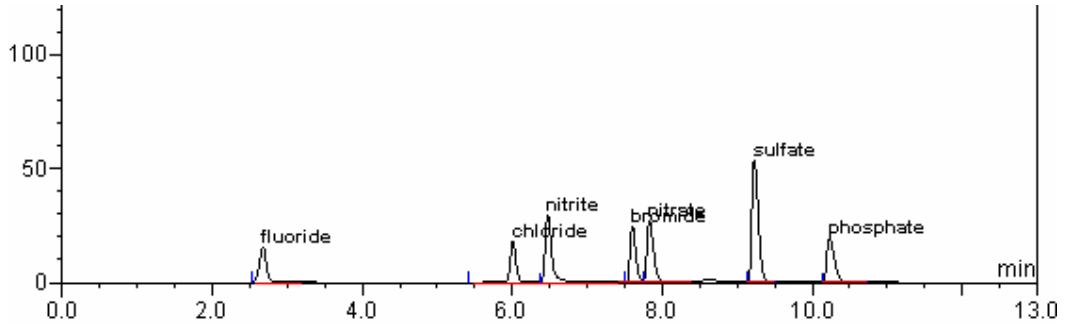


Figura 4.23: Cromatograma dos padrões de flúor, cloreto, nitrito, brometo, nitrato, sulfato e fosfato

4.2.3.7 – Determinação de Cloro Residual

A análise da concentração de cloro residual esta baseada no método DPD, utilizando kit Dr. Lange LCK 310. Preencheu-se a cubeta com a amostra até um centímetro abaixo da tampa e agitou-se para cima e para baixo sem movimentos bruscos. Depois de 2 minutos limpou-se externamente a cubeta e fez-se a leitura do cloro residual em um espectrofotômetro Xion 500 [Dr. Lange (Figura 4.24)]. A análise foi realizada imediatamente depois de terminado o tempo de contato do cloro com a amostra.

Figura 4.24: Espectrofotômetro Xion 500 (Dr. Lange)

4.2.3.8 – Determinação de *Escherichia coli.*

O meio de cultura usado para crescimento e manutenção da cepa de *E. coli* ATCC 11229 foi o Chromogenic *E. coli* / Coliform Médium – Oxoid CM 0956.

Chromogenic *E. coli* / Coliform (meio de cultura) é um agar diferente usado para a identificação presuntiva de *E. coli* e coliformes em alimentos e amostras ambientais. A composição do meio de cultura Oxoid CM 0956 está apresentada na Tabela 4.12.

Dissolveram-se 55,8 g do meio de cultura em um litro de água destilada aquecendo-se até dissolução completa dos componentes, sem, entretanto, deixar atingir temperatura de ebulição. O mesmo era esterilizado em autoclave a 121°C e 103,3 kPa por 15 minutos. Deixou-se esfriar a 50°C em banho-maria por aproximadamente 30 minutos.

Tabela 4.12: Composição do meio de cultura Oxoid CM 0956

Componentes	$g.L^{-1}$
Peptona	5,0
Lactose	2,50
Extrato de fermento	3,0
Cloreto de sódio	5,0
Neutral Red	0,03
Na_2HPO_4	3,5
KH_2PO_4	1,5
Agar	15,0
Mix Cromogênico	20,3

Técnica: Depois que o meio de cultura permaneceu por aproximadamente 30 minutos no banho-maria, preparava-se a capela de microbiologia que era pré-esterilizada para que o meio de cultura pudesse ser espalhado nas placas de Petri e mantidos em temperatura ambiente por aproximadamente 24 horas. Permanecido este tempo, então as placas Petri podiam ser usadas. As amostras eram diluídas e suas respectivas alíquotas distribuídas nas placas por meio de uma máquina (Figura 4.25 e 4.26), chamada Spiral Plater –Eddy Jet da marca IUL Instruments.

Figuras 4.25 e 4.26: Spiral Plater-Eddy Jet

As amostras diluídas eram colocadas em pequenos frascos esterilizados e descartáveis com um volume de 5 mL e então uma seringa coletava a amostra e distribuía um volume de 50 μL em forma espiral na placa Petri.

Por meio da Figura 4.27, podem-se observar as placas Petri com o meio de cultura, inoculadas com as amostras diluídas e deixadas por 24 horas a 37°C.

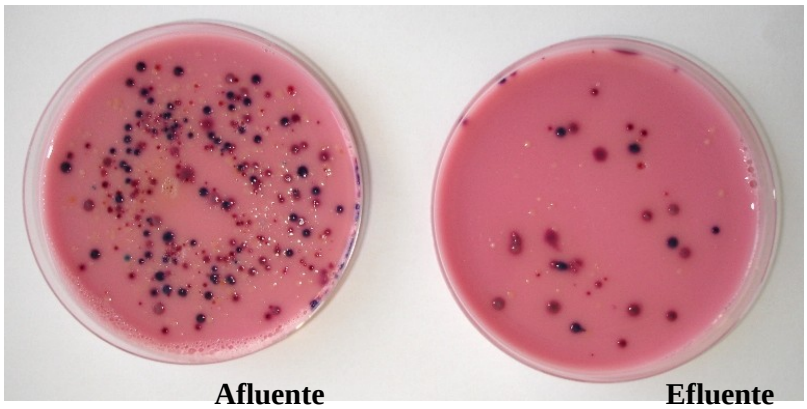


Figura 4.27: Colônias de *E. coli* em placa Petri para amostra ozonizada e não ozonizada

4.2.3.9 – Determinação da concentração de ozônio residual gasoso

A análise do ozônio residual dissolvido foi determinada on-line por meio de um espectrofotômetro UV-VIS da Marca Varian modelo Cary 1 Bio que estava diretamente ligado a coluna de ozonização. Da mesma forma era medido o ozônio que entrava na coluna de ozonização.

4.2.3.10 – Determinação da concentração de ozônio residual dissolvido

A análise do ozônio residual dissolvido foi realizada utilizando kit Dr. Lange LCK 310. Primeiramente eram adicionadas 3 gotas de iodeto de potássio à cubeta. Depois de adicionado o iodeto de potássio, preenchia-se a cubeta com a amostra até um centímetro abaixo da tampa e virava-se para cima e para baixo sem agitar bruscamente. Depois de 2 minutos limpava-se externamente a cubeta e fazia-se a leitura do ozônio residual dissolvido em um espectrofotômetro Xion 500 (Dr. Lange).

A análise era realizada imediatamente após o término do tempo de contato do cloro com a amostra.

4.2.3.11 – Determinação da concentração de peróxido de hidrogênio

O método é baseado na determinação fotométrica de peróxidos mediantes a oxidação catalítica de um indicador por meio de peroxidase. Foi utilizado o Kit Nanocolor Peróxido 2 Test 8-71.

O procedimento de análise consistia em abrir o tubo de teste, adicionar 4,0 mL de amostra, 0,2 mL da solução R2, fechar e misturar. Abrir novamente o tubo e colocar um Nonofix R3 e fechar. Após estes procedimentos coloca-se o líquido em um cubeta descartável e fazia-se a leitura em um espectrofotômetro de UV/VIS da marca Perkin Elmer (Lambda 12). Como a cubeta de análise não era da mesma marca do kit era necessário um fator de correção no valor de 1,60 devido a diferença do volume das cubetas.

4.2.3.12 – Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Princípio: As substâncias oxidáveis reagem com ácido sulfúrico – solução de dicromato de potássio na presença de sulfato de prata como catalisador. O cloreto, que pode interferir, está mascarado por sulfato de mercúrio. A coloração verde de Cr^{3+} foi avaliada por meio do espectrofotômetro Dr. Lange Xion 500 (λ=605nm).

Procedimento: Utilizou-se o teste Dr. Lange LCK 314 (15-150 $mg.L^{-1}$).

Pipetava-se 2,0 mL de amostra para cubeta, fechava-se e agita-se bem a cubeta que era aquecida a uma temperatura de 148°C por um período de 2 horas. Terminado o período de 2 horas retirava-se a cubeta deixando-a esfriar em temperatura ambiente. Depois de atingida a temperatura ambiente era realizada a leitura no espectrofotômetro Xion 500 (Dr. Lange).

4.2.3.13 – Determinação de Aldeídos

Idem item 4.1.6.1

4.2.3.14 – Determinação de Fósforo Total, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio Amoniacal

O equipamento usado é um Skalar Auto-analyzer (Sistema Sanplus da Skalar B.V Analítico Breda, Holanda). Este instrumento executa uma Análise de Injeção de Fluxo (FIA). É um método automatizado para adicionar substância química, misturar, aquecer, filtrar e ler as amostras em tubos.

Princípio:

A determinação da amônia esta baseada no método 4500-NH_3 F e G, nitrito e nitrato esta baseada no método 4500-NO_3^- E e F, fósforo baseado no método 4500-P E e F, todos descritos em APHA (1998).

Foram utilizados 10 mL de amostra previamente filtradas que eram colocadas em tubos plásticos para serem analisadas pelo Skalar Auto-analyzer.

4.2.3.15 – Determinação de Sulfato

Idem item 4.2.3.2

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo a facilitar a compreensão, os resultados obtidos estão apresentados sob a forma de gráficos e tabelas, para cada uma das variáveis estudadas, para as dosagens e tempos de contato utilizados nos ensaios aplicando ozônio, cloro e ozônio/cloro.

Nos gráficos, a variável estudada está no eixo das ordenadas, com suas respectivas unidades e os ensaios realizados no eixo das abscissas. A compreensão dos resultados obtidos por meio de gráficos pode, em certos momentos, tornar-se difícil. Desta forma, para cada uma das variáveis, foram construídas tabelas contendo a concentração média e os desvios padrão para cada ensaio, as quais estão apresentadas nos anexos. Essas tabelas fornecem importantes informações sobre o comportamento de cada variável, frente a um determinado ensaio. Os gráficos são apresentados neste capítulo, de forma seqüencial, contendo a descrição das variáveis relacionadas.

5.1 Resultados e Discussão dos dados obtidos no Brasil

5.1.1 Condições experimentais dos ensaios de ozonização

Os ensaios números 1, 2 e 3 representam os ensaios realizados para as dosagens de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, respectivamente.

5.1.1.1 Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e concentração no *off-gas*

Por meio da Tabela A.1 (Anexo) e Figuras 5.1 a 5.3 podem ser observadas as concentrações de ozônio consumido, de ozônio residual dissolvido e de ozônio no *off-gas* para os ensaios em que se aplicou 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos.

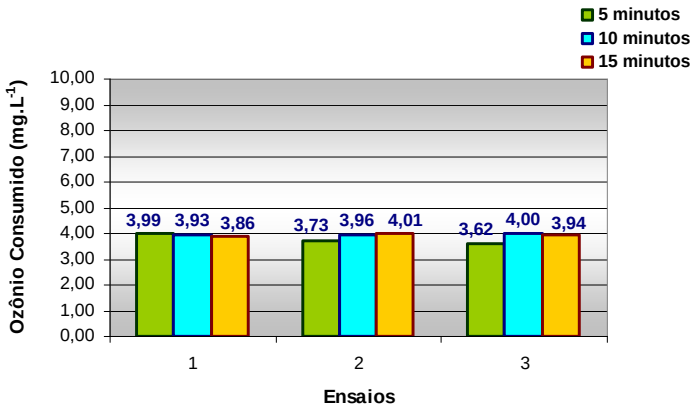


Figura 5.1: Concentração de ozônio consumido para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

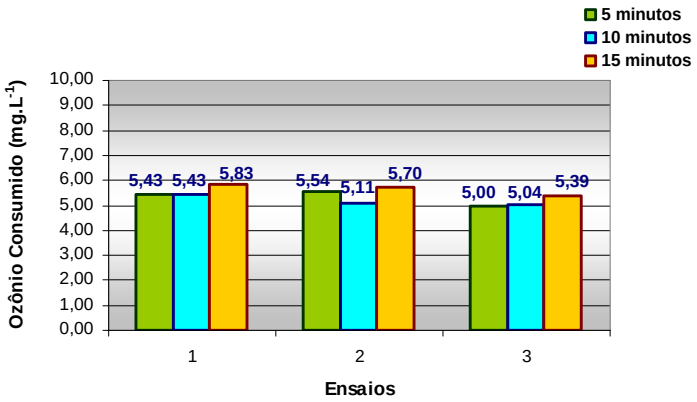


Figura 5.2: Concentração de ozônio consumido para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

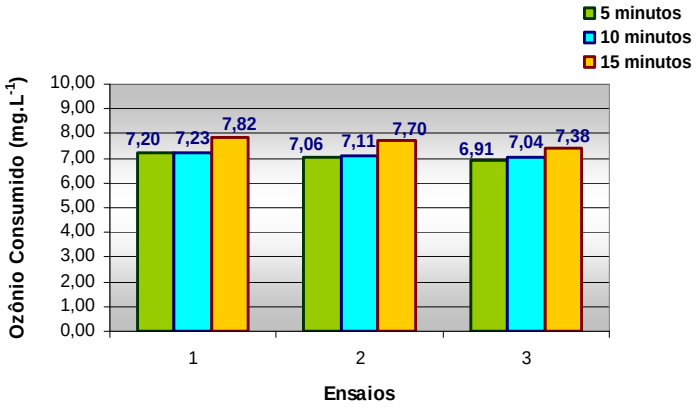


Figura 5.3: Concentração de ozônio consumido para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Pode-se verificar que a concentração de ozônio residual dissolvido, determinada para as dosagens e tempos de contato estudados, foi baixa e indicou variação mínima. Contudo, a fração de gás ozônio excedente (*off-gas*) capturado na saída superior da câmara de ozonização, apresentou uma diferença quantitativa, possivelmente relacionada à vazão de gás adotada e ao difusor de gás. A concentração média da parcela consumida de ozônio para os ensaios que se aplicou a dosagem de 5,0 mg.$O_3.L^{-1}$ foi de 3,89 mg.L^{-1}, portanto a transferência média foi de 77,8%. Para a dosagem aplicada de 8,0 mg.$O_3.L^{-1}$ a parcela média consumida foi de 5,35 mg.L^{-1}, com transferência média de 66,9%. Para os ensaios aplicando dosagem

de 10,0 mg.O_3.L^{-1} a parcela média consumida foi de 7,27 mg.L^{-1}, portanto transferência média de 72,7%.

Assirati (2005) aplicou ozônio em efluente de lagoa anaeróbia e filtro de areia, com dosagens aplicadas que variaram de 3,0 até 33,0 mg O_3 L^{-1}, em um reator tubular construído em PVC, de dimensões de 2,80 m de comprimento útil, diâmetro interno de 100 mm e volume aproximado de 24 L, foram alcançadas eficiências de transferência de ozônio à fase líquida bastante elevadas, em geral, acima de 97,0%, valores um pouco superiores aos encontrados no presente estudo. De acordo com Wojtenko (2001), em geral, em sistemas de ozonização bem projetados consegue-se a transferência de 90,0 a 95,0% do ozônio aplicado.

Xu et al. (2002) aplicaram ozônio em efluentes secundários e terciários nos Estados Unidos e na Europa e, utilizaram reatores tubulares com difusores porosos, com 0,15m e 0,30 m de diâmetro e 2,60 e 3,60 m de altura, sistema semelhante ao construído neste trabalho. Os autores obtiveram eficiência de transferência apenas entre 30,0 e 55,0%, para doses aplicadas entre 1,0 a 50,0 mg L^{-1}. A maior eficiência de transferência de massa obtida na presente pesquisa pode ter sido devida tanto aos parâmetros operacionais empregados durante os experimentos quanto as eventuais diferenças na temperatura, dado que Xu et al. (2002) trabalharam com efluentes em países temperados. Apesar de temperaturas mais elevadas tornarem o ozônio menos solúvel e mais instável em água, esse efeito é amplamente compensado pelo aumento da reatividade do gás com o substrato orgânico, o que favorece a sua absorção (GONÇALVES, 2003; RENNECKER et al., 1998 e WICKRAMANAYAKE et al., 1984).

De acordo com USEPA (1999c), em maior temperatura ambiente, a produção de ozônio tende a diminuir devido à aceleração de sua decomposição. Os

experimentos ocorreram em uma faixa de temperatura entre 20 e 30 ºC. Sendo que nessa faixa não foi possível observar variação significativa da capacidade de produção de ozônio pelo equipamento, com a variação de temperatura.

Foram feitas análises estatísticas para se avaliar a significância da variação do ozônio consumido em função do tempo de contato e da concentração de ozônio aplicado nas amostras. Os resultados indicam que a variável tempo de contato não é significativa, enquanto que a concentração de ozônio aplicada é muito significativa (0,1%) o que pode ser constatado nas Figuras 5.1 a 5.3.

5.1.1.2 Alcalinidade Total e pH

Os valores de pH e alcalinidade total podem ser observados por meio da Tabela A.2 e os valores médios de pH e alcalinidade total dos ensaios de ozonização para dosagens aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos podem ser observados por meio das Figuras 5.4 a 5.9.

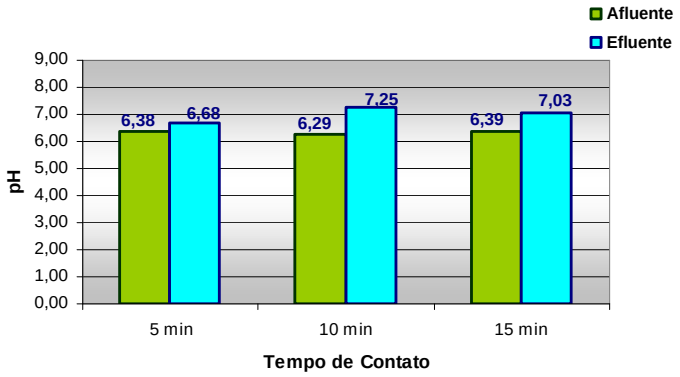


Figura 5.4: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

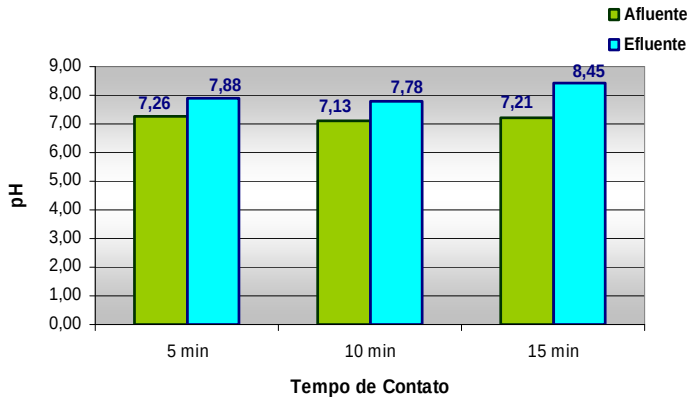


Figura 5.5: Valores médios pH para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

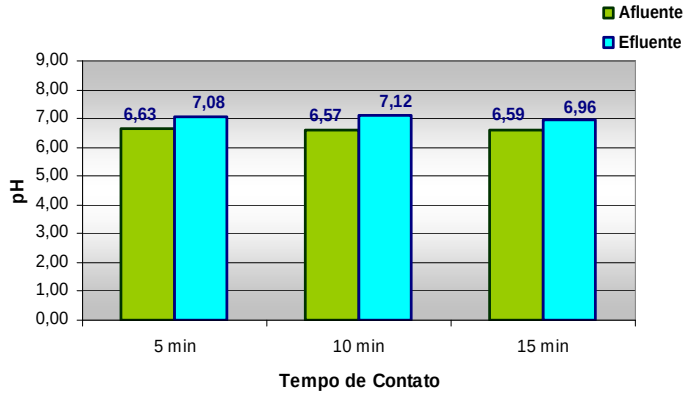


Figura 5.6: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

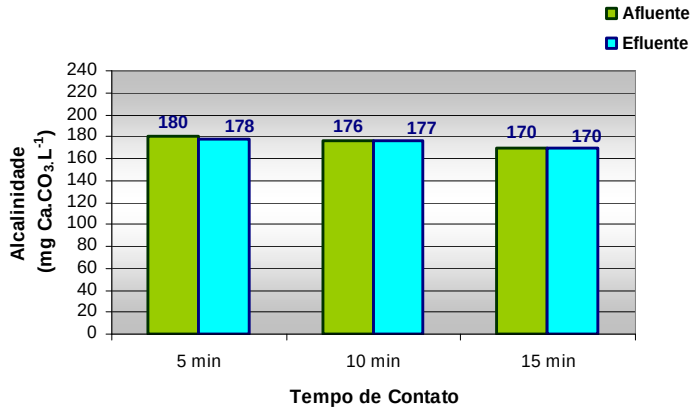


Figura 5.7: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

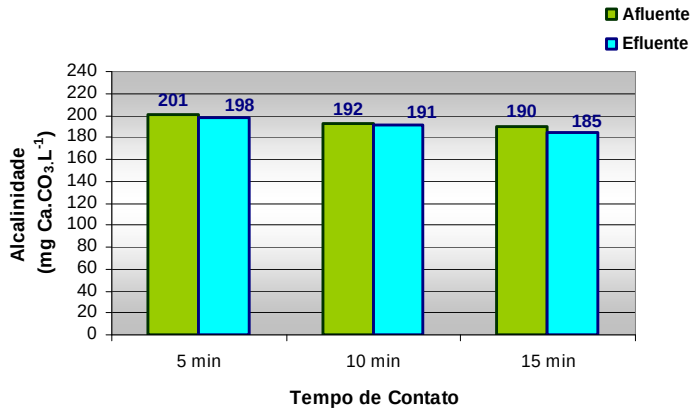


Figura 5.8: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos

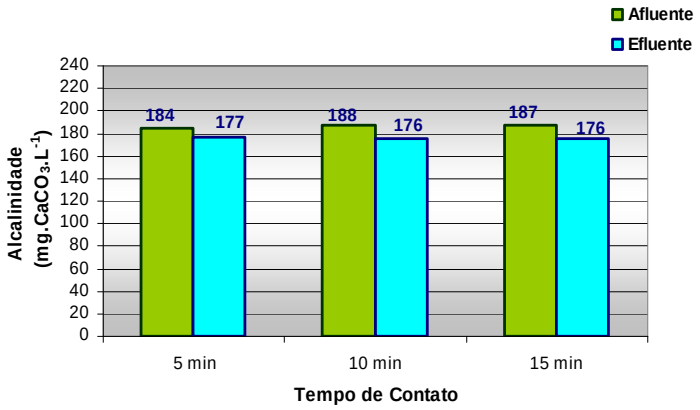


Figura 5.9: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos

Para os ensaios em que se aplicou dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ com tempo de contato de 5,10 e 15 minutos os valores de pH no afluente variaram de 6,11 a 6,64, e os valores de pH do efluente ozonizado variaram de 6,45 a 7,66. Os valores médios de alcalinidade total no afluente variaram entre 146 e 221 mg.$CaCO_3.L^{-1}$ e para efluente ozonizado 140 e 214 mg.$CaCO_3.L^{-1}$.

Nos ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ com tempo de contato de 5, 10 e 15 minutos os valores de pH no afluente estiveram entre 6,84 a 7,54 e no efluente ozonizado entre 7,23 a 9,05. A de alcalinidade total no afluente variou entre 169 e 231 mg.$CaCO_3.L^{-1}$ e no efluente ozonizado 166 e 234 mg.$CaCO_3.L^{-1}$.

Os valores de pH para os ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ variaram de 6,36 a 6,77 no afluente e 7,23 a 6,77 no efluente ozonizado. Os valores médios de alcalinidade total no afluente variaram entre 174 e 200 mg.$CaCO_3.L^{-1}$ e para efluente ozonizado 156 e 200 mg.$CaCO_3.L^{-1}$.

Os valores de pH estiveram entre 6,00 a 8,00, faixa esta que a ozonização é pouco afetada para efluentes domésticos, de acordo com a maioria dos dados disponíveis na literatura.

Os valores de pH tiveram um aumento nos efluentes ozonizados provavelmente por *stripping* de CO_2, ocasionando uma diminuição na concentração de H^+ (STUMM & MORGAN,1981). Foi feito apenas um experimento, em que foi colocado efluente do reator $UASB_{mod}$ na coluna de ozonização e borbulhado apenas oxigênio no efluente, seguindo as mesmas condições como se estivesse realizando um ensaio aplicando 10,0 mg $O_3.L^{-1}$. Esse ensaio foi realizado para avaliar se o borbulhamento de oxigênio provocaria aumento no valor do pH, *devido ao stripping* de CO_2. Para o tempo de contato igual a 5 minutos o valor do pH afluente foi de 6,88 e o efluente de 7,40, para o tempo de 10 minutos 6,93 para o afluente e 7,54 para o efluente e para o tempo de 15 minutos 6,82 para o afluente e 8,29 para o efluente.

Os valores médios de alcalinidade total podem ser observados por meio dos valores contidos na Tabela A.2 que pouco se alteraram, pois o *stripping* de CO_2 não altera a alcalinidade, embora a concentração total de carbonatos seja diminuída, com conseguinte aumento de pH. O *stripping* do CO_2 diminui a concentração de ácido carbônico, que é um ácido fraco e, consequentemente, sua dissociação em H^+ e íon bicarbonato.

Sabe-se que a alcalinidade sofre uma diminuição com a aplicação do ozônio e que esta diminuição na alcalinidade do efluente atua favorecendo as reações do

substrato com o ozônio molecular, o qual, segundo diversos autores, é responsável pela desinfecção. Esse comportamento foi constatado no presente estudo, contudo não se pode avaliar esta diminuição como significativa de acordo com as valores observados.

Elevados valores de alcalinidade são responsáveis por inibir a formação de radicais livres. Isto reduz a velocidade de decomposição do ozônio e favorece a reação molecular – mais seletiva que radicalar – isto é, efeito estabilizante do bicarbonato sobre o ozônio (LANGLAIS, 1991). Na presente pesquisa não foi possível avaliar isoladamente o efeito da alcalinidade no processo de desinfecção.

5.1.1.3 Demanda Química de Oxigênio

Os valores de DQO detectados para os ensaios de ozonização para dosagens aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.3 e os valores médios de DQO por meio das Figuras 5.10 a 5.12.

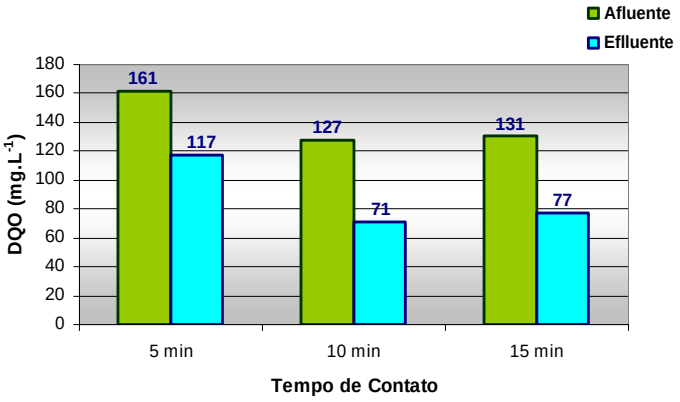


Figura 5.10: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

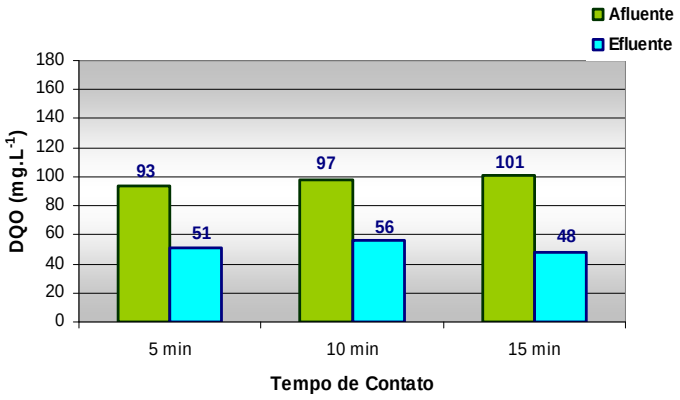


Figura 5.11: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

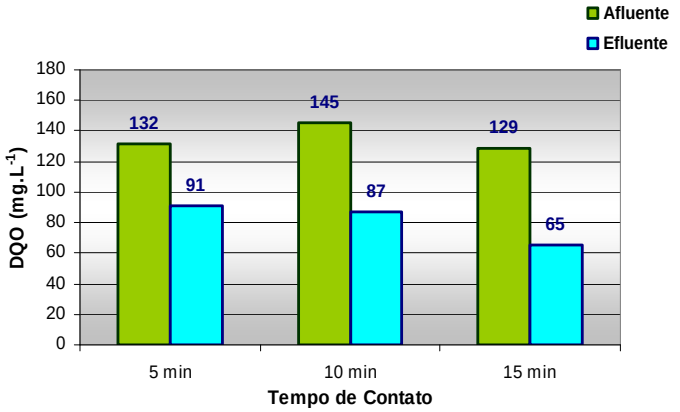


Figura 5.12: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Nos ensaios de desinfecção utilizando ozônio como desinfetante estudou-se o efeito da dosagem aplicada de 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos na oxidação da matéria orgânica para efluente doméstico tratado anaerobiamente.

Os gráficos de DQO removida expressos em percentagem podem ser observados nas Figuras 5.13 a 5.15.

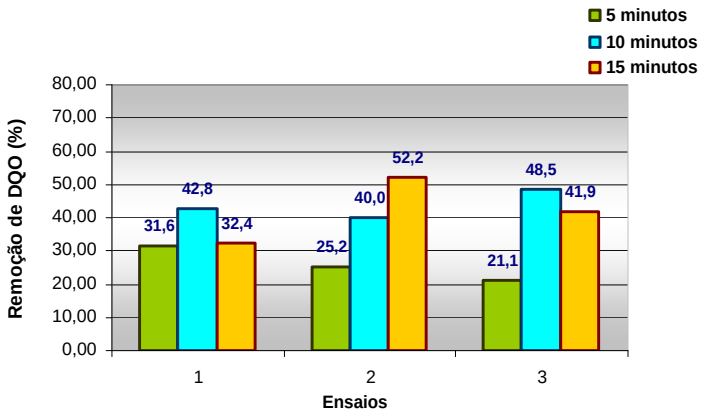


Figura 5.13: Remoção média de DQO para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

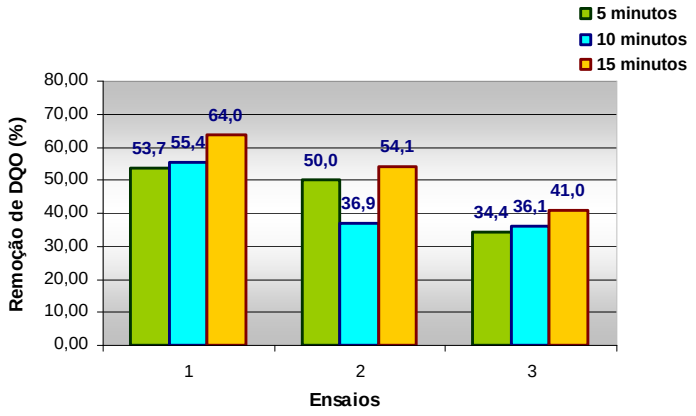


Figura 5.14: Remoção média de DQO para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

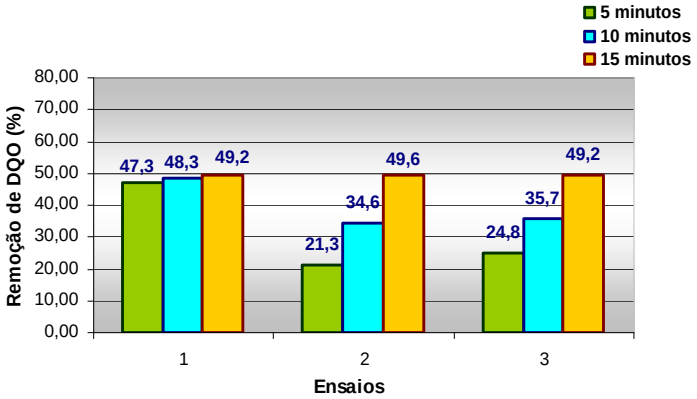


Figura 5.15: Remoção média de DQO para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Para os ensaios em que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ a DQO média afluente foi de 140 $mg.L^{-1}$ e no efluente ozonizado 88 $mg.L^{-1}$. As remoções médias de DQO foram 26,0; 43,8 e 42,2% para os tempos de 5, 10 e 15 minutos, respectivamente. Para o tempo de 5 minutos houve uma menor remoção média, diferença esta não observada para os tempos de 10 e 15 minutos. A remoção de DQO pode ter sido ocasionada pelo *stripping* de alguns gases orgânicos (por exemplo: metano) e não totalmente pela oxidação da matéria orgânica devido à ozonização. O mesmo ensaio realizado para avaliar se o borbulhamento de oxigênio provocaria aumento no valor do pH foi realizado para se avaliar se haveria *stripping* de alguns gases orgânicos, como conseqüência, remoção de DQO. Foram obtidas as seguintes remoções 31,8; 36,9 e 44,8%, para os tempos de 5, 10 e 15 minutos. Estes valores foram muito semelhantes aos encontrados na presente pesquisa para a dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos.

Wu et. al. (1999) aplicaram ozônio em efluente proveniente de limpeza de granja de suínos (estrume de suínos) e constataram a redução da concentração de diversos compostos químicos. Essa redução, além de estar associada à oxidação da matéria orgânica pelo ozônio aplicado, também estava relacionada ao *stripping* de compostos, ocasionado pelo transporte das bolhas (os autores utilizaram o nitrogênio, oxigênio e ozônio).

Quando foi aplicado 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ a DQO média afluente foi de 97 $mg.L^{-1}$ e no efluente ozonizado 52 $mg.L^{-1}$. As remoções médias de DQO foram 46,0; 42,8 e 53,1% para os tempos de 5, 10 e 15 minutos respectivamente, valores estes superiores aos ensaios aplicando 5,0 $mg.L^{-1}$ e tempos de contato de 5 e 15 minutos. Para os ensaios com tempo de contato de 10 minutos o valor médio de remoção foi semelhante.

Para os ensaios aplicando-se 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ a DQO média afluente foi de 135 $mg.L^{-1}$ e no efluente ozonizado 81 $mg.L^{-1}$. As remoções médias de DQO foram 31,1; 39,5 e 49,3% para os tempos de 5, 10 e 15 minutos respectivamente, valores estes semelhantes aos ensaios aplicando 5,0 e 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ para os tempos de contato de 10 e 15 minutos. Para os ensaios com tempo de contato de 5 minutos o valor médio de remoção foi um pouco menor do que quando se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$. Wang et al. (2008) estudaram a ozonização e biofiltração de efluente doméstico da cidade de Harbin-China. O efluente bruto era encaminhado para tratamento anaeróbio/aeróbio e filtração em filtro de areia. Os autores obtiveram remoção de 58,0% de DQO para a dosagem de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 5 minutos, valor muito superior ao encontrado na presente pesquisa. Vale salientar que o efluente usado pelos autores passou por um processo de filtração antes da ozonização para diminuição de sólidos, o que explica esta significativa diferença no valor de remoção.

De acordo com Soares (2007) quanto menor a vazão de ozônio, menores serão os diâmetros e, conseqüentemente, menores são as bolhas de ozônio. Com isso, as bolhas percorrem a distância entre a saída do difusor e o topo da coluna em maior tempo, assim tem-se maior contato entre as bolhas e o meio líquido, melhorando a transferência de ozônio para o meio líquido. Contudo, não foi possível avaliar isoladamente esta característica para a presente pesquisa, pois os resultados de remoção de DQO apresentaram resultados semelhantes quando foram empregadas vazões de gás menores. Observando os resultados de remoção de DQO não foi possível encontrar apenas um fator que governasse o processo de oxidação da matéria orgânica e sim, uma série de fatores tais como: a presença ou não de gases dissolvidos em concentração relevante e que pudessem ser

arrastados por *stripping*, a vazão de ozônio aplicada – como conseqüência o tamanho das bolhas – e, principalmente, a presença de alguns compostos com diferentes reatividades com o ozônio.

Foi realizada a análise estatística dos dados obtidos para se verificar a significância das variáveis “tempo de contato” e “concentração de ozônio” aplicado para remoção de DQO. Foi verificado que para essa faixa, a concentração de ozônio aplicada não influência significativamente na remoção da DQO, enquanto a variável tempo de contato é significativa.

Foi realizado também um teste estatístico no qual foi fixada a concentração aplicada de ozônio e assim, analisada a significância do tempo de contato. Os resultados mostraram que para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$, há uma significância de 5% para a variável. O teste apontou que para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$, o tempo de contato não foi uma variável significativa, visto que a remoção de DQO não tem um comportamento de aumento significativo com o aumento do tempo de contato. Para a dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ apresentou significância (3%), demonstrando que para essa dosagem aplicada, o tempo de contato tem grande influência na remoção de DQO.

Com base nos resultados e nas análises estatísticas, pode-se inferir que: a eficiência de remoção e os custos econômicos, para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ é a mais adequada para remoção de DQO, pois para um tempo de contato de 10 minutos ela apresenta uma porcentagem de remoção semelhante às das dosagens de 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, ou seja, se obtêm a mesma eficiência com menor emprego de oxidante.

5.1.1.4 Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Orgânico e Nitrogênio Amoniacal

A concentração de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal para os ensaios de ozonização, sendo dosagens aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ com tempos de contato 5, 10 e 15 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.4. As concentrações médias de nitrogênio total Kjeldahl podem ser observadas por meio das Figuras 5.16 a 5.18, as de nitrogênio amoniacal por meio das Figuras 5.19 a 5.21 e as de nitrogênio orgânico por meio das Figuras 5.22 a 5.24.

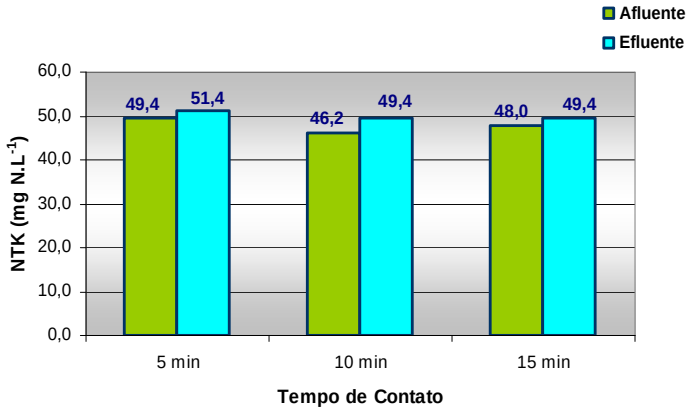


Figura 5.16: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

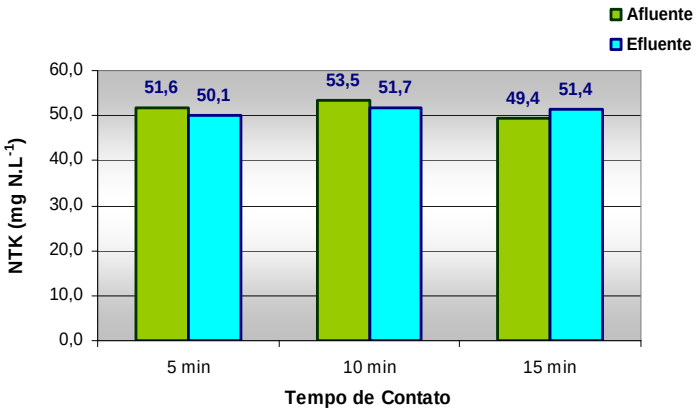


Figura 5.17: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

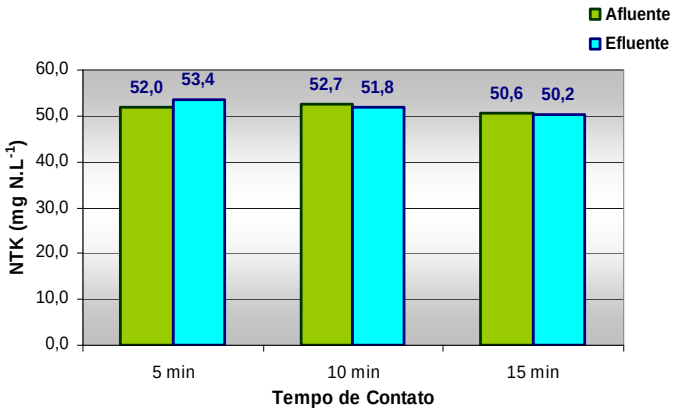


Figura 5.18: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Para os ensaios que se aplicaram 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos, as concentrações médias afluentes e efluentes ozonizados de NTK foram muito semelhantes: 47,90 $mg.N.L^{-1}$ para o afluente e 50,00 $mg.N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado quando foi aplicado 5,0 mg $O_3.L^{-1}$.

Para os ensaios quando se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média de NTK afluente foi 51,50 e 51,10 $mg.N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado.

Nos ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média de NTK para o afluente foi de 51,80 e 51,80 $mg.N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado.

Os resultados apresentados revelam pouca ou nenhuma influência do ozônio para NTK, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico. Alguns resultados com concentrações superiores para os efluentes ozonizados podem ser explicados devido ao método utilizado para determinação do mesmo. A última etapa do procedimento de análise era a titulação; como a análise da coloração a ser atingida era visual e, devido aos resultados apresentados estarem muito próximos, ocorreu essa diferença, que pode ser verificada por meio da Tabela A.5 e Figuras 5.16 a 5.21.

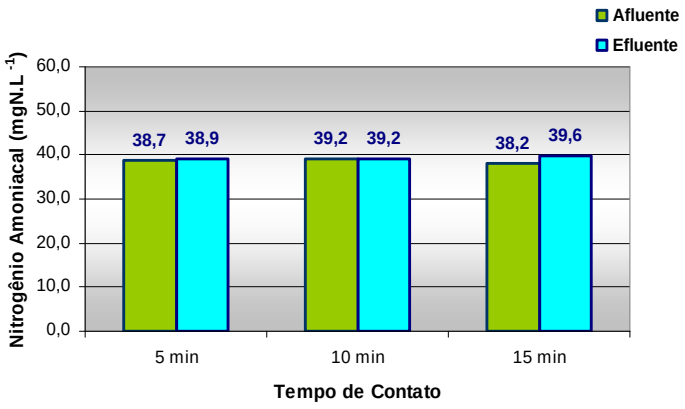


Figura 5.19: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

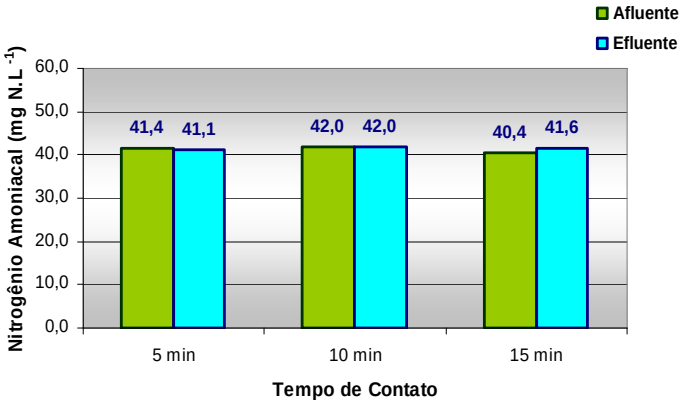


Figura 5.20: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

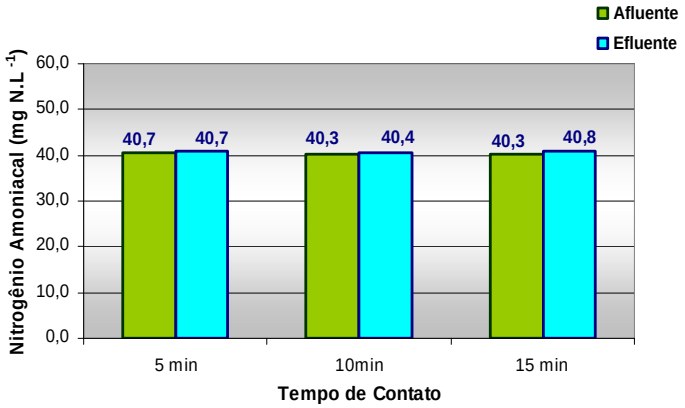


Figura 5.21: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Para nitrogênio amoniacal o mesmo comportamento observado para NTK foi detectado - concentrações médias afluentes e efluentes ozonizados semelhantes - isto porque, aparentemente, o nitrogênio amoniacal não é oxidado pelo ozônio em condições normalmente encontradas em esgotos domésticos. Entretanto, na razão de 12 mg O_3/ 1 mg NH_3, a amônia seria completamente oxidada a nitrato, com a manutenção de pH alcalino (SINGER e ZILLI, 1975). Ainda de acordo com o autor, a oxidação da amônia é de 10 a 20 vezes mais rápida em pH 9,0 do que em pH 7,0.

Nos ensaios que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente de nitrogênio amoniacal foi de 38,70 e 39,30 mg $N.L^{-1}$ para efluente ozonizado.

Para os ensaios que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente nitrogênio amoniacal de foi 41,30 e 41,60 mg $N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado. O mesmo ocorreu para os ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, ou seja, a concentração média de nitrogênio amoniacal afluente foi de 40,40 mg $N.L^{-1}$ e o efluente ozonizado foi de 40,60 mg$N.L^{-1}$.

Por meio dessas concentrações médias, podem-se observar valores muito próximos, não havendo oxidação da amônia já que os tempos de contato estudados, dosagens aplicadas e valores pH na faixa de 7,0 não são favoráveis para a oxidação da amônia.

Na pesquisa realizada por Wang et al. (2008) foi observada remoção de 90,0% de nitrogênio amoniacal, porém não foi citado o valor de pH do efluente utilizado na ozonização. De acordo com a literatura, provavelmente tenha trabalhado em valores de pH mais altos que o utilizado na presente pesquisa, fato que favoreceu a oxidação do nitrogênio amoniacal.

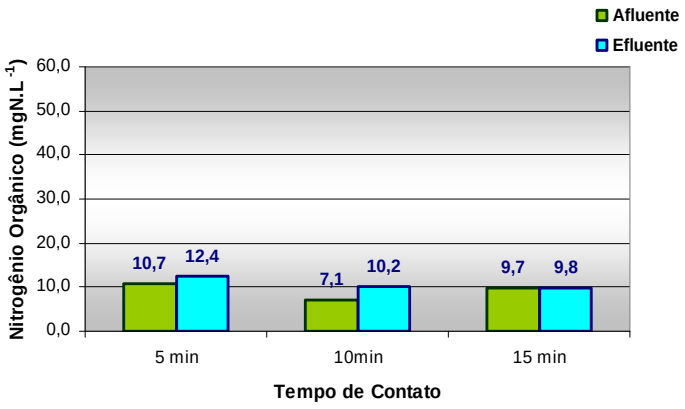


Figura 5.22: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

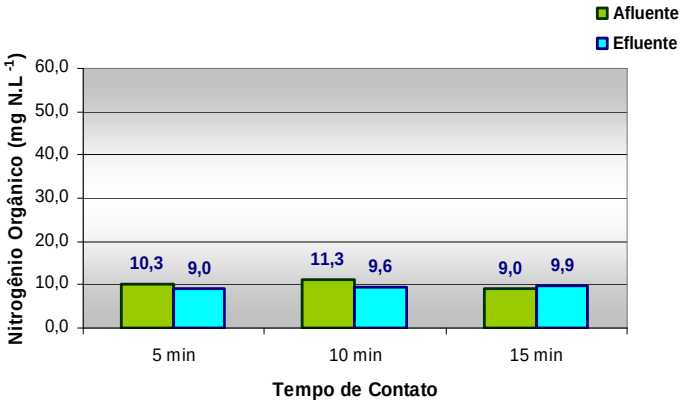


Figura 5.23: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

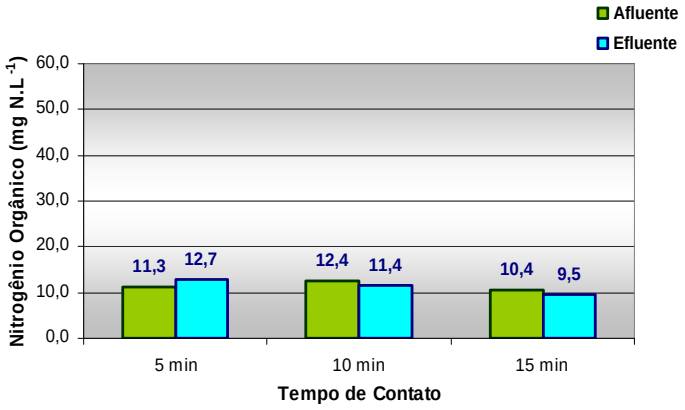


Figura 5.24: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Nos ensaios que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 9,20 e 10,80 mg $N.L^{-1}$ para efluente ozonizado.

Para os ensaios que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi 10,20 e 9,50 mg $N.L^{-1}$ no efluente ozonizado. O mesmo ocorreu para os ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média afluente foi 11,40 mg $N.L^{-1}$ e no efluente ozonizado foi 11,20 mg$N.L^{-1}$.

O mesmo comportamento ocorrido para NTK e nitrogênio amoniacal foi observado para nitrogênio orgânico para as dosagens e tempos de contato estudados.

Foram realizados testes estatísticos para se verificar a significância das variações de NTK, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico em função das dosagens de ozônio aplicadas e do tempo de contato. Os resultados obtidos apontam o tempo de contato e a dosagem de ozônio aplicado como não sendo fatores significantes para variação da concentração desses parâmetros. Pelas análises estatísticas e dos dados obtidos pode-se dizer que o processo de ozonização não causa praticamente nenhuma influência sobre NTK, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico.

5.1.1.5 Nitrito e Nitrato

As concentrações de nitrito e nitrato determinadas para os ensaios de ozonização para dosagens aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.5 e pelas Figuras 5.25 a 5.30.

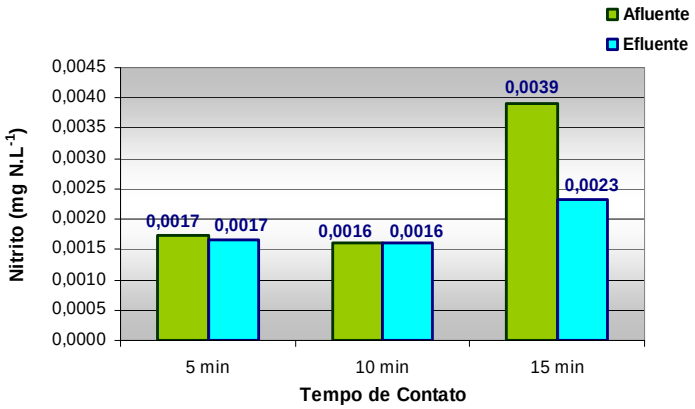


Figura 5.25: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

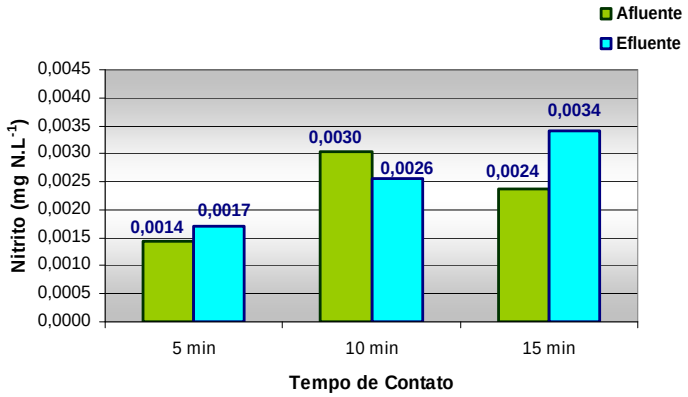


Figura 5.26: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

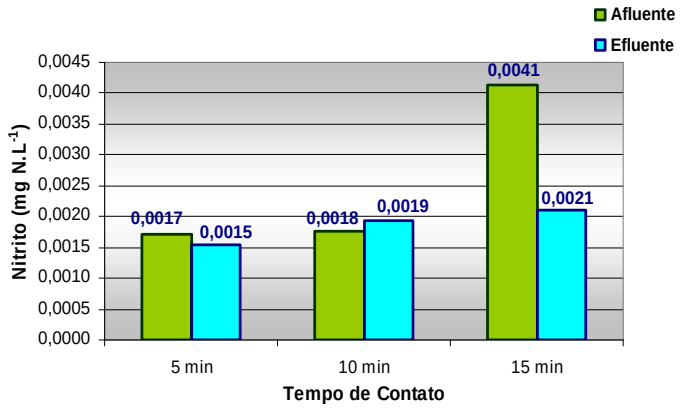


Figura 5.27: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

As concentrações médias de nitrito nos afluentes e efluentes ozonizados foram muito baixas, havendo pouca variação entre eles para todos os tempos de contato e dosagens aplicados, mostrando muito pouca ou nenhuma influência da ozonização (Figuras 5.25 a 5.27).

As concentrações médias de nitrato podem ser observadas nas Figuras 5.28 a 5.30.

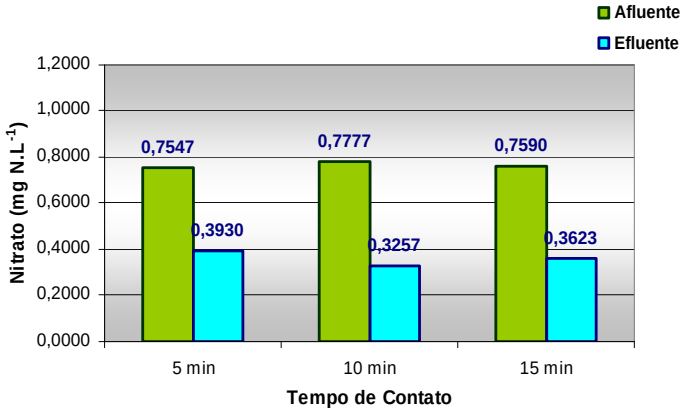


Figura 5.28: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

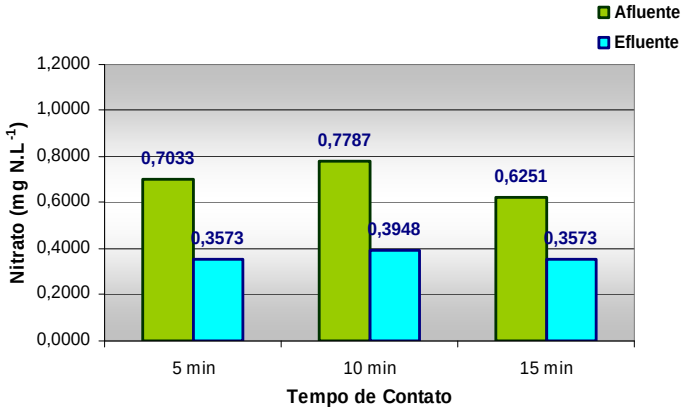


Figura 5.29: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

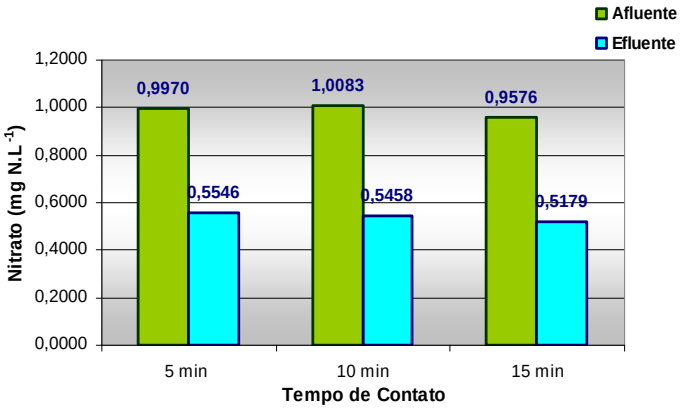


Figura 5.30: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Para nitrato a concentração média afluente foi 0,7638 mg $N.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado foi de 0,3603 mg $N.L^{-1}$ para a dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$. Os valores médios de remoção foram 47,9; 58,1 e 52,3% para os tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos, respectivamente. Não foi investigado, nessa pesquisa, o comportamento apresentado quando da aplicação do ozônio, na remoção de nitrato. Esses valores foram praticamente constantes para oxidação do nitrato.

Nos ensaios em que foram aplicados 8,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média afluente para o nitrato foi de 0,7021 $mg.N.L^{-1}$ e no efluente ozonizado 0,3698 $mg.N.L^{-1}$. Os valores médios de remoção de nitrato foram 49,2; 49,3 e 42,8% para os tempos de contato de 5,10 e 15 minutos respectivamente.

Para os ensaios em que foram aplicados 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média afluente para nitrato foi 0,9879 $mg.N.L^{-1}$ e no efluente ozonizado 0,4859 $mg.N.L^{-1}$. Os valores médios de remoção foram 44,4; 45,9 e 45,9% para os tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos respectivamente.

Para os ensaios que se aplicou 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, o mesmo comportamento apresentado quando se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi constatado.

De acordo Singer e Zilli (1975), que estudou a oxidação da amônia em efluentes domésticos aplicando ozônio, haveria uma tendência em aumento na concentração de nitrato para efluentes que oxidassem a amônia. De acordo com essas concentrações, ou seja, a não oxidação de nitrogênio amoniacal, o nitrato deveria seguir o mesmo comportamento apresentado para nitrogênio amoniacal, ou seja, sem ou com mínima interferência da ozonização.

5.1.1.6 Sulfeto

A concentração de sulfeto determinada para os ensaios de ozonização para as dosagens aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.6 e a concentração média por meio das Figuras 5.31 a 5.33.

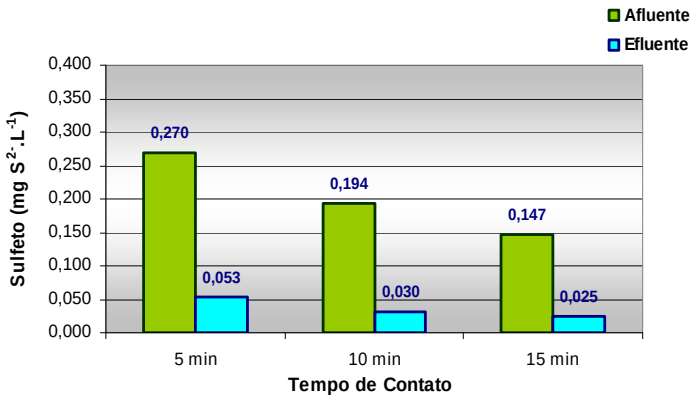


Figura 5.31: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

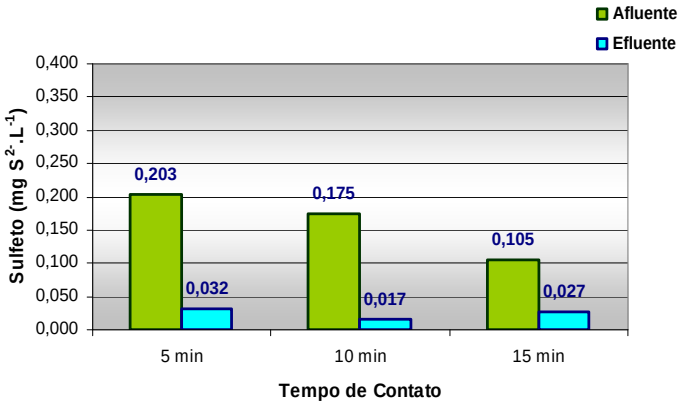


Figura 5.32: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

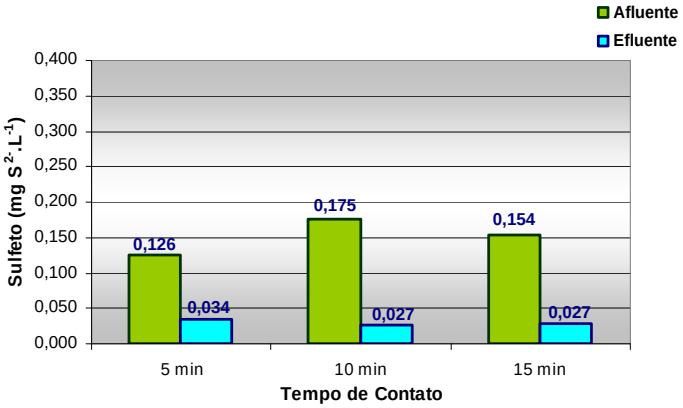


Figura 5.33: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

A concentração média afluente para os ensaios em que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$, para os tempos de contato estudados foi de 0,200 mg $S^{2-}.L^{-1}$ e a concentração média do efluente ozonizado foi de 0,040 mg $S^{2-}.L^{-1}$.

O valor médio de remoção de sulfeto para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos foi de 67,5%, para os tempos de contato de 10 e 15 minutos as médias de remoção foram 77,7 e 80,9%, respectivamente, indicando que o tempo de contato pode ter sido um fator para o incremento da remoção.

Para os ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$, para os tempos de contato estudados, a concentração média afluente foi de 0,160 mg $S^{2-}.L^{-1}$ e a concentração média do efluente ozonizado foi de 0,030 mg $S^{2-}.L^{-1}$.

O valor médio de remoção de sulfeto para a dosagem de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos foi de 72,4%, para os tempos de contato de 10 e 15 minutos as médias de remoção foram de 87,6 e 65,3% respectivamente, não repetindo o mesmo comportamento quando se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ para o tempo de contato igual a 15 minutos, isto devido a um baixo valor de remoção em um dos três ensaios realizados.

Nos ensaios em que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, para os tempos de contato estudados concentração média afluente foi de 0,150 mg $S^{2-}.L^{-1}$ e concentração média do efluente ozonizado foi de 0,030 mg $S^{2-}.L^{-1}$.

O valor médio de remoção de sulfeto para a dosagem de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos foi de 77,6%, para os tempos de contato de 10 e 15 minutos as médias de remoção foram 79,3 e 77,6% respectivamente, não repetindo o mesmo comportamento quando se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$, ou seja, incremento na remoção com o aumento do tempo de contato. Entretanto, foi repetido o comportamento observado nos ensaios que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$. Contudo, com uma menor diminuição no valor de remoção para o ensaio com tempo de contato igual a 15 minutos.

O sulfeto é oxidado a sulfato de acordo com as seguintes reações:

$$S^{2-} + 3O_3 \longrightarrow SO_3^{2-} + 3O_2 \qquad (14)$$

$$SO_3^{2-} + O_3 \longrightarrow SO_4^{2-} + O_2 \qquad (14)$$

$$S^{2-} + 4O_3 \longrightarrow SO_4^{2-} + 4O_2 \qquad (16)$$

Esta reação implica em um consumo de 6 mg O_3/1 mg S^{2-}, contudo esta razão não foi observada para os resultados apresentados, para os quais seria necessária dosagem maior de ozônio consumido para a remoção de 1 mg S^{2-}. Alguns fatores podem ter influenciado a oxidação, fatores estes que não foram estudados na presente pesquisa.

5.1.1.7 Sólidos em Suspensão Totais (SST), Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV) e Sólidos em Suspensão Fixos (SSF)

A concentração de sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão fixos e sólidos em suspensão voláteis para os ensaios de ozonização para dosagens aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.7 e a concentração média por meio das Figuras 5.34 a 5.42.

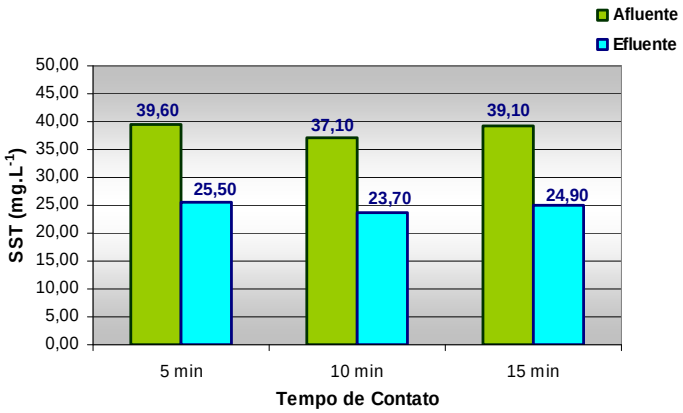


Figura 5.34: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

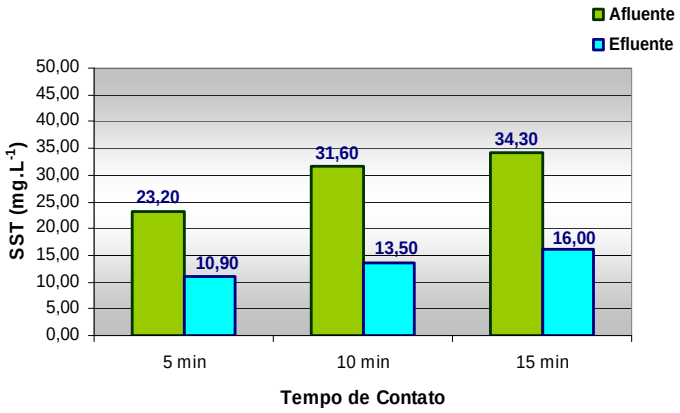


Figura 5.35: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

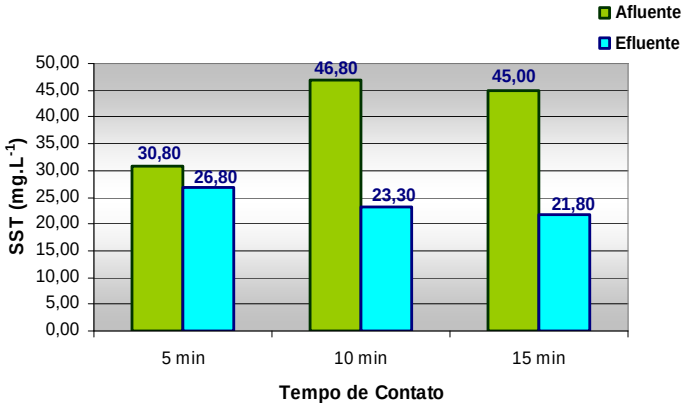


Figura 5.36: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

A concentração média afluente de SST para todos os tempos de contato estudados para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 38,60 $mg.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado 24,70 $mg.L^{-1}$. Observando as concentrações afluente e efluente para SST nota-se uma diminuição para os efluentes, fato que pode ser explicado por uma hidrolização exercida pela ozonização dos SST afluente.

Para os ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média afluente de SST foi de 29,70 $mg.L^{-1}$ e 13,50 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado. Nos ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 40,90 $mg.L^{-1}$ e 24,00 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado.

O mesmo comportamento foi observado quando se aplicou 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ comparado com a dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$. A remoção média foi de 36,0; 54,5 e 41,3% para as dosagens de 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, respectivamente.

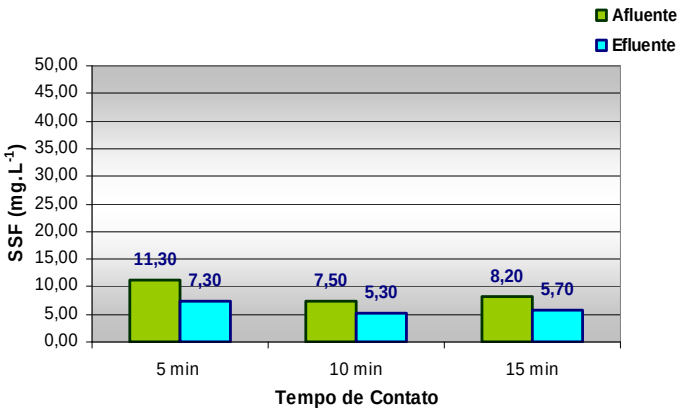


Figura 5.37: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

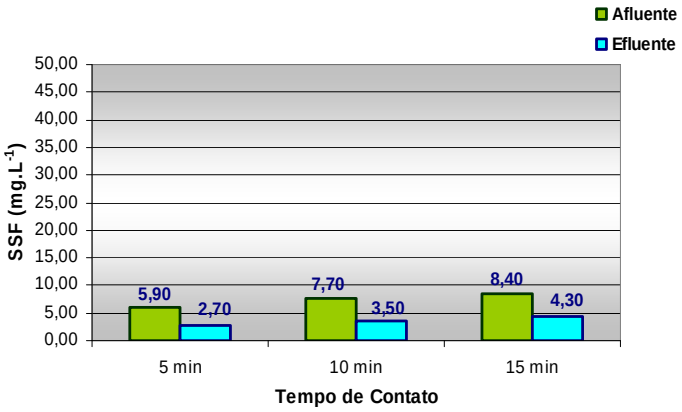


Figura 5.38: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

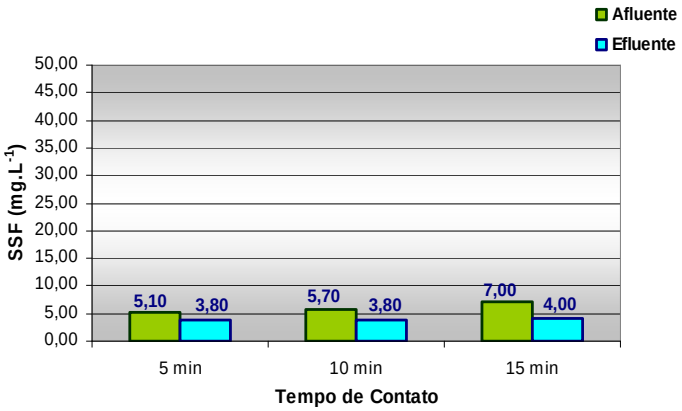


Figura 5.39: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

A concentração média afluente de SSF para todos os tempos de contato estudados para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 9,00 $mg.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado 6,10 $mg.L^{-1}$.

Para os ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 7,30 $mg.L^{-1}$ e 3,50 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado.

Nos ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média afluente foi de 5,90 $mg.L^{-1}$ e 3,80 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado. Para todos os ensaios foi constatado o mesmo comportamento observado para os SST.

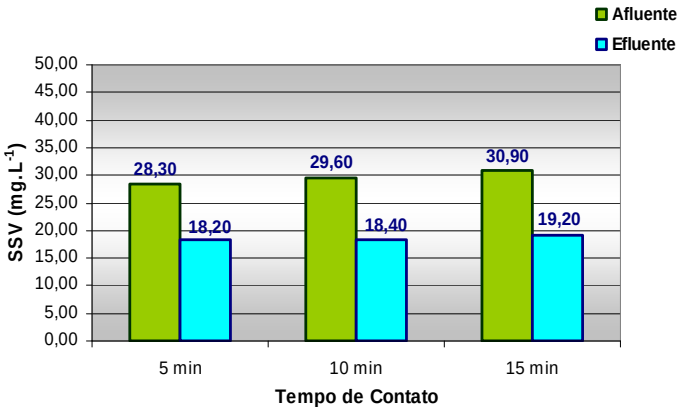


Figura 5.40: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

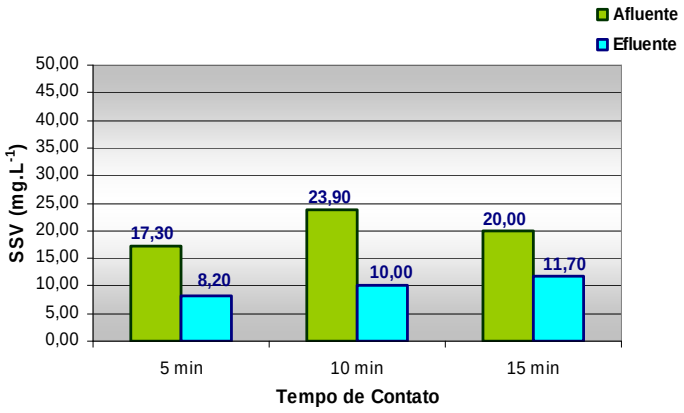


Figura 5.41: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

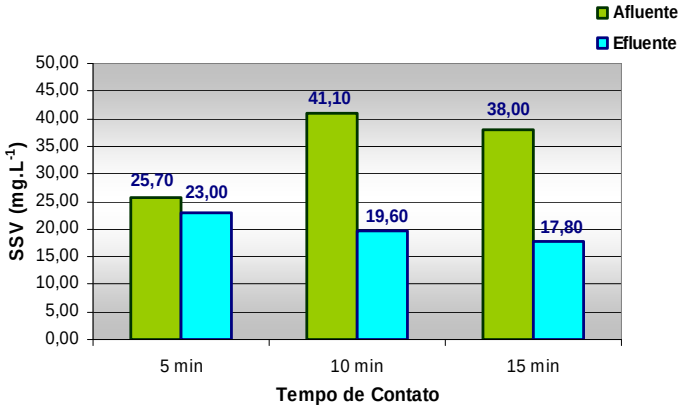


Figura 5.42: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

A concentração média afluente de SSV para todos os tempos de contato estudados para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 29,60 $mg.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado 18,60 $mg.L^{-1}$. Observando as concentrações afluente e efluente para SSV nota-se uma diminuição para os efluentes, fato explicado pois determinação de SSV é a diferença entre SST e SSF.

Para os ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média afluente foi de 22,40 $mg.L^{-1}$ e 9,90 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado.

Nos ensaios em que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média afluente foi de 34,90 $mg.L^{-1}$ e 20,10 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado. O mesmo

comportamento observado quando se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi constatado para os ensaios aplicando 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$.

5.1.1.8 Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV)

A concentração de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis para os ensaios de ozonização para dosagens aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.8 e a concentração média por meio das Figuras 5.43 a 5.51.

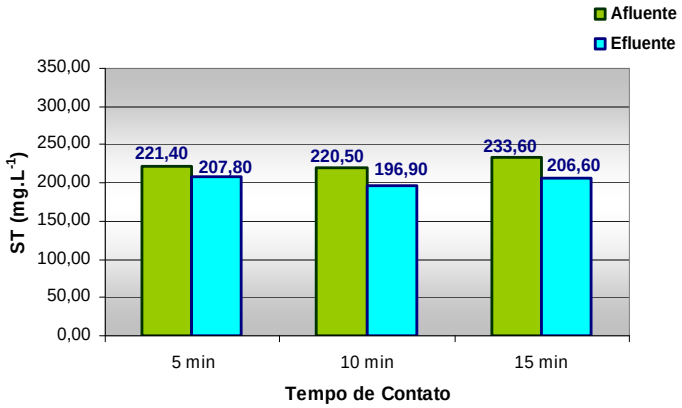


Figura 5.43: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

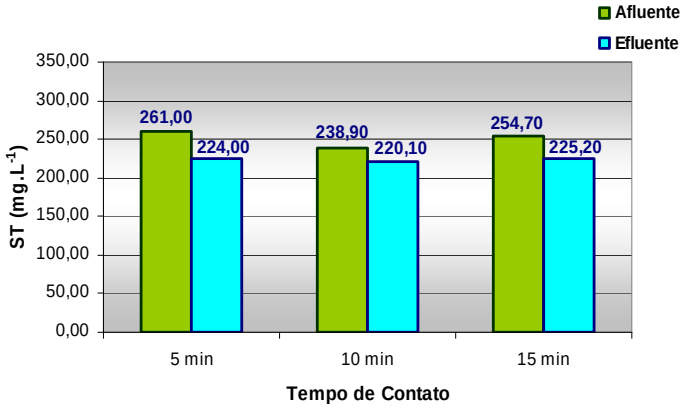


Figura 5.44: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

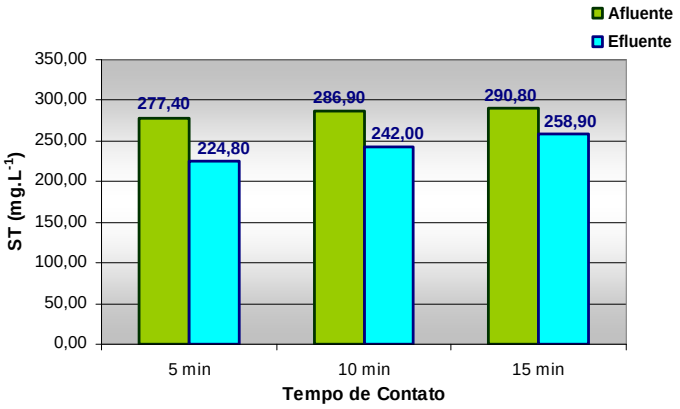


Figura 5.45: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

A concentração média afluente de ST para todos os tempos de contato estudados para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 225,20 $mg.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado de 203,80 $mg.L^{-1}$. Observando as concentrações afluente e efluente para ST nota-se uma pequena diminuição para os efluentes.

Para os ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 251,10 $mg.L^{-1}$ e 223,10 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado. O mesmo comportamento foi observado quando se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1.}$

Nos ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 285,00 $mg.L^{-1}$ e 241,90 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado. Para estes ensaios também foram observados remoções de ST.

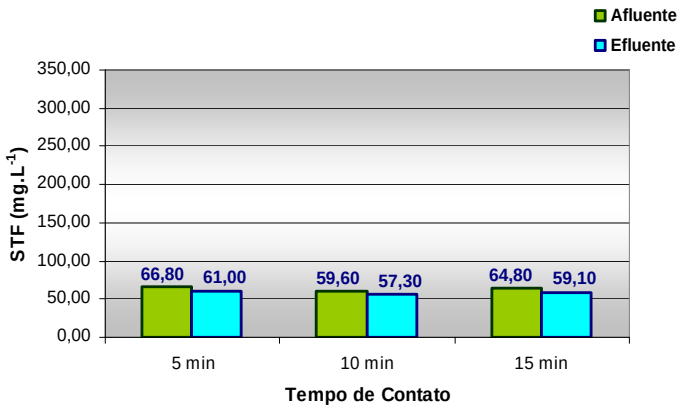


Figura 5.46: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

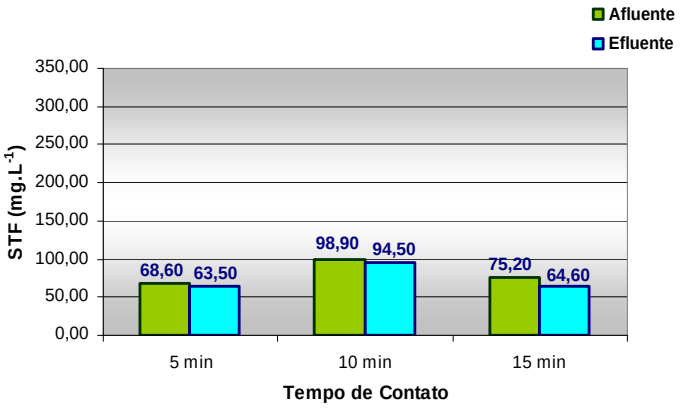


Figura 5.47: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

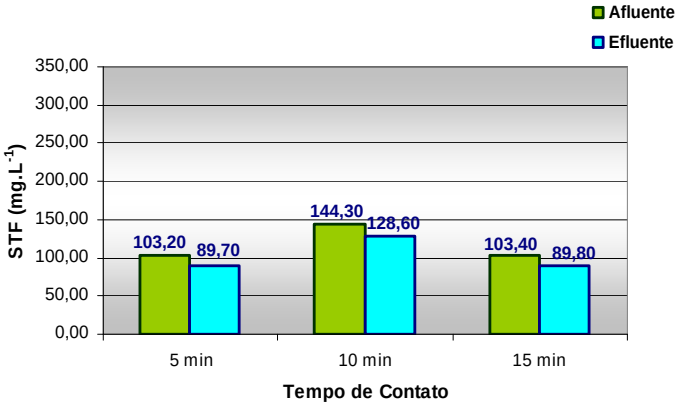


Figura 5.48: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

A concentração média afluente de STF para todos os tempos de contato estudados para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 63,70 $mg.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado de 59,10 $mg.L^{-1}$.

Para os ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 80,90 $mg.L^{-1}$ e 74,20 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado.

Nos ensaios em que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 117,00 $mg.L^{-1}$ e 102,70 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado.

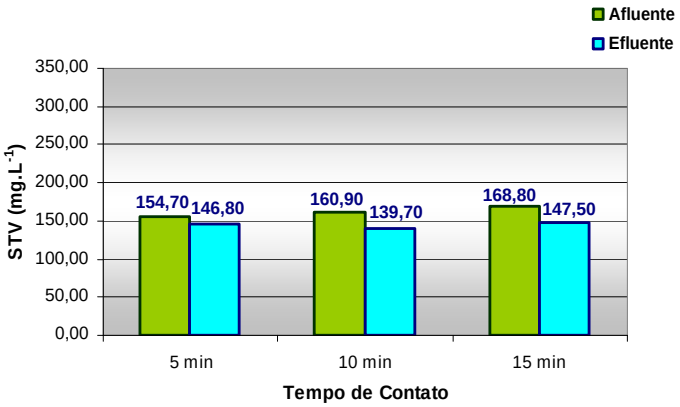


Figura 5.49: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

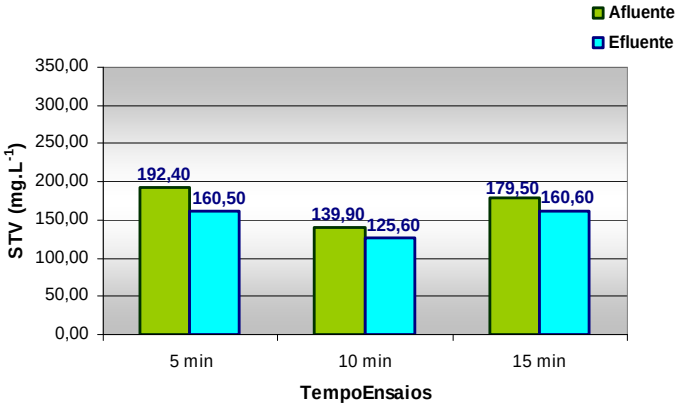


Figura 5.50: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

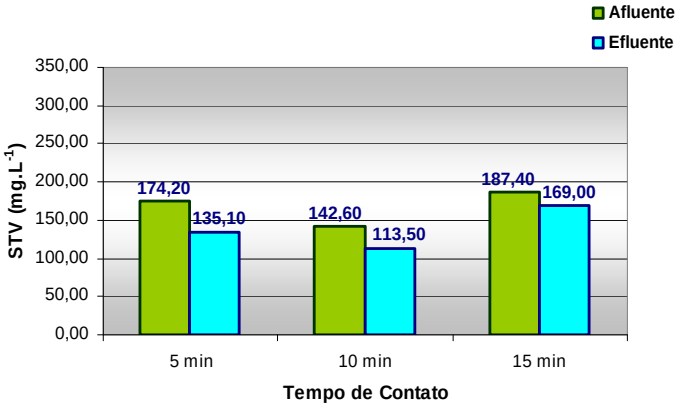


Figura 5.51: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

A concentração média afluente de STV para todos os tempos de contato estudados para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 161,50 $mg.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado de 144,60 $mg.L^{-1}$.

Para os ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 170,60 $mg.L^{-1}$ e 148,90 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado.

Nos ensaios em que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 168,10 $mg.L^{-1}$ e 139,00 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado. Para estes ensaios também foram observados os mesmos comportamentos observados para ST e STF, isto por que a determinação de STV é a diferença entre ST e STF.

5.1.1.9 Subprodutos da ozonização (Aldeídos)

As concentrações de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal observadas para os afluentes (efluente reator $UASB_{mod}$) e efluentes ozonizados para dosagens aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos podem ser observadas por meio das Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3.

Tabela 5.1: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para efluente reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Formaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Acetaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Glioxal ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGlioxal ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	**3,99**	5	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			65,7	116,3	31,1	1,2
2	AF	**3,73**		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			22,2	33,2	< ld	0,9
3	AF	**3,62**		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			14,9	20,9	< ld	< ld
1	AF	**3,93**	10	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			63,1	86,5	14,2	< ld
2	AF	**3,96**		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			48,2	57,1	10,5	1,0
3	AF	**4,00**		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			63,7	84,9	15,7	0,8
1	AF	**3,86**	15	5,0	7,7	< ld	< ld
	EF			97,7	149,7	< ld	< ld
2	AF	**4,01**		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			65,2	72,8	9,1	< ld
3	AF	**3,94**		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			87,4	105,0	15,1	< ld

< ld: inferior ao limite de detecção

Por meio da Figura 5.52 podem ser observadas as concentrações médias de formação de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos.

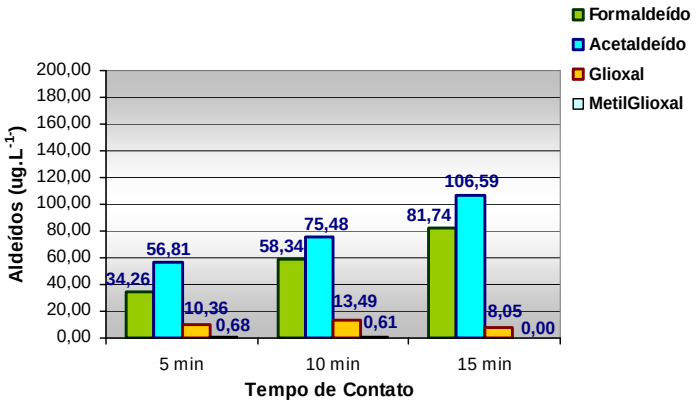


Figura 5.52: Concentração média de formação de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para o efluente ozonizado

A formação de subprodutos para os ensaios de ozonização que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ com tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos apresentaram

concentrações médias de formação de formaldeído iguais a 34,3, 58,3 e 81,8 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente.

Para os tempos de contato iguais a 10 e 15 minutos, foi observada concentração média maior de ozônio consumido. Porém, apenas para o tempo de contato igual a 10 minutos poderia se afirmar que houve incremento na formação de formaldeído pois para o tempo de contato igual a 15 minutos o consumo médio de ozônio foi muito semelhante mas com uma formação ainda maior de formaldeído. Com isso pode-se concluir que há maior influência do tempo de contato na formação de formaldeído do que a concentração de ozônio consumido, comportamento explicado pelo pequeno aumento da concentração de ozônio consumido.

A qualidade do esgoto afluente também não influenciou no incremento da formação de formaldeído, pois a DQO afluente, para o tempo de contato de 5 minutos, teve concentração média maior que os outros dois tempos de contato aplicados, porém com menor formação de formaldeído. Uma explicação para a maior formação de formaldeído pode ser o tempo de contato, pois a formação aumentou com o aumento do tempo de contato.

A concentração média de formação do acetaldeído para o tempo de contato de 5 minutos foi de 56,8 $\mu g.L^{-1}$ e para os tempos de contato 10 e 15 minutos foi de 76,2 e 106,6 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente. A formação de acetaldeído seguiu o mesmo comportamento de formação de formaldeído, porém com uma concentração média maior de formação.

Para o glioxal as concentrações foram bem inferiores, em algumas amostras não foi observada a formação do glioxal. Para metilglioxal a formação observada foi praticamente nula, apenas foi observado a formação em três amostras, concentrações em torno de 1,00 $\mu g.L^{-1}$.

Tabela 5.2: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para afluente e efluentes ozonizados

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Formaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Acetaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Glioxal ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGlioxal ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	5,83	5	< ld	25,3	< ld	< ld
	EF			80,0	127,1	13,0	1,7
2	AF	5,70		6,4	34,6	< ld	< ld
	EF			108,2	174,3	39,8	2,1
3	AF	5,39		< ld	4,8	< ld	< ld
	EF			87,1	163,7	35,6	1,2
1	AF	5,43	10	< ld	9,4	< ld	< ld
	EF			113,4	173,7	28,1	2,0
2	AF	5,11		7,1	22,1	< ld	< ld
	EF			163,1	241,2	63,4	2,3
3	AF	5,04		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			84,9	141,0	47,3	< ld
1	AF	5,43	15	0,5	< ld	< ld	< ld
	EF			113,4	114,7	< ld	< ld
2	AF	5,54		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			127,2	195,0	27,3	1,3
3	AF	5,00		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			65,1	84,8	26,2	< ld

< ld: inferior ao limite de detecção

Por meio da Figura 5.53 podem ser observadas as concentrações médias de formação de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos.

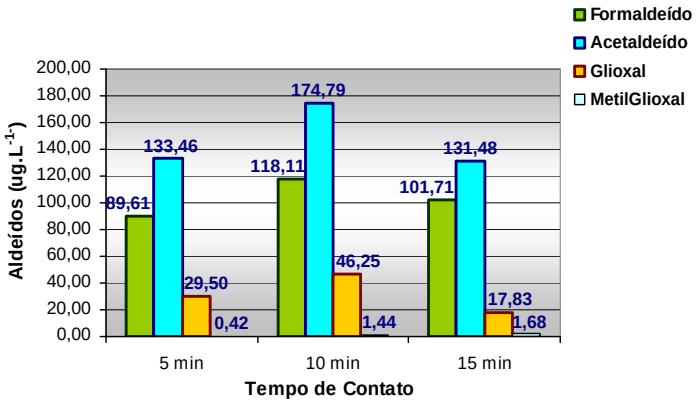


Figura 5.53: Concentração média de formação de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para o efluente ozonizado

Para os ensaios de ozonização que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos, a concentração média de formaldeído para o tempo

de contato de 5 minutos foi 89,6 $\mu g.L^{-1}$ e para os tempos de contato de 10 e 15 minutos foi de 118,1 e 101,7 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente.

As concentrações de subprodutos aumentaram no tempo de contato de 10 minutos em relação ao tempo de contato de 5 minutos, porém para o tempo de contato de 15 minutos houve um decréscimo em relação ao tempo de contato de 10 minutos. Este comportamento pode ser explicado por uma saturação da formação do formaldeído, consumo total dos precursores ou o formaldeído possa ter sido transformado em outros subprodutos, ou mesmo possa ter sido oxidado pelo ozônio. Can e Gurol (2003) estudaram a formação de formaldeído em água de abastecimento e detectaram o mesmo comportamento apresentado neste trabalho, ou seja, o formaldeído atinge seu pico de formação e partir daí começa a se degradar.

As concentrações de formaldeído encontradas foram superiores aos encontrados para os ensaios aplicando 5,0 mg $O_3.L^{-1}$, confirmando que uma maior dosagem de ozônio pode ser um indicativo para uma maior formação nos ensaios em que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$.

Com relação ao acetaldeído, a concentração média de formação para o tempo de contato de 5 minutos foi de 133,5 $\mu g.L^{-1}$ e para os tempos de contato 10 e 15 minutos foi de 174,8 e 131,5 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente.

A formação de acetaldeído seguiu o mesmo comportamento de formação de formaldeído. Porém, com uma concentração média maior de formação e também, concentração maior de formação comparado aos ensaios em que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$.

Para glioxal, as concentrações de formação foram bem inferiores, tanto que no primeiro ensaio com tempo de contato de 15 minutos não foi observada formação

de glioxal. A concentração média de formação de glioxal para o tempo de contato de 5 minutos foi de 29,5 $\mu g.L^{-1}$ e para os tempos de contato de 10 e 15 minutos foi de 46,3 e 17,8 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente. Comportamento semelhante ao do formaldeído e acetaldeído. Também foi observado uma maior formação de glioxal comparado com os ensaios que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$.

Para o metilglioxal a formação observada foi muita baixa, porém com concentrações superiores ao encontrado para os ensaios que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$.

Tabela 5.3: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para afluente e efluentes ozonizados

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Formaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Acetaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Glioxal ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGlioxal ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	7,82	5	< ld	21,1	< ld	< ld
	EF			54,7	130,4	< ld	< ld
2	AF	7,70		< ld	50,8	< ld	< ld
	EF			80,0	151,1	< ld	< ld
3	AF	7,38		< ld	< ld	17,9	< ld
	EF			66,3	166,7	21,2	< ld
1	AF	7,23	10	< ld	12,8	< ld	< ld
	EF			52,3	227,9	< ld	< ld
2	AF	7,11		< ld	25,1	< ld	< ld
	EF			188,1	213,1	< ld	< ld
3	AF	7,04		< ld	< ld	16,2	< ld
	EF			97,9	158,5	19,9	< ld
1	AF	7,20	15	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			39,0	110,2	< ld	< ld
2	AF	7,06		< ld	0,8	< ld	< ld
	EF			96,5	106,4	< ld	< ld
3	AF	6,91		< ld	26,4	< ld	< ld
	EF			85,7	122,6	< ld	< ld

< ld: inferior ao limite de detecção

Por meio da Figura 5.54 podem ser observadas as concentrações médias de formação de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal para concentração aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos.

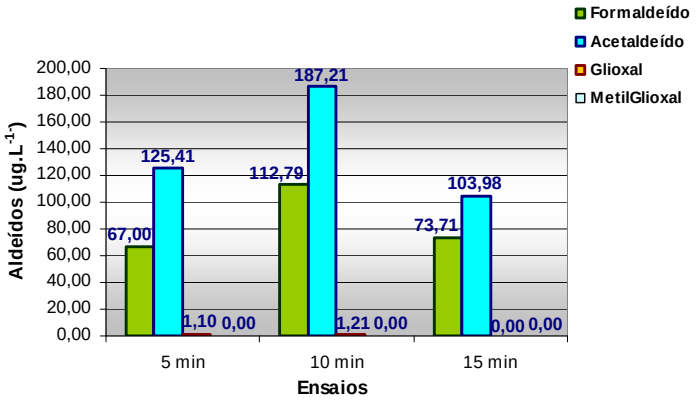


Figura 5.54: Concentração média de formação de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos para o efluente ozonizado

Quando se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos, a formação de aldeídos apresentou como concentração média de formação de formaldeído 67,0 $\mu g.L^{-1}$ para o tempo de contato de 5 minutos e para os tempos de contato de 10 e 15 minutos foram de 112,8 e 73,7 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente. As concentrações de formaldeído observadas foram inferiores as dos ensaios em se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$. Este comportamento pode ser explicado devido a máxima formação de formaldeído já ter ocorrido para a dosagem e tempo de contato aplicados, uma possível oxidação do formaldeído exercida pelo ozônio, a formação de outro subproduto a partir do formaldeído, ou mesmo a consumo total dos precursores da formação. Quando comparado com os ensaios em que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ de formaldeído foram superiores para os ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, comportamento explicado devido a maior dosagem de ozônio consumido favoreceu maior formação de formaldeído, mesmo ocorrendo uma possível oxidação do formaldeído ou mesmo a formação de outros subprodutos, isto porque o tempo de contato possa não ter sido suficiente para uma maior oxidação ou formação de outros subprodutos.

Com relação ao acetaldeído a concentração média para o tempo de contato de 5 minutos foi de 125,4 $\mu g.L^{-1}$ e para os tempos de contato 10 e 15 minutos foram de 187,2 e 104,0 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente, comportamento semelhante ao observado nos ensaios que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi observado quando se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1.}$

Para glioxal, a verificação de formação foi praticamente nula em todas as amostras, apenas em dois dos ensaios realizados foram verificadas formações de 3,6 e 3,3 $\mu g.L^{-1}$ para os tempos de contato de 10 e 15 minutos, respectivamente. A dosagem maior consumida não apresentou uma maior formação de glioxal.

Para o metilglioxal a formação observada foi nula. Também foi observado que uma maior dosagem não incrementou a formação de metilglioxal.

Wert et. al (2007) aplicaram ozônio em efluente terciário em escala de bancada e em escala piloto. Todos os materiais utilizados na pesquisa eram inertes, incluindo vidro, aço inoxidável e polímeros de fluorcarbono. Os autores coletaram amostras da cidade de Las Vegas – EUA. O efluente primeiramente passava por processo clarificação e sedimentação primária, com adição de 14 a 16 $mg.L^{-1}$ de cloreto férrico, seguido de remoção de partículas pesadas. Em seguida, tratamento anaeróbio e aeróbio seguido por clarificação secundária. Durante o tratamento terciário, 4,0 a 13,0 $mg.L^{-1}$ de alumínio era adicionado para floculação e filtração. As amostras foram coletadas após filtração, porém ainda havia etapa de desinfecção por radiação ultravioleta. Estas etapas de tratamento proporcionaram um efluente com melhor qualidade comparado com a presente pesquisa. Nawrocki et al. (2003) ozonizaram água natural e água preparada em uma coluna com volume igual a 1,50 L. A presente pesquisa contradiz os estudos realizados por Schetchter e Singer (1995), Nawrocki et al. (2003) e Wert et. al (2007), que obtiveram predominância de

formação de formaldeído em suas pesquisas, comportamento que não foi observado na presente pesquisa quando foi observada predominância na formação de acetaldeído. Este comportamento pode ser explicado pelas características do esgoto utilizado na presente pesquisa em relação aos pesquisados por Schetchter e Singer (1995), Nawrocki et al. (2003), Wert et. al (2007).

Wert et al. (2007) ainda observaram a formação de glioxal e metilglioxal para as dosagens aplicadas de 3,6 e 7,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 18 minutos. Foi detectado a formação de 29,0 e 45,0 $\mu g.L^{-1}$ de glioxal e 23,0 e 42,0 $\mu g.L^{-1}$ para as dosagens 3,6 e 7,0 mg $O_3.L^{-1}$ respectivamente. Concentrações bem superiores aos encontrados na presente pesquisa.

De acordo com Nawrocki et al. (2003), os aldeídos formados na ozonização podem ser divididos em dois grupos. Formaldeído e acetaldeído pertencem ao primeiro grupo, que tem incremento na formação com o aumento da dosagem de ozônio aplicada. Glioxal e metilglioxal pertencem ao segundo grupo cuja formação destes dois aldeídos não depende do tempo de contato e dosagem de ozônio consumida. O comportamento na formação de aldeídos na presente pesquisa foi semelhante ao observado pelos autores, porém foi observado que o tempo de contato atuou na maior formação de aldeídos para a dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$, pois aumentou formação de aldeídos com o aumento do tempo de contato. Entretanto, para as dosagens aplicadas de 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, houve um incremento da formação de aldeídos apenas para o tempo de contato de 5 para 10 minutos, pois para o tempo de contato de 15 minutos verificou-se uma decréscimo na formação de aldeídos.

Ainda não existe um consenso mundial quanto à concentração máxima permitida para formaldeído na água. Para o IPCS (2002), o nível máximo permitido é

de 900,0 $\mu g.L^{-1}$; segundo Sugaya et al. (2001), o nível máximo permitido no Japão é de 80,0 $\mu g.L^{-1}$ e; na Polônia o nível máximo permitido na água é de 50,0 $\mu g.L^{-1}$ (NAWROCKI e BILOZOR, 1997).

Nos ensaios em que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média de formaldeído formado para tempo de contato aplicado de 10 minutos, estaria acima da concentração máxima permitida para os padrões japoneses. Para o tempo de contato igual a 15 minutos estaria acima da concentração máxima permitida pelos padrões japoneses e poloneses. Para o ensaio que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ nos tempos de contato aplicados foi detectado concentração superior ao máximo permitido pelos padrões japoneses e poloneses, e para os ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, apenas para os tempos de contato igual a 5 e 15 minutos, a concentração média estive acima do padrão japonês.

As concentrações de formaldeído e acetaldeído nesta pesquisa são no mínimo preocupantes devido a carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade em testes realizados com animais.

5.1.1.10 Inativação de Coliformes Totais e *E. coli.*

Os resultados de inativação de coliformes totais utilizando como desinfetante o ozônio para o efluente do tratamento de esgotos da EESC-USP proveniente do reator $UASB_{mod}$ estão apresentados na Tabela A.9. Para as dosagens de ozônio aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ nos tempos de contato 5, 10 e 15 minutos foram quantificadas as concentrações finais de coliformes totais. Os valores médios de inativação de coliformes totais podem ser observados pelas Figuras 5.55 a 5.57.

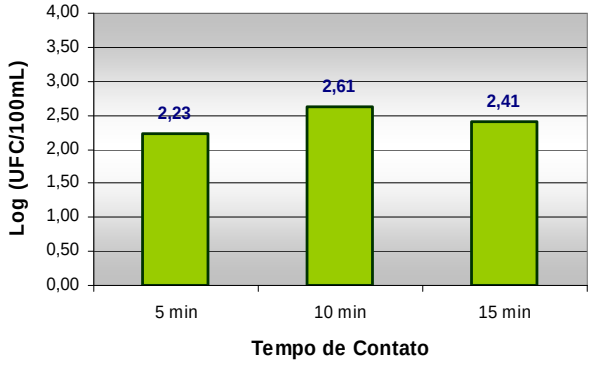


Figura 5.55: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

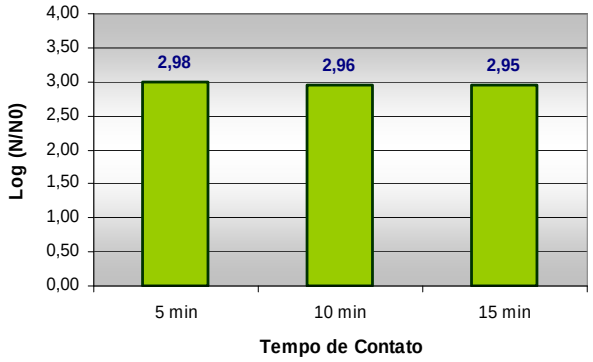


Figura 5.56: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

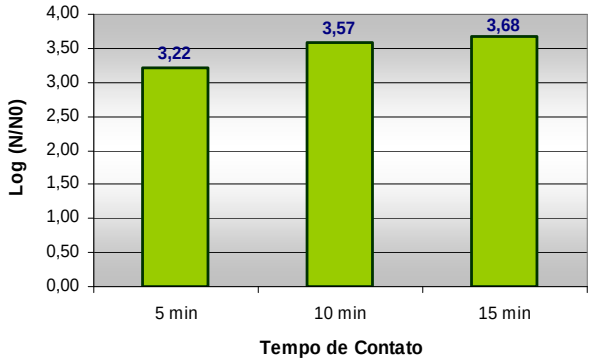


Figura 5.57: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Para os ensaios que foi aplicado 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi observado para coliformes totais: 1,0 x 10^7; 4,0 x 10^6 e 1,0 x 10^7 UFC/100 mL para efluente do reator $UASB_{mod}$ e 5,0 x 10^4; 6,0 x 10^3 e 4,0 x 10^3 UFC/100 mL para efluente ozonizado, respectivamente. Obteve-se inativação de 2,00 a 2,49 log para coliformes totais para dosagem consumida de 3,93 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos. O valor médio para esta dosagem e tempo de contato foi de 2,23 log. Para os tempos de contato de 10 e 15 minutos a inativação variou de 2,09 a 3,60 e 2,11 a 2,76 log, para coliformes totais. As médias foram 2,61 e 2,41 log para os tempos de contato de 10 e 15 minutos e a dosagem consumida de 3,96 e 3,78 mg $O_3.L^{-1}$, respectivamente. O tempo de contato na faixa de valor empregado apresentou pouca influência na inativação para a dosagem consumida de 3,93; 3,96 e 3,78 mg $O_3.L^{-1}$.

Para a dosagem consumida de 5,32 mg $O_3.L^{-1}$ foi obtida inativação de coliformes totais que variou de 2,87 a 3,46 log para o tempo de contato igual 5 minutos. O valor médio para esta dosagem e tempo de contato foi de 2,98 log, valor este superior quando foi consumido 3,93 mg $O_3.L^{-1}$ e mesmo tempo de contato. Para os tempos de contato de 10 e 15 minutos a inativação variou de 3,09 a 3,34 e 3,00 a 3,40 log, para coliformes totais respectivamente. As médias foram 2,96 e 2,95 log para os tempos de contato de 10 e 15 minutos e a dosagem consumida de 5,19 e 5,64 mg $O_3.L^{-1}$, respectivamente. Foi verificado o mesmo comportamento para os ensaios que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$.

A inativação obtida para os ensaios que se consumiu 7,04 mg $O_3.L^{-1}$ variou de 3,17 a 3,28 log para o tempo de contato de 5 minutos. O valor médio para esta concentração e tempo de contato foi de 3,22 log, valor este superior aos que foram consumidos para 3,93 e 5,32 mg $O_3.L^{-1}$ e mesmo tempo de contato, confirmando que a maior dosagem consumida foi favorável à maior inativação. Para os tempos de

contato de 10 e 15 minutos a inativação variou de 2,97 a 4,06 e 3,50 a 3,88 log, para coliformes totais, respectivamente. As médias foram 3,57 e 3,68 log para os tempos de contato de 10 e 15 minutos e dosagem consumida de 7,13 e 7,62 mg $O_3.L^{-1}$.

As concentrações finais de *E. coli* quando se aplicou como desinfetante o ozônio, estão apresentados na Tabela A.10, para as dosagens de ozônio aplicadas de 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ nos tempos de contato 5, 10 e 15 minutos. Os valores médios de inativação de *E. coli* podem ser observados nas Figuras 5.58 a 5.60.

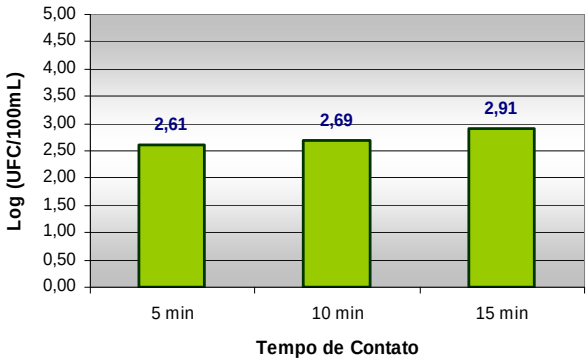


Figura 5.58: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

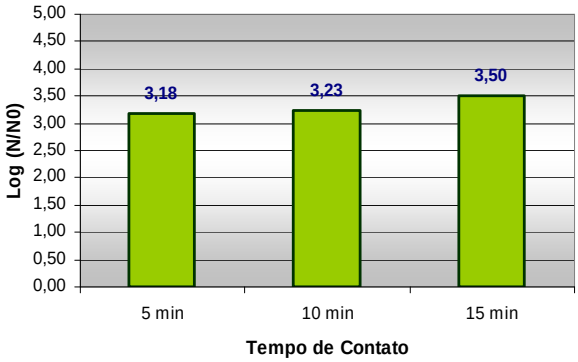


Figura 5.59: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

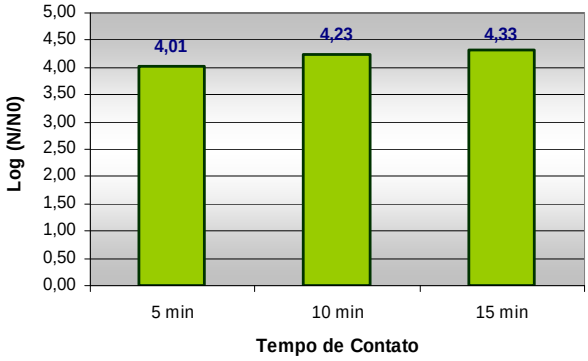


Figura 5.60: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Para os ensaios que foi aplicado 5,0; 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi observado para *E. coli*: 2,0 x 10^6; 2,0 x 10^6 e 4,0 x 10^6 UFC/100 mL para efluente do reator $UASB_{mod}$ e 4,0 x 10^3; 1,0 x 10^3 e 4,0 x 10^2 UFC/100 mL para efluente ozonizado, respectivamente.

Obteve-se inativação de 2,41 a 2,76 log para a *E. coli* para a dosagem consumida de 3,93 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos. O valor médio para esta dosagem e tempo de contato foi de 2,61 log. Para os tempos de contato de 10 e 15 minutos a inativação variou de 2,43 a 2,93 e 2,60 a 3,35 log, para *E. coli* respectivamente. As médias foram 2,69 e 2,91 log para os tempos de contato de 10 e 15 minutos e dosagens consumidas de 3,96 e 3,78 mg $O_3.L^{-1}$, respectivamente.

Para a dosagem consumida de 5,32 mg $O_3.L^{-1}$ foi obtida inativação que variou de 2,94 a 3,57 log para o tempo de contato de 5 minutos. O valor médio para esta dosagem e tempo de contato foi de 3,18 log, valor este superior quando foi consumido 3,93 mg $O_3.L^{-1}$ e mesmo tempo de contato. Para os tempos de contato de 10 e 15 minutos a inativação variou de 2,90 a 3,43 e 3,18 a 4,00 log, para *E. coli* respectivamente. As médias foram 3,23 e 3,50 log para os tempos de contato de 10 e 15 minutos e dosagens consumidas de 5,19 e 5,64 mg $O_3.L^{-1}$, valores estes

também superiores aos apresentados para a dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e mesmos tempos de contato aplicados.

A inativação obtida para os ensaios que se consumiu 7,04 mg $O_3.L^{-1}$ variou de 3,89 a 4,22 log para o tempo de contato de 5 minutos. O valor médio para esta concentração consumida e tempo de contato foi de 4,01 log, valor este superior quando foi consumido 3,93 e 5,32 mg $O_3.L^{-1}$ e mesmos tempos de contato. Estes resultados confirmam que uma maior dosagem consumida é favorável à maior inativação. Para os tempos de contato de 10 e 15 minutos a inativação variou de 4,09 a 4,35 e 4,02 a 4,65 log, para *E. coli*, respectivamente. As médias foram 4,23 e 4,33 log para os tempos de contato de 10 e 15 minutos e dosagens consumidas de 7,13 e 7,63 mg $O_3.L^{-1}$. Também foi observado um valor médio superior de inativação para os tempos de contato de 10 e 15 minutos comparado com as dosagens consumidas de 3,93 e 5,32 mg $O_3.L^{-1}$ e mesmos tempos de contato aplicados.

A alcalinidade atua favorecendo as reações do substrato com o ozônio molecular, o qual, segundo diversos autores, é responsável pela desinfecção. Embora as concentrações de alcalinidade tenham diminuído, este fator não teve influência na inativação de coliformes totais e *E. coli*.

De acordo com White (1999) e Savoye et al. (2001), a presença de sólidos em suspensão também interfere na desinfecção química, visto que os agregados da matéria orgânica e inorgânica em suspensão protegem os microrganismos da ação do desinfetante, fenômeno conhecido como oclusão. Para os resultados encontrados nesta pesquisa este fenômeno não teve interferência na desinfecção. A média geral de SST para o efluente do reator $UASB_{mod.}$ foi de 36,40 $mg.L^{-1}$, com máximo de 65,50 $mg.L^{-1}$ e mínimo de 14,40 $mg.L^{-1}$.

Na pesquisa realizadas Lazarova (1998), a autora evidencia que os sólidos em suspensão interferiram nas doses necessárias para desinfecção, relação que também esta presente pesquisa, visto que apenas com o aumento da dosagem houve um aumento na inativação. Costa (2007), que aplicou ozônio em efluente de lagoas de estabilização com qualidade do efluente tratado semelhante ao da presente pesquisa, obteve para dosagem consumida de 29,90 $mg.O_3.L^{-1}$ inativação de 2,07 log e para dosagem consumida de 45,13 $mg.O_3.L^{-1}$ inativação de 3,55 log. Os dois ensaios realizados tiveram tempo de contato igual a 5 minutos. Nesta pesquisa a autora também evidencia que com uma maior dosagem há uma maior inativação de *E. coli.*

Foram realizados estudos estatísticos para se analisar a influência das variáveis 'tempo de contato' e 'dosagem de ozônio aplicado' sobre a variável 'inativação de microrganismos'. Foi verificado que o tempo de contato não foi significativo para a inativação de coliformes totais e foi significativo (5%) para *E.coli*, o que pode ser observado nas Figuras 5.55 a 5.60, visto que um maior tempo de contato não influenciou significativamente a eficiência de inativação de coliformes totais e ocorreu um pequeno aumento de inativação para *E.coli* com maior tempo de contato. Resultados semelhantes foram obtidos por Xu et al. (2002), Savoye et al. (2001) e Paraskeva e Graham (2005), que desinfetaram efluentes secundários e terciários. Os autores não observaram diferença significativa na desinfecção de *E. coli* em tempos de contato entre 2 e de 10 minutos. Finch & Smith (1989) também não observaram diferença significativa para tempos de contato de 1 a 22 minutos.

A independência da inativação de coliformes totais e *E. coli* em relação ao tempo de contato é considerada por estes pesquisadores como sendo devida à rápida cinética de reação desses microrganismos com o ozônio. Este

comportamento sugere que os reatores para desinfecção deveriam ser projetados com apenas uma câmara de contato e em tamanho mínimo para que ocorra transferência de massa. Nestas condições, reatores tubulares, de fluxo pistonado, seriam as melhores opções para garantir que toda a massa de efluente tenha contato com o gás desinfetante de forma homogênea.

De acordo com testes os estatísticos a concentração de ozônio aplicada se apresentou significativa (0,1%), confirmando o que pode ser observado nas Figuras 5.55 a 5.60.

De acordo com Resolução CONAMA 357/95 nos corpos d'água classe 2 a concentração máxima de coliformes totais é de 5000 NMP/100mL e *E. coli* é de 1000 NMP/100mL. Para a concentração aplicada de 5,0 $mg.O_3.L^{-1}$ nenhuma amostra atingiu o valor imposto pela norma para coliformes totais, sendo que apenas uma amostra dos ensaios realizados atingiu o máximo permitido para lançamento de *E. coli*. Nos ensaios que se aplicou 8,0 $mg.O_3.L^{-1}$ praticamente todas as amostras dos ensaios realizados atenderam os padrões de lançamento tanto para coliformes totais quanto para *E. coli*. Já para os ensaios que se aplicou 10,0 $mg.O_3.L^{-1}$ todas as amostras dos ensaios realizados atenderam os padrões de lançamento para corpos d'água classe 2, de acordo com Resolução CONAMA 357/95, tanto para coliformes totais quanto para *E. coli*.

5.1.1.11 - Bioensaios

No último dos três ensaios realizados para as dosagens de 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ – tempos de contato de 5, 10, 15 minutos – foram realizados testes

de toxicidade com os organismos-teste: *Daphnia similis e Danio rerio* e os resultados estão apresentados em forma de tabelas a serem apresentados a seguir.

Na Tabela 5.4 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.4: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Afluente ($UASB_{mod}$) e Efluente ozonizado						
Água de diluição – Lote: 06/09					**Dosagem**: 5,0 mg $O_3.L^{-1}$						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 5,10 e 15 minutos						
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 12/09/06						
7,59	7,3	145,8	42		Final do teste: 14/09/06						
Amostra	**Variáveis da amostra**				**Organismos Expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle	7,6	7,3	146	42	20	zero	-	8,3	6,8	**-**
Efluente $UASB_{mod}$	6,8	**2,8**	587	48	20	zero	zero	8,6	6,5	**NT**
Efluente 1 (5min)	7,3	15,1	586	48	20	zero	zero	8,5	6,5	**NT**
Efluente 2 (10min)	7,8	14,2	580	48	20	zero	zero	8,6	6,7	**NT**
Efluente 3 (15min)	7,7	15,3	588	48	20	zero	zero	8,6	6,6	**NT**
NT = não tóxica					**TA = toxicidade aguda**					

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.4 não apresentaram amostras com indícios de toxicidade ou toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* tanto para o efluente do reator $UASB_{mod}$ quanto para os efluentes ozonizados.

Na Tabela 5.5 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente do reator $UASB_{mod}$ para o organismo-teste: *Danio rerio*.

Tabela 5.5: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o efluente do reator $UASB_{mod}$

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA										
Organismo-teste: *Danio rerio*					**Amostra:** Efluente $UASB_{mod}$					
Água de diluição – Lote: 06/09					**Dosagem**: 5,0 mg $O_3.L^{-1}$					
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** -					
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 13/09/06					
7,48	6,7	148,4	42		Final do teste: 15/09/06					
Amostra (%)	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle	7,5	6,7	148	42	10	zero	-	7,2	5,4	**-**
Efluente $UASB_{mod}$ 100	6,8	**2,8**	587	48	10	10	100	7,75	**1,8**	**TA**
Efluente $UASB_{mod}$ 50	-	5,6	-	-	10	-	-	-	4,9	**-**
Efluente $UASB_{mod}$ 25	-	-	-	-	10	-	-	-	-	**-**
Efluente $UASB_{mod}$ 12,5	-	-	-	-	10	-	-	-	-	**-**
CE50,48H: 99,9%										
NT = não tóxica					**TA = toxicidade aguda**					

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.5 apresentaram toxicidade aguda para o efluente do reator $UASB_{mod}$ sem diluição para o organismo-teste: *Danio rerio,* provavelmente um dos motivos seria a baixa concentração de oxigênio dissolvido (2,80 $mg.L^{-1}$). Já para as amostras diluídas não foi encontrado indícios de toxicidade.

Por meio da Tabela 5.6 é possível observar os dados de toxicidade para o ensaio que se aplicou 5 minutos como tempo de contato (efluente ozonizado 1) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ para o organismo-teste: *Danio rerio*.

Tabela 5.6: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o ensaio que se aplicou tempo de contato 5 minutos (efluente ozonizado 1) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA										
Organismo-teste: *Danio rerio*					**Amostra**: Efluente ozonizado 1					
Água de diluição – Lote: 06/09					**Dosagem**: 5,0 mg $O_3.L^{-1}$					
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 5 minutos					
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 13/09/06					
7,48	6,7	148,4	42		Final do teste: 15/09/06					
EFLUENTE 1 (%)	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
controle	7,5	6,7	148	42	10	zero	-			**-**
100	7,3	15,1	586	48	10	5	50	7,8	2,1	**TA**
50	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**
25	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**
12,5	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**
CE50,48H: 99,9%										
TA: toxicidade aguda										

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.6, apresentaram amostras com toxicidade aguda para o efluente não diluído para o ensaio que se aplicou 5 minutos como tempo de contato (efluente ozonizado 1), e os efluentes diluídos não apresentaram toxicidade para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e utilizando como organismo-teste: *Danio rerio.*

Por meio da Tabela 5.7 é possível observar os dados de toxicidade para o ensaio que se aplicou 10 minutos de tempo de contato (efluente ozonizado 2) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ para o organismo-teste: *Danio rerio*.

Tabela 5.7: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o ensaio que se aplicou tempo de contato 10 minutos (efluente ozonizado 2) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Danio rerio*					**Amostra**: Efluente ozonizado 2						
Água de diluição – Lote: 06/09					**Dosagem**: 5,0 mg $O_3.L^{-1}$						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 10 minutos						
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 13/09/06						
7,48	6,7	148,4	42		Final do teste: 15/09/06						
EFLUENTE 2 (%)	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**	
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD		
Controle	7,5	6,7	148	42	10	zero	-			**-**	
100	7,8	14,2	580	48	10	2	20	7,97	4,2	**NT**	
50	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**	
25	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**	
12,5	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**	
CE50,48H: Não Tóxica											
NT = não tóxica											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.7 mostraram não haver toxicidade para o ensaio que se aplicou 10 minutos de tempo de contato (efluente ozonizado 2) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ com e sem diluição e utilizando como organismo-teste: *Danio rerio.* Este comportamento pode ser explicado pela oxidação ou mesmo transformação do composto que foi tóxico para o mesmo ensaio, mas com tempo de contato igual a 5 minutos que apresentou toxidade aguda.

Por meio da Tabela 5.8 é possível observar os dados de toxicidade para o ensaio que se aplicou tempo de contato 15 minutos (efluente ozonizado 3) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ para o organismo-teste: *Danio rerio*.

Tabela 5.8: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o ensaio que se aplicou tempo de contato 15 minutos (efluente ozonizado 3) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA

Organismo-teste: *Danio rerio*				**Amostra**: Efluente ozonizado 3
Água de diluição – Lote: 06/09				**Dosagem**: 5,0 mg $O_3.L^{-1}$
pH	OD	Condut.	Dureza	**Tempo de Contato:** 15 minutos
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$	Início do teste: 13/09/06
7,48	6,7	148,4	42	Final do teste: 15/09/06

EFLUENTE 3 (%)	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle	7,5	6,7	148	42	10	zero	-	7,2	5,4	**-**
100	7,7	15,4	587	48	10	3	30	7,98	4,7	**NT**
50	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**
25	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**
12,5	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-	**-**

CE50, 48H: Não Tóxica

NT = não tóxica

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.8 mostraram não haver toxicidade para o ensaio que se aplicou 15 minutos de tempo de contato (efluente ozonizado 3) para a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ com e sem diluição e utilizando como organismo-teste: *Danio rerio*, comportamento semelhante ao detectado para o ensaio com tempo de contato igual a 10 minutos.

Na Tabela 5.9 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 15, 10 e 5 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.9: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA

Organismo-teste: *Daphnia similis*				**Amostra:** Afluente ($UASB_{mod}$) e Efluente ozonizado
Água de diluição – Lote: 17/08				**Dosagem**: 8,0 mg $O_3.L^{-1}$
pH	OD	Condut.	Dureza	**Tempo de Contato:** 5,10 e 15 minutos
	mg.L^{-1}	(μS/cm^2)	mg.L^{-1} $CaCO_3$	Início do teste: 22/08/06
7,34	8,0	155	44	Final do teste: 24/08/06

Amostra	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle	7,3	8,0	155	44	20	zero	-	8,0	7,2	**-**
Efluente $UASB_{mod}$	6,8	5,9	528	24	20	zero	zero	7,8	6,9	**NT**
Efluente 1 (5min)	7,1	12,2	509	36	20	18	90	8,3	7,2	**TA**
Efluente 2 (10min)	7,1	18,3	526	34	20	13	65	8,3	7,1	**TA**
Efluente 3 (15min)	7,9	15,6	533	38	20	9	40*	8,5	7,3	**TA**

*: diferença estatisticamente significativa

NT = não tóxica **TA = toxicidade aguda**

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.9 apresentaram amostras com toxicidade aguda para os efluentes ozonizados para os três tempos de contato estudados. Para o efluente do reator $UASB_{mod}$ destes ensaios não apresentou toxicidade para o organismo-teste: *Daphnia similis*. Para o tempo de contato igual a 5 minutos foi observado 90,0% de mortalidade, para o tempo de 10 minutos 65,0% de mortalidade e para o tempo de 15 minutos 40,0% de mortalidade.

Na Tabela 5.10 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos para o organismo-teste: *Danio rerio*.

Tabela 5.10: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA

Organismo-teste: ***Danio rerio***				**Amostra:** Afluente ($UASB_{mod}$) e Efluente ozonizado
Água de diluição – Lote: 30/08				**Dosagem**: 8,0 mg $O_3.L^{-1}$
pH	OD	Condut.	Dureza	**Tempo de Contato:** 5,10 e 15 minutos
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$	Início do teste: 04/09/06
7,56	8,3	147,3	42	Final do teste: 06/09/06

Amostra	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle	7,6	8,3	147	42	10	zero	-	7,2	5,4	**-**
Efluente $UASB_{mod}$	7,2	5,5	523	28	10	10	100	6,96	2,0	**TA**
Efluente 1 (5min)	7,3	9,5	497	34	10	2	20	7,97	4,7	**NT**
Efluente 2 (10min)	7,5	8,3	518	34	10	2	20	7,91	3,8	**NT**
Efluente 3 (15min)	8,1	8,3	492	34	10	4	40*	7,97	4,7	**TA**

*: diferença estatisticamente significativa

NT = não tóxica	**TA = toxicidade aguda**

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.10 apresentaram toxicidade aguda apenas para o ensaio que se aplicou como 15 minutos de tempo de contato (efluente ozonizado 3) e para a efluente do reator $UASB_{mod}$. Para as amostras que se aplicou tempos de contato igual de 5 e 10 minutos não foi detectado toxicidade, definindo as amostras como não tóxicas para o organismo-teste: *Danio rerio*.

A toxicidade encontrada para o ensaio que se aplicou 15 minutos de tempo de contato não teve correlação com os subprodutos formados já que para este ensaio o tempo de contato igual a 15 minutos obteve a menor formação dos mesmos.

Na Tabela 5.11 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.11: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e efluentes ozonizados para a dosagem de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA									
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Afluente ($UASB_{mod}$) e Efluente ozonizado				
Água de diluição – Lote: 08/08					**Dosagem**: 10,0 mg $O_3.L^{-1}$				
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 5,10 e 15 minutos				
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 09/08/06				
7,34	7,3	153,4	42		Final do teste: 11/08/06				
Amostra	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**	
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD
Controle	7,3	7,3	153	42	20	zero	-	7,9	6,7
Efluente $UASB_{mod}$	6,9	4,4	567	40	20	1	5	8,25	6,7
Efluente 1 (5min)	7,4	12,1	545	38	20	zero	zero	8,16	7,0
Efluente 2 (10min)	7,6	14,5	548	40	20	zero	zero	8,27	6,9
Efluente 3 (15min)	7,3	13,4	570	42	20	zero	zero	8,3	6,6
Resultado: amostras não tóxicas					**CE50, 48H: -**				

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.11 não apresentaram amostras com toxicidade para o organismo-teste: *Daphnia similis,* tanto para o efluente do reator $UASB_{mod}$ quanto para os efluentes ozonizados.

Por meio da Tabela 5.12 é possível observar os dados de toxicidade do efluente do reator $UASB_{mod}$ para das amostras que seriam aplicados a dosagem de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos para o organismo-teste: *Danio rerio*.

Tabela 5.12: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para o efluente do reator $UASB_{mod}$

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA									
Organismo-teste: *Danio rerio*					**Amostra:** Afluente (Efluente $UASB_{mod}$)				
Água de diluição – Lote: 03/08					**Dosagem**: 10,0 mg $O_3.L^{-11}$				
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato: -**				
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 09/08/06				
7,39	6,6	149,7	42		Final do teste: 11/08/06				
Amostra	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**	
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD
Controle	7,4	6,6	149	42	10	zero	-	7,2	5,4
Efluente $UASB_{mod}$ 100	6,9	4,4	567	40	10	5	50	7,77	**2,3**
Efluente $UASB_{mod}$ 50	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-
Efluente $UASB_{mod}$ 25	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-
Efluente $UASB_{mod}$ 12,5	-	-	-	-	10	zero	zero	-	-
Resultado: amostra tóxica					**CE50, 48H: 99,9%**				

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Para a amostra do efluente do reator $UASB_{mod}$ para os ensaios que foram aplicados a dosagem de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos para o organismo-teste: *Danio rerio* foi observado toxicidade apenas para a amostra sem diluição.

Na Tabela 5.13 estão apresentados os dados de toxicidade dos efluentes ozonizados com dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos para o organismo-teste: *Danio rerio*.

Tabela 5.13: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Danio rerio* para os efluentes ozonizados para a dosagem de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA

Organismo-teste: *Danio rerio*				**Amostra:** Efluentes ozonizados
Água de diluição – Lote: 03/08				**Dosagem**: 10,0 mg $O_3.L^{-1}$
pH	OD	Condut.	Dureza	**Tempo de Contato:** 5,10 e 15 minutos
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$	Início do teste: 09/08/06
7,39	6,6	149,7	42	Final do teste: 11/08/06

Amostra	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**	
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD
Controle	7,4	6,6	149	42	10	zero	-	7,2	5,4
Efluente 1 (5min)	7,4	12,1	545	38	10	1	10	7,97	4,7
Efluente 2 (10min)	7,6	14,5	548	40	10	1	10	7,91	3,8
Efluente 3 (15min)	7,3	13,4	570	42	10	1	10	7,97	4,7
Resultado: amostras não tóxicas					CE50, 48H: --				

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.13 apresentaram amostras sem toxicidade para o organismo-teste: *Danio rerio,* para os três tempos de contato estudados.

5.1.2 - Condições experimentais dos ensaios de cloração

As condições experimentais para os ensaios de cloração foram as seguintes: 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos, respectivamente.

5.1.2.1 - Cloro consumido, cloro residual livre e cloro residual total

Na Tabela A.11 podem ser observadas as concentrações de cloro consumido, cloro residual livre e total para os ensaios em que se aplicaram 10,0, 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos e nas Figuras 5.61 a 5.63 a concentração média de cloro consumido, de cloro residual livre e total.

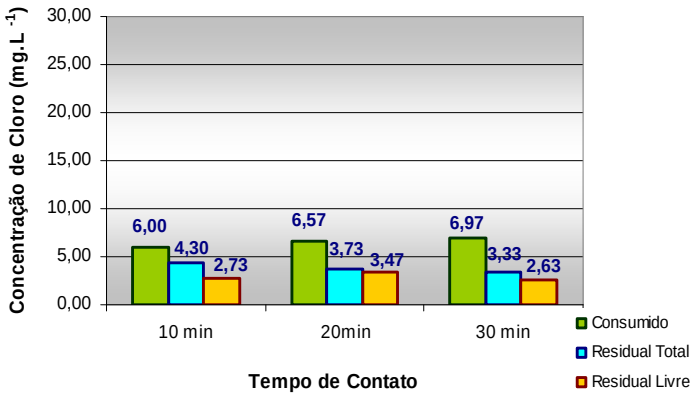


Figura 5.61: Concentração média de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Nos ensaios que se pretendia aplicar 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, a dosagem média aplicada foi de 10,30 mg $Cl_2.L^{-1}$ para os tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos. Para esta dosagem média de cloro aplicado foi obtido uma concentração média de 6,00; 6,57 e 6,97 mg $Cl_2.L^{-1}$ de cloro consumido, para os tempos de 10, 20 e

30 minutos respectivamente. Pode-se observar um pequeno aumento de cloro consumido com o aumento do tempo de contato.

A concentração média de cloro residual total foi de 4,30; 3,73 e 3,33 mg $Cl_2.L^{-1}$ e para cloro residual livre 2,73; 3,47 e 2,63 mg $Cl_2.L^{-1}$ para os tempos de 10, 20 e 30 minutos, respectivamente. As concentrações de residuais totais foram inferiores as observadas por El-Rehaili (1995) que estudou a cloração de efluente proveniente da estação de tratamento de esgoto, que consistia de sedimentação primária, filtro biológico e lagoas de polimento da cidade Riyadh, capital da Arábia Saudita. O autor aplicou dosagens de 5,0; 10,0; 20,0; 30,0 e 50,0 mg $Cl_2.L^{-1}$. Para a dosagem de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos, o autor detectou concentração média de 6,40 mg $Cl_2.L^{-1}$ de cloro residual, o que indica que apenas uma pequena parcela de cloro aplicado foi consumida, diferentemente ao detectado na presente pesquisa para as condições estudadas.

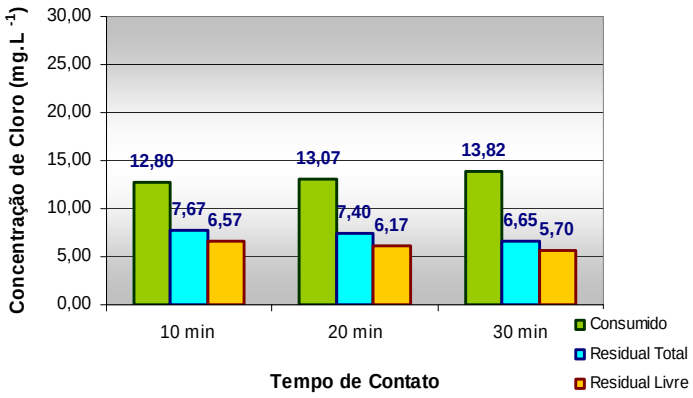


Figura 5.62: Concentração média de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

Para o ensaio que se pretendia aplicar 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, a dosagem média aplicada foi de 20,47 mg $Cl_2.L^{-1}$ para os tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos. Para esta dosagem média de cloro aplicado foi obtido uma concentração média de 12,80; 13,07 e 13,82 mg $Cl_2.L^{-1}$ de cloro consumido, para os tempos de 10, 20 e

30 minutos respectivamente, concentrações que resultaram em alta concentração de cloro residual. Pode-se observar um pequeno aumento de cloro consumido do tempo de 10 para 20 minutos e de 20 para 30 minutos.

As concentrações médias de cloro residual total foram 7,67; 7,40 e 6,65 mg $Cl_2.L^{-1}$ e para cloro residual livre 6,57;, 6,17 e 5,70 mg $Cl_2.L^{-1}$ para os tempos de 10, 20 e 30 minutos, respectivamente.

Para o ensaio que se aplicou 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, as concentrações residuais totais de cloro também foram inferiores as observadas por El-Rehaili (1995). Para a dosagem de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos, o autor detectou concentração média de 16,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ de cloro residual, o que indica que apenas uma pequena parcela de cloro aplicado foi consumida, diferentemente ao detectado na presente pesquisa para as condições estudadas.

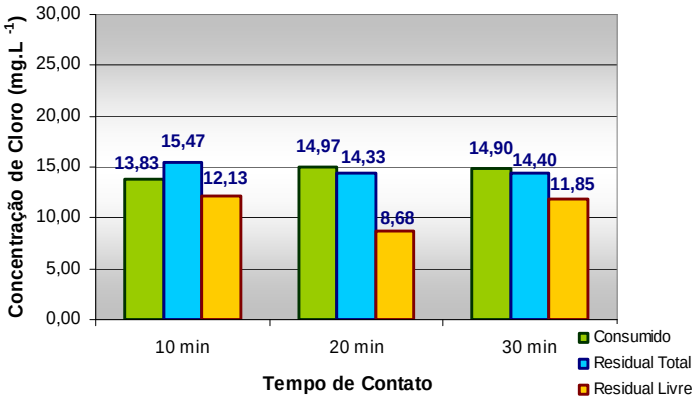


Figura 5.63: Concentração média de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 5, 10 e 15 minutos

A dosagem média de cloro aplicada foi de 29,30 mg $Cl_2.L^{-1}$ para os tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos, quando se pretendia aplicar 30,00 mg $Cl_2.L^{-1}$. Para esta dosagem média de cloro aplicado foi obtido uma concentração média de 13,83; 14,97 e 14,90 mg $Cl_2.L^{-1}$ de cloro consumido, para os tempos de 10, 20 e 30 minutos respectivamente, concentrações que resultaram em alta concentração de

cloro residual. Pode-se observar um pequeno aumento de cloro consumido do tempo de 10 para 20 minutos, para o tempo de contato igual a 30 minutos a concentração média de cloro consumido foi muito semelhante ao tempo de contato de 10 minutos.

A concentração média de cloro residual total foram 15,47; 14,33 e 14,40 mg $Cl_2.L^{-1}$ e para cloro residual livre 12,13; 8,68 e 11,85 mg $Cl_2.L^{-1}$ para os tempos de 10, 20 e 30 minutos, respectivamente.

No ensaio que se aplicou 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, as concentrações residuais totais de cloro também foram inferiores as observadas por El-Rehaili (1995). Para a dosagem de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos, o autor detectou concentração média de 25,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ de cloro residual, o que indica que apenas uma pequena parcela de cloro aplicado foi consumida, mesmo sendo inferior a concentração de cloro residual para a presente pesquisa, pode-se verificar pela concentração média de cloro consumido que apenas uma pequena parcela foi consumida.

Foram feitas análises estatísticas para se avaliar a significância da variação do cloro consumido em função tempo de contato e da dosagem de cloro aplicada nas amostras. Os resultados indicam que a variável tempo de contato não é significativa, enquanto que a concentração de cloro aplicada é significativa (0,1%) o que pode ser constatado nas Figuras 5.61 a 5.63.

5.1.2.2 - Alcalinidade, pH

Os valores de pH e alcalinidade total podem ser observados por meio da Tabela A.12 e os valores médios de pH e alcalinidade dos ensaios de cloração para

dosagem aplicada de 10,0, 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos podem ser observados por meio das Figuras 5.64 a 5.69.

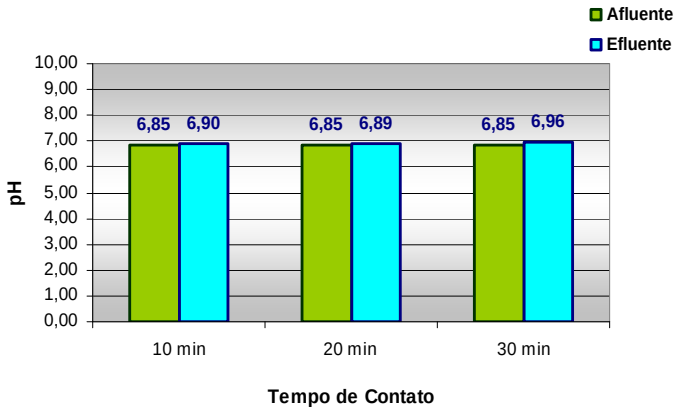


Figura 5.64: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

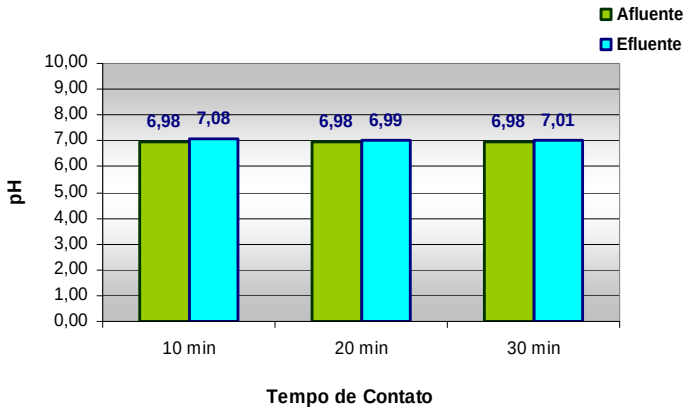


Figura 5.65: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

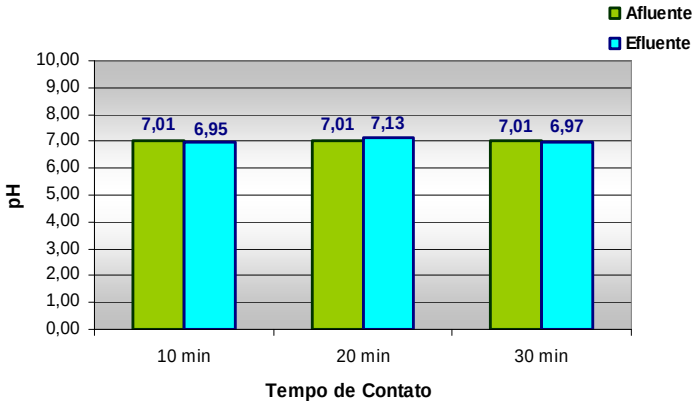


Figura 5.66: Valores médios de pH para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Apesar de o pH tender a um aumento, devido à adição de hipoclorito de sódio, que produz por dissociação o íon OCl^-, o qual reage com o H^+ existente no meio para formar o HOCl (White, 1999), este comportamento não foi observado nos ensaios realizados, os valores médios não apresentaram diferença significativa.

Os valores de pH do efluente do reator $UASB_{mod}$ (afluente) variaram de 6,58 a 7,20, nesta faixa de pH há presença do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito. Para o pH 6,58 e temperatura de 25 °C, há aproximadamente 89,7% de ácido hipocloroso e 10,4% do íon hipoclorito e para o pH 7,20, 68,5% de ácido hipocloroso e 31,5% do íon hipoclorito (White, 1999).

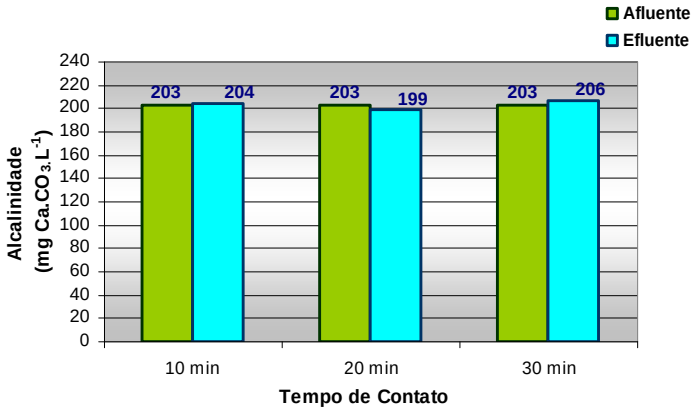


Figura 5.67: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

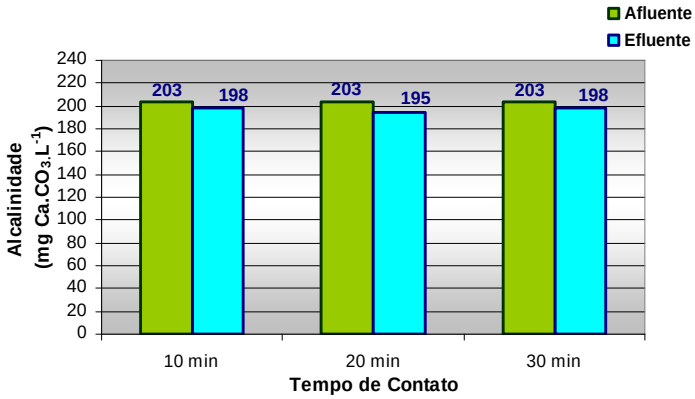


Figura 5.68: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

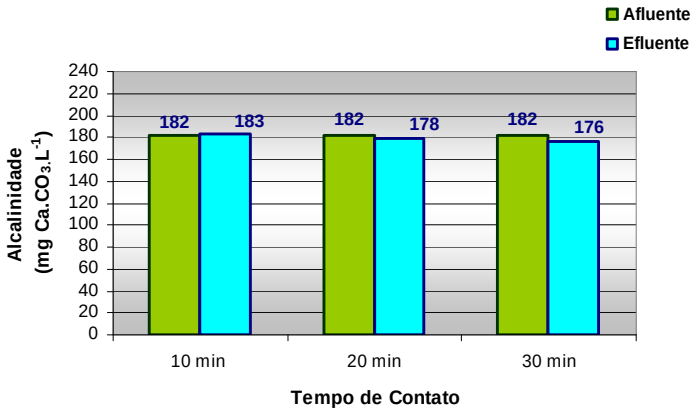


Figura 5.69: Alcalinidade total média para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Analisando os valores médios de alcalinidade, para os ensaios para o tempo de contato de 10 minutos não houve alteração nos valores do efluente do reator $UASB_{mod}$ e no efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado. Para os tempos de contato de 20 e 30 minutos houve um pequeno decréscimo da alcalinidade.

5.1.2.3 - Demanda Química de Oxigênio

Os valores de DQO detectados para os ensaios de cloração para as dosagens de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.13 e, os valores médios por meio das Figuras 5.70 a 5.72.

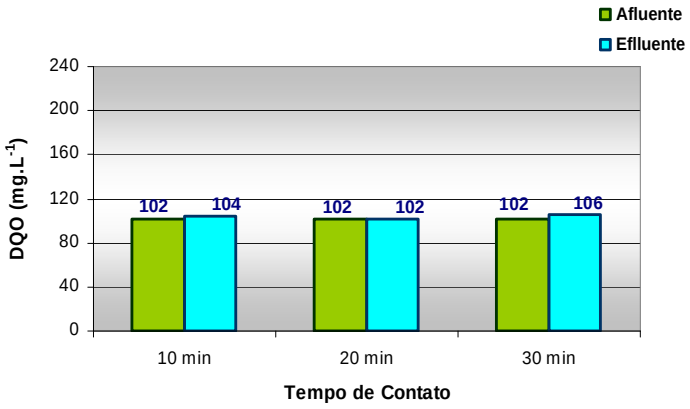


Figura 5.70: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Para a dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, verificou-se para o tempo de contato de 10 minutos um aumento médio de DQO de 1,96% para o efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado. Para o tempo de contato de 20 minutos não foi detectado remoção, analisando os valores médios e, para o tempo de contato de 30 minutos também foi detectado um aumento médio de DQO do efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado de 3,96%.

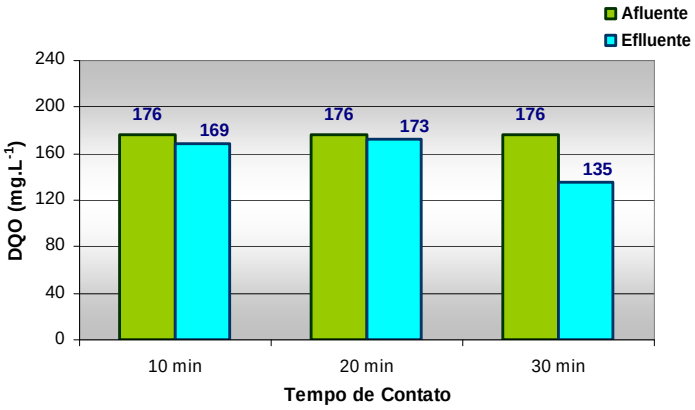


Figura 5.71: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Para a dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, verificou-se para o tempo de contato de 10, 20 e 30 minutos um remoção nos valores médios de DQO de 3,98; 1,70 e 23,29% para o efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado,

respectivamente. Este comportamento difere do comportamento observado para a dosagem de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato estudados.

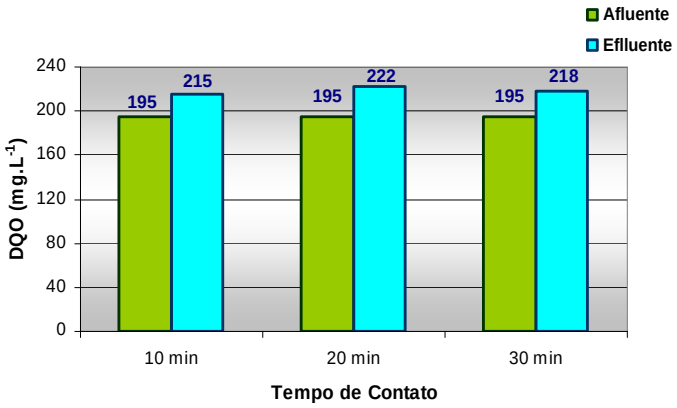


Figura 5.72: Valores médios de DQO para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Para a dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, verificou-se para o tempo de contato de 10 minutos um aumento médio de DQO de 9,30% para o efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado. Para o tempo de contato de 20 minutos verificou-se um aumento médio de DQO de 12,20% para o efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado e, para o tempo de contato de 30 minutos também foi detectado um aumento médio de DQO do efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado de 10,60%. O mesmo comportamento foi detectado para nas pesquisas de El-Rehaili (1995), que para as dosagens de 10,0 e 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 30 minutos verificou um aumento médio de DQO de 14,00 e 59,00% para o efluente clorado-desclorado, foi verificado que com o aumento da dosagem aplicada houve um aumento de DQO, comportamento também detectado quando se compara as dosagens de 10,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$. O autor explica este comportamento como uma possível modificação da matriz orgânica pela ação do cloro, deixando-a mais biodegradável e mais acessível à oxidação nos testes de DQO.

Não foram realizados testes estatísticos para DQO da cloração devido à natureza matemática dos dados obtidos. O fato do desvio padrão das médias serem altas foi resultado da diferença obtida entre os ensaios, em que foi observado aumento da DQO para algumas amostras e um decréscimo desse valor para outras.

5.1.2.4 - Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Orgânico e Nitrogênio Amoniacal

As concentrações de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal observadas para os ensaios de cloração para a dosagem de 10,0; 20 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.14 e as concentrações médias de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal por meio das Figuras 5.73 a 5.81 respectivamente.

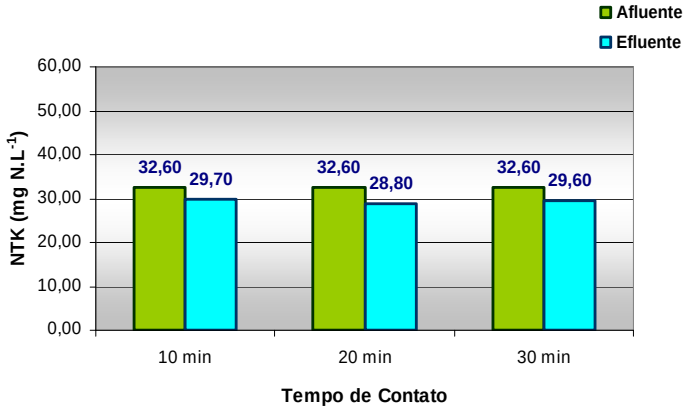


Figura 5.73: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

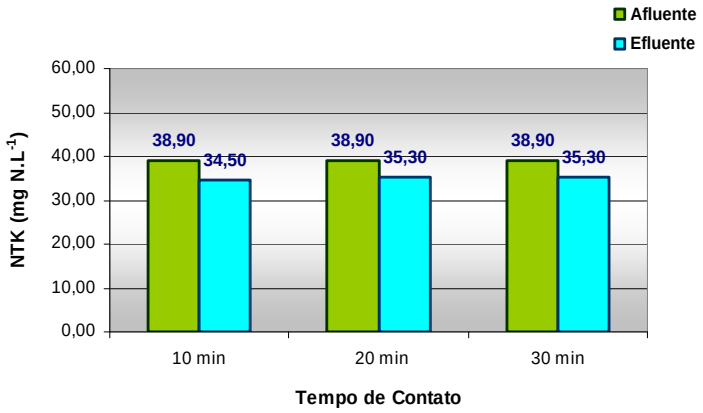


Figura 5.74: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

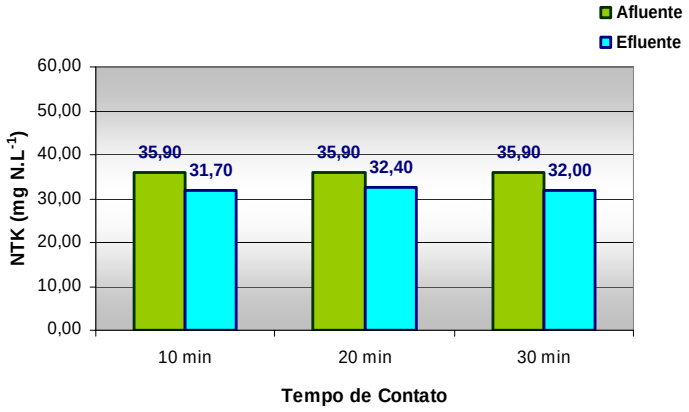


Figura 5.75: Concentração média de NTK para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, as concentrações médias afluente de NTK, para os tempos de contato estudados foram 32,60; 38,90 e 35,90 mg $N.L^{-1}$ e as concentrações médias do efluente clorado-desclorado foram de 29,40; 35,10 e 32,10 mg $N.L^{-1}$.

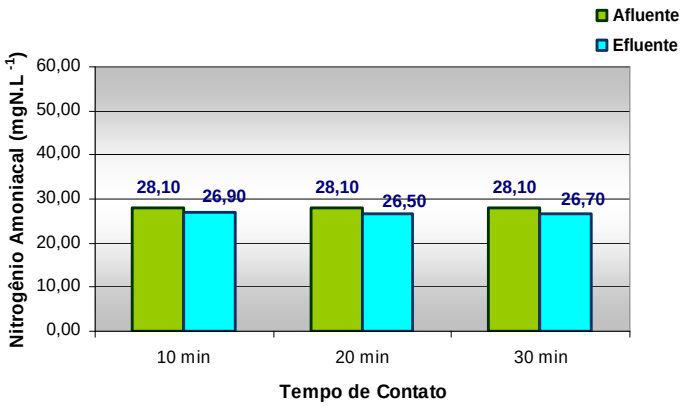


Figura 5.76: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

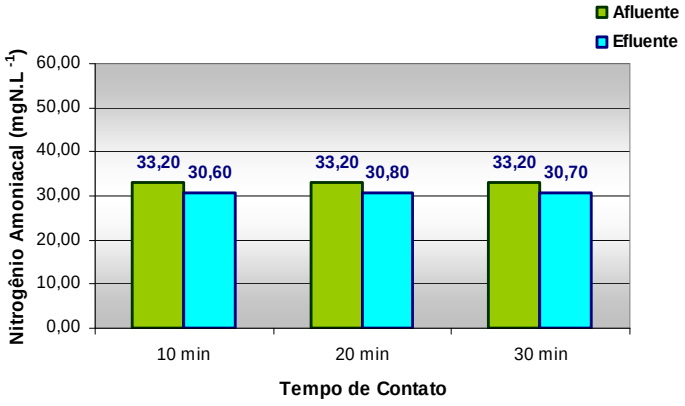


Figura 5.77: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

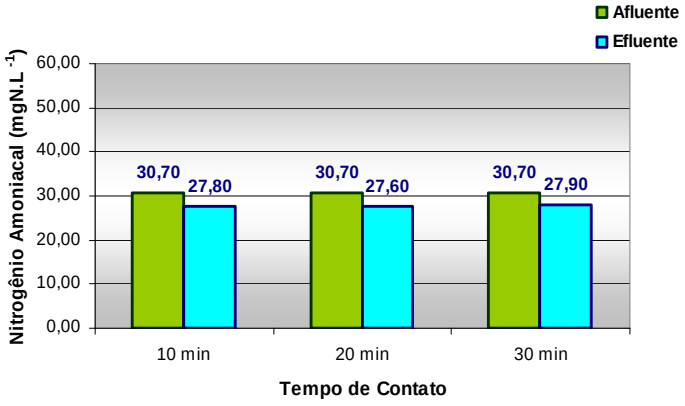


Figura 5.78: Concentração média de nitrogênio amoniacal para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Observando as concentrações de nitrogênio amoniacal é possível notar que houve um consumo do mesmo pelo cloro para a formação de cloraminas.

A concentração média afluente de nitrogênio amoniacal para os ensaios que se aplicaram 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, para os tempos de contato estudados foram 28,10; 33,20 e 30,70 mg $N.L^{-1}$ e a concentração média do efluente clorado-desclorado foi de 26,70; 30,70 e 27,80 mg $N.L^{-1}$, respectivamente.

A reação do cloro com o nitrogênio amoniacal implica em um consumo de 5,0 mg Cl_2/1,0 mg $N\text{-}NH_3$, esta razão foi observada em praticamente todos os valores médios de nitrogênio amoniacal.

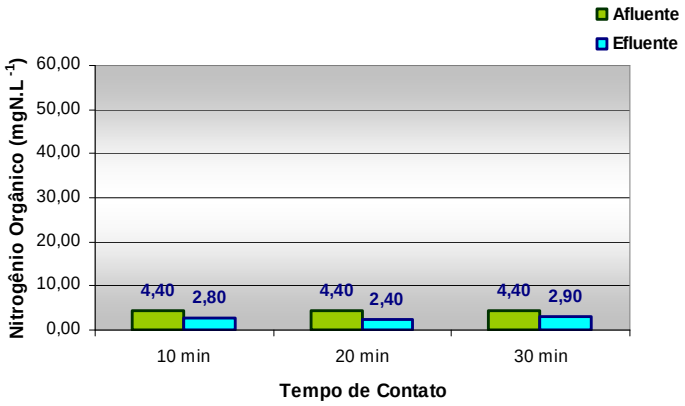


Figura 5.79: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

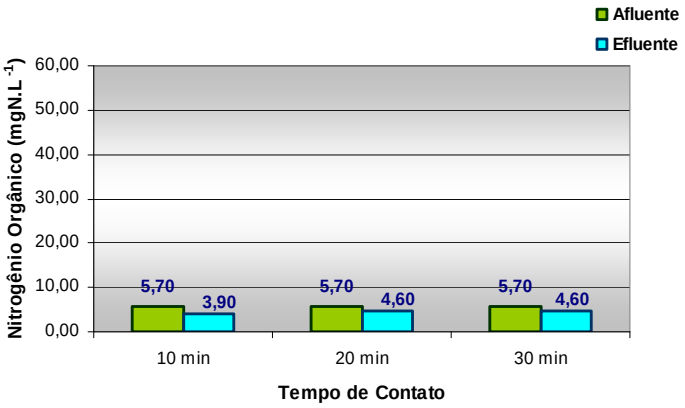


Figura 5.80: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

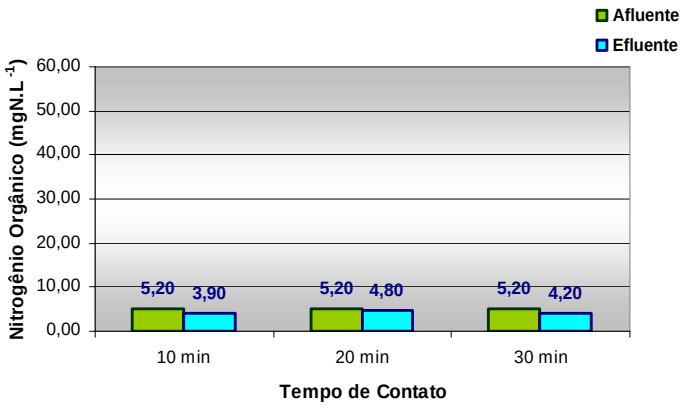


Figura 5.81: Concentração média de nitrogênio orgânico para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

A concentração média afluente de nitrogênio orgânico para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, para os tempos de contato estudados foram 4,40; 5,70 e 5,20 mg $N.L^{-1}$ e as concentrações médias do efluente clorado-desclorado foi de 2,70; 4,40 e 4,30 mg $N.L^{-1}$. As concentrações observadas de nitrogênio orgânico seguiram a tendência de NTK e nitrogênio amoniacal, pois nitrogênio orgânico é a diferença entre NTK e N-amoniacal.

Foram realizados testes estatísticos para se verificar a significância das variações de NTK, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico em função das dosagens de cloro e do tempo de contato aplicados. Os resultados apresentaram o tempo de contato e a concentração de cloro como sendo variáveis não significativas na variação das concentrações de NTK e nitrogênio orgânico. Para o nitrogênio amoniacal a concentração de cloro foi significativa, o que pode ser verificado nas Figuras 5.76 a 5.78.

5.1.2.5 - Nitrito e Nitrato

As concentrações de nitrito e nitrato observadas para os ensaios de cloração para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.15. As concentrações médias de nitrito e nitrato estão apresentadas nas Figuras 5.82 a 5.87.

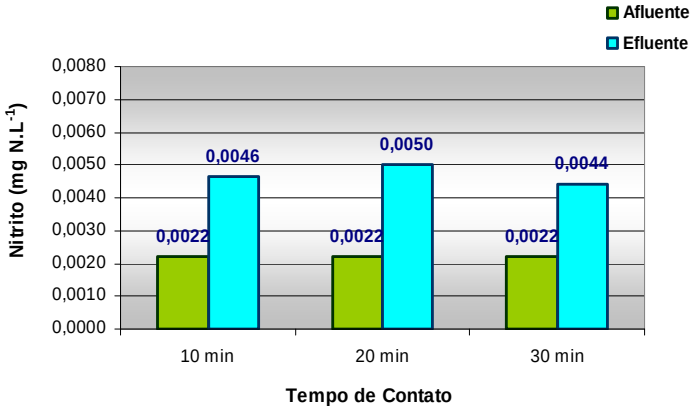


Figura 5.82: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

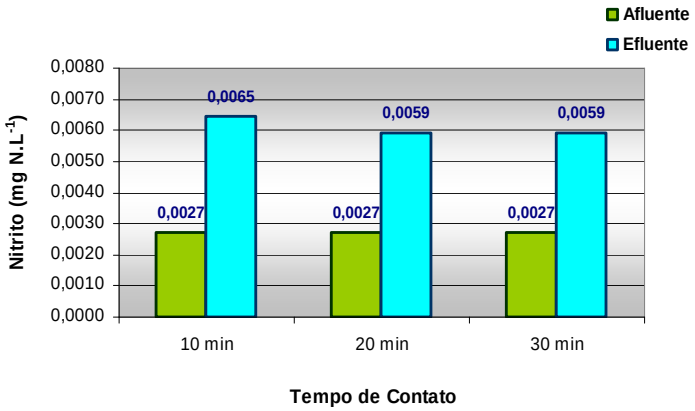


Figura 5.83: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

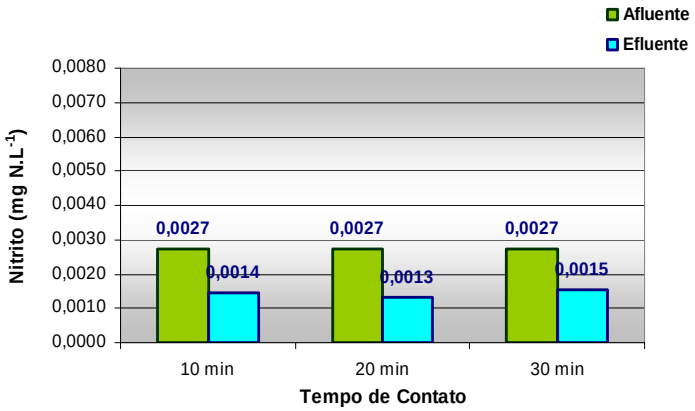


Figura 5.84: Concentração média de nitrito para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

A concentração média de nitrito nos afluentes e efluentes clorados/desclorados foi muito baixa, havendo pouca variação entre eles para todos os tempos de contato e dosagens aplicados, mostrando muito pouca ou nenhuma influência da cloração (Figuras 5.82 a 5.84).

Algumas concentrações dos efluentes clorados/desclorados apresentam concentrações superiores aos do efluente do reator $UASB_{mod}$, fato que pode ser explicado por algum interferente na análise dos mesmos, já que foi observado uma coloração diferente para estes testes.

De acordo com Meyer (1994) os nitritos são rapidamente oxidados pelo cloro, comportamento este que não ocorreu na presente pesquisa, possivelmente pela concentração muito baixa observada para nitrito.

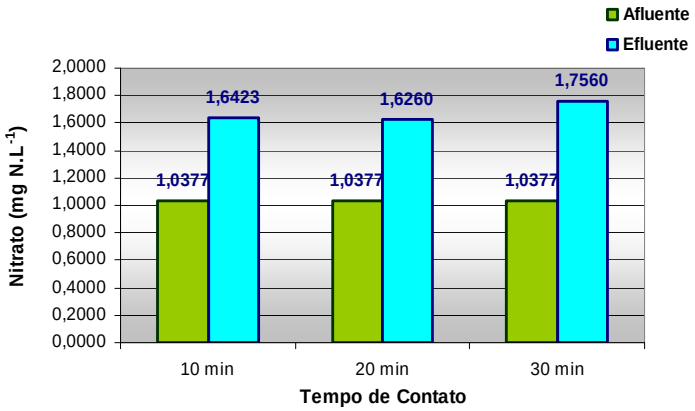


Figura 5.85: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

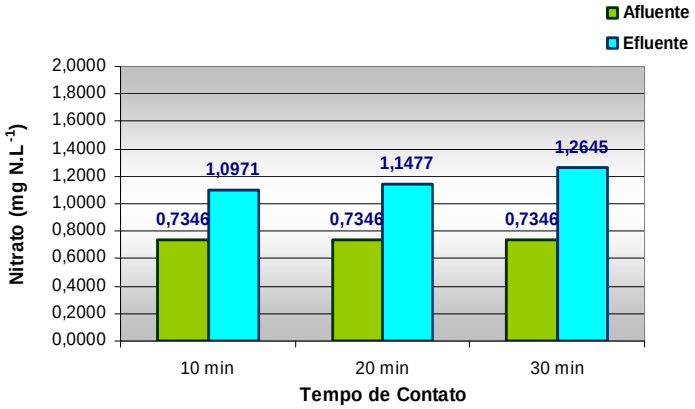


Figura 5.86: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

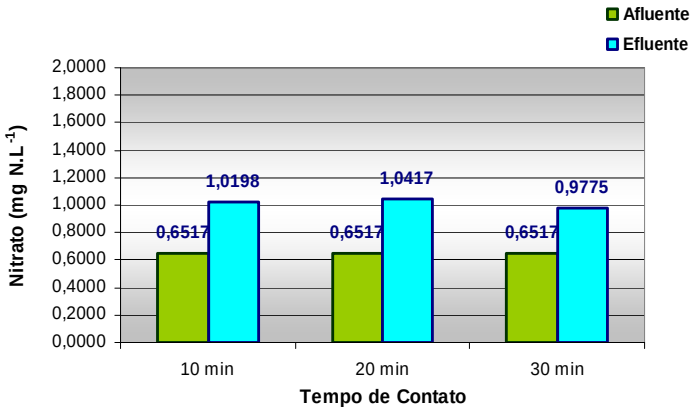


Figura 5.87: Concentração média de nitrato para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

A concentrações média afluente de nitrato para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, para os tempos de contato estudados foi de 1,0377;

0,7346 e 0,6517 mg $N.L^{-1}$ e a concentração média do efluente clorado-desclorado foi de 1,6748; 1,1598 e 1,0130 mg $N.L^{-1}$.

A oxidação do nitrogênio amoniacal gera nitrato, fato comprovado pelo aumento detectado para nitrato nos ensaios de cloração.

5.1.2.6 - Cloreto

A concentração de cloreto observada para os ensaios de cloração para a dosagem de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.16 e a concentração média por meio das Figuras 5.88 a 5.90.

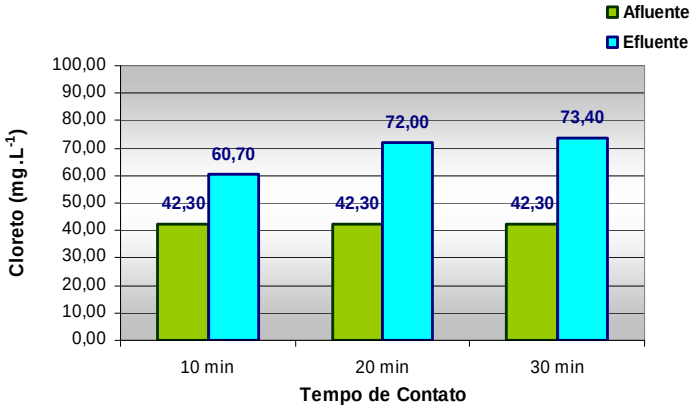


Figura 5.88: Concentração média de cloreto para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

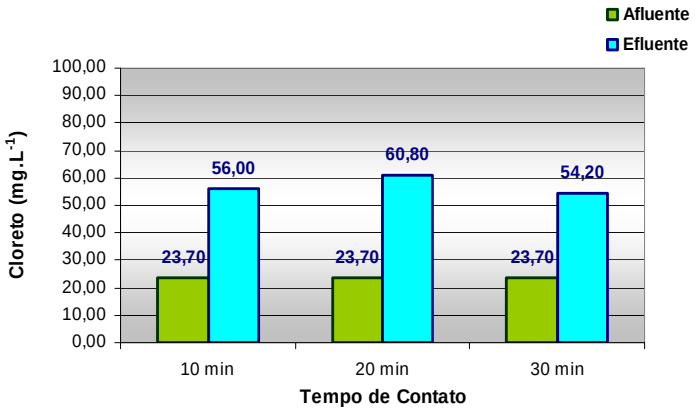


Figura 5.89: Concentração média de cloreto para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

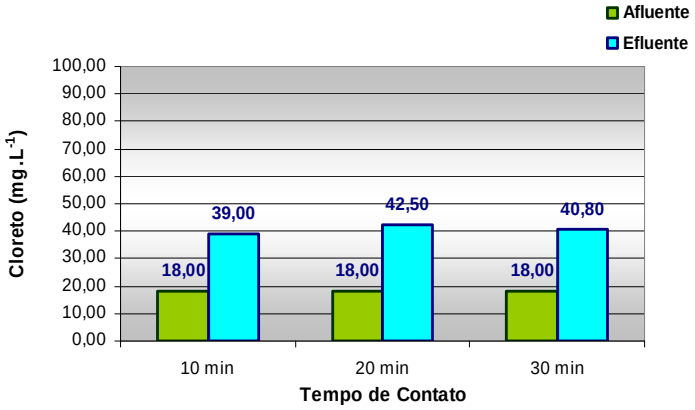


Figura 5.90: Concentração média de cloreto para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Foi observado uma concentração média de 28,00 mg $Cl^-.L^{-1}$ para o efluente do reator $UASB_{mod}$ e para os efluentes clorados/desclorados 42,30; 57,00 e 40,80 mg $Cl^-.L^{-1}$ para as concentrações aplicadas de 10;0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, respectivamente. É possível observar por meio das concentrações médias uma grande variação de cloreto no efluente do reator $UASB_{mod}$, 18,00 a 42,30 mg $Cl^-.L^{-1}$. Comportamento que é explicado devido grande alteração na qualidade do efluente que chega à estação.

O aumento de cloreto detectado nas análises se deve, principalmente, ao cloreto contido na solução de hipoclorito de sódio. Além do aumento devido ao

cloreto contido na solução de hipoclorito de sódio, seu aumento pode ter sido ocasionado também pela redução de Fe^{2+}, Mn^{2+}, H_2S e matéria orgânica, que reagem com o cloro e este é reduzido em sua maior parte ao íon cloreto.

5.1.2.7 - Sulfeto

A concentração de sulfeto formada nos os ensaios de cloração para a dosagem de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.17 e a concentração média por meio das Figuras 5.91 a 5.93.

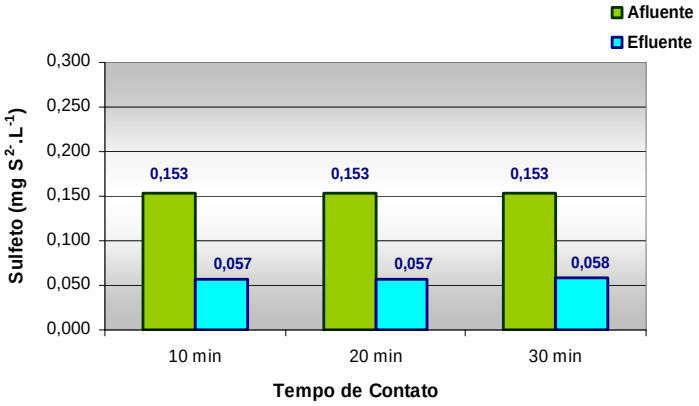


Figura 5.91: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

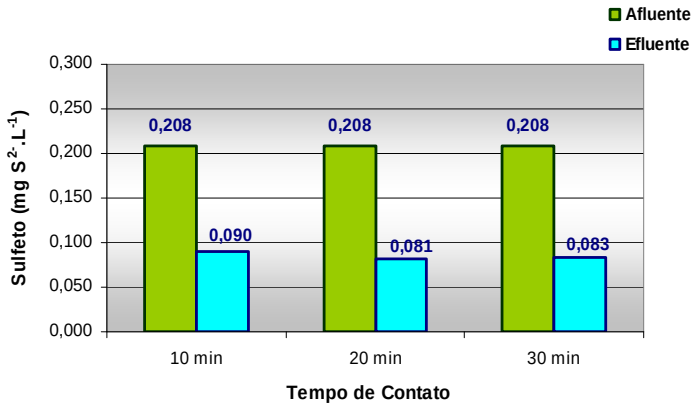


Figura 5.92: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

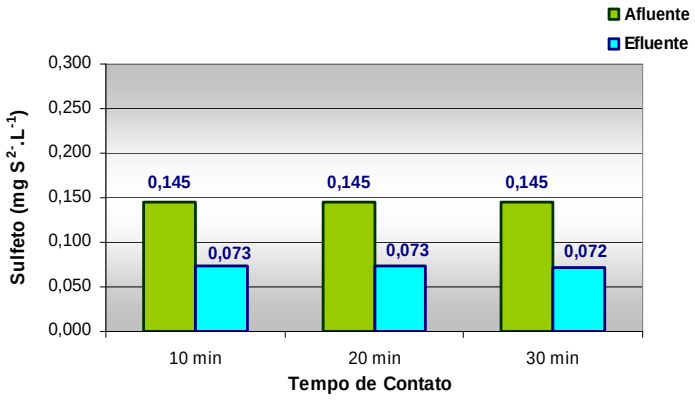


Figura 5.93: Concentração média de sulfeto para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Segundo White (1999) o sulfeto é facilmente oxidado pelo cloro. Foi observado concentração baixa de sulfeto presente no efluente do reator $UASB_{mod}$ e para o efluente clorado-desclorado houve um pequeno decréscimo desta concentração, devido à oxidação pelo cloro.

A concentração média afluente de sulfeto para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, para os tempos de contato estudados foram 0,153; 0,208; 0,145 $mg.L^{-1}S^{2-}$ e a concentração média do efluente clorado-desclorado foi de 0,057; 0,085 e 0,073 $mg.L^{-1}S^{2-}$. As remoções foram de 62,8; 59,1 e 49,7% para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, este comportamento demonstra que não houve incremento na oxidação de sulfeto com o aumento na dosagem de cloro aplicada.

5.1.2.8 - Sólidos em Suspensão Totais (SST), Sólidos em Suspensão Fixos (SSF) e Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV)

As concentrações sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão fixos e sólidos em suspensão voláteis observadas para os ensaios de cloração para dosagens de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.18 e as concentrações médias por meio das Figuras 5.94 a 5.102.

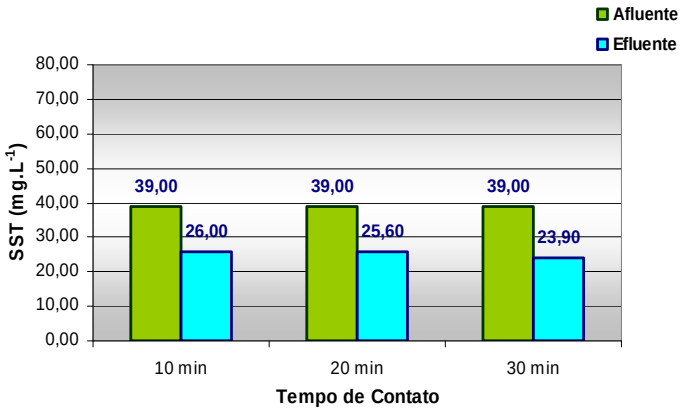


Figura 5.94: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

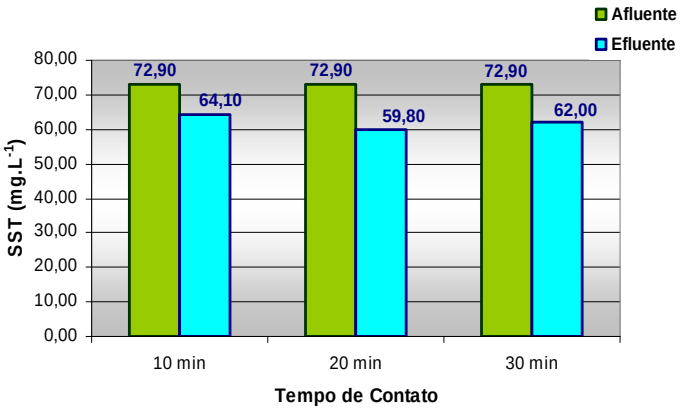


Figura 5.95: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

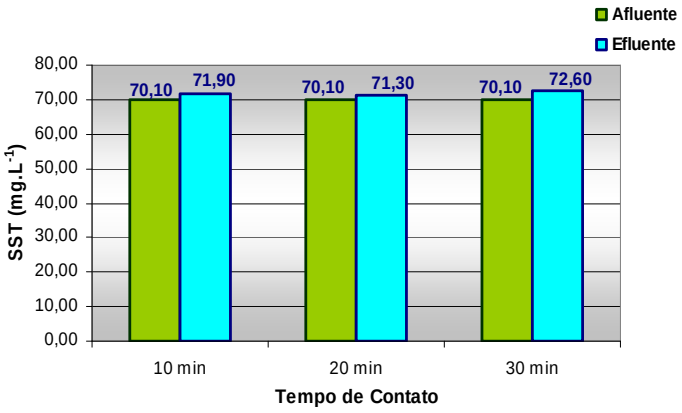


Figura 5.96: Concentração média de SST para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

A concentração média afluente de SST para os tempos de contato estudados para as dosagens de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foram de 39,00; 72,90 e 70,10 $mg.L^{-1}$. Por meio destes valores médios e também pelos valores detectados para cada ensaio (Tabela A.17) é possível observar uma grande variação de SST.

Para as dosagens aplicadas de 10,0 e 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foi observada uma remoção de SST de 35,3 e 15,0%. Por meio destes valores pode-se verificar uma diminuição na remoção com o aumento da dosagem de cloro aplicado.

Observando a concentração média, afluente e efluente para SST nota-se um pequeno aumento (2,5%) para os efluentes clorados/desclorados para o ensaio que se aplicou 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, comportamento também observado por Costa (2007) que aplicou cloro em efluente proveniente do tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização. A autora aplicou as dosagens de 2,5 e 7,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 e 40 minutos, para estas dosagens e tempo de contato foram detectados aumentos na concentração de SST.

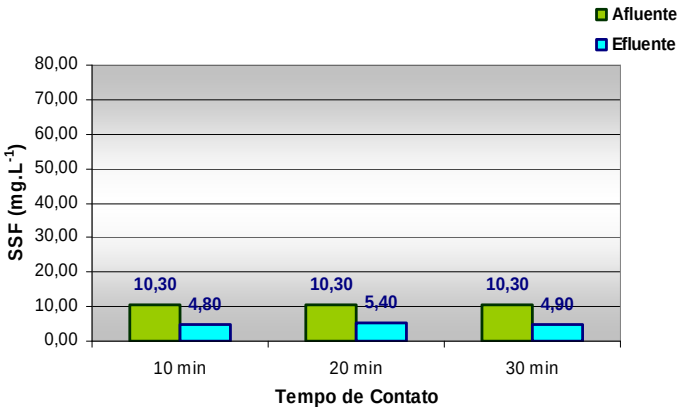


Figura 5.97: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

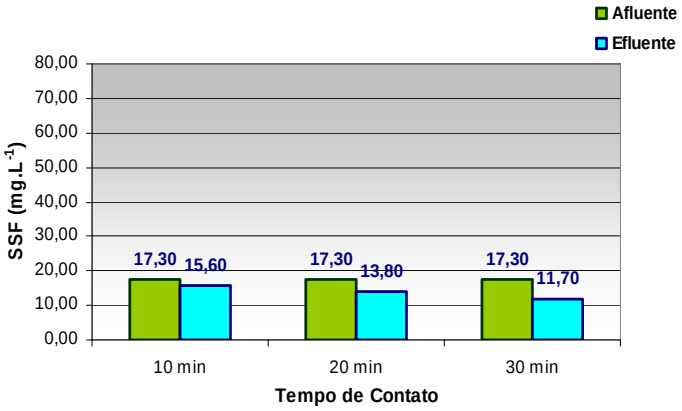


Figura 5.98: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

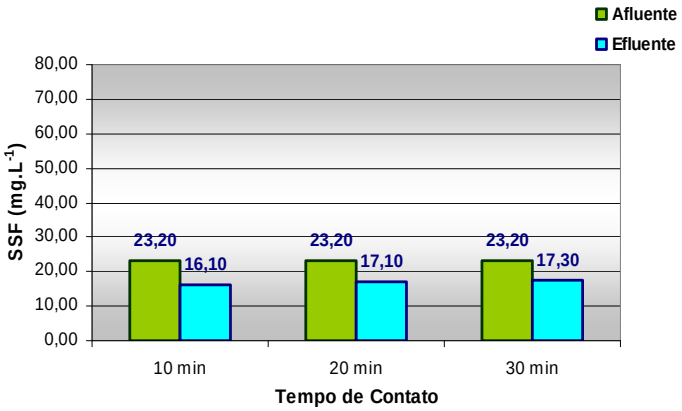


Figura 5.99: Concentração média de SSF para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

A concentração média afluente de SSF para os tempos de contato estudados para dosagens de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foi de 10,30; 17,30 e 22,20 $mg.L^{-1}$. Foi detectado uma pequena diminuição na concentração de SSF para os efluentes clorados-desclorados, este comportamento pode ser explicado devido à imprecisão do método, pois os valores estiveram muito próximos.

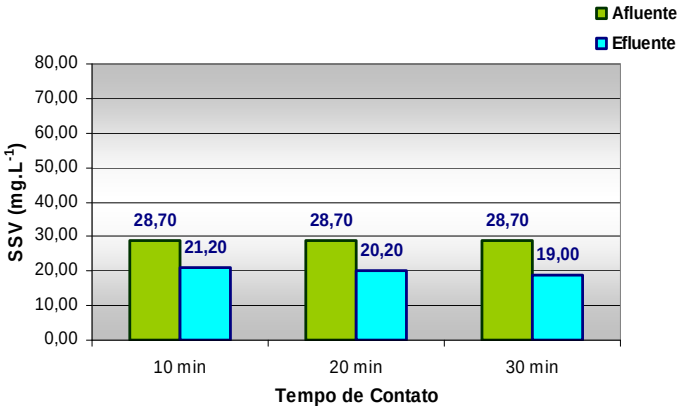


Figura 5.100: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

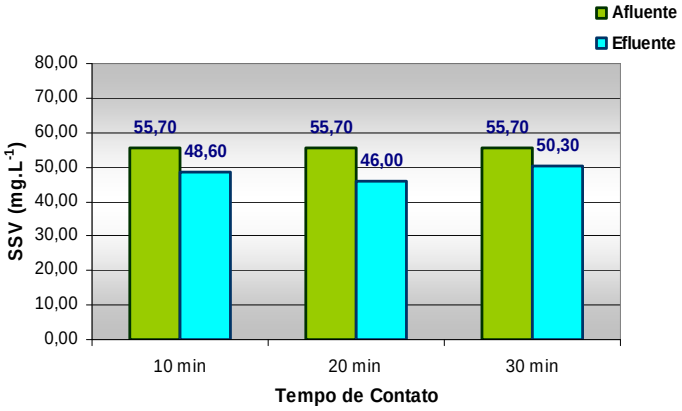


Figura 5.101: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

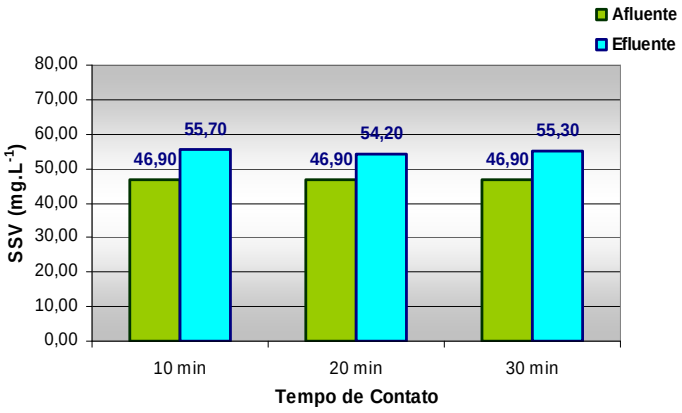


Figura 5.102: Concentração média de SSV para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ A concentração média afluente de SSV para os tempos de contato estudados foram de 28,70; 55,70 e 46,90 $mg.L^{-1}$. Por meio destes valores médios e também pelos valores detectados para cada ensaio (Tabela A.17) é possível observar uma grande variação de SSV.

O mesmo comportamento observado nos SST e SSF foi observado nos SSV, fato explicado pois os SSV são a diferença entre SST e SSF.

5.1.2.9 - Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV)

As concentrações de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis observadas para os ensaios de cloração para a dosagem de 10,0, 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.19 e as concentrações médias por meio das Figuras 5.103 a 5.111.

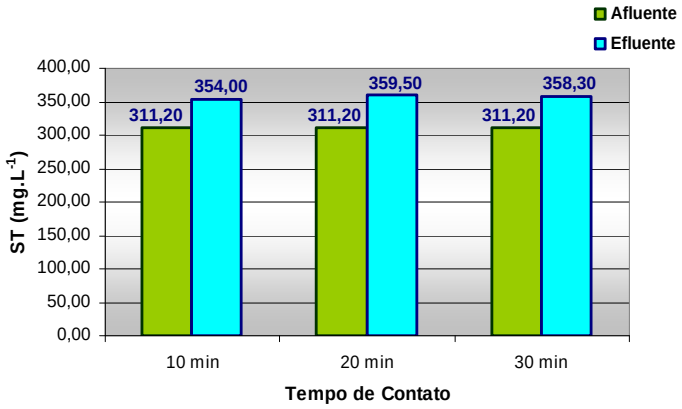


Figura 5.103: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

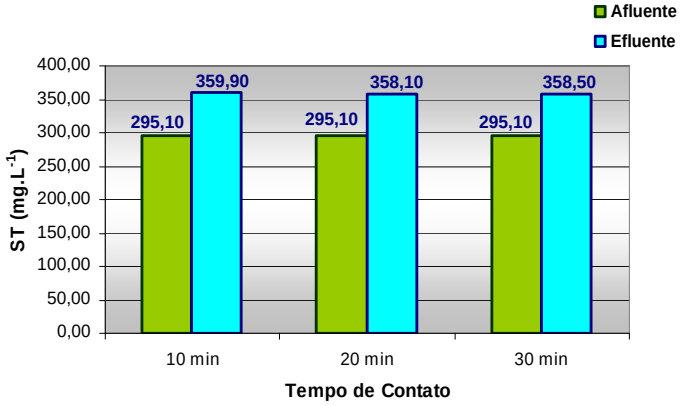


Figura 5.104: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

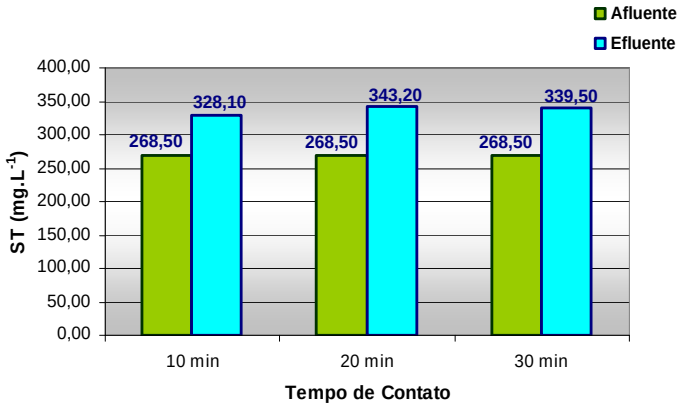


Figura 5.105: Concentração média de ST para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

A concentração média afluente de ST para os tempos de contato estudados para as dosagens de 10,0; 20,0 e 30,0 $Cl_2.L^{-1}$ foram de 311,20; 295,10 e 268,50 $mg.L^{-1}$, respectivamente. Para estes ensaios verifica-se um aumento médio de 14,8; 21,6 e 25,5 %, respectivamente, para os efluentes clorados/desclorados. Este comportamento não foi entendido, pois não haveria fonte para se gerar as concentrações de ST observadas, a falta de precisão e difícil reprodutibilidade para o método de determinação dos ST, não seriam responsáveis pelo aumento observado em todas as amostras cloradas.

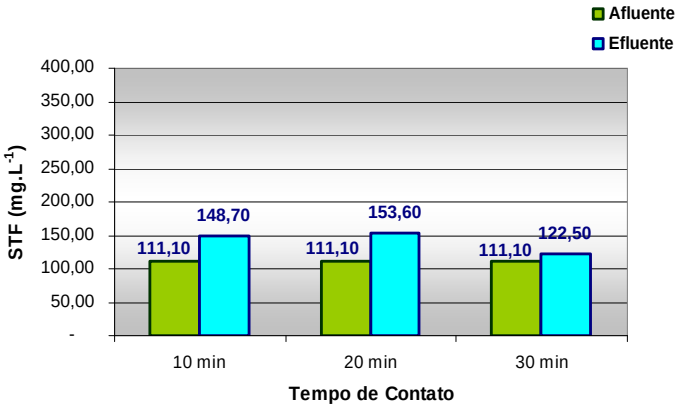


Figura 5.106: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

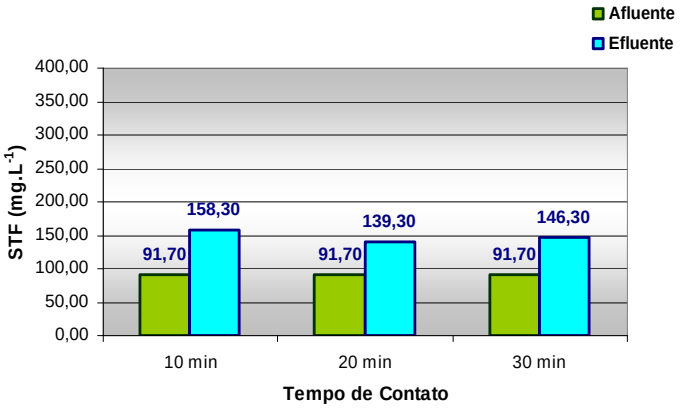


Figura 5.107: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

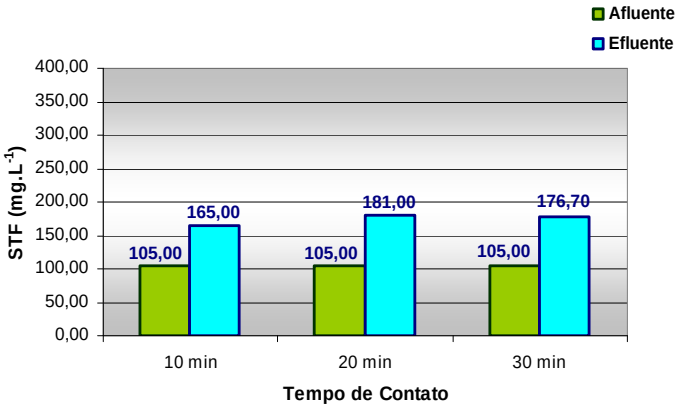


Figura 5.108: Concentração média de STF para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Para as dosagens de 10,0; 20,0 e 30,0 $Cl_2.L^{-1}$, a concentração média afluente de STF para os tempos de contato estudados foram de 111,10; 91,70 e 105,00 $mg.L^{-1}$, respectivamente. Para estes ensaios verificou-se um aumento médio de 27,5; 61,3 e 65,9%, respectivamente, para os efluentes clorados/desclorados. Este comportamento não foi entendido, pois a única fonte para se gerar as concentrações de STF observadas seria o aumento de cloreto detectado, mas que não aumentaria as concentrações de STF assim como foi detectado. A falta de precisão e difícil reprodutibilidade para o método de determinação dos STF, não seria responsável pelo aumento observado em todas as amostras cloradas-descloradas.

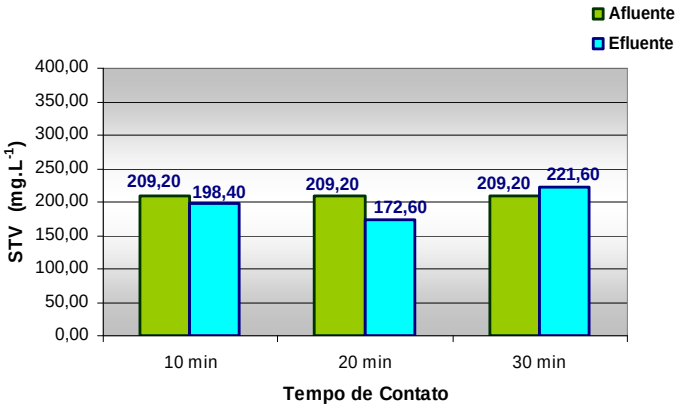


Figura 5.109: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

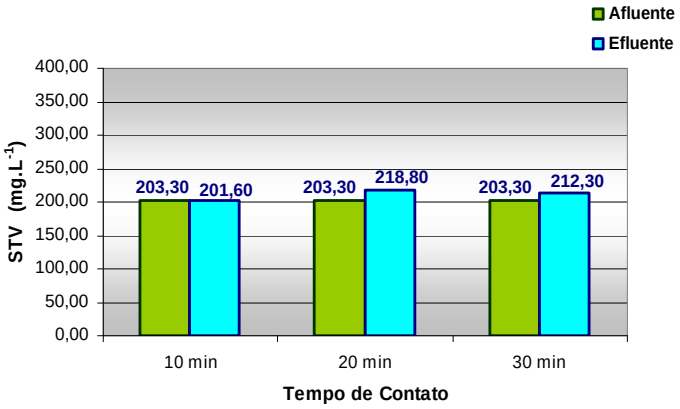


Figura 5.110: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

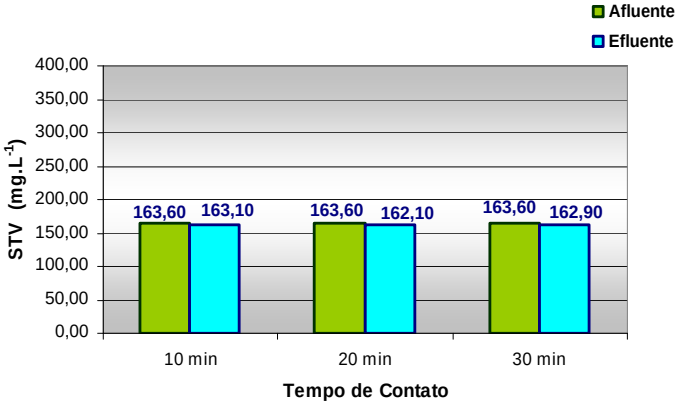


Figura 5.111: Concentração média de STV para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, a concentração média afluente de STV para os tempos de contato estudados foi de 200,10; 203,30 e 163,60 $mg.L^{-1}$. Por meio destes valores médios e também pelos valores detectados para cada ensaio (Tabela A.18) é possível observar uma grande variação de STV. O mesmo comportamento observado nos ST e STF foi observado nos STV, fato que pode ser explicado, pois os SSV são a diferença entre ST e STF.

5.1.2.10 - Subprodutos da cloração (THMs)

As concentrações de clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio observadas para os afluentes (efluente reator $UASB_{mod}$) e efluentes clorados/desclorados para dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato 10, 20 e 30 minutos podem ser observadas por meio das Tabelas 5.14, 5.15 e 5.16.

Tabela 5.14: Concentraçao de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato 10, 20 e 30 minutos para efluente reator $UASB_{mod}$ e efluentes clorados/desclorados

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Clorofórmio ($\mu g.L^{-1}$)	Bromodiclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Dibromoclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Bromofórmio ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	10,50	10	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
2	AF	10,40		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
3	AF	10,00		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
1	AF	10,50	20	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
2	AF	10,40		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
3	AF	10,00		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
1	AF	10,50	30	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
2	AF	10,40		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
3	AF	10,00		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld

< ld: inferior ao limite de detecção
Bromodiclor.: Bromodiclorometano ; Dibromoclor..: dibromoclorometano

No ensaio em que se aplicou 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ não foi detectado a formação de trialometanos.

Tabela 5.15: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato 10, 20 e 30 minutos para efluente reator $UASB_{mod}$ e efluentes clorados/desclorados

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Clorofórmio ($\mu g.L^{-1}$)	Bromodiclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Dibromoclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Bromofórmio ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	20,50	10	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
2	AF	20,70		10,8	1,9	3,5	4,4
	EF			35,9	3,1	13,2	13,5
3	AF	20,20		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			2,5	< ld<	< ld	< ld
1	AF	20,50	20	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			4,8	< ld	< ld	< ld
2	AF	20,70		10,8	< ld	3,5	4,4
	EF			27,7	< ld	12,2	10,4
3	AF	20,20		2,5	< ld	< ld	< ld
	EF			3,2	< ld	< ld	< ld
1	AF	20,50	30	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			15,8	< ld	< ld	< ld
2	AF	20,70		10,8	1,9	3,5	4,4
	EF			22,9	2,9	12,6	11,4
3	AF	20,20		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld

< ld: inferior ao limite de detecção
Bromodiclor.: Bromodiclorometano ; Dibromoclor..: dibromoclorometano

Tabela 5.16: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato 10, 20 e 30 minutos para efluente reator $UASB_{mod}$ e efluentes clorados/desclorados

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Clorofórmio ($\mu g.L^{-1}$)	Bromodiclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Dibromoclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Bromofórmio ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	28,90	10	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			3,2	< ld	< ld	< ld
2	AF	30,10		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
3	AF	28,90		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
1	AF	28,90	20	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			3,9	< ld	< ld	< ld
2	AF	30,10		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
3	AF	28,90		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
1	AF	28,90	30	< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			3,7	< ld	< ld	< ld
2	AF	30,10		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld
3	AF	28,90		< ld	< ld	< ld	< ld
	EF			< ld	< ld	< ld	< ld

< ld: inferior ao limite de detecção
Bromodiclor.: Bromodiclorometano ; Dibromoclor.: dibromoclorometano

Para o ensaio em que se aplicou 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 10 minutos foi observada uma concentração média de 9,2 $\mu g.L^{-1}$ de clorofórmio. Na amostra 2 foi observada 1,2 $\mu g.L^{-1}$ de bromodiclorometano, 9,7 $\mu g.L^{-1}$ de dibromoclorometano e 9,1 $\mu g.L^{-1}$ de bromofórmio. Para esta amostra os trialometanos totais foram de 45,1 $\mu g.L^{-1}$, valor este abaixo do padrão de potabilidade (100 $\mu g.L^{-1}$), segundo a portaria MS 518/2004.

Quando foi aplicado tempo de contato igual a 20 minutos para o ensaio em que se aplicou 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, foi observada uma concentração média de 7,5 $\mu g.L^{-1}$ de clorofórmio. Na amostra 2 foi observada 8,7 $\mu g.L^{-1}$ de dibromoclorometano e 6,0 $\mu g.L^{-1}$ de bromofórmio. Para esta amostra os trialometanos totais foram de 22,1 $\mu g.L^{-1}$.

Para o tempo de contato igual a 30 minutos e dosagem de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foi observada uma concentração média de 9,3 $\mu g.L^{-1}$ de clorofórmio. Na amostra 2 foi observada 1,0 $\mu g.L^{-1}$ de bromodiclorometano, 9,1 $\mu g.L^{-1}$ de dibromoclorometano e 7,0 $\mu g.L^{-1}$ de bromofórmio. Para esta amostra os trialometanos totais foram de 26,4 $\mu g.L^{-1}$.

Apenas para a amostra 1 do ensaio que se aplicou 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foi observada a formação de trialometanos. Foi observada a formação de clorofórmio, 3,2; 3,9 e 3,7 $\mu g.L^{-1}$ para os tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos, respectivamente.

Foi observada uma predominância na formação de clorofórmio para as amostras que houve formação de trialometanos.

A concentração de trialometanos formada não apresenta correlação direta com a dosagem de cloro aplicado. O fato dos efluentes serem não-nitrificados, apresentando quantidades médias de 30,76 mg $N\text{-}NH_3.L^{-1}$, sendo este o composto

de reação preferencial com o cloro, parece inibir a formação de THMs, comportamento observado para os ensaios que se aplicou 10,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, este comportamento reforça as pesquisas realizadas por Amy et al. (1984); Dore et al. (1998); Figueiredo et al.(1999) e Pianowski e Janissek (2003). Entretanto, esse comportamento não foi observado para os ensaios em que se aplicou 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, pois foi detectado uma concentração maior de clorofórmio, assim como também foi observada bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio, vale salientar que não houve diminuição na concentração de nitrogênio amoniacal.

A aplicação metabissulfito de sódio, logo após os tempos de contato aplicados, para descloração dos efluentes também pode ter contribuído para a não formação de trialometanos, já que os tempos de contato aplicados foram relativamente curtos para a formação dos mesmos.

Este comportamento difere dos estudos realizados por Léo et al. (2005) que estudaram a formação de trialometanos em efluente bruto, lagoa anaeróbia e lagoa facultativa. Nesse estudo foi identificado uma concentração de 23,5 $\mu g.L^{-1}$ de trialometanos totais para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ para o efluente da lagoa facultativa e 19,0 $\mu g.L^{-1}$ de trialometanos totais para dosagem aplicada de 15,0 mg $Cl_2.L^{-1}$.

Léo et al (2006) estudaram a cloração de efluente proveniente de lagoa facultativa para investigar a formação de trialometanos. Foi aplicado a dosagem de 8,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos. Os autores analisaram amostras cloradas e as amostras descloradas e detectaram que as concentrações de trialometanos totais formadas são inferiores nas amostras descloradas que nas cloradas. As concentrações formadas em ambos os testes são inferiores ao do

padrão de potabilidade brasileiro, de 100,0 $\mu g.L^{-1}$, preconizado pela Portaria MS n°518/2004

Pianowski e Janissek (2003) estudaram a cloração de efluente proveniente de tratamento anaeróbio (Filtro Biológico Anaeróbio) com capacidade operacional máxima de 24,03 $L.s^{-1}$. Foi aplicado as dosagens de 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 30 minutos, em um béquer contendo 1,0 L de efluente. Para estas dosagens aplicadas foi observada a predominância na formação de clorofórmio, assim como observado na presente pesquisa. As concentrações observadas foram de 16,8; 48,8; 97,1; 388,3; 375,4 e 936,4 $\mu g.L^{-1}$ para as dosagens de 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, respectivamente, para o tempo de contato igual a 30 minutos. É possível observar aumento na concentração de clorofórmio com o aumento da dosagem aplicada. Outro comportamento detectado foi à presença de nitrogênio amoniacal (59,92 mg $N\text{-}NH_3.L^{-1}$), a presença do mesmo não indica que houve inibição na formação de trialometanos. De acordo com os autores a predominância na formação de clorofórmio se deve as características do esgoto, esta explicação se baseia nos estudos de Gallard e Gunten (2002).

5.1.2.11 - Inativação de Coliformes Totais e *E. coli*.

Os resultados de inativação de coliformes totais utilizando como desinfetante o cloro para o efluente do tratamento de esgotos da EESC-USP proveniente do reator $UASB_{mod}$ estão apresentados na Tabela A.20.

Para as concentrações de cloro aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ nos tempos de contato 10, 20 e 30 minutos foram quantificadas as concentrações finais de coliformes totais. Os valores médios de inativação de coliformes totais podem ser observados pelas Figuras 5.112 a 5.114.

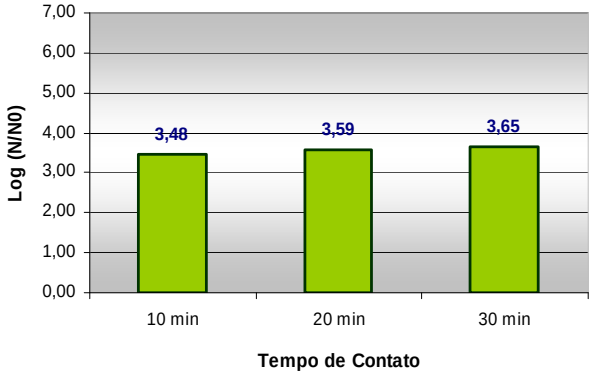


Figura 5.112: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

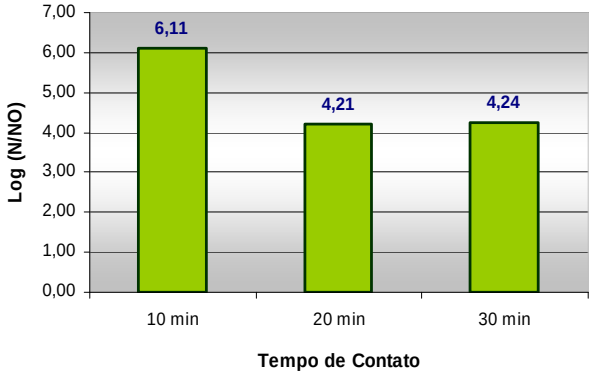


Figura 5.113: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

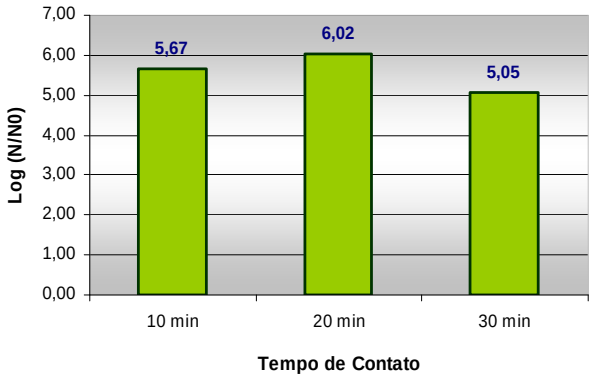


Figura 5.114: Valores médios de inativação de coliformes totais para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

As concentrações finais de *E. coli* quando se aplicou como desinfetante o cloro, para as concentrações aplicadas de 10,0, 20,0 e 30,0 mg.$Cl_2.L^{-1}$ nos tempos de contato 5, 10 e 15 minutos, estão apresentadas na Tabela A.21. Os valores médios de inativação de *E. coli* podem ser observados nas Figuras 5.115 a 5.117.

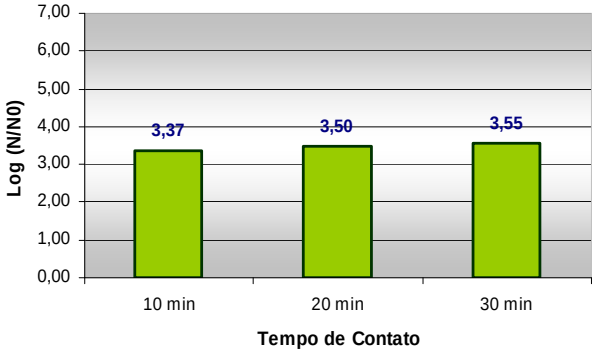


Figura 5.115: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

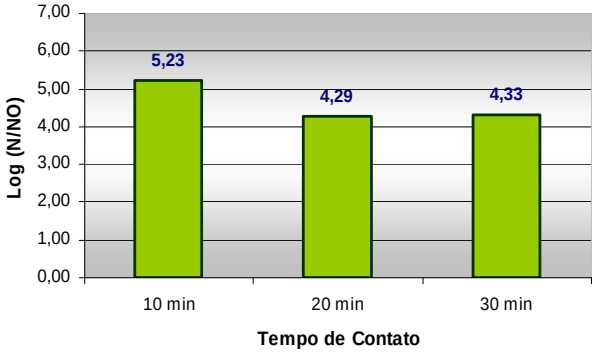


Figura 5.116: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

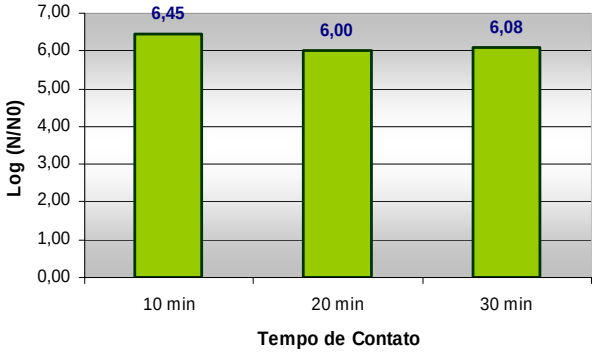


Figura 5.117: Valores médios de inativação de *E. coli* para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos

Os valores médios afluente para coliformes totais e *E. coli* para os ensaios que se aplicou 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foi de $8x10^6$ UFC/100mL e $1,7x10^6$ UFC/100mL, respectivamente. Para os três tempos de contato aplicados foi verificado apenas em 3 amostras, valores < 1 UFC/100mL coliformes totais e *E. coli*, para o total de 9 amostras.

Para os ensaios que se aplicou 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ Os valores médios afluente para coliformes totais e *E coli* foram $1x10^7$ e $1x10^6$ UFC/100mL, respectivamente. Para os três tempos de contato aplicados foi verificado, em 4 amostras, valores

< 1 UFC/100mL para coliformes totais e *E. coli*, para o total de 9 amostras, para o efluente do tratamento de esgotos da EESC -USP proveniente do reator $UASB_{mod}$.

O valor médio afluente para coliformes totais para os ensaios em que se aplicou 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foi de $1x10^7$ UFC/100mL e $4x10^6$ UFC/100mL para *E coli*. Para os ensaios que se aplicou dosagem de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos, obteve-se como resultado de coliformes totais e *E. coli,* valores < 1 UFC/100mL para o efluente do tratamento de esgotos da EESC - USP proveniente do reator $UASB_{mod}$.

Pianowski e Janissek (2003) detectaram que com a dosagem de 4,0 mg.$Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos foi suficiente para inativação total de coliformes totais e *E. coli*. Para a presente pesquisa foi necessária uma maior dosagem para que se atingir a inativação total, entretanto não possível detectar qual variável possa ter influenciado para este comportamento.

A reação do cloro com amônia, na faixa do pH que esteve o presente estudo, resulta preferencialmente em monocloraminas, que possuem poder desinfetante, o que explica a inativação de coliformes totais e *E. coli.*

De acordo com Resolução CONAMA 357/95 nos corpos d'água classe 2 a concentração máxima de coliformes totais é de 5000 NMP/100mL e *E. coli* é de 1000 NMP/100mL. Para a concentração aplicada de 10,0 mg.$Cl_2.L^{-1}$ apenas 3 amostras atenderam os valores impostos pela norma para coliformes totais e *E. coli*. As amostras que atenderam os padrões não demonstraram nenhum favorecimento seja, por maior consumo de cloro, menor concentração de sólidos, menor valor de pH em que se predomina a espécie HOCl, que proporciona desinfecção mais efetiva. Nem mesmo a temperatura atuou no favorecimento da maior inativação, mesmo

porque não houve diferença significativa no valor da temperatura durante os ensaios de cloração.

Nos ensaios em que se aplicou 20,0 $mg.Cl_2.L^{-1}$ praticamente todas as amostras dos ensaios realizados atenderam os padrões de lançamento tanto para coliformes totais quanto para *E. coli*. Provavelmente o fator principal encontrado para esta maior inativação foi a maior dosagem de cloro consumido durante os ensaios. Já para os ensaios que se aplicou 30,0 $mg.Cl_2.L^{-1}$ todas as amostras dos ensaios realizados atenderam os padrões de lançamento tanto para coliformes totais quanto para *E. coli*. Isto evidência que a maior inativação foi devido a maior dosagem de cloro consumido durante os ensaios, visto que não houve outra diferença que fosse significativa nos fatores que pudessem favorecer a maior inativação.

Os resultados apresentados indicam valores superiores de inativação de coliformes totais e *E. coli.*, quando comparado com os ensaios de ozonização estudados (5.1.1).

Foram realizados estudos estatísticos para se analisar a influência das variáveis ‘tempo de contato’ e ‘dosagem de cloro aplicado’ sobre a variável ‘inativação de microrganismos’. Foi verificado que o tempo de contato não foi significativo para a inativação de coliformes totais e *E. coli*, o que pode ser observado nas Figuras 5.112 a 5.117, visto que um maior tempo de contato não influenciou significativamente a eficiência de inativação dos microrganismos. Para a dosagem de cloro aplicada foi verificada diferença significativa nas análises estatísticas (0,1%), confirmando o que pode ser visualizado nas Figuras 5.112 a 5.117.

5.1.2.12 - Bioensaios

No último dos três ensaios realizados para as dosagens de 10,0, 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ – tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos – foram realizados testes de toxicidade com os organismos-teste: *Daphnia similis e Danio rerio* e os resultados estão apresentados em forma de tabelas.

Na Tabela 5.17 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente do reator $UASB_{mod}$ para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.17: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Afluente (Efluente $UASB_{mod}$)						
Água de diluição – Lote: 11/12					**Dosagem**: 10,0 mg. Cl_2L^{-1}						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** -						
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 12/12/07						
7,35	7,5	153	44		Final do teste: 14/12/07						
Amostra (%)		**Variáveis da amostra**			**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
		pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle		-	-	-	-	20	zero	-	7,66	8,3	**-**
Efluente $UASB_{mod}$ 100		6,8	2,3	745	62	20	12		8,27	8,4	**TA**
Efluente $UASB_{mod}$ 50		-	-	-	-	20	zero	zero	-	-	**-**
Efluente $UASB_{mod}$ 25		-	-	-	-	20	zero	zero	-	-	**-**
Efluente $UASB_{mod}$ 12,5		-	-	-	-	20	zero	zero	-	-	**-**
CE50,48H: 89,0%											
TA: toxicidade aguda											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.17 apresentaram toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para o efluente do reator $UASB_{mod}$.

Por meio da Tabela 5.18 é possível observar os dados de toxicidade para o ensaio que se aplicou 10 minutos como tempo de contato (efluente ozonizado 1) para a dosagem de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.18: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente do reator $UASB_{mod}$

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA										
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente clorado-desclorado 1					
Água de diluição – Lote: 11/12					**Dosagem**: 10,0 $mgCL_2.L^{-1}$					
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 10 minutos					
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 12/12/07					
7,35	7,5	153	44		Final do teste: 14/12/07					
EFLUENTE 1 (%)	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle	-	-	-	-	20	zero	-	7,66	8,3	**-**
100	6,9	6,7	811	64	20	17	85	8,16	7,6	**TA**
50	-	-	-	-	20	zero	zero	-	-	**-**
25	-	-	-	-	20	zero	zero	-	-	**-**
12,5	-	-	-	-	20	zero	zero	-	-	**-**
6,25					20	zero	zero			**-**
CE50,48H: 75,2%										
TA: toxicidade aguda										

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.18 apresentaram toxicidade aguda para o efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado sem diluição para o organismo-teste: *Daphnia similis.*

Por meio da Tabela 5.19 é possível observar os dados de toxicidade para o ensaio que se aplicou 20 minutos como tempo de contato (efluente ozonizado 2) para a dosagem de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.19: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente 2 (efluente clorado-desclorado) para a dosagem de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA										
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente clorado-desclorado 2					
Água de diluição – Lote: 11/12					**Dosagem**: 20,0 $mg.L^{-1}$					
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 20 minutos					
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 12/12/07					
7,35	7,5	153	44		Final do teste: 14/12/07					
EFLUENTE 2 (%)	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle	-	-	-	-	20	zero	-	7,66	8,3	-
100	6,9	6,4	808	58	20	14	70	8,27	7,9	**TA**
50	-	-	-	-	20	2	zero	-	-	**-**
25	-	-	-	-	20	3	zero	-	-	**-**
12,5	-	-	-	-	20	1	zero	-	-	**-**
6,25					20	0	zero			
CE50,48H: 78,6% (IC95: 65,3 – 94,5)										
TA: toxicidade aguda										

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.19 apresentaram toxicidade aguda para o efluente do reator $UASB_{mod}$ clorado-desclorado sem diluição para o organismo-teste: *Daphnia similis.*

Por meio da Tabela 5.20 é possível observar os dados de toxicidade para o ensaio em que se aplicou 30 minutos como tempo de contato (efluente ozonizado 3) para a dosagem de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.20: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente 3 (efluente clorado-desclorado) para a dosagem de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente clorado-desclorado 3						
Água de diluição – Lote: 11/12					**Dosagem**: 30,0 mg.L^{-}						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 30 minutos						
	mg.L^{-1}	(μS/cm^2)	mg.L^{-1} $CaCO_3$		Início do teste: 12/12/07						
7,35	7,5	153	44		Final do teste: 14/12/07						
EFLUENTE 3 (%)	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**	
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD		
Controle	-	-	-	-	20	1	5	7,66	8,3	**-**	
100	6,9	6,4	811	60	20	13	65			**TA**	
50	-	-	-	-	20	1	zero	-	-	**-**	
25	-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**	
12,5	-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**	
6,25					20	0	zero			**-**	
CE50,48H: 84,0% (IC 95: 69,6 – 101%)											
TA: toxicidade aguda											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

5.1.3 - Condições experimentais dos ensaios de ozonização/cloração

O ensaio número 1 representa os ensaios realizados para a dosagem de 5,0 mg.O_3.L^{-1} com tempo de contato de 5 minutos seguido da dosagem de 10,0 mg.Cl_2.L^{-1} com tempo de contato de 10 minutos, o ensaio 2 representa os ensaios para a dosagem de 8,0 mg.O_3.L^{-1} com tempo de contato de 10 minutos seguido da dosagem de 20,0 mg.Cl_2.L^{-1} com tempo de contato de 20 minutos e o ensaio 3 representa os ensaios realizados para a dosagem de 10,0 mg.O_3.L^{-1} com

tempo de contato de 15 minutos seguido da dosagem de 30,0 mg.Cl_2.L^{-1} com tempo de contato de 30 minutos.

5.1.3.1 - Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido, *off-gas*, Cloro consumido, cloro residual livre e cloro residual total

Por meio da Tabela A.22 podem ser observadas as concentrações de ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e *off-gas* para os ensaios 1, 2 e 3. A Figura 5.118 apresenta as concentrações de ozônio consumido.

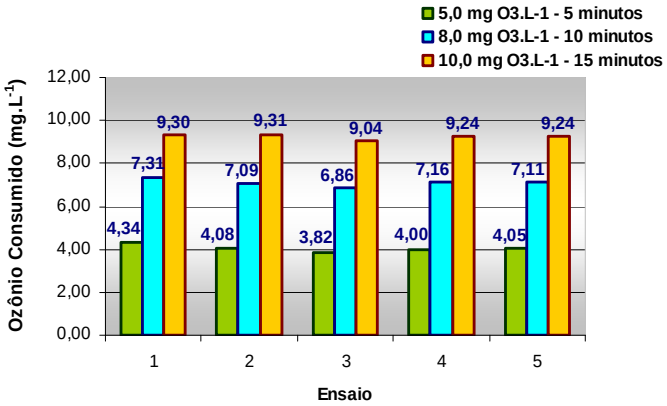


Figura 5.118: Concentração de ozônio consumido, para dosagem aplicada de 5,0 mg O_3.L^{-1} com tempo de contato de 5 minutos, 8,0 mg O_3.L^{-1} com tempo de contato de 10 minutos e 10,0 mg O_3.L^{-1} com tempo de contato de 15 minutos

A concentração de ozônio residual dissolvido, determinada para as dosagens e tempos de contato estudados, foi baixa e indicou variação mínima. Assim como o ozônio residual dissolvido, a fração de gás ozônio excedente (*off-gas*) capturado na saída superior da câmara de ozonização, apresentou valores baixos e uma variação mínima. O valor médio da parcela consumida de ozônio para os ensaios que se aplicou a dosagem de 5,0 mg.O_3.L^{-1} foi de 4,06 mg.O_3.L^{-1}, portanto uma transferência média de 81,2%. Para a dosagem aplicada de 8,0 mg.O_3.L^{-1} a parcela média consumida foi de 7,11 mg.O_3.L^{-1}, uma transferência

média de 88,9% e para os ensaios aplicando dosagem de 10,0 mg.O_3.L^{-1} a parcela média consumida foi de 9,23 mg.O_3.L^{-1}, portanto uma transferência média de 92,3%.

Os valores encontrados para a parcela consumida nos ensaios de ozonização/cloração foram superiores aos encontrados para os ensaios de ozonização (5.1.1) da presente pesquisa. Nenhum fator foi constatado para tal comportamento. Estes valores ficaram muito próximos aos resultados encontrados por Assirati (2005), em geral, acima de 97,0%. Sendo assim, praticamente atesta a observação feita por Wojtenko (2001), que ressaltou que em geral, em sistemas de ozonização bem projetados consegue-se a transferência de 90,0 a 95,0% do ozônio gerado.

Por meio da Tabela A.23 podem ser observadas as concentrações de cloro consumido, cloro residual livre e total para os ensaios em que se aplicou 10,0 mg Cl_2.L^{-1} com tempo de contato de 10 minutos, 20,0 mg Cl_2.L^{-1} com tempo de contato 20 minutos e 30,0 mg Cl_2.L^{-1} com tempo de contato 30 minutos e por meio das Figuras 5.119 a 5.121 podem ser observadas os valores médios das concentrações de cloro consumido, de cloro residual livre e total.

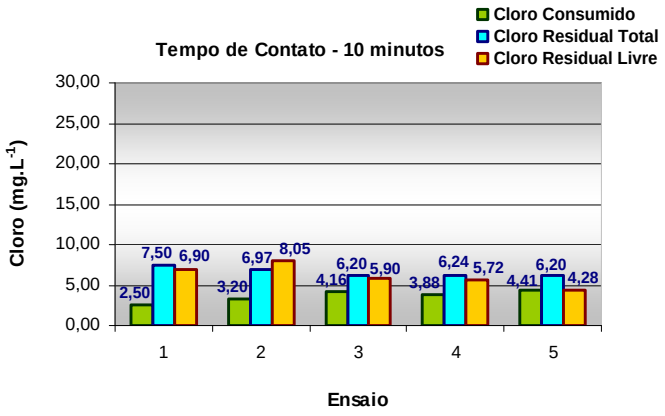


Figura 5.119: Concentração de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 10,0 mg Cl_2.L^{-1} e tempo de contato de 10 minutos

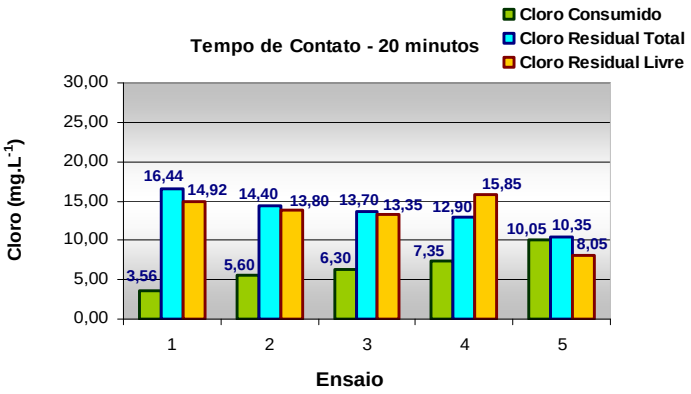


Figura 5.120: Concentração de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

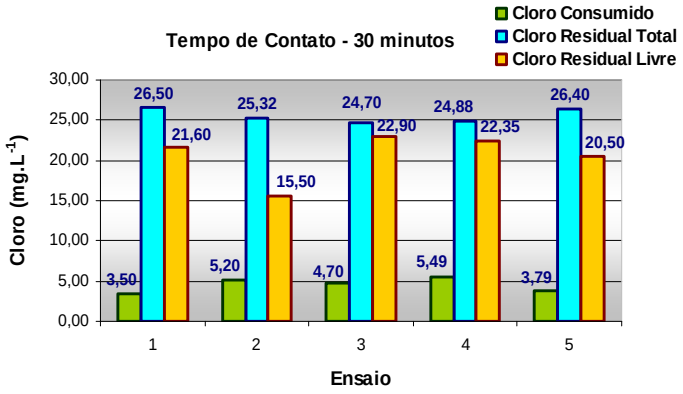


Figura 5.121: Concentração de cloro aplicado, cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração para dosagem aplicada de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

Foram feitas análises estatísticas para se avaliar a significância da variação do ozônio consumido em função tempo de contato e da dosagem de ozônio aplicada de forma combinada para os ensaios de ozonização/cloração. Os resultados indicam que a concentração de ozônio consumido varia de maneira significativa de acordo com o aumento do tempo de contato e da concentração de ozônio aplicada (0,1%), o que pode ser constatado na Figura 5.118.

Para se avaliar a significância da variação do cloro consumido em função tempo de contato e da dosagem de cloro aplicado de forma combinada para os

ensaios de ozonização/cloração foram feitas análises estatísticas. Os resultados indicam que a concentração de cloro consumido varia de maneira significativa de acordo com o aumento do tempo de contato e da concentração de cloro aplicada (0,1%) o que pode ser constatado nas Figuras 5.119 a 5.121.

5.1.3.2 - Alcalinidade, pH

Os valores de pH e alcalinidade total podem ser observados por meio da Tabela A.24 e os valores médios de pH e alcalinidade dos ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 podem ser observados por meio das Figuras 5.122 e 5.123.

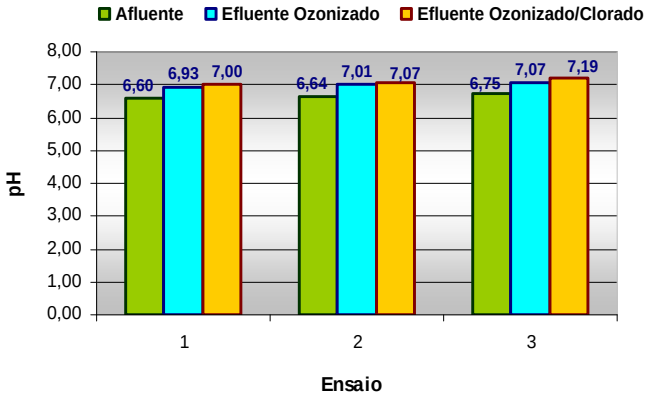


Figura 5.122: Valores médios de pH para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

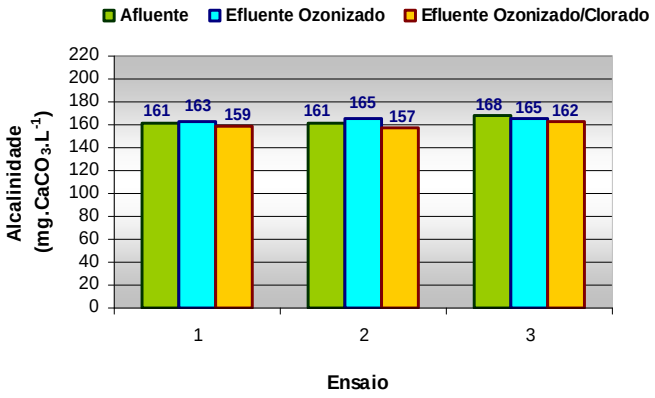


Figura 5.123: Alcalinidade total média para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para o ensaio 1, analisando apenas a aplicação de ozônio, os valores de pH afluentes variaram de 6,39 a 6,71 e os valores de pH do efluente ozonizado variaram de 6,70 a 7,09. A alcalinidade total para o afluente variou entre 122 e 201 mg.$CaCO_3$.L^{-1} e para efluente ozonizado 139 e 195 mg.$CaCO_3$.L^{-1}.

No ensaio 2, analisando apenas a aplicação de ozônio, os valores de pH afluentes estiveram entre 6,48 a 6,71 e efluente ozonizado entre 6,94 a 7,16. A alcalinidade total para o afluente variou entre 120 e 197 mg.$CaCO_3$.L^{-1} e para o efluente ozonizado 126 e 199 mg.$CaCO_3$.L^{-1}.

Os valores de pH para o ensaio 3, analisando apenas a aplicação de ozônio, variaram de 6,61 a 6,96 para os afluentes e 6,85 a 7,26 para os efluentes ozonizados. A alcalinidade total para o afluente variou entre 124 e 197 mg.$CaCO_3$.L^{-1} e para efluente ozonizado 133 e 191 mg.$CaCO_3$.L^{-1}.

Para os efluentes ozonizados, os valores de pH estiveram entre a faixa de 6,00 a 8,00, faixa que a ozonização é pouco afetada para efluentes domésticos, de acordo com a maioria dos dados disponíveis na literatura, assim como observado para os ensaios que se aplicou apenas ozônio.

Para todos os ensaios aplicando ozônio foi observado um aumento nos valores de pH nos efluentes ozonizados, assim como observado nos ensaios de ozonização (5.1.1). Este comportamento já foi explicado anteriormente e pode ter ocorrido devido a um *stripping* de CO_2, o que ocasiona diminuição na concentração de H^+.

Pela Tabela A.23 pode ser observado que houve pouca alteração na alcalinidade total, pois o *stripping* de CO_2 não altera a alcalinidade, embora a concentração total de carbonatos seja diminuída, com conseguinte aumento de pH. O *stripping* do CO_2 diminui a concentração de ácido carbônico, que é um ácido fraco e, conseqüentemente, a sua dissociação em H^+ e íon bicarbonato.

Para o ensaio 1, analisando apenas a aplicação de cloro, os valores de pH afluentes à cloração variaram de 6,70 a 7,09 e os valores de pH do efluente ozonizado/clorado variaram de 6,79 a 7,19. A alcalinidade total para o afluente variou entre 139 e 195 $mg.CaCO_3.L^{-1}$ e para efluente clorado-desclorado 143 e 186 $mg.CaCO_3.L^{-1}$.

No ensaio 2, analisando apenas a aplicação de ozônio, os valores de pH afluentes estiveram entre 6,94 a 7,16 e efluente clorado-desclorado entre 6,75 a 7,21. A alcalinidade total para o afluente variou entre 126 e 199 $mg.CaCO_3.L^{-1}$ e para efluente clorado-desclorado 133 e 186 $mg.CaCO_3.L^{-1}$.

Os valores de pH para o ensaio 3, analisando apenas a aplicação de cloro, variaram de 6,85 a 7,26 para os afluentes e 6,94 a 7,37 para os efluentes clorados/desclorados. A alcalinidade total para o afluente variou entre 131 e 195 $mg.CaCO_3.L^{-1}$ e para efluente clorado-desclorado 133 e 191 $mg.CaCO_3.L^{-1}$.

Para os efluentes clorados/desclorados foi observado um aumento nos valores de pH final fato explicado devido à aplicação do hipoclorito de sódio que

libera o íon hidroxila ao ser dissolvido na água, que proporciona um aumento nos valores de pH.

5.1.3.3 - Demanda Química de Oxigênio

Os valores detectados de DQO para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 podem ser observados por meio da Tabela A.25 e as médias de DQO podem ser observados por meio da Figura 5.124.

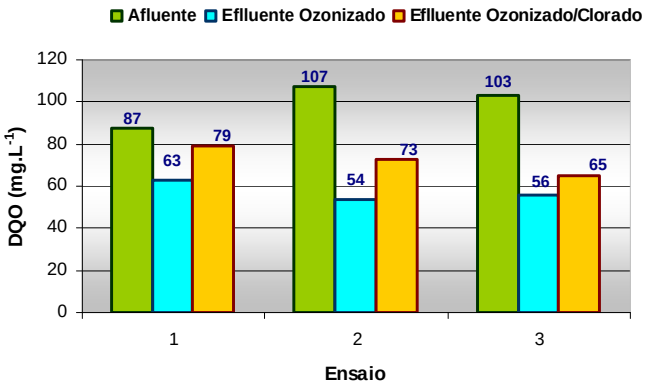


Figura 5.124: DQO média para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para o ensaio 1, analisando apenas a aplicação de ozônio a concentração média de DQO afluente foi de 87 $mg.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado 63 $mg.L^{-1}$. A remoção média de DQO foi 26,5%. Analisando a aplicação de cloro no ensaio 1 foi verificado um aumento de 25,4% de DQO para o efluente do reator $UASB_{mod}$ ozonizado/clorado.

No ensaio 2, analisando apenas a aplicação de ozônio, a DQO média afluente foi de 107 $mg.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado 54 $mg.L^{-1}$. A remoção média de DQO

foi 49,5% e analisando a aplicação do cloro no ensaio 2 foi verificado um aumento de 35,2% de DQO para o efluente do reator $UASB_{mod}$ ozonizado/clorado-desclorado.

Os valores médios de DQO para o ensaio 3, analisando apenas a aplicação de ozônio, 103 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 56 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado. A remoção média foi de 44,5% e analisando a aplicação do cloro no ensaio 2 foi verificado um aumento de 16,1% de DQO para o efluente do reator $UASB_{mod}$ ozonizado/clorado-desclorado.

Os valores detectados de remoções médias de DQO para os ensaios de ozonização/cloração, analisando apenas a aplicação de ozônio, foram muito semelhantes aos detectados para os ensaios de ozonização (5.1.1). O comportamento, as características do esgoto, pH e demais fatores foram muito semelhantes, portanto pode ser reafirmado que remoção de DQO possa ter sido ocasionada pelo *stripping* de alguns gases orgânicos (por exemplo: metano) e não totalmente pela oxidação da matéria orgânica devido à ozonização.

O mesmo comportamento detectado para os ensaios que se aplicou apenas cloro foi observado, assim como nas pesquisas de El-Rehaili (1995) que verificou um aumento de DQO para o efluente clorado. Foi verificado que com o aumento da dosagem aplicada houve um aumento de DQO, comportamento também detectado quando se compara as dosagens de 10,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$. O autor explica este comportamento como uma possível modificação da matriz orgânica pela ação do ozônio e em seguida do cloro, deixando-a mais biodegradável e mais acessível à oxidação nos testes de DQO.

Não foram realizados testes estatísticos para DQO dos ensaios de ozonização/cloração devido à variação do comportamento da DQO frente a cada desinfetante. Para aplicação de ozônio, a DQO sofre um decréscimo, entretanto no

processo de cloração subseqüente, observou-se um aumento. O modelo matemático empregado neste estudo não é adequado à avaliação destes dois fatores simultaneamente.

5.1.3.5 - Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Orgânico e Nitrogênio Amoniacal

As concentrações de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal observadas para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 podem ser observados por meio da Tabela A.26 e as concentrações médias de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal podem ser observados por meio das Figuras 5.125 a 5.127 respectivamente.

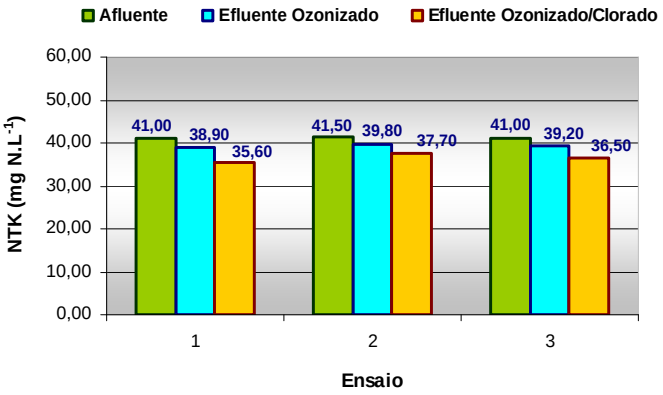


Figura 5.125: Concentração média de NTK para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para os ensaios 1, 2 e 3 a concentração média de afluentes e efluentes ozonizados de NTK foram muito semelhantes: 41,00 $mg.N.L^{-1}$ para o afluente e 38,90 $mg.N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado; 41,50 $mg.N.L^{-1}$ para o afluente e

39,80 mg.N.L^{-1} para o efluente ozonizado e; 41,00 mg.N.L^{-1} para o afluente e 39,20 mg.N.L^{-1} para o efluente ozonizado, respectivamente.

Os resultados apresentados revelam pouca ou nenhuma influência do ozônio no NTK, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico, comportamento semelhante aos resultados detectados para os ensaios de ozonização (5.1.1).

Nos ensaios 1, 2 e 3 as concentrações médias afluente de NTK foram 38,90; 39,80 e 39,60 mg N.L^{-1} e as concentrações médias do efluente ozonizado/clorado-desclorado foram de 35,60; 37,70 e 36,50 mg N.L^{-1}.

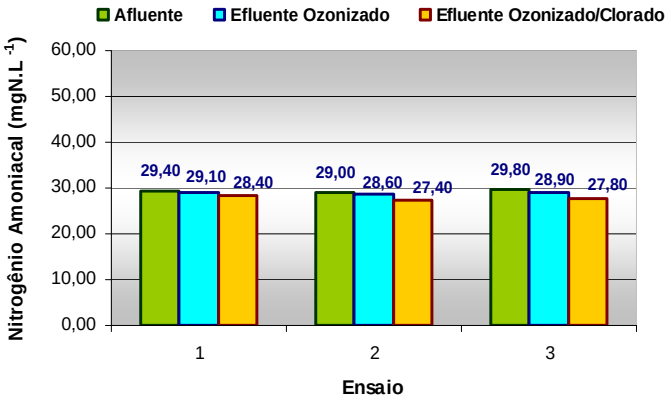


Figura 5.126: Concentração média de nitrogênio amoniacal para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Nos ensaios 1, 2 e 3 as concentrações médias de afluentes e efluentes ozonizados de nitrogênio amoniacal foram muito semelhantes: 29,40 mg.N.L^{-1} para o afluente e 29,10 mg.N.L^{-1} para o efluente ozonizado; 29,00 mg.N.L^{-1} para o afluente e 28,60 mg.N.L^{-1} para o efluente ozonizado e; 29,80 mg.N.L^{-1} para o afluente e 28,90 mg.N.L^{-1} para o efluente ozonizado, respectivamente. Analisando estas concentrações médias, podem-se observar valores muito próximos, não havendo oxidação da amônia já que para os tempos de contato estudados, dosagens aplicadas e valores pH na faixa de 7,0 não são favoráveis para a oxidação da

amônia. Este comportamento já foi verificado nos ensaios que se aplicou apenas ozônio.

Observando as concentrações de nitrogênio amoniacal é possível notar que houve um consumo do mesmo pelo cloro.

As concentrações médias afluente de nitrogênio amoniacal para os ensaios 1, 2 e 3 foram 29,10; 28,60 e 28,90 mg $N.L^{-1}$ e as concentrações médias do efluente ozonizado/clorado-desclorado foram de 28,40; 27,40 e 27,80 mg $N.L^{-1}$.

A reação do cloro com o nitrogênio amoniacal implica em um consumo de 5,0 mg Cl_2/1,0 mg $N\text{-}NH_3$, esta razão não foi observada quando analisado os valores médios de nitrogênio amoniacal, comportamento que difere quando comparado com os ensaios de cloração (5.1.2).

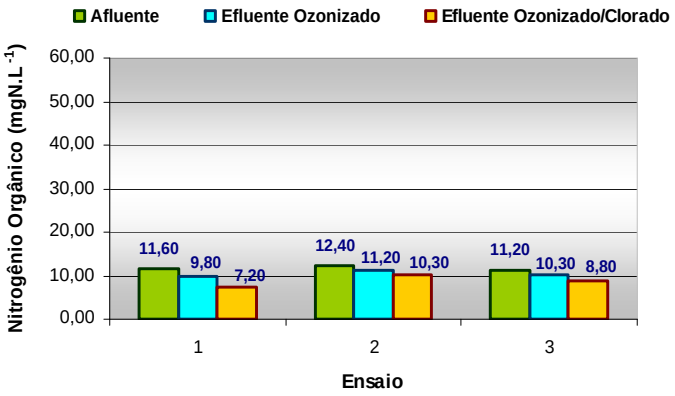


Figura 5.127: Concentração média de nitrogênio orgânico para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Nos ensaios 1, 2 e 3 as concentrações médias de afluentes e efluentes ozonizados de nitrogênio orgânico foram muito semelhantes: 11,60 $mg.N.L^{-1}$ para o afluente e 9,80 $mg.N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado; e 12,40 $mg.N.L^{-1}$ para o afluente e 11,20 $mg.N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado e; 10,30 $mg.N.L^{-1}$ para o afluente e 8,80 $mg.N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado, respectivamente. O mesmo comportamento ocorrido para NTK e nitrogênio amoniacal foi observado para

nitrogênio orgânico para os ensaios 1, 2 e 3, assim como para os ensaios de ozonização (5.1.1).

As concentrações médias afluente de nitrogênio orgânico para os ensaios 1, 2 e 3 foram 9,80; 11,20 e 10,30 mg $N.L^{-1}$ e as concentrações médias do efluente ozonizado/clorado-desclorado foram de 7,20; 10,30 e 8,80 mg $N.L^{-1}$. As concentrações observadas de nitrogênio orgânico seguiram a tendência de NTK e nitrogênio amoniacal, pois nitrogênio orgânico é a diferença entre NTK e N-amoniacal.

Foram realizados testes estatísticos para se verificar a significância das variações de NTK, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico em função das dosagens de ozônio e cloro aplicadas e do tempo de contato nos diferentes ensaios. Os resultados obtidos seguem as tendências previamente observadas nos ensaios separados de ozonização (5.1.1) e cloração (5.1.2), no qual o tempo de contato e as diferentes concentrações aplicadas de desinfetante não se apresentaram como significativas estatisticamente.

5.1.3.4 - Nitrito e Nitrato

As concentrações de nitrito e nitrato observadas para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio da Tabela A.27. As concentrações médias de nitrito e nitrato estão apresentadas na Figura 5.128 e 5.129.

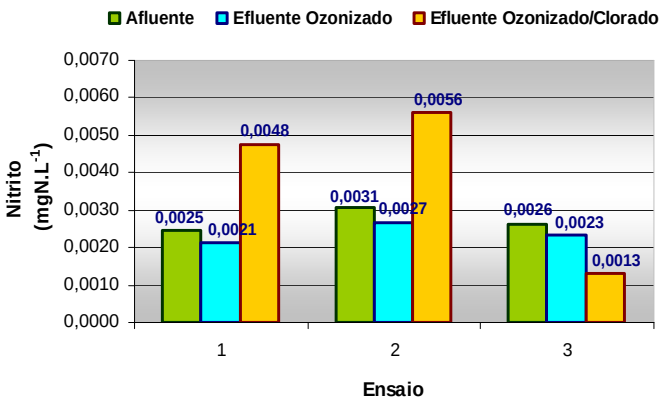


Figura 5.128: Concentração média de nitrito para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Analisando as concentrações médias, para os ensaios 1, 2 e 3, quando foi aplicando apenas ozônio, a concentração média de nitritos nos afluentes e efluentes ozonizados foram muito baixas, havendo pouca variação entre eles para os ensaios 1, 2 e 3, mostrando muito pouca ou nenhuma influência da ozonização (Figura 5.125). Comportamento semelhante ao detectado nos ensaios de ozonização (5.1.1).

As concentrações dos efluentes ozonizados/clorados-desclorados dos ensaios 1 e 2 apresentam concentrações superiores aos do efluente do reator $UASB_{mod}$ ozonizado, fato que pode ser explicado por algum interferente na análise dos mesmos, já que foi observada uma coloração diferente para estes testes.

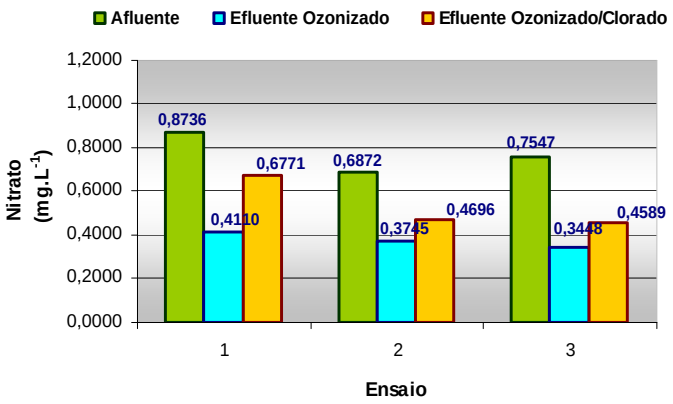


Figura 5.129: Concentração média de nitrato para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para o nitrato a concentração média afluente foi 0,8736 mg $N.L^{-1}$ e para o efluente ozonizado foi de 0,4110 mg $N.L^{-1}$ (ensaio 1), 0,6872 mg $N.L^{-1}$ para o afluente e 0,3745 mg $N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado (ensaio 2) e 0,7547 mg $N.L^{-1}$ para o afluente e 0,3448 mg $N.L^{-1}$ para o efluente ozonizado (ensaio 3). Como já apresentado para os ensaios de ozonização (5.1.1), nos ensaios de ozonização/cloração, analisando apenas a aplicação do ozônio, também houve oxidação do nitrato, com valores médios de remoção de 52,9; 46,4 e 57,0 % para os ensaios 1, 2 e 3 respectivamente.

As concentrações médias afluente de nitrato para os ensaios 1, 2 e 3 foram 0,4110; 0,3745 e 0,3448 mg $N.L^{-1}$ e as concentrações médias do efluente clorado-desclorado foi de 0,6767; 0,4696 e 0,4595 mg $N.L^{-1}$.

A oxidação do nitrogênio amoniacal gera nitrato, fato comprovado pelo aumento detectado para nitrato nos ensaios de ozonização/cloração.

5.1.3.6 - Cloreto

As concentrações de cloreto observadas para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios de 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio da Tabela A.28 e as concentrações médias podem ser observados por meio da Figura 5.130.

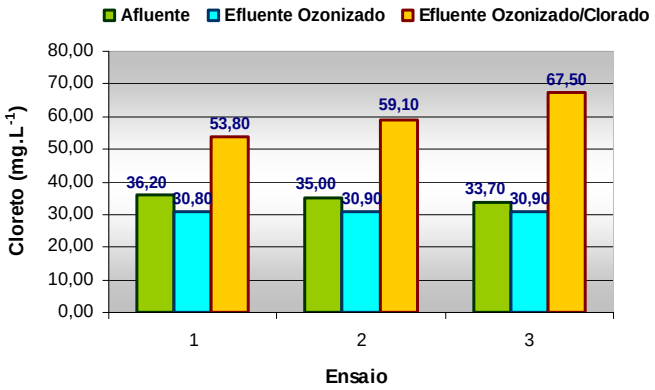


Figura 5.130: Concentração média de cloreto para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Houve uma pequena remoção nas concentrações de cloreto para os ensaios 1, 2 e 3 quando houve a aplicação do ozônio. Isso pode ser comprovado analisando as concentrações médias para os ensaios 1, 2 e 3: as concentrações médias dos efluentes não ozonizados foram de 36,00; 35,00 e 33,70 mg $Cl^-.L^{-1}$ e para os efluentes ozonizados foram 30,80; 30,90 e 30,90 mg $Cl^-.L^{-1}$.

Para os efluentes ozonizados/clorados-desclorados as concentrações médias foram 53,80; 59,10 e 67,50 mg $Cl^-.L^{-1}$. É possível observar por meio das concentrações de cloreto uma grande variação no efluente do reator $UASB_{mod}$, 20,00 a 68,50; 19,00 a 62,00 e 18,50 a 52,00 mg $Cl^-.L^{-1}$. Comportamento que é explicado devido grande alteração na qualidade do efluente que chega à estação.

O aumento de cloreto nos ensaios 1, 2 e 3 seguiu o mesmo comportamento detectado nos ensaios de cloração (5.1.2).

5.1.3.7 - Sulfeto

As concentrações de sulfeto observadas para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio da Tabela A.29 e as concentrações médias podem ser observadas por meio da Figura 5.131.

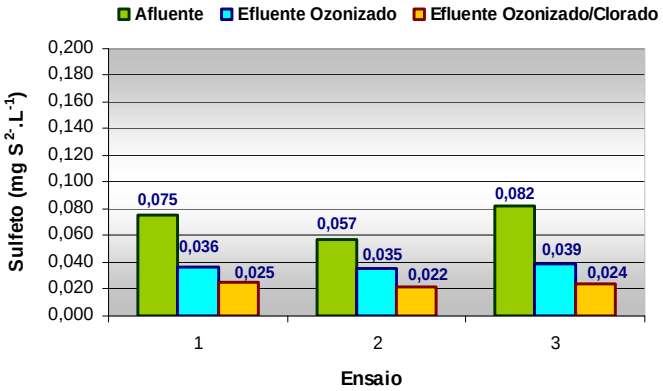


Figura 5.131: Concentração média de sulfeto para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para os ensaios 1, 2 e 3 a concentração média afluente foi 0,075 mg $S^{2-}.L^{-1}$ e concentração média do efluente ozonizado foi de 0,036 mg $S^{2-}.L^{-1}$, 0,057 mg $S^{2-}.L^{-1}$ para o afluente e 0,035 mg $S^{2-}.L^{-1}$ para o efluente ozonizado e 0,082 mg $S^{2-}.L^{-1}$ para o afluente e 0,039 mg $S^{2-}.L^{-1}$ para o efluente ozonizado, respectivamente. Os valores médios de remoção de sulfeto para os ensaios 1, 2 e 3 foram 52,0; 38,6 e 52,4 %, valores estes inferiores aos apresentados nos ensaios de

ozonização (5.1.1), entretanto as concentrações afluentes apresentadas para os ensaios 1, 2 e 3 foram inferiores aos ensaios de ozonização (5.1.1).

De acordo com White (1999) o sulfeto é facilmente oxidado pelo cloro. Foi observado concentrações baixas de sulfeto para o efluente do reator $UASB_{mod}$ ozonizado, e para o efluente ozonizado/clorado-desclorado houve um pequeno decréscimo desta concentração, devido à oxidação pelo cloro.

As concentrações médias de sulfeto do efluente ozonizado para os ensaios 1, 2 e 3 foram 0,036; 0,035; 0,039 mg $S^{2-}.L^{-1}$ e as concentrações médias do efluente ozonizado/clorado-desclorado foi de 0,025; 0,022 e 0,024 mg $S^{2-}.L^{-1}$. As remoções foram de 35,9; 37,1 e 38,5% para os ensaios 1, 2 e 3; este comportamento demonstra que não houve incremento na oxidação de sulfeto com o aumento na dosagem de cloro aplicada. As remoções observadas para os ensaios de ozonização/cloração, analisando apenas a aplicação do cloro foram inferiores aos ensaios de cloração (5.1.2), isto devido à baixa concentração observada após a ozonização.

5.1.3.8 - Sólidos em Suspensão Totais (SST), Sólidos em Suspensão Fixos (SSF) e Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV)

As concentrações de sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão fixos e sólidos em suspensão voláteis observadas para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios de 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio da Tabela A.30 e as concentrações médias podem ser observadas por meio das Figuras 5.132 a 5.134.

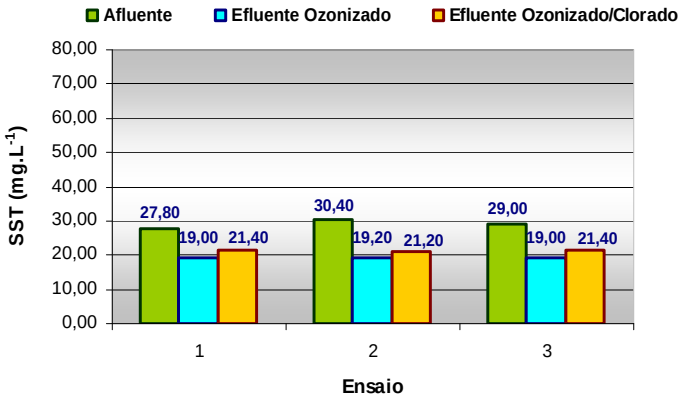


Figura 5.132: Concentração média de SST para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

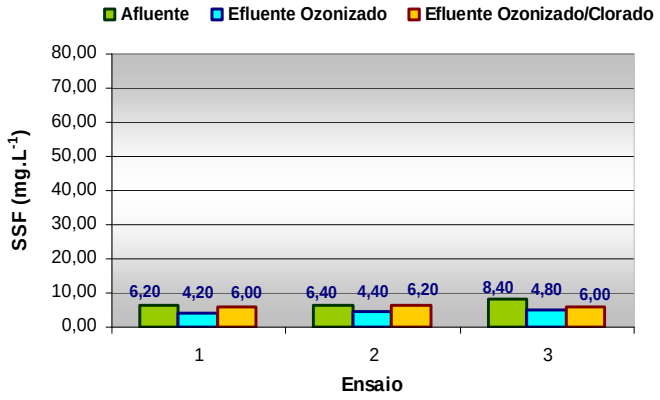


Figura 5.133: Concentração média de SSF para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

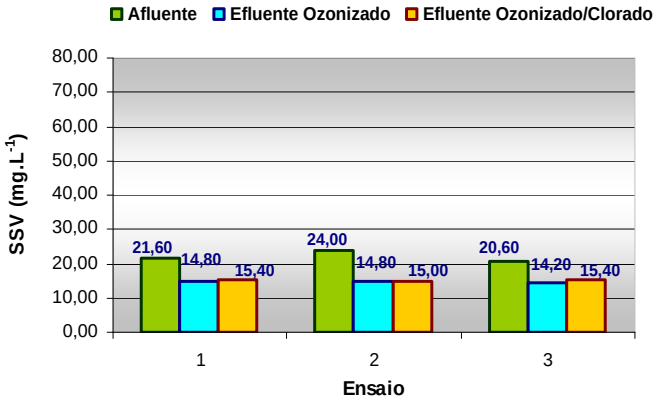


Figura 5.134: Concentração média de SSV para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Nos ensaios 1, 2 e 3 a concentração média afluente de SST foi 35,00 $mg.L^{-1}$ e concentração média do efluente ozonizado foi de 25,30 $mg.L^{-1}$, 40,00 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 25,30 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado e 37,70 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 26,00 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado, respectivamente. Os valores médios de remoção de SST para os ensaios 1, 2 e 3 foram 29,6; 36,0 e 31,0%. Estes valores foram inferiores aos detectados para os ensaios ozonização (5.1.1), porém os afluentes para os ensaios 1 e 3 tiveram concentrações médias afluentes superiores.

As concentrações médias afluente de SST para os ensaios 1, 2 e 3 quando se aplicou apenas ozônio foram: 25,30; 25,30 e 26,00 $mg.L^{-1}$. Por meio destes valores médios e também pelos valores detectados para cada ensaio (Tabela A.29) é possível observar uma grande variação de SST.

Observando as concentrações médias de SST, afluente e efluente dos ensaios de ozonização/cloração verificaram-se aumentos de 15,8; 19,7 e 21,8% para os ensaios 1, 2 e 3, respectivamente. Pelos resultados detectados de aumento de SST observou-se que houve um aumento com o aumento da dosagem de cloro aplicada. Entretanto, para os ensaios que se aplicou apenas cloro este aumento foi menor que o detectado para os ensaios de ozonização/cloração.

Costa (2007), que aplicou as dosagens de 2,5 e 7,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 20 e 40 minutos em efluente proveniente do tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização também detectou aumentos na concentração de SST.

Para os ensaios 1, 2 e 3, quando se aplicou apenas ozônio, foi constatado o mesmo comportamento para os SSF observado nos ensaios de ozonização (5.1.1). A concentração média afluente de SSF foi 6,00 $mg.L^{-1}$ e concentração média do efluente ozonizado foi de 4,30 $mg.L^{-1}$, 6,30 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 4,00 $mg.L^{-1}$ para

o efluente ozonizado e 10,30 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 6,33 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado, respectivamente.

Foi detectado um pequeno aumento na concentração de SSF para os efluentes ozonizados/clorados-desclorados, este comportamento pode ser explicado devido à imprecisão do método, pois os valores estiveram muito próximos.

Observando as concentrações afluente e efluente para SSV nota-se uma diminuição para os efluentes ozonizados, fato explicado pois determinação de SSV é a diferença entre SST e SSF.

A concentração média afluente de SSV foi 29,00 $mg.L^{-1}$ e concentração média do efluente ozonizado foi de 21,00 $mg.L^{-1}$, 33,70 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 21,30 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado e 27,30 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 19,70 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado, respectivamente.

Para as dosagens aplicadas de 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ As concentrações médias afluente de SSV para os tempos de contato estudados foram de 21,00; 21,30 e 19,70 $mg.L^{-1}$. Por meio destes valores médios e também pelos valores detectados para cada ensaio (Tabela A.29) é possível observar uma grande variação de SSV. O comportamento observado nos SST e SSF foi o mesmo observado nos SSV, fato explicado devido os SSV ser a diferença entre SST e SSF.

5.1.3.9 - Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV)

As concentrações de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis observadas para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios de 1, 2 e 3

podem ser observadas por meio da Tabela A.31 e as concentrações médias podem ser observadas por meio das Figuras 5.135 a 5.137.

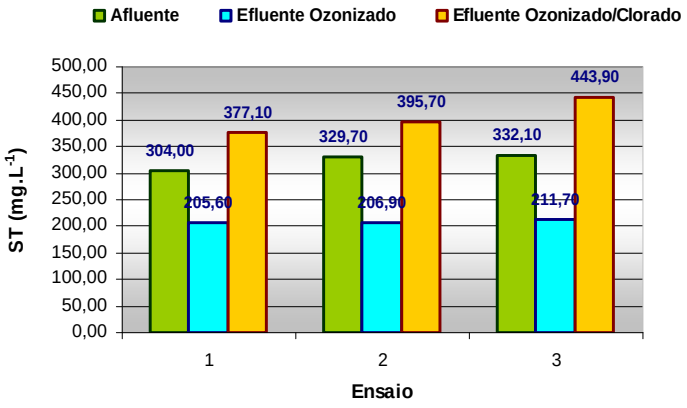


Figura 5.135: Concentração média de ST para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

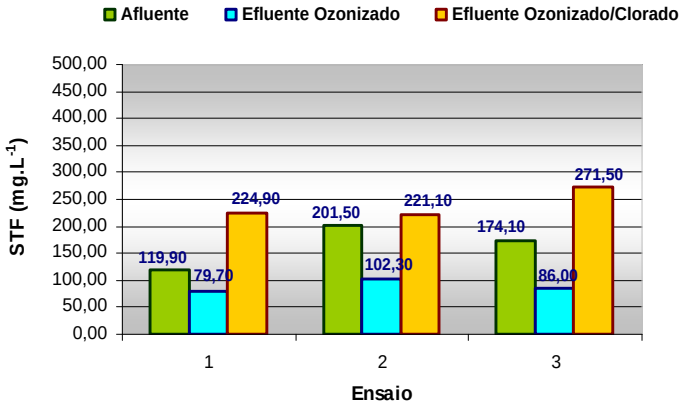


Figura 5.136: Concentração média de STF para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

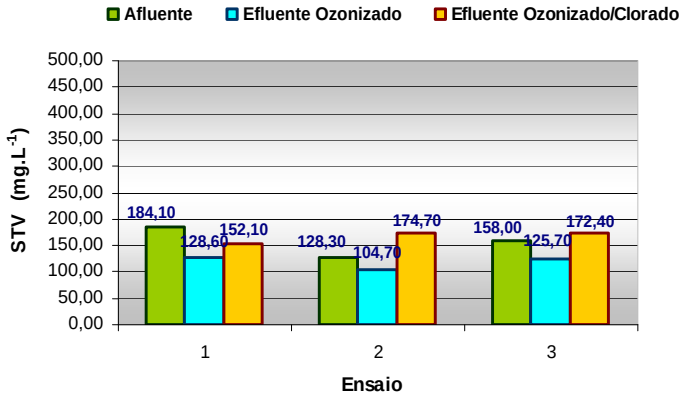


Figura 5.137: Concentração média de STV para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Nos ensaios 1, 2 e 3 a concentração média afluente de ST foi 304,00 $mg.L^{-1}$ e concentração média do efluente ozonizado foi de 205,60 $mg.L^{-1}$, 329,70 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 206,90 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado e 332,10 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 211,70 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado, respectivamente.

As concentrações médias afluente de ST para os ensaios 1, 2 e 3 foram de 205,60; 206,90 e 211,70 $mg.L^{-1}$, respectivamente. Para estes ensaios verifica-se um aumento médio de 83,4; 91,2 e 109,6%, respectivamente, para os efluentes ozonizados/clorados-desclorados, valores maiores que os detectados para os ensaios de cloração (5.1.2). É possível verificar que houve um aumento de ST com o aumento da dosagem de cloro aplicado. Este comportamento não foi entendido, pois não haveria fonte para se gerar as concentrações de ST observadas, a falta de precisão e difícil reprodutibilidade para o método de determinação dos ST, não seria responsável pelo aumento observado em todas as amostras cloradas.

Para os ensaios 1, 2 e 3 foi constatado o mesmo comportamento observado para os STF, da mesma forma que ocorreu nos ensaios de ozonização (5.1.1). A concentração média afluente de STF foi 119,90 $mg.L^{-1}$ e concentração média do efluente ozonizado foi de 79,70 $mg.L^{-1}$, 201,50 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 102,30 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado e 174,10 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 86,00 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado, respectivamente.

Nos ensaios 1, 2 e 3, as concentrações médias afluente de STF quando se aplicou cloro foram de 79,67; 102,27 e 86,00 $mg.L^{-1}$, respectivamente. Para estes ensaios verificou-se um aumento médio de 182,3; 116,3 e 215,7%, respectivamente, para os efluentes ozonizados/clorados-desclorados.

Observando as concentrações afluente e efluente para STV nota-se uma diminuição para os efluentes, fato explicado pois determinação de STV é a diferença

entre ST e STF. A concentração média afluente de STV foi 184,10 $mg.L^{-1}$ e concentração média do efluente ozonizado foi de 128,60 $mg.L^{-1}$, 128,30 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 104,70 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado e 158,00 $mg.L^{-1}$ para o afluente e 125,70 $mg.L^{-1}$ para o efluente ozonizado, respectivamente.

Para os ensaios 1, 2 e 3, as concentrações médias afluente de STV quando se aplicou cloro foram de 128,60; 104,70 e 127,70 $mg.L^{-1}$. Por meio destes valores médios e também pelos valores detectados para cada ensaio (Tabela A.30) é possível observar uma grande variação de STV. O mesmo comportamento observado nos ST e STF foi observado nos STV, fato explicado pois os SSV são a diferença entre ST e STF.

5.1.3.10 Subprodutos da ozonização (Aldeídos)

As concentrações de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal observadas para os afluentes (efluente reator $UASB_{mod}$), efluentes ozonizados/clorados-desclorados para os ensaios 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio das Tabelas 5.21, 5.22 e 5.23 e as concentrações médias podem ser observadas por meio das Figuras 5.138 a 5.141.

Tabela 5.21: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal formados no ensaio 1 para efluente reator $UASB_{mod}$, efluente ozonizado e ozonizado/clorado-desclorado

Amostra		Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Formaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Acetaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Glioxal ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGlioxal ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	4,84	5	2,50	10	71,4	157,0	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					465,8	445,2	69,6	17,3
	EF O_3/Cl_2					382,7	259,9	<ld	<ld
2	AF	4,08		3,20		231,0	426,5	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					555,9	656,1	71,0	31,5
	EF O_3/Cl_2					405,6	584,7	25,9	25,3
3	AF	3,82		4,16		400,7	189,1	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					517,6	348,9	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					190,5	283,2	<ld	<ld
4	AF	4,00		3,88		402,7	277,0	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					525,6	510,2	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					244,4	392,1	<ld	<ld
5	AF	4,05		4,41		131,0	163,9	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					150,5	300,3	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					83,1	229,1	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção

Tabela 5.22: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal formados no ensaio 2 para efluente reator $UASB_{mod}$, efluente ozonizado e ozonizado/clorado-desclorado

Amostra		Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Formaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Acetaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Glioxal ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGlioxal ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	7,31	10	3,56	20	59,1	89,6	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					482,4	567,3	75,3	13,6
	EF					324,5	216,6	<ld	<ld
2	AF	7,09		5,60		219,6	120,3	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					579,6	728,5	89,8	22,0
	EF					445,4	506,8	16,9	15,4
3	AF	6,86		6,30		391,0	190,3	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					619,8	486,6	<ld	<ld
	EF					139,7	228,6	<ld	<ld
4	AF	7,16		7,35		223,9	222,6	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					619,8	711,8	<ld	<ld
	EF					250,9	578,2	<ld	<ld
5	AF	7,11		10,05		79,1	159,3	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					109,2	224,9	<ld	<ld
	EF					50,9	184,5	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção

Tabela 5.23: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal formados no ensaio 3 para efluente reator $UASB_{mod}$, efluente ozonizado e ozonizado/clorado-desclorado

Amostra		Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Formaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Acetaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Glioxal ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGlioxal ($\mu g.L^{-1}$)
1	AF	9,30	15	3,50	30	204,9	272,3	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					323,2	327,8	29,8	13,8
	EF					411,6	296,9	<ld	<ld
2	AF	9,31		5,20		206,8	381,0	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					318,0	476,2	58,8	23,0
	EF					268,0	422,0	17,4	16,2
3	AF	9,04		4,70		400,1	230,4	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					472,9	389,6	<ld	<ld
	EF					112,2	225,7	<ld	<ld
4	AF	9,24		5,50		164,0	168,5	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					472,9	453,9	<ld	<ld
	EF					195,7	262,1	<ld	<ld
5	AF	9,24		3,80		51,3	149,5	<ld	<ld
	EF $_{O3}$					78,8	175,7	<ld	<ld
	EF					44,3	147,6	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção

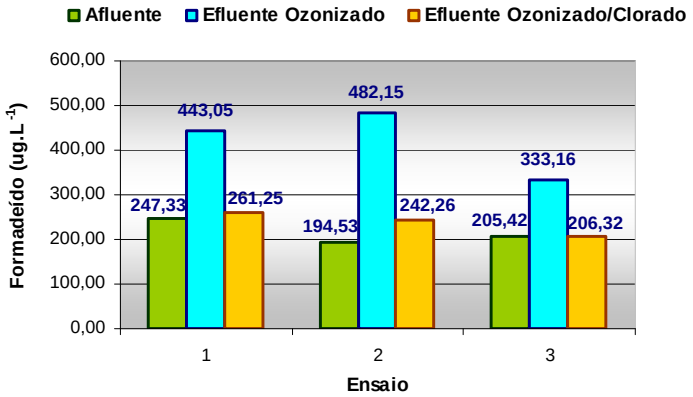


Figura 5.138: Concentração média de formaldeído para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

A formação de subprodutos para os ensaios 1, 2 e 3 apresentou concentração média de formação de formaldeído igual a 195,7; 253,6 e 172,3 $\mu g.L^{-1}$ respectivamente, concentrações superiores às observadas nos ensaios de ozonização (5.1.1). Entretanto, não se pode relacionar esta maior formação com a matéria orgânica, visto que para os ensaios de DQO, o valor médio para os ensaios de ozonização (5.1.1) foi superior aos ensaios 1, 2 e 3. Também não houve

diferença significativa no valor de pH entre os dois ensaios, apenas um aumento significativo nos ST que não demandaram DQO.

As concentrações de formaldeído aumentaram com o aumento da dosagem de ozônio aplicada e tempo de contato do ensaio 1 para o 2. Entretanto, como detectado nos ensaios de ozonização (5.1.1) e confirmado nos ensaios de ozonização/cloração e de acordo com os estudos realizado por Can e Gurol (2003), houve um decréscimo nas concentrações de formação de formaldeído do ensaio 2 para o 3, explicado por possível saturação da formação do formaldeído, consumo total dos precursores ou o formaldeído possa ter sido transformado em outros subprodutos, ou pela possibilidade de o mesmo sido oxidado pelo ozônio.

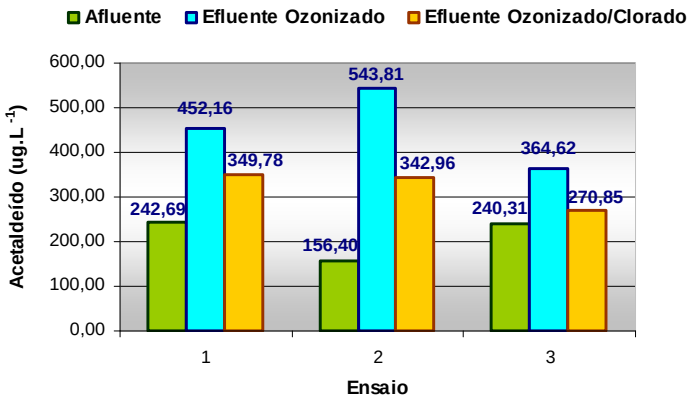


Figura 5.139: Concentração média de acetaldeído para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para os ensaios 1, 2 e 3 a concentração média de formação de acetaldeído foi igual a 211,5; 387,4 e 124,3 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente. O mesmo comportamento observado para a formação de formaldeído foi observado para o acetaldeído, porém com uma concentração média de formação superior para o ensaio 1 e 2.

Verificou-se uma concentração média de acetaldeído superior para os ensaios 1, 2 e 3 comparado com os ensaios de ozonização (5.1.1), comportamento

também observado para formaldeído. Houve também uma saturação para o tempo de contato de 10 minutos e concentração aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ (ensaio 2), pois para o ensaio 3 houve um decréscimo de formação de formaldeído com o aumento do tempo de contato e dosagem aplicada.

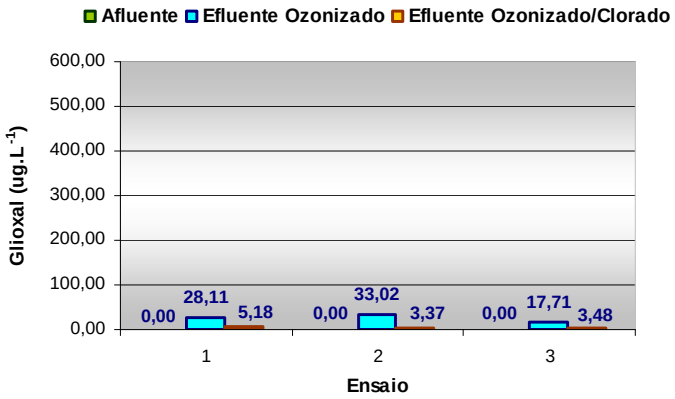


Figura 5.140: Concentração média de glioxal para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Verificou-se que a formação de glioxal foi superior quando aplicou-se os ensaios 1, 2 e 3 comparado aos ensaios de ozonização (5.1.1). A formação média de glioxal foi de 29,1; 33,0 e 17,7 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente para os três testes. Por meio destes resultados é possível afirmar que a dosagem e tempo de contato atuaram favorecendo uma maior formação de glioxal do ensaio 1 para o ensaio 2. Este comportamento discorda dos resultados do estudo realizado por Nawrocki et al (2003) que afirmam que a formação do glioxal não depende do tempo de contato e dosagem de ozônio consumida, apenas no ensaio 1 para o ensaio 2. Visto que, analisando os valores de formação dos ensaios 2 e 3 verificou-se uma menor formação de glioxal, comportamento semelhante ao ocorrido para formaldeído e acetaldeído nos ensaios de ozonização e ozonização/cloração (5.1.2 e 5.1.2).

Wert et al. (2007) observaram a formação de glioxal para as dosagens aplicadas de 3,6 e 7,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 18 minutos. Foi observada a formação de 29,0 e 45,0 $\mu g.L^{-1}$ de glioxal. Na presente pesquisa no ensaio 1, observou-se a mesma concentração de glioxal formado. No ensaio 2 observou-se uma menor concentração de glioxal formado, porém em tempo de contato de 10 minutos, inferior ao tempo de contato que os autores trabalharam (18 minutos).

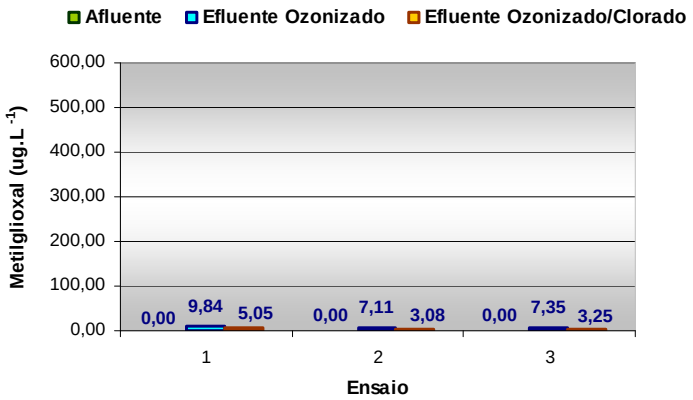


Figura 5.141: Concentração média de metilglioxal para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para os ensaios 1, 2 e 3 a formação média de metilglioxal foi superior aos ensaios de ozonização, 9,84, 7,11 e 7,35 $\mu g.L^{-1}$. Os ensaios 1, 2 e 3 confirmam os estudos realizados por Nawrocki et al (2003), nos quais a formação do metilglioxal não depende do tempo de contato e dosagem de ozônio consumida. A presente pesquisa encontrou concentrações inferiores às observadas por Wert et al. (2007), para as dosagens aplicadas de 3,6 e 7,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 18 minutos, foi detectado a formação de 23,0 e 42,0 $\mu g.L^{-1}$, concentrações superiores às encontradas na presente pesquisa.

Nos ensaios 1, 2 e 3 foi obtido a predominância de acetaldeído assim como nos ensaios de ozonização (5.1.1). A maior formação de acetaldeído contradiz com

os estudos realizados por Wert et. al (2007), Nawrocki et al. (2003) e Schetchter e Singer (1995), que obtiveram uma predominância de formação de formaldeído em suas pesquisas, comportamento que não foi observado na presente pesquisa. Este comportamento pode ser explicado pelas características do esgoto utilizado

Para os ensaios 1, 2 e 3 a concentração média de formação de formaldeído para os tempos de contato aplicados estiveram acima da concentração máxima permitida para os padrões japoneses e poloneses (80,0 e 50,0 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente).

5.1.3.11 - Subprodutos da cloração (THMs)

As concentrações de clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio observadas para os efluentes ozonizados e efluentes ozonizados/clorados-desclorados para os ensaios 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio das Tabelas 5.24, 5.25 e 5.26.

Tabela 5.24: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para o ensaio 1 para os efluentes ozonizados (afluente) e efluentes ozonizados/clorados-desclorados

Amostra		Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Clorofórmio ($\mu g.L^{-1}$)	Bromodiclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Dibromoclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Bromofórmio ($\mu g.L^{-1}$)
1	EF O_3	4,84	5	2,50	10	<ld	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					26,6	<ld	<ld	<ld
2	EF O_3	4,08		3,20		12,9	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					40,0	1,6	1,6	<ld
3	EF O_3	3,82		4,16		<ld	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					27,5	<ld	<ld	<ld
4	EF O_3	4,00		3,88		<ld	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					29,7	<ld	<ld	<ld
5	EF O_3	4,05		4,41		8,4	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					37,5	<ld	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção
Bromodiclor.: Bromodiclorometano ; Dibromoclor.: dibromoclorometano

No ensaio que se aplicou 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foi detectado a formação de clorofórmio, mínimo de 26,6 $\mu g.L^{-1}$, máximo de 29,0 $\mu g.L^{-1}$ e concentração média de 28,0 $\mu g.L^{-1}$. Apenas em uma das cinco amostras foi de detectado bromodiclorometano e dibromoclorometano, 1,6 e 1,6 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente.

A concentração foi superior que a formada nos ensaios que se aplicou apenas cloro na dosagem de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$. Para o ensaio 1 a concentração de trialometanos totais estiveram abaixo do padrão de potabilidade (100,0 $\mu g.L^{-1}$), segundo a portaria MS 518/2004.

As concentrações observadas de trialometanos nesta pesquisa foram superiores às observadas por Léo et al. (2005) que estudaram a formação de trialometanos em efluente bruto, lagoa anaeróbia e lagoa facultativa. Os autores detectaram 17,3 $\mu g.L^{-1}$ de clorofórmio para dosagem aplicada de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ para o efluente da lagoa facultativa e 12,0 $\mu g.L^{-1}$ para o efluente de lagoa anaeróbia clorada, com tempo de contato igual a 30 minutos.

Tabela 5.25: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para o ensaio 2 para os efluentes ozonizados (afluente) e efluentes ozonizados/clorados-desclorados

Amostra		Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Clorofórmio ($\mu g.L^{-1}$)	Bromodiclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Dibromoclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Bromofórmio ($\mu g.L^{-1}$)
1	EF O_3	7,31	10	3,56	20	<ld	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					54,1	<ld	<ld	<ld
2	EF O_3	7,09		5,60		<ld	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					32,3	<ld	<ld	<ld
3	EF O_3	6,86		6,30		<ld	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					43,5	<ld	<ld	<ld
4	EF O_3	7,16		7,35		<ld	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					38,5	<ld	<ld	<ld
5	EF O_3	7,11		10,05		<ld	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					36,3	<ld	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção
Bromodiclor.: Bromodiclorometano ; Dibromoclor.: dibromoclorometano

Tabela 5.26: Concentração de Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio para o ensaio 3 para os efluentes ozonizados (afluente) e efluentes ozonizados/clorados-desclorados

Amostra		Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Clorofórmio ($\mu g.L^{-1}$)	Bromodiclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Dibromoclor. ($\mu g.L^{-1}$)	Bromofórmio ($\mu g.L^{-1}$)
1	EF O_3	9,30	15	3,50	30	14,0	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					38,5	2,31	<ld	<ld
2	EF O_3	9,31		5,20		1,8	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					24,6	<ld	<ld	<ld
3	EF O_3	9,04		4,70		3,4	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					20,4	<ld	<ld	<ld
4	EF O_3	9,24		5,50		5,7	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					27,9	<ld	<ld	<ld
5	EF O_3	9,24		3,80		2,5	<ld	<ld	<ld
	EF O_3/Cl_2					21,9	<ld	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção
Bromodiclor.: Bromodiclorometano ; Dibromoclor.: dibromoclorometano

A concentração de trialometanos formados não apresenta correlação direta com a dosagem de cloro aplicado, pois houve apenas formação maior de clorofórmio comparando as dosagens aplicadas de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ (ensaio 1) e 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ (ensaio 2), pois quando se compara as dosagens de 20,0 (ensaio 2) e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ (ensaio 3) não foi observada maior formação de clorofórmio.

O fato dos efluentes serem não-nitrificados, apresentando concentrações médias de 28,10; 28,56 e 28,90 mg $N\text{-}NH_3.L^{-1}$, para os ensaios 1, 2 e 3, respectivamente, parece não ter inibido a formação de trialometanos, mesmo o nitrogênio amoniacal sendo o composto de reação preferencial com o cloro. Este comportamento difere das pesquisas realizadas por Amy et al. (1984), Dore et al. (1998), Figueiredo et al. (1999), Pianowski e Janissek (2003). Entretanto, no presente trabalho já foi observado este comportamento quando se aplicou 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, pois foi detectado uma concentração maior de clorofórmio, assim como também foi detectado bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio, em relação aos ensaios que se aplicou 10,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$. Vale salientar que não houve diminuição na concentração de nitrogênio amoniacal.

A aplicação de ozônio antes da cloração pode ter ocasionado uma maior reatividade da matéria orgânica com o cloro para a formação de trialometanos, o que explica a maior formação comparada com os ensaios que se aplicou apenas o cloro como desinfetante.

Para os ensaios que se aplicaram 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, as concentrações mínimas de trialometanos foram de 32,3 e 17,0 $\mu g.L^{-1}$, máximas de 54,1 e 25,4 $\mu g.L^{-1}$ e médias de 40,9 e 21,2 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente.

Pianowski e Janissek (2003) estudaram a cloração de efluente proveniente de tratamento anaeróbio (Filtro Biológico Anaeróbio) com capacidade operacional máxima de 24,03 $L.s^{-1}$. Foi aplicado as dosagens de 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 30 minutos, em um béquer contendo 1,0 L de efluente. Para estas dosagens aplicadas foi detectado a predominância na formação de clorofórmio, assim como observado na presente pesquisa. As concentrações observadas foram de 16,8; 48,8; 97,1; 388,3; 375,4 e 936,4 $\mu g.L^{-1}$ para as dosagens de 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$, respectivamente, para o tempo de contato igual a 30 minutos. É possível observar um aumento na concentração de clorofórmio com o aumento da dosagem aplicada. Outro comportamento detectado foi a presença de nitrogênio amoniacal (59,92 mg $N\text{-}NH_3.L^{-1}$), a presença do mesmo não indica que houve inibição na formação de trialometanos. De acordo com os autores a predominância na formação de clorofórmio se deve as características do esgoto, esta explicação se baseia nos estudos de Gallard e Gunten (2002). Estes resultados demonstram uma superioridade na formação de trialometanos comparando com os resultados detectados. Entretanto demonstra a possibilidade da formação mesmo com a

presença de nitrogênio amoniacal, o que indica que estudos devem ser realizados para se elucidar melhor este comportamento.

A concentração de trialometanos é no mínimo preocupante, pois os graves efeitos negativos destes compostos na saúde não podem ser desconsiderados. Deve ser ressaltada a estabilidade do clorofórmio, sendo cumulativo e mutagênico podendo causar graves danos ao meio ambiente a médio e longo prazo.

5.1.3.12 - Inativação de Coliformes Totais e *E. coli*.

Os resultados de inativação de coliformes totais utilizando como desinfetante o ozônio/cloro para o efluente do tratamento de esgoto da EESC-USP proveniente do reator $UASB_{mod}$ estão apresentados na Tabela A.32. Para os ensaios 1, 2 e 3 foram quantificadas as concentrações finais de coliformes totais. Os valores médios de inativação de coliformes totais podem ser observados pela Figura 5.142.

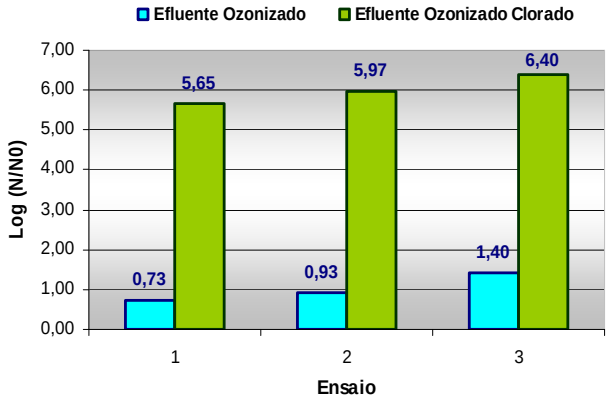


Figura 5.142: Valores médios de inativação de coliformes totais para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para os ensaios 1, 2 e 3 foi observado para coliformes totais: $1,0 \times 10^7$; $9,0 \times 10^6$ e $1,0 \times 10^7$ UFC/100 mL para os efluentes do reator $UASB_{mod}$ e $4,0 \times 10^4$;

8,0 x 10^2 e 1,2 x 10^2 UFC/100 mL para os efluentes ozonizados/clorados, respectivamente.

A inativação obtida para coliformes totais para o ensaio de ozonização/cloração que foi consumido 4,16 mg $O_3.L^{-1}$ (ensaio 1) variou de 0,27 a 1,15 log. O valor médio para este ensaio foi de 0,73 log. Para o ensaio 2, que foi consumido 7,11 mg $O_3.L^{-1}$ a inativação variou de 0,52 a 1,43 log e o valor médio foi de 0,93 log. No ensaio 3, que foi consumido 9,23 mg $O_3.L^{-1}$ a inativação variou de 0,70 a 1,93 log e o valor médio foi de 1,40 log. Os valores médios de inativação acima citados foram inferiores aos detectados nos ensaios de ozonização (5.1.1) para as mesmas dosagens e tempos de contato aplicados, não foi detectado nenhuma alteração nas características do esgoto que favorece esta maior inativação.

A inativação obtida para coliformes totais para o ensaio ozonização/cloração que foi consumido 4,16 mg $O_3.L^{-1}$ / 3,63 mg $Cl_2.L^{-1}$ (ensaio 1) variou de 2,44 a 6,85 log. O valor médio para este ensaio foi de 5,65 log. Para o ensaio 2, que foi consumido 7,11 mg $O_3.L^{-1}$ / 6,57 mg $Cl_2.L^{-1}$ a inativação variou de 3,88 a 6,90 log e o valor médio foi de 5,97 log. No ensaio 3, que foi consumido 9,23 mg $O_3.L^{-1}$ / 4,54 mg $Cl_2.L^{-1}$ a inativação variou de 4,82 a 6,90 log e o valor médio foi de 6,40 log.

As concentrações finais de *E Coli* quando se aplicou como desinfetantes o ozônio/cloro, estão apresentados na Tabela A.33, para os ensaios 1, 2 e 3. Os valores médios de inativação de *E. coli* podem ser observados na Figura 5.143.

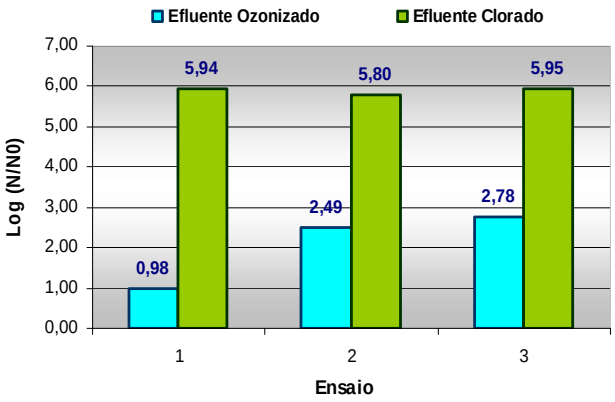


Figura 5.143: Valores médios de inativação de *E. coli* para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Para os ensaios 1, 2 e 3 foi observado para *E. coli*: 2,0 x 10^6; 2,0 x 10^6 e 4,0 x 10^6 UFC/100 mL para efluente do reator $UASB_{mod}$ e valores < 1,0 UFC/100 mL para os efluente ozonizado/clorados, respectivamente.

A inativação obtida para *E. coli* o ensaio de ozonização/cloração que foi consumido 4,16 mg $O_3.L^{-1}$ (ensaio 1) variou de 0,70 a 1,25 log. O valor médio para este ensaio foi de 0,98 log. Para o ensaio 2, que foi consumido 7,11 mg $O_3.L^{-1}$ a inativação variou de 0,12 a 5,30 log e o valor médio foi de 2,49 log. No ensaio 3, que foi consumido 9,23 mg $O_3.L^{-1}$ a inativação variou de 0,60 a 5,30 log e o valor médio foi de 2,58 log. Os valores médios de inativação acima citados foram inferiores aos detectados nos ensaios de ozonização (5.1.1) para as mesmas dosagens e tempos de contato aplicados.

As menores médias de inativação de coliformes fecais e *E. coli* observadas para os ensaios 1, 2 e 3 para os ensaios de ozonização/cloração, analisando apenas a aplicação do ozônio, se deve principalmente a maior concentração afluente de sólidos observadas para estes ensaios. Segundo White (1999) e Savoye et al. (2001), a presença de sólidos em suspensão também interfere na desinfecção química, visto que os agregados da matéria orgânica e inorgânica em suspensão

protegem os microrganismos da ação do desinfetante, fenômeno conhecido como oclusão. Para os resultados encontrados nesta pesquisa este fenômeno teve interferência na desinfecção, influenciando diretamente na inativação de coliformes fecais e *E. coli,* para os ensaios de ozonização (5.1.1). Entretanto, com uma maior dosagem e tempo de contato aplicados, pode-se detectar uma maior inativação.

A inativação obtida para *E. coli* para o ensaio ozonização/cloração que foi consumido 4,16 mg $O_3.L^{-1}$ / 3,63 mg $Cl_2.L^{-1}$ (ensaio 1) variou de 5,00 a 6,60 log. O valor médio para este ensaio foi de 5,94 log. Para o ensaio 2, que foi consumido 7,11 mg $O_3.L^{-1}$ / 6,57 mg $Cl_2.L^{-1}$ a inativação variou de 5,00 a 6,60 log e o valor médio foi de 5,80 log. No ensaio 3, que foi consumido 9,23 mg $O_3.L^{-1}$ / 4,54 mg $Cl_2.L^{-1}$ a inativação variou de 5,30 a 7,08 log e o valor médio foi de 5,75 log.

De acordo com Resolução CONAMA 357/95 nos corpos d'água classe 2 a concentração máxima de coliformes totais é de 5000 NMP/100mL e *E. coli* é de 1000 NMP/100mL. Para os ensaios 1, 2 e 3 apenas no ensaio 1, para amostra 1 não foi atingido o valor imposto nela norma para coliformes totais, para todas as outras amostras e ensaios foram atingidos os valores impostos pela norma, tanto para coliformes totais, assim como para *E. coli*.

Foram realizados estudos estatísticos para se analisar a influência das variáveis 'tempo de contato' e 'dosagem de desinfetantes aplicados' sobre a variável 'inativação de microrganismos'. Nessa análise os tempos de contado foram analisados combinadamente com as dosagens de desinfetantes aplicados, avaliando-se a significância da variação de inativação entre os ensaios 1, 2 e 3 realizados. O teste resultou em uma variação não significativa de aumento de inativação de coliformes totais e *E. coli* em função dos diferentes ensaios realizados, o que pode ser observado nas Figuras 5.142 a 5.143, visto que todos os ensaios

apresentaram uma alta eficiência de remoção, não sendo assim necessário um aumento das concentrações de desinfetantes e tempo de contato para se atingir uma elevada eficiência de inativação.

5.1.3.13 - Bioensaios

Na última das cinco repetições realizadas para os ensaios 1, 2 e 3 foram realizados testes de toxicidade com os organismos-teste: *Daphnia similis e Danio rerio* e os resultados estão apresentados em forma de tabelas a serem apresentados a seguir.

Na Tabela 5.27 estão apresentados os dados de toxicidade dos efluentes do reator $UASB_{mod}$ para os ensaios 1, 2 e 3 para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.27: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para os efluentes do reator $UASB_{mod}$ para os ensaios 1, 2 e 3

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra** Afluentes 1, 2 e 3 ($UASB_{mod}$)						
Água de diluição – Lote:17/03					Coletor: interessado						
pH	OD	Condut.	Dureza		Data de Coleta: março/08						
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste:19/03/08						
7,4	7,74	150	40		Final do teste: 21/03/08						
Amostra	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**	
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD		
Controle	7,4	7,7	150	40	20	zero	-	7,76	7,54	-	
Afluente (Ensaio 1)	6,8	5,47	377	-	20	zero	zero	8,25	-	**NT**	
Afluente (Ensaio 2)	6,7	5,32	421	-	20	zero	zero	8,30	7,53	**NT**	
Afluente (Ensaio 3)	6,7	4,06	431	-	20	zero	zero	8,27	7,45	**NT**	
NT = não tóxica											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.27 não apresentaram amostras com indícios de toxicidade ou toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para os efluentes do reator $UASB_{mod}$.

Na Tabela 5.28 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente ozonizado para o ensaio 1, dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.28: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado para o ensaio 1

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente Ozonizado 1						
Água de diluição – Lote: 17/03					**Dosagem**: 5,0 mg. O_3L^{-1}						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 5 minutos						
	mg.L^{-1}	($\mu S/cm^2$)	mg.L^{-1} $CaCO_3$		Início do teste: 19/03/08						
7,4	7,74	150	40		Final do teste: 21/03/08						
EFLUENTE 1 (%)	**Variáveis da amostra**				**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
	pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
controle	-	-	-	-	20	0	0	7,59	7,46	**-**
100	7,3	8,61	427	-	20	0	zero	8,35	7,57	**NT**
50	-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
25	-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
12,5	-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
6,25					20	0	zero	-	-	**-**
CE50,48H:35,4% (IC 95: nc)										
NT = não tóxica										
Preservação da amostra: freezer										

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.28 não apresentaram amostras com indícios de toxicidade ou toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para o efluente ozonizado para o ensaio 1, dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos. O mesmo comportamento foi observado no ensaio de ozonização (5.1.1) para a mesma dosagem e tempo de contato aplicado.

Na Tabela 5.29 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 1, dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.29: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 1

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA										
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente Ozonizado/Clorado-Desclorado 1					
Água de diluição – Lote: 17/03					**Dosagem**: 5,0 mg. O_3L^{-1}/10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$					
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 5 minutos/10minutos					
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 19/03/08					
7,4	7,74	150	40		Final do teste: 21/03/08					
EFLUENTE 1 (%)		**Variáveis da amostra**			**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
		pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle		-	-	-	-	20	0	0	7,59	7,46	-
100		7,3	7,74	150	40	20	20	100	-	-	**TA**
50		-	-	-	-	20	20	100	8,14	7,4	**-**
25		-	-	-	-	20	20	100	-	-	**-**
12,5		-	-	-	-	20	20	100	-	-	**-**
6,25						20	20	100	-	-	**-**
CE50,48H:35,35% (IC 95: nc)											
TA: toxicidade aguda											
Preservação da amostra: freezer											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.29 apresentaram toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 1, dosagem aplicada de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos. Isso indica que a aplicação do cloro após o ozônio para as dosagens e tempos de contato aplicados provocou toxicidade.

Na Tabela 5.30 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente ozonizado para o ensaio 2, dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.30: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado da etapa ozônio/cloro para o ensaio 2

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: ***Daphnia similis***					**Amostra:** Efluente Ozonizado 2						
Água de diluição – Lote:31/03					**Dosagem**: 8,0 mg. O_3L^{-1}						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 10 minutos						
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste:01/04/08						
7,42	7,63	158	40		Final do teste: 03/04/08						
EFLUENTE 2(%)		**Variáveis da amostra**			**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
		pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle		7,4	7,6	158	40	20	0	0	7,59	7,51	**-**
100		7,0	7,9	420	40	20	0	zero	8,09	7,43	**NT**
50		-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
25		-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
12,5		-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
6,25						20	0	zero	-	-	**-**
CE50,48H: --											
NT = não tóxica											
Preservação da amostra: freezer											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.30 não apresentaram amostras com indícios de toxicidade ou toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para o efluente ozonizado para o ensaio 2, dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos. O mesmo comportamento foi observado no ensaio de ozonização (5.1.1) para a mesma dosagem e tempo de contato aplicado.

Na Tabela 5.31 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 2, dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos seguido de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.31: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 2

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente Ozonizado/Clorado-Desclorado 2						
Água de diluição – Lote: 31/03					**Dosagem**: 8,0 mg. O_3L^{-1} / 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 10 minutos / 20 minutos						
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste:01/04/08						
7,42	7,63	158	40		Final do teste: 03/04/08						
EFLUENTE 2 (%)		**Variáveis da amostra**			**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
		pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle		7,4	7,6	158	40	20	0	0	7,59	7,51	**-**
100		7,1	8,9	529	38	20	2	10%	8,12	7,45	**NT**
50		-	-	-	-	20	2	10%	-	-	**-**
25		-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
12,5		-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
6,25						20	0	zero	-	-	**-**
CE50,48H: --											
NT = não tóxica											
Preservação da amostra: freezer											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.31 não apresentaram toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 2, dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos seguido de 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos. Isso indica que a aplicação do cloro após o ozônio para as dosagens e tempos de contato aplicados provocou toxicidade.

Na Tabela 5.32 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente ozonizado para o ensaio 3, dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.32: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado da etapa ozônio/cloro para o ensaio 3

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente Ozonizado 3						
Água de diluição – Lote:13/04					**Dosagem**: 10,0 mg. O_3L^{-1}						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 15 minutos						
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste:14/04/08						
7,48	7,46	141	40		Final do teste: 16/04/08						
EFLUENTE 3 (%)		**Variáveis da amostra**			**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
		pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
Controle		-	-	-	-	20	0	0	7,59	7,64	**-**
100		7,1	7,34	411	-	20	0	zero	8,05	7,35	**NT**
50		-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
25		-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
12,5		-	-	-	-	20	0	zero	-	-	**-**
6,25						20	0	zero	-	-	**-**
CE50,48H: --											
NT = não tóxica											
Preservação da amostra: freezer											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.32 não apresentaram amostras com indícios de toxicidade ou toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para o efluente ozonizado para o ensaio 3, dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos. O mesmo comportamento foi observado no ensaio de ozonização (5.1.1) para a mesma dosagem e tempo de contato aplicado.

Na Tabela 5.33 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 3, dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos seguido de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.33: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 3

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente Ozonizado/Clorado-Desclorado 3						
Água de diluição – Lote: 14/04					**Dosagem**: 10,0 mg. O_3L^{-1} / 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 10 minutos / 30 minutos						
	$mg.L^{-1}$	($\mu S/cm^2$)	$mg.L^{-1}$ $CaCO_3$		Início do teste: 16/04/08						
7,48	7,46	141	40		Final do teste: 18/04/08						
EFLUENTE 3 (%)		**Variáveis da amostra**			**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**
		pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
controle		-	-	-	-	20	0	0	7,59	7,46	**-**
100					-	20	20	100	-	-	**-**
50		-	-	-	-	20	20	100	-	-	**-**
25		-	-	-	-	20	20	100	-	-	**-**
12,5		-	-	-	-	20	20	100	-	-	**-**
6,25						20	20	100	7,74	7,59	**TA**
CE50,48H: < 6,3% (IC 95: nc)											
TA: toxicidade aguda											
Preservação da amostra: freezer											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.33 apresentaram toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 3, dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos seguido de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos. Isso indica que a aplicação do cloro após o ozônio para as dosagens e tempos de contato aplicados provocou toxicidade.

Na Tabela 5.34 estão apresentados os dados de toxicidade do efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 3, dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos seguido de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos para o organismo-teste: *Daphnia similis*.

Tabela 5.34: Ensaios de toxicidade aguda utilizando como organismo-teste: *Daphnia similis* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 3

TESTE DE TOXICIDADE AGUDA											
Organismo-teste: *Daphnia similis*					**Amostra:** Efluente Ozonizado/Clorado-Desclorado 3						
Água de diluição – Lote: 23/05					**Dosagem**: 10,0 mg. O_3L^{-1} / 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$						
pH	OD	Condut.	Dureza		**Tempo de Contato:** 10 minutos / 30 minutos						
	mg/L	($\mu S/cm^2$)	mg/l $CaCO_3$		Início do teste: 27/05/08						
7,4	7.55	164	40		Final do teste: 29/05/08						
EFLUENTE 3 (%)		**Variáveis da amostra**			**Organismos expostos**	**Efeito**		**Variáveis finais**		**Resultado**	
		pH	OD	Cond	Dur		total	%	pH	OD	
controle		-	-	-	-	20	0	0	8,06	7,63	-
10		7,7	7,42	218	-	20	20	100	7,88	7.69	**TA**
5,0		-	-	-	-	20	20	100	-	-	-
2,5		-	-	-	-	20	20	100	-	-	-
1,25		-	-	-	-	20	20	100	7,78	7,59	-
CE50,48H: < 1,3% (IC 95: nc)											
TA: toxicidade aguda											
Preservação da amostra: freezer											

OD.: oxigênio dissolvido, Condut.: Condutividade

Os resultados expostos na Tabela 5.34 apresentaram toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para o efluente ozonizado/clorado-desclorado para o ensaio 3, dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos seguido de 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos. Isso indica que a aplicação do cloro após o ozônio para as dosagens e tempos de contato aplicados provocou toxicidade.

5.2 Resultados e Discussão dos ensaios realizados na Holanda

5.2.1 Condições experimentais dos ensaios de ozonização

Nos os ensaios de ozonização foram utilizadas as seguintes dosagens e tempos de contato: 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ (2,66 dosagem média aplicada) com tempo de

contato igual a 10 minutos e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ (7,85 dosagem média aplicada) com tempo de contato igual a 20 minutos.

5.2.1.1 Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e *off-gas*

Por meio da Tabela A.34 e Figuras 5.144 e 5.145 pode se observar as concentrações de ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e *off-gas* nos ensaios que se pretendia aplicar 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos, assim como 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos.

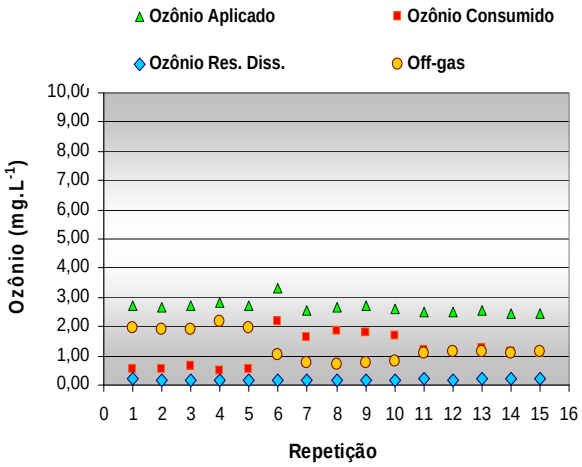


Figura 5.144: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

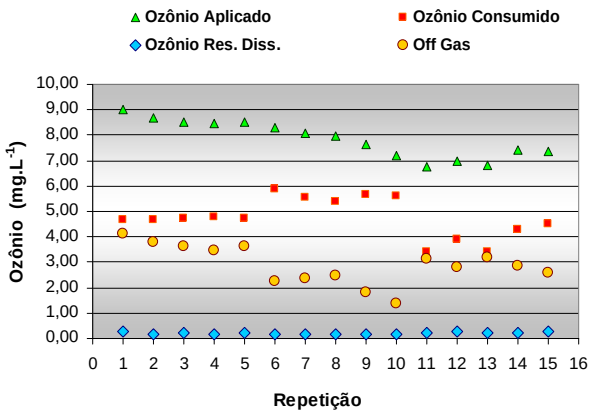


Figura 5.145: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

Pode-se verificar que a concentração de ozônio residual, determinada para as dosagens e tempos de contato estudados, foi baixa e indicou variação mínima. Contudo, a fração de gás ozônio excedente (*off-gas*) capturado na saída superior da câmara de ozonização, apresentou uma diferença quantitativa, possivelmente relacionada à vazão de gás adotada, ao difusor de gás e devido as dimensões da coluna utilizada nos ensaios que se pretendia aplicar 5,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$.

Nos ensaios que se pretendia aplicar 5,0 mg $O_3.L^{-1}$, a dosagem média aplicada nos ensaios foi de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e a dosagem média consumida foi de 1,18 mg $O_3.L^{-}1$. A eficiência de transferência de ozônio foi de 44,0%. Nos ensaios que se pretendia aplicar 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ a dosagem média aplicada nos ensaios foi de 7,85 mg$O_3.L^{-1}$ e a dosagem média consumida foi de 4,74 mg $O_3.L^{-}1$. A eficiência de transferência de ozônio foi de 63,0%.

As porcentagens médias de transferência foram inferiores às observadas nos ensaios realizadas no Brasil, porém, havia diferença significativa na altura da coluna utilizada, fato que melhora a transferência do ozônio para a massa líquida. Os resultados apresentados por Xu et al. (2002) são semelhantes aos apresentados

para as dosagens estudas. Vale salientar que ambos os trabalhos foram realizados em países de clima temperado.

5.2.1.2 Alcalinidade, pH e Temperatura

Os valores observados de pH, temperatura, alcalinidade total nos ensaios de ozonização que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e; 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos, podem ser observados na Tabela A.35 e Figuras 5.146 a 5.151.

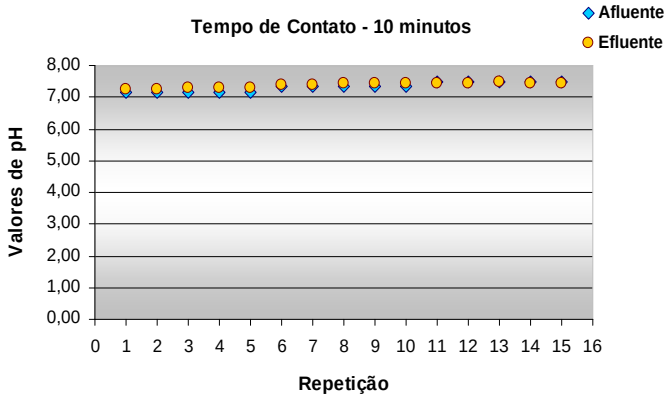


Figura 5.146: Valores de pH para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

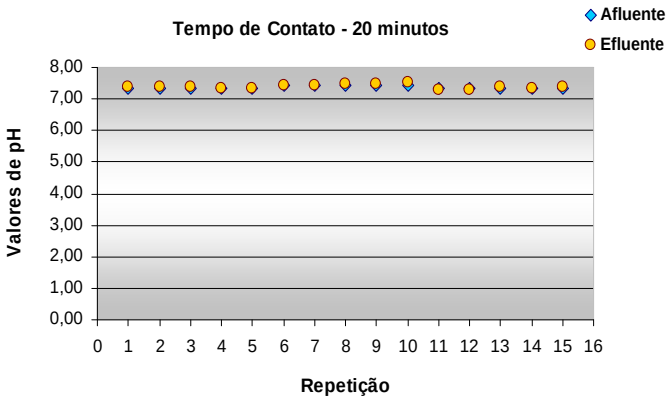


Figura 5.147: Valores de pH para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

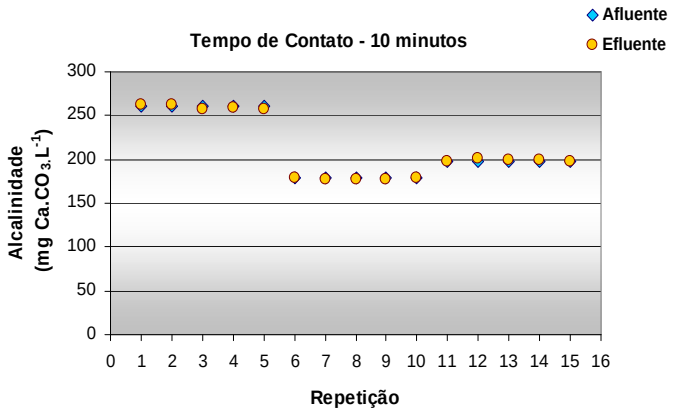


Figura 5.148: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

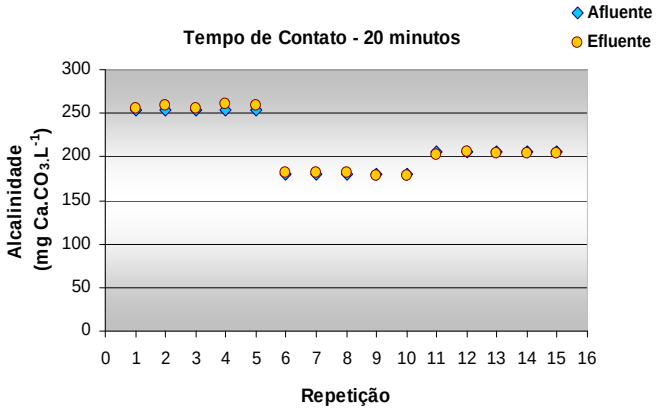


Figura 5.149: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

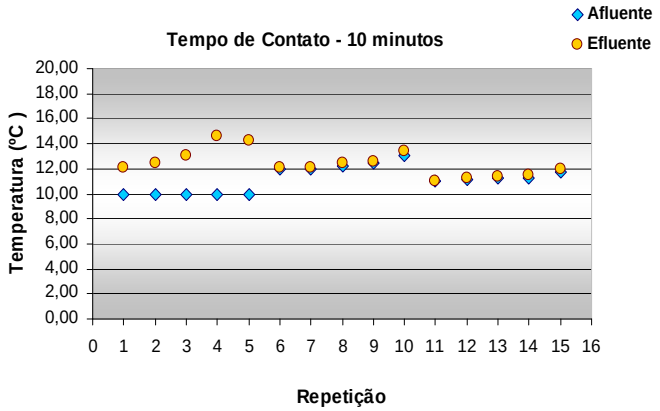


Figura 5.150: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

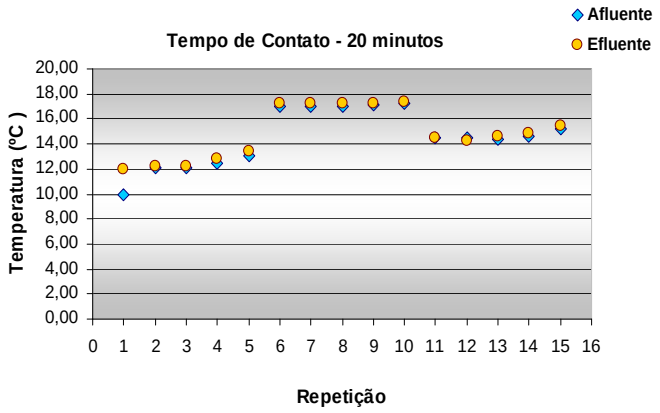


Figura 5.151: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

Nos ensaios que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos os valores de pH variaram de 7,13 e 7,48. A temperatura média afluente foi de 11,20 ^oC e efluente 12,40 ^oC e alcalinidade total afluente, foi de 212 e efluente 213 mg.$CaCO_3.L^{-1}$.

Para os ensaios que se aplicou a dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos os valores de pH ficaram entre 7,27 e 7,55. A temperatura média afluente foi de 14,55 ^oC e efluente 14,83 ^oC e alcalinidade total afluente, foi de 213 e efluente 214 mg.$CaCO_3.L^{-1}$.

Os valores de pH estiveram entre 6,0 a 8,0, faixa que a ozonização é pouco afetada para efluente doméstico, de acordo com a maioria dos dados disponíveis na literatura.

Os valores de pH não sofreram alterações para os efluentes ozonizados, assim como para alcalinidade total. Devido à menor vazão de ozônio aplicada e também ao menor tamanho da coluna, fatores que ajudaram ao *stripping* de CO_2 e, consequentemente, um aumento nos valores de pH, para os valores detectados nos ensaios realizados no Brasil, não foram detectados na pesquisa realizada na Holanda.

Os valores de temperatura do efluente ozonizado tenderam a um aumento devido ao tempo que ficou exposto a temperatura ambiente para realização dos ensaios de ozonização.

5.2.1.3 Ácidos Orgânicos Voláteis

A concentração dos ácidos orgânicos voláteis produzidos nos ensaios de ozonização que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e; 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos, pode ser observada na Tabela A.36 e Figuras 5.152 e 5.153.

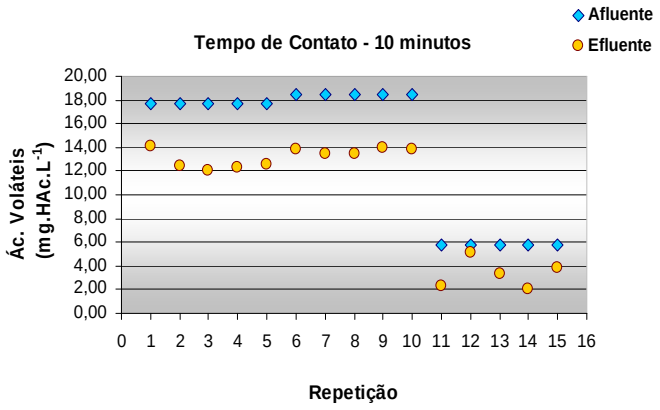


Figura 5.152: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

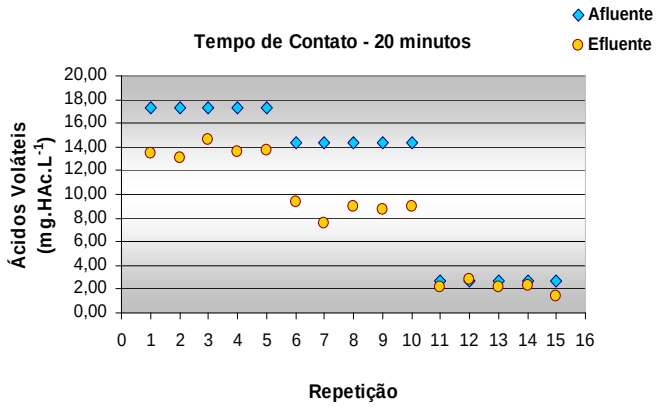


Figura 5.153: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

A concentração de ácidos orgânicos voláteis foi relativamente baixa devido à qualidade do efluente que era um efluente anóxico.

Pode-se verificar por meio da Tabela A.35 e Figuras 8.152 e 8.153 que há diminuição nas concentrações ácidos orgânicos voláteis para o efluente ozonizado, provavelmente, oxidado pela ação do ozônio, pois estes são facilmente oxidados. Para o ensaio que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média afluente foi de 13,96 mg $HAc.L^{-1}$ e efluente 9,91 mg $HAc.L^{-1}$. Nos ensaios que se aplicou dosagem média de 7,66 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média afluente foi de 11,46 mg $HAc.L^{-1}$ e efluente 8,22 mg $HAc.L^{-1}$.

Por meio da Figura 8.154 pode-se observar um cromatograma típico da determinação da concentração de ácidos orgânicos voláteis para os ensaios de ozonização.

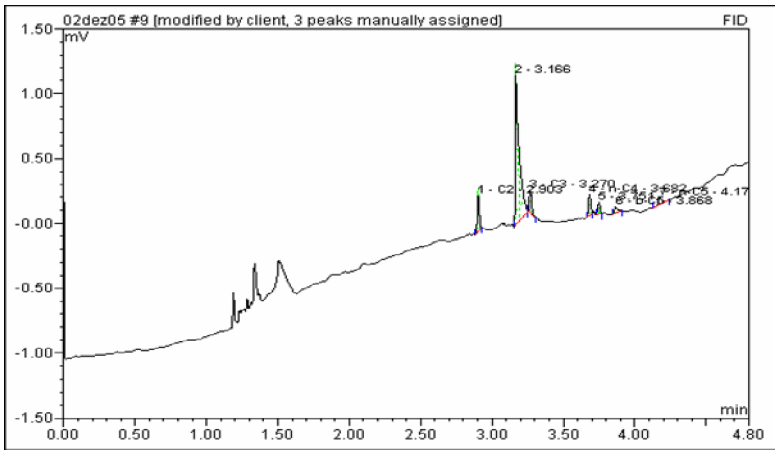


Figura 8.154: Cromatograma da GC/FID de ácidos voláteis produzido nos ensaios de ozonização

5.2.1.4 Demanda Química de Oxigênio

Os valores detectados de DQO nos ensaios de ozonização que aplicou dosagens médias: 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e; 7,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos, podem ser observados por meio da Tabela A.37 e Figuras 5.155 e 5.156.

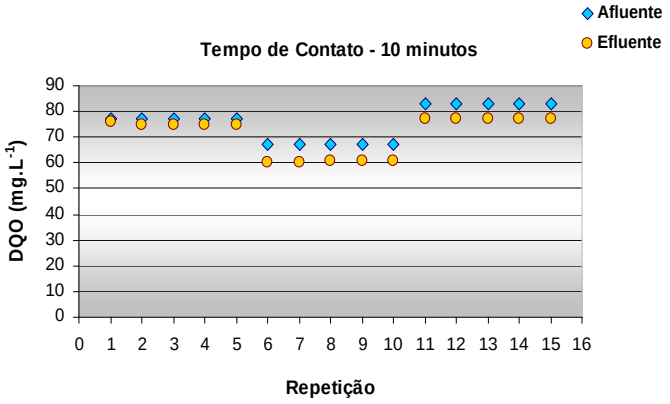


Figura 5.155: DQO para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

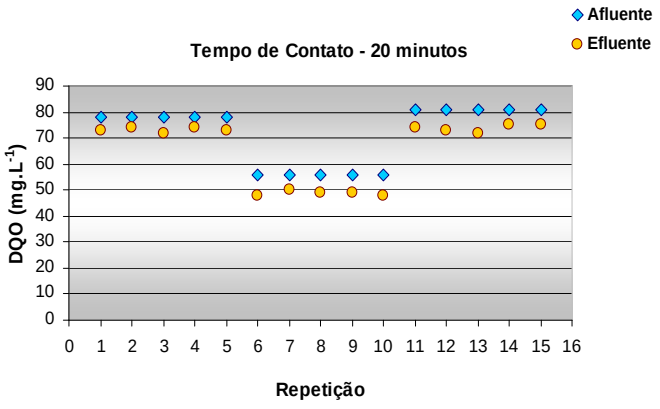


Figura 5.156: DQO para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

Nos ensaios de desinfecção utilizando ozônio, estudou-se o efeito no qual se aplicou dosagem média de 2,66 e 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 10 e 20 minutos na oxidação da matéria orgânica para efluente doméstico tratado anóxicamente.

Nos ensaios que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ a média de DQO dos efluentes ozonizados foi de 71 $mg.L^{-1}$ e para o efluente não ozonizado foi de 76 $mg.L^{-1}$. Pode-se concluir que houve uma diminuição de aproximadamente 6,4%, atingindo remoções de até 10,0%.

As médias de DQO dos efluentes ozonizados para os ensaios que se aplicou dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ foram de 65 $mg.L^{-1}$ e para o efluente não ozonizado 72 $mg.L^{-1}$.

A remoção média de DQO para os ensaios que se aplicou dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 9,3%, mas atingindo remoções de até 14,4%.

Folch et al. (2003) ozonizou efluente proveniente de um sistema de tratamento por lodos ativados e obteve remoções que variaram de 12,0 a 25,0% para o dosagem de ozônio transferida de 13,42-15,54 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 2 minutos.

As dosagens médias de ozônio consumidos, 1,18 e 4,74 mg $O_3.L^{-1}$ não foram suficientes para causar altos valores de remoção na DQO das amostras. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por Xu et al. (2002), que também não observaram alterações na DQO de efluentes secundários submetidos a doses de ozônio de até 21,10 mg $O_3.L^{-1}$ e Assirati (2005) que aplicou ozônio em efluente de lagoa anaeróbia (33,0 mg $O_3.L^{-1}$) e em efluentes de filtros de areia (15,0 mg $O_3.L^{-1}$).

Os valores médios de remoção inferiores aos encontrados na literatura por Wang et al (2008), Soares (2007), Salla (2006), Wu et. al. (1999) e também na presente pesquisa nos ensaios realizados no Brasil podem ser explicados por vários fatores, dosagem de ozônio aplicada, dosagem de ozônio transferida, altura da coluna de ozonização, pH, temperatura e principalmente das características do esgoto.

5.2.1.5 Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico Total (CIT) e Carbono Total (CT)

As concentrações encontrados de COT, CIT e CT nos ensaios de ozonização que se aplicou dosagens médias: 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e; 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos, podem ser observados por meio da Tabela A.38 e Figuras 5.157 a 5.162.

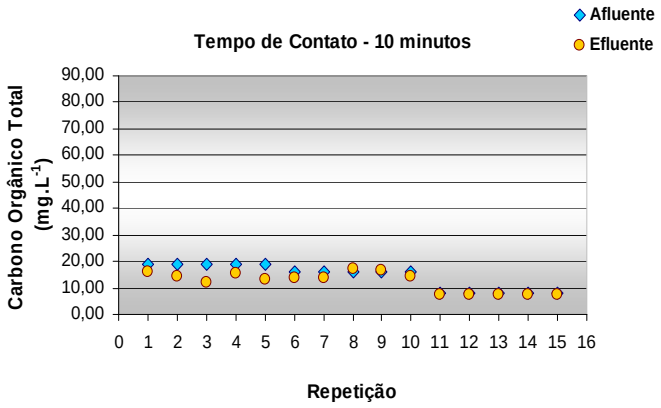


Figura 5.157: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

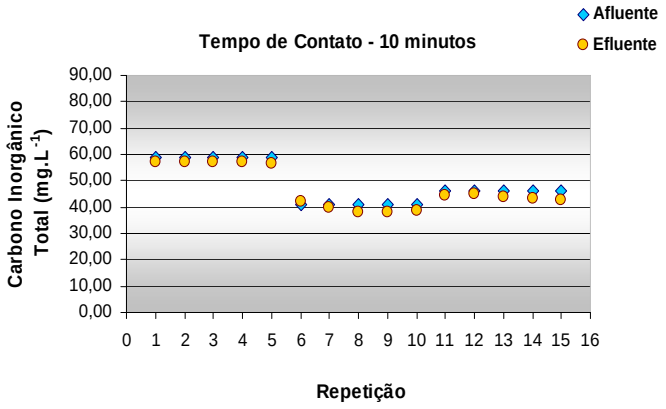


Figura 5.158: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

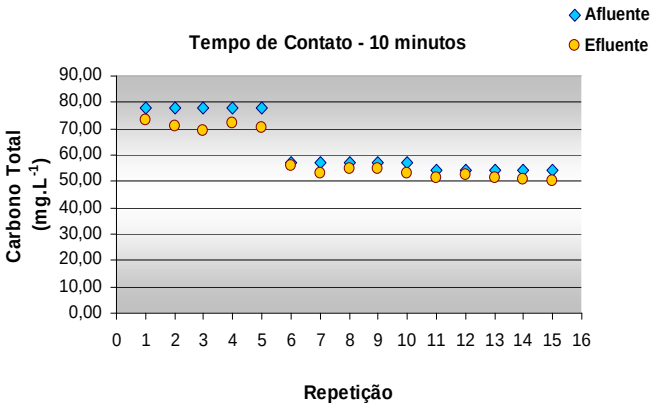


Figura 5.159: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

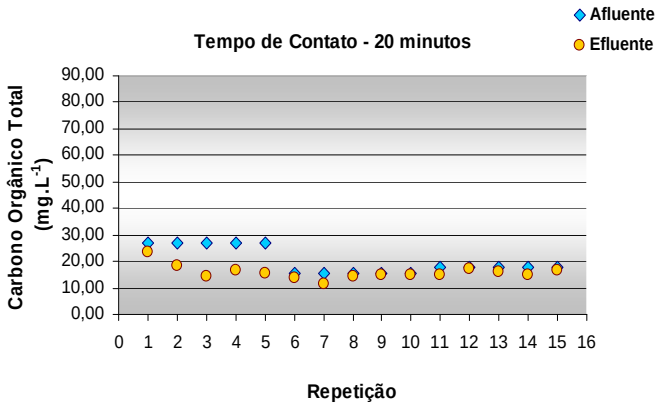


Figura 5.160: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

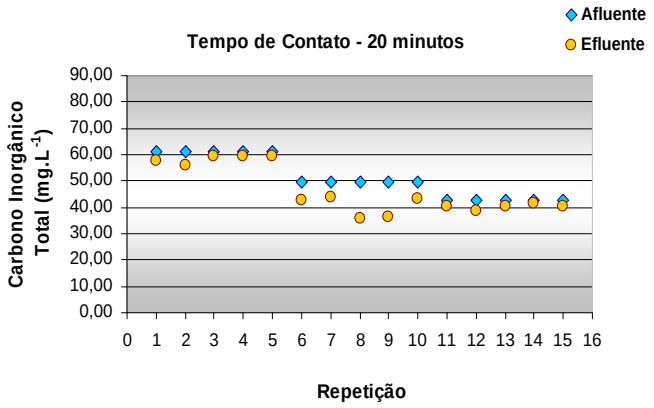


Figura 5.161: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

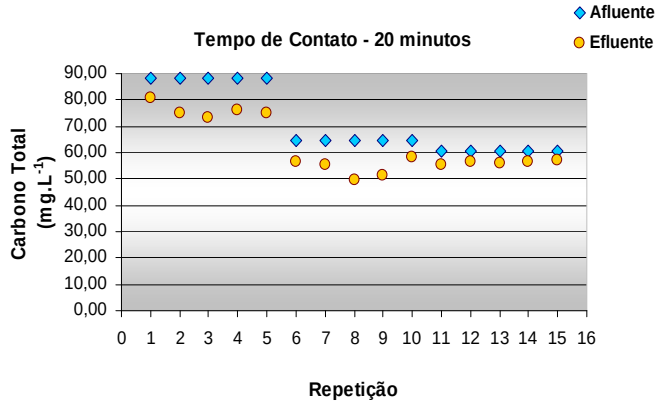


Figura 5.162: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

Os ensaios que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média de COT dos efluentes ozonizados foi de 12,26 $mg.L^{-1}$ e no

efluente não ozonizado foi de 14,24 $mg.L^{-1}$. Para CIT a concentração média dos efluentes ozonizados foi de 46,69 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 48,70 $mg.L^{-1}$ e para CT a concentração média dos efluentes ozonizados foi de 58,95 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 62,94 $mg.L^{-1}$.

Nos ensaios que se aplicou dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média de COT dos efluentes ozonizados foi de 15,86 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 20,03 $mg.L^{-1}$. Para CIT a concentração média dos efluentes ozonizados foi de 46,31 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 51,07 $mg.L^{-1}$ e para CT a concentração média dos efluentes ozonizados foi de 62,17 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 71,10 $mg.L^{-1}$.

O mesmo comportamento observado para DQO foi observado para CT, COT e CIT.

5.2.1.6 Cloreto

A concentração de cloreto observada nos ensaios de ozonização que se aplicou dosagens médias: 2,66 $mgO_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e; 7,85 $mgO_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.39 e Figuras 5.163 e 5.164.

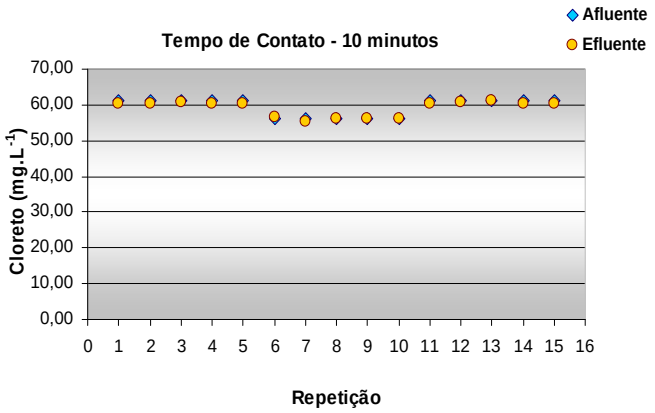


Figura 5.163: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

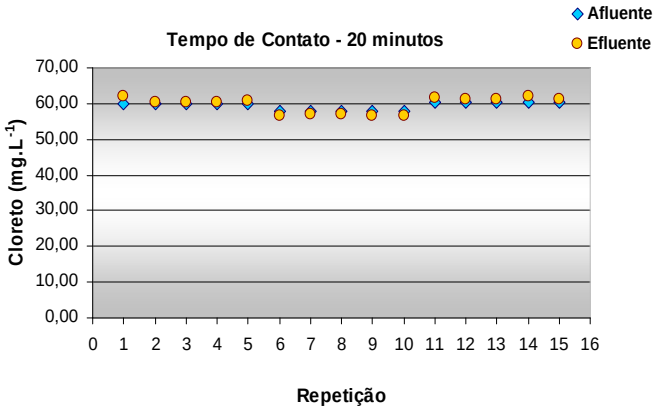


Figura 5.164: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

Houve pouca alteração nas concentrações de cloreto, o comportamento se manteve estável durante os ensaios de ozonização.

Isso pode ser comprovado analisando a concentração média, quando se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média dos efluentes ozonizados foi de 59,13 mg $Cl^-.L^{-1}$, concentração muito semelhante ao efluente não ozonizado que foi de 59,50 mg $Cl^-.L^{-1}$, o que indica não haver alterações. O mesmo comportamento ocorreu para os ensaios que se aplicou dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média de cloreto dos efluentes ozonizados foi de 59,65 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 59,50 $mg.L^{-1}$.

5.1.2.7 Nitrito e Nitrato

As concentrações de nitrito e nitrato observadas nos ensaios de ozonização que se aplicou dosagens médias: 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e; 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.40 e Figuras 5.165 a 5.168.

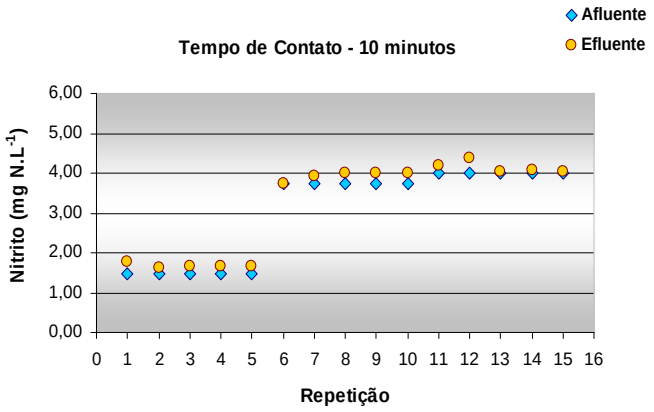


Figura 5.165: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

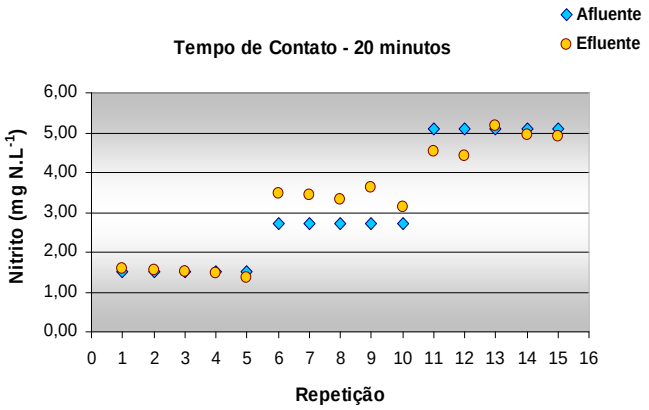


Figura 5.166: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

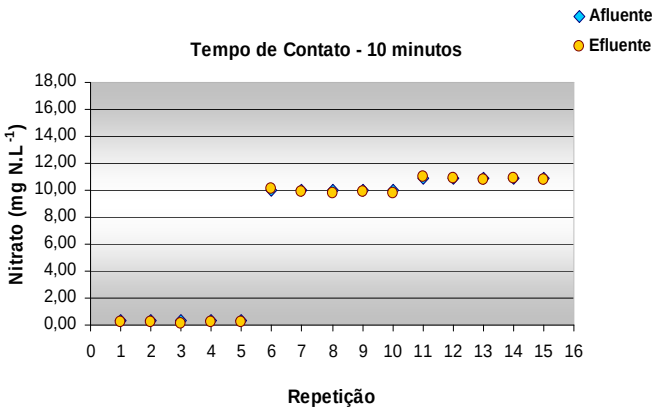


Figura 5.167: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

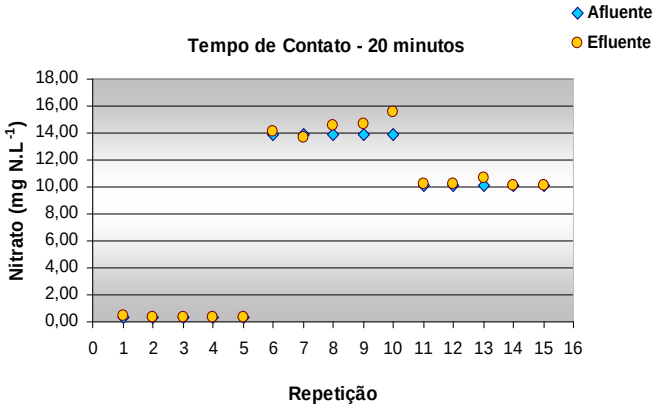


Figura 5.168: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

Analisando as concentrações médias de nitritos, quando se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média dos efluentes ozonizados foi de 3,25 mg $N.L^{-1}$, concentração muito semelhante ao efluente não ozonizado que foi de 3,07 mg $N.L^{-1}$, praticamente não havendo alterações. O mesmo comportamento ocorreu para os ensaios que se aplicou dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média de nitrito dos efluentes ozonizados foi de 3,23 mg $N.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 3,11 mg $N.L^{-1}$.

A concentração média de nitrato quando se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 6,99 mg $N.L^{-1}$ no efluente ozonizado e 7,04 mg $N.L^{-1}$, no

efluente não ozonizado, concentrações estas sem nenhuma diferença significativa. Para os ensaios que se aplicou 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ a concentração média de nitrato foi de 8,38 mg $N.L^{-1}$ no efluente ozonizado e 8,12 mg $N.L^{-1}$ no efluente não ozonizado.

Analisando as concentrações médias de nitritos e nitratos no afluente e efluente ozonizados, verificou-se não haver diferença significativa entre eles, não houve variação nos tempos de contato e dosagens estudados, mostrando muito pouca ou nenhuma influência da ozonização.

5.2.1.8 Sulfato

A concentração de sulfato encontrada nos ensaios de ozonização que se aplicou dosagens médias: 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e; 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.41 e Figuras 5.169 e 5.170.

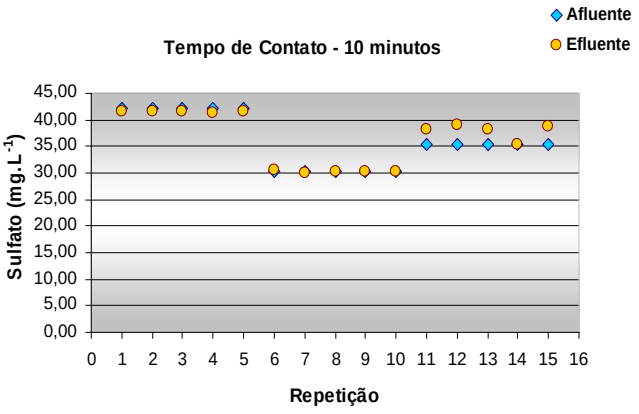


Figura 5.169: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos

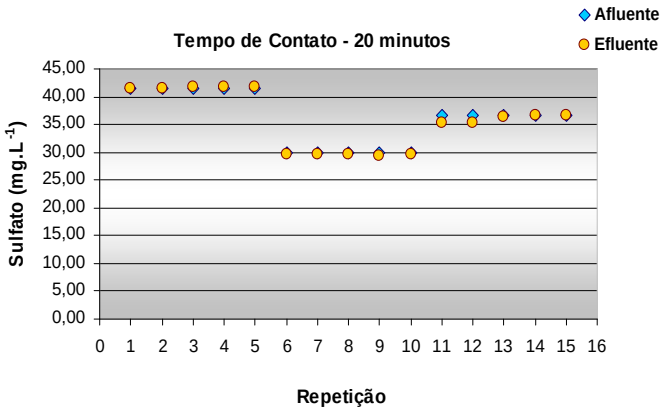


Figura 5.170: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

A concentração média de sulfato, quando se aplicou dosagem média 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 36,56 $mg.L^{-1}$ nos efluentes ozonizados, concentração semelhante ao efluente não ozonizado que foi de 35,98 $mg.L^{-1}$, praticamente não havendo alterações. O mesmo comportamento ocorreu nos ensaios que se aplicou dosagem média de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$, a concentração média de sulfato dos efluentes ozonizados foi de 35,78 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 36,06 $mg.L^{-1}$.

Analisando a concentração média de sulfato em: afluente e efluentes ozonizados, verificou-se não haver diferença significativa entre eles; não houve nenhuma variação nos tempos de contato e dosagens estudados, mostrando muito pouca ou nenhuma influência da ozonização.

5.2.1.9 Subprodutos da ozonização (Aldeídos)

As concentrações de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal observadas nos ensaios de ozonização que se aplicou dosagens médias:

2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e; 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos podem ser observadas por meio da Tabela 5.29.

Tabela 5.29: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal observados nos ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Formaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Acetaldeído ($\mu g.L^{-1}$)	Glioxal ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGlioxal ($\mu g.L^{-1}$)
Afluente	-	10	<ld	30,4	<ld	<ld
1	**2,70**		<ld	13,6	<ld	<ld
2	**2,65**		<ld	37,2	<ld	<ld
3	**2,71**		<ld	55,9	<ld	<ld
4	**2,80**		<ld	30,5	<ld	<ld
5	**2,70**		<ld	31,2	<ld	<ld
Afluente	-		<ld	43,2	<ld	<ld
6	**3,32**		<ld	49,0	<ld	<ld
7	**2,56**		<ld	47,5	<ld	<ld
8	**2,68**		<ld	42,8	<ld	<ld
9	**2,70**		<ld	42,1	<ld	<ld
10	**2,63**		<ld	42,5	<ld	<ld
Afluente	-		<ld	45,1	<ld	<ld
11	**2,48**		<ld	45,8	<ld	<ld
12	**2,49**		<ld	44,5	<ld	<ld
13	**2,58**		<ld	44,8	<ld	<ld
14	**2,46**		<ld	43,5	<ld	<ld
15	**2,43**		<ld	45,3	<ld	<ld
Afluente	-	20	<ld	23,5	<ld	<ld
1	**9,03**		<ld	71,8	<ld	<ld
2	**8,69**		<ld	24,5	<ld	<ld
3	**8,53**		<ld	29,0	<ld	<ld
4	**8,44**		<ld	32,1	<ld	<ld
5	**8,51**		<ld	67,5	<ld	<ld
Afluente	-		<ld	67,4	<ld	<ld
6	**8,30**		<ld	78,1	<ld	<ld
7	**8,10**		<ld	97,4	<ld	<ld
8	**7,99**		<ld	62,5	<ld	<ld
9	**7,62**		<ld	42,1	<ld	<ld
10	**7,19**		<ld	51,9	<ld	<ld
Afluente	-		<ld	44,8	<ld	<ld
11	**6,76**		<ld	3,8	<ld	<ld
12	**6,87**		<ld	4,9	<ld	<ld
13	**6,82**		<ld	29,5	<ld	<ld
14	**7,41**		<ld	27,8	<ld	<ld
15	**7,36**		<ld	37,8	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção

A formação de subprodutos nos ensaios de ozonização que se aplicou dosagem média de 2,66 e 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ foi muito baixa, provavelmente devido às características do esgoto utilizado nos ensaios e também pela baixa transferência de ozônio no efluente. As formações ocorridas em algumas amostras estão na faixa de ppb.

Foi detectado apenas acetaldeído nas amostras ozonizadas e não ozonizadas, não apresentando formaldeído, glioxal e metilglioxal.

As amostras 4, 8, 9, 10, 12, 13 e 14 que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos não apresentaram, formação de nenhum dos subprodutos investigados, provavelmente pelo pouco ozônio que foi transferido e pelas características do esgoto. A formação média de acetaldeído foi de 5,5 $\mu g.L^{-1}$.

Nos ensaios que se aplicou dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos as amostras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 não apresentaram formação de nenhum dos subprodutos investigados. Nas amostras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 a formação média de acetaldeído foi de 21,2 $\mu g.L^{-1}$, concentração praticamente 4 vezes superiores ao apresentado nos ensaios que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$. O mesmo comportamento foi verificado por Nawrocki et al (1998), que conclui que há os incremento na formação de acetaldeído com o aumento da dosagem de ozônio aplicada.

Porém a presente pesquisa contradiz com os estudos realizados por Wert et. al (2007), Nawrocki et al. (1998) e Schetchter e Singer (1995), que obtiveram uma predominância de formação de formaldeído em suas pesquisas, comportamento que não foi observado na presente pesquisa. Na presente pesquisa foi observada predominância na formação de acetaldeído.

Os resultados detectados nesta pesquisa estão abaixo dos níveis permissíveis para formaldeído (900,0 $\mu g.L^{-1}$) de acordo com as diretrizes para formaldeído do International Programme on Chemical Safety – IPCS (2002).

5.1.2.10 Inativação de *E. coli*

Os resultados de inativação de *E. coli* utilizando como desinfetante o ozônio no efluente do tratamento de esgoto da cidade de Bennekom estão apresentados na Tabela A.42. Para as dosagens que se aplicou dosagem média de 2,66 e 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ nos tempos de contato 10 e 20 minutos foram quantificadas as concentrações finais de *E. coli* (UFC/100 mL)

Obteve-se inativação de 1,36 a 1,80 log para a *E. coli* para a dosagem que se aplicou dosagem média de 2,66 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos. O valor médio para esta dosagem e tempo de contato foi de 1,58 log para uma concentração média de 1,18 mg $O_3.L^{-1}$ consumido.

Nos ensaios que se aplicou dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos obteve-se inativação de 2,13 a 3,60 log para a *E. coli* e o valor médio foi de 2,57 log. A inativação foi crescente com o aumento do consumo de ozônio.

Os ensaios de ozonização não tiveram interferência de sólidos, já que as amostras foram previamente filtradas e detectado concentração menor que 10,0 $mg.L^{-1}$ para SST, pois de acordo com White (1999) e Savoye et al. (2001) a presença de sólidos em suspensão também interfere inativação, visto que os agregados da matéria orgânica e inorgânica em suspensão protegem os microrganismos da ação do desinfetante.

Costa (2007) evidencia que com uma maior dosagem há uma maior inativação de *E. coli.,* comportamento verificado pela maior inativação quando se aplicou dosagem média de 7,85 mg $O_3.L^{-1}$.

Os valores de inativação dos ensaios de ozonização foram menores que os apresentados nos ensaios realizados no Brasil, explicado pela menor transferência de ozônio obtida nestes ensaios.

5.2.2 Condições experimentais dos ensaios de ozonização/cloração

Nos ensaios de desinfecção utilizando ozônio/cloro, estudou-se o efeito das dosagens que se aplicou dosagem média de 5,81 e 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 10 e 20 minutos para ozônio, seguidos pela aplicação de 5,0 e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 15 e 30 minutos. Estudou-se a inativação de *E. coli*, oxidação da matéria orgânica e formação de subprodutos no efluente doméstico tratado anaerobiamente.

Ensaio 1: Dosagem média aplicada 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos.

Ensaio 2: Dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos.

5.2.2.1 Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido, *off-gas*, cloro aplicado, cloro residual e cloro consumido

Por meio da Tabela A.43 e Figuras 5.171 e 5.172 podem se observar às concentrações de ozônio consumido, ozônio dissolvido e *off-gas* nos ensaios que se

aplicou dosagem média de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos e ensaios que se pretendia aplicar 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos.

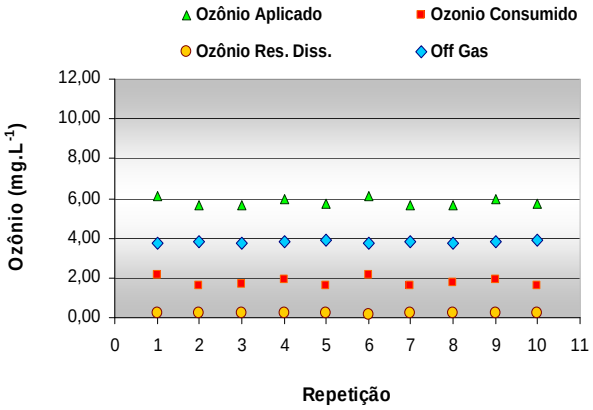


Figura 5.171: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

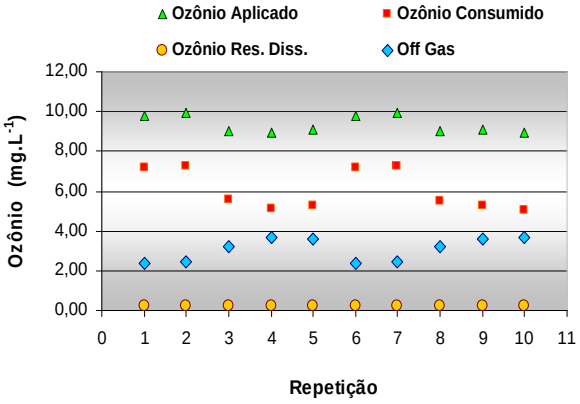


Figura 5.172: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

Pode-se verificar que a concentração de ozônio residual, determinada para as dosagens e tempos de contato estudados, foi baixa e indicou variação mínima. Nos ensaios que se pretendia aplicar 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ a dosagem média aplicada nos ensaios foi de 5,81 mg$O_3.L^{-1}$, sendo que a dosagem média consumida foi de 1,80 mg $O_3.L^{-1}$. A taxa de transferência de ozônio foi de 31,0%. Houve uma maior concentração de ozônio aplicado, consequentemente uma maior concentração de ozônio consumido, porém a taxa de transferência foi menor que os ensaios de

ozonização, contudo não foi possível avaliar a causa desta diminuição, pois fatores como pH e temperatura não tiveram diferenças significativas que influenciassem na queda de transferência de ozônio.

Nos ensaios que se pretendia aplicar 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ a dosagem média aplicada nos ensaios foi de 9,34 mg$O_3.L^{-1}$, sendo que a dosagem média consumida foi de 6,06 mg$O_3.L^{-1}$. A taxa de transferência de ozônio foi de 63,0%. Nestes ensaios também houve uma maior concentração de ozônio aplicado, consequentemente, uma maior concentração de ozônio consumido. A taxa de transferência de ozônio foi semelhante ao detectado nos ensaios de ozonização.

Na Tabela A.44 pode-se observar o cloro aplicado, cloro residual e cloro consumido.

Nos ensaios que se aplicou 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ a dosagem média consumida foi de 4,38 mg $Cl_2.L^{-1}$. A dosagem média consumida nos ensaios que se aplicou 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ foi de 8,98 mg $Cl_2.L^{-1}$.

5.2.2.2 Alcalinidade, pH e Temperatura

Os valores observados de pH, temperatura, alcalinidade total nos ensaios de ozonização/cloração para as dosagens médias aplicadas: 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos e; seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos podem ser observados na Tabela A.45 e Figuras 5.173 a 5.178.

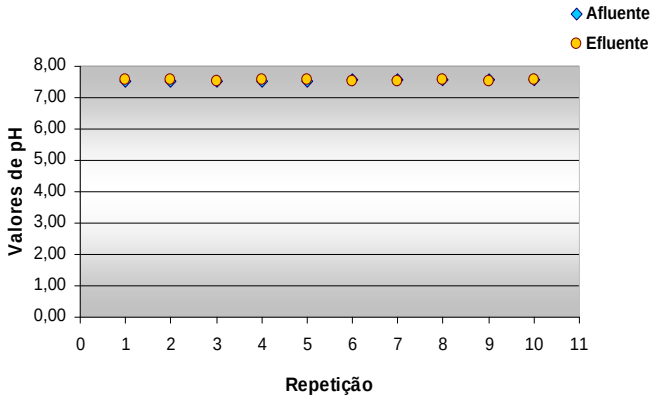


Figura 5.173: Valores de pH para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

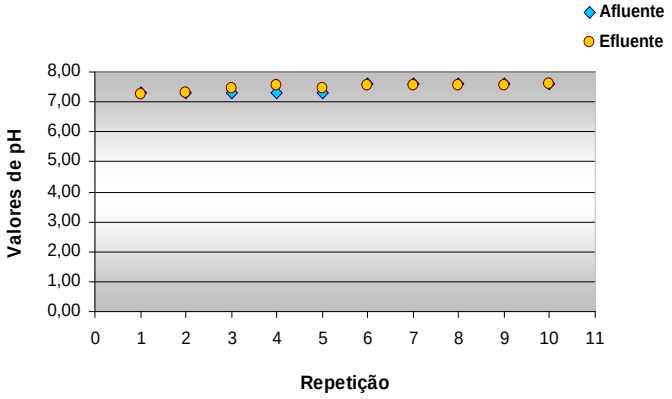


Figura 5.174: Valores de pH para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

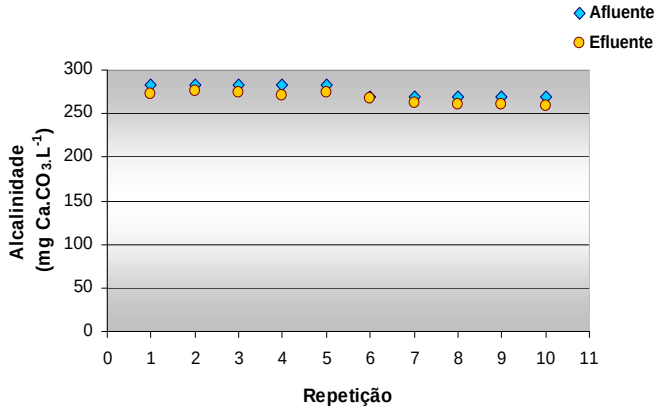


Figura 5.175: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

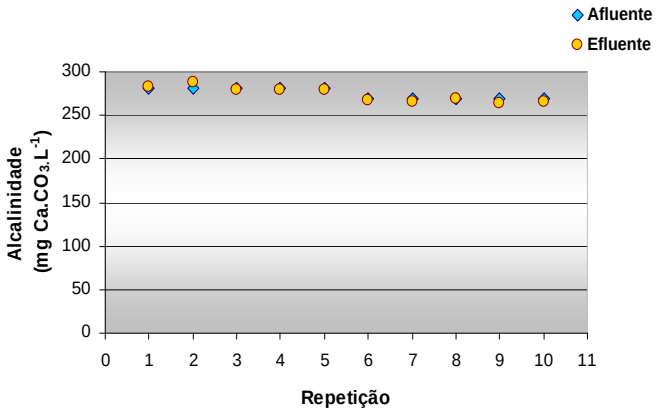


Figura 5.176: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

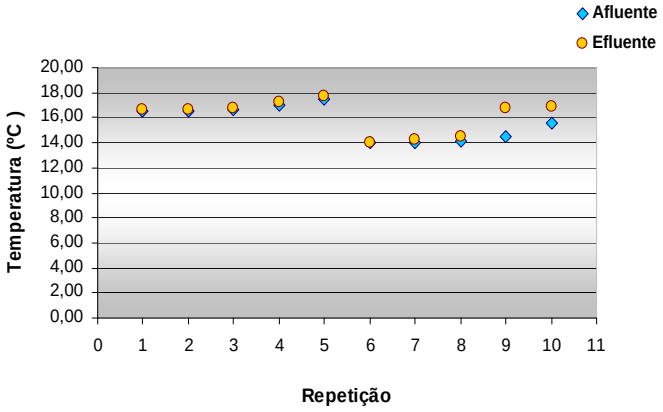


Figura 5.177: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

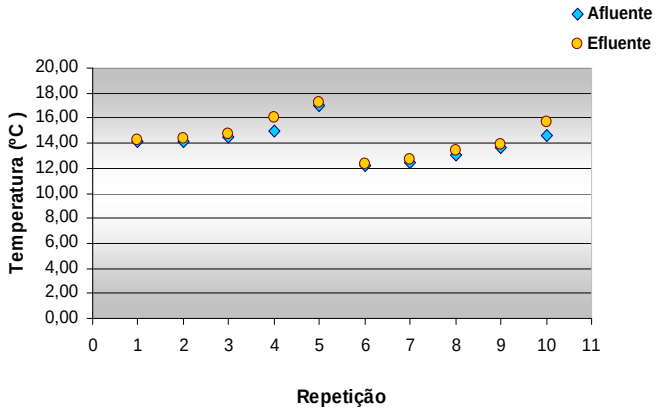


Figura 5.178: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

No ensaio 1, os valores de pH variaram de 7,52 e 7,59, com valor de pH médio de 7,56 no afluente e 7,55 no efluente ozonizado/clorado-desclorado. A temperatura média afluente foi de 15,64 ^{o}C e efluente 16,13 ^{o}C e alcalinidade total afluente foi de 276 e efluente 268 $mg.CaCO_3.L^{-1}$. Houve um pequeno consumo de alcalinidade nos ensaios ozonização/cloração.

No ensaio 2 os valores de pH ficaram entre 7,28 e 7,59, com valor de pH médio de 7,44 no afluente e 7,48 no efluente ozonizado/clorado-desclorado. A temperatura média afluente foi de 14,05 ^{o}C e efluente 14,46 ^{o}C e alcalinidade total afluente foi de 275 e efluente 274 $mg.CaCO_3.L^{-1}$. Também foi detectado um pequeno consumo de alcalinidade nos ensaios ozonização/cloração.

Os valores de pH estiveram entre 6,0 a 8,0, faixa esta que a ozonização é pouco afetada no efluente doméstico, de acordo com a maioria dos dados disponíveis na literatura. Porém de acordo com os valores médios de pH e temperaturas podem afirmar que aproximadamente 57,7% de ácido hipocloroso estava disponível (WHITE, 1999), sendo que nos ensaios realizados no Brasil para os valores de pH e temperaturas detectados, aproximadamente 77,5% de ácido hipocloroso estava disponível, estas condições podem ter afetado na inativação de microorganismos, visto que o ácido hipocloroso é mais eficiente que o íon hipoclorito.

Nos ensaios que se aplicou ozônio/cloro, foi verificado um aumento nos valores de temperatura do efluente ozonizado/clorado-desclorado devido ao tempo de ozonização e cloração, tempo em que o efluente permaneceu exposto ao ambiente.

5.2.2.3 Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV)

A concentração dos ácidos orgânicos voláteis nos ensaios de ozonização/cloração para as dosagens médias aplicadas: 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos e; seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos podem ser observadas na Tabela A.46 e Figuras 5.179 e 5.180.

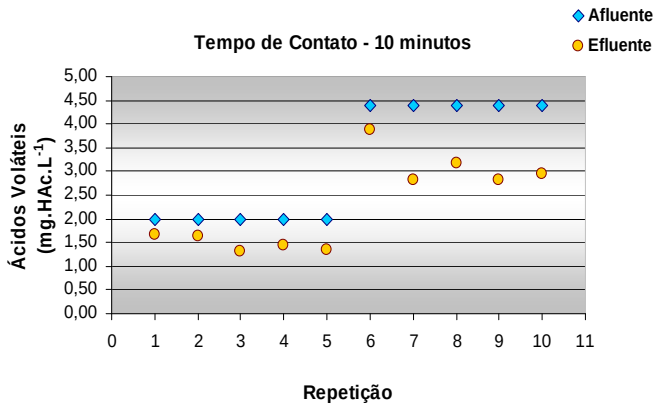


Figura 5.179: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato 15 minutos

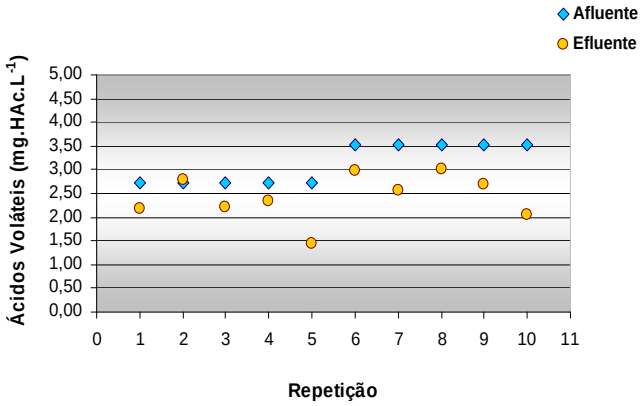


Figura 5.180: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato 30 minutos

A concentração de ácidos orgânicos voláteis foi relativamente baixa devido à qualidade do efluente que era um efluente anóxico.

Pode-se verificar por meio da Tabela A.45 e Figuras 5.179 e 5.180 que há uma diminuição na concentração de ácidos orgânicos voláteis nos efluentes que se aplicou dosagem média de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ com tempo de contato igual a 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos no efluente ozonizado/clorado-desclorado, provavelmente estes AOV, foram oxidados pela ação do ozônio, pois estes são facilmente oxidados.

O mesmo comportamento foi observado quando se aplicou 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato de 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato igual a 30 minutos, uma diminuição da concentração de AOV, comportamento semelhante ao ocorrido no ensaio 1 e também no ensaio de ozonização.

Por meio da Figura 5.181 pode-se observar um cromatograma típico de ácidos orgânicos voláteis para os ensaios de ozonização/cloração.

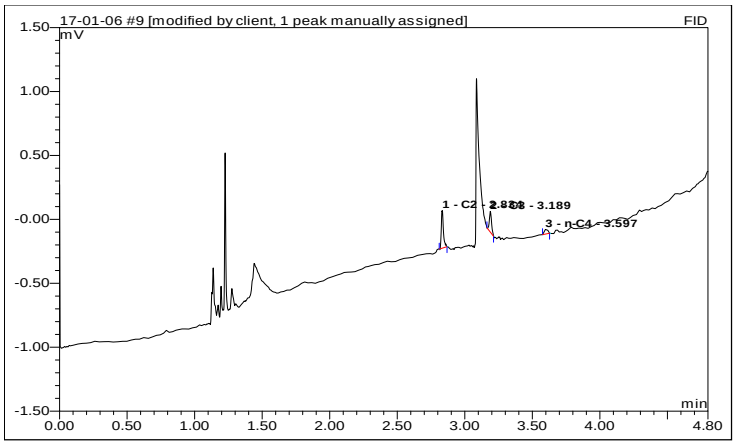


Figura 5.181: Cromatograma da GC/FID de ácidos voláteis dos ensaios de ozonização/cloração

5.2.2.4 Demanda Química de Oxigênio

Os valores de DQO observadas nos ensaios de ozonização/cloração para as dosagens médias aplicadas: 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos e; seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos podem ser observados por meio da Tabela A.47 e Figuras 5.182 e 5.183.

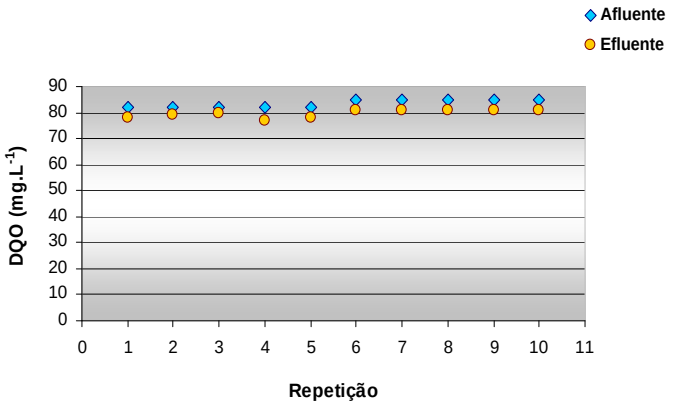


Figura 5.182: DQO para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

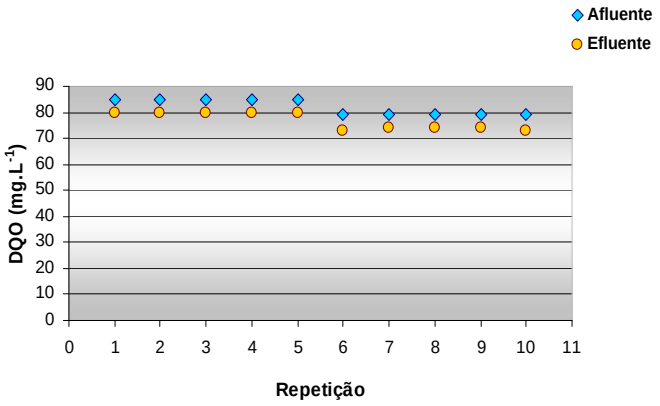


Figura 5.183: DQO para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

Nos ensaios de desinfecção utilizando ozônio/cloro, estudou-se o efeito das dosagens que se aplicou dosagem média de 5,81 e 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de

contato de 10 e 20 minutos e 5,0 e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 15 e 30 minutos na oxidação da matéria orgânica para efluente doméstico tratado anóxicamente.

No ensaio 1, a média de DQO dos efluentes ozonizados/clorados-desclorados foi de 80 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado e não clorado foi de 84 $mg.L^{-1}$. Pode-se concluir que houve uma remoção menor de DQO nos ensaios de ozonização/cloração em relação aos ensaios de ozonização, comportamento semelhante ao acontecido nos estudos de El-Rehaili (1995) que estudou a cloração de efluentes secundários.

A remoção média de DQO no ensaio 1 foi de 4,6%, ou seja 1,8% menor que apenas nos efluentes ozonizados.

As médias de DQO dos efluentes ozonizados/clorados-desclorados no ensaio 2 foram de 77 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado/clorado-desclorado foi de 82 $mg.L^{-1}$. A remoção média de DQO para os ensaios que se aplicou 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ foi de 6,3%, valor um pouco inferior ao detectado nos ensaios de ozonização e seguindo o comportamento observado no ensaio 1 de ozonização/cloração.

5.2.2.5 Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico Total (CIT) e Carbono Total (CT)

As concentrações de COT, CIT e CT observadas nos ensaios de ozonização/cloração para as dosagens médias aplicadas: 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos e; seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e

tempo de contato de 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.48 e Figuras 5.184 a 5.189.

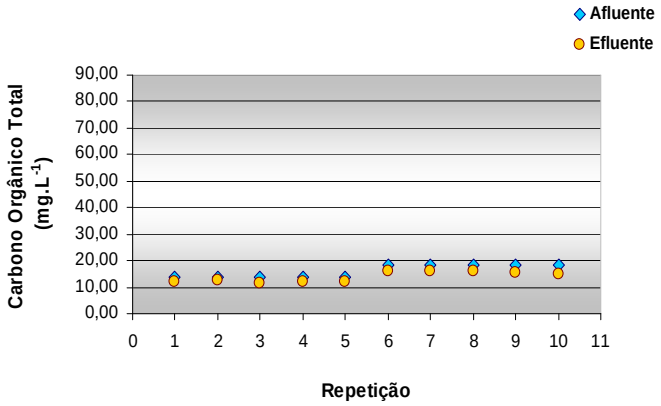


Figura 5.184: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

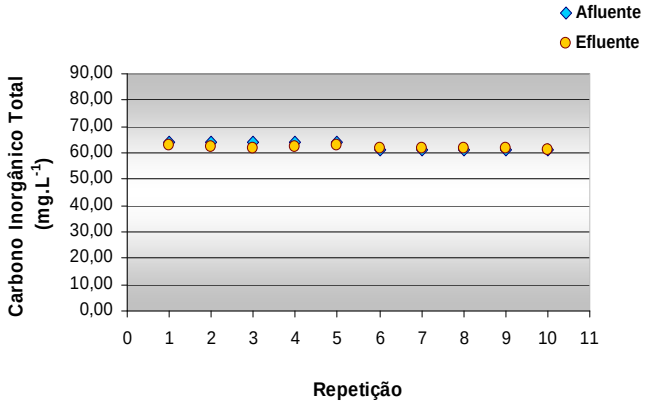


Figura 5.185: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

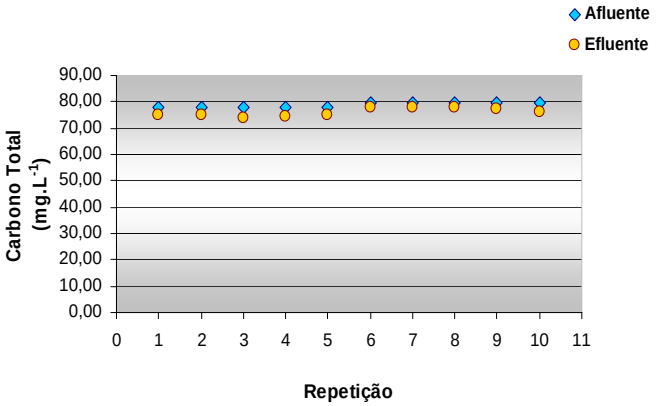


Figura 5.186: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

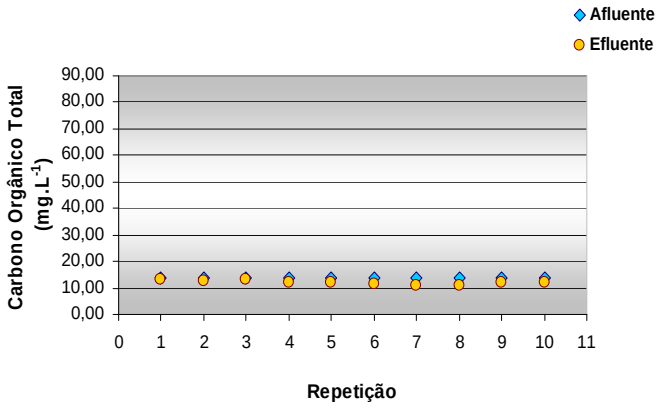


Figura 5.187: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

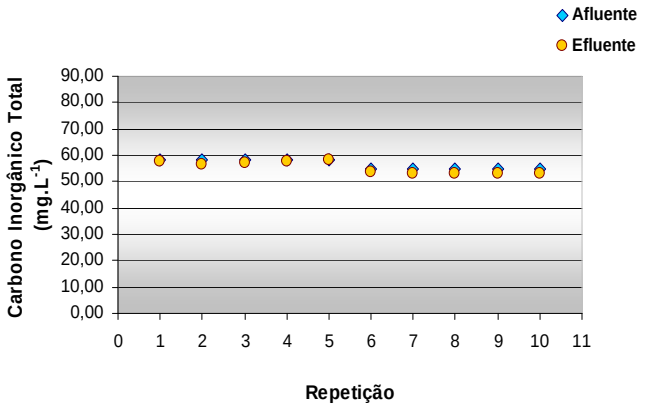


Figura 5.188: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

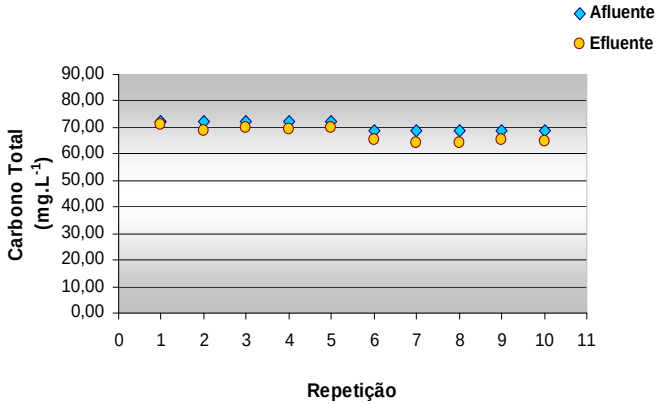


Figura 5.189: Concentração de CT para dosagem aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

No ensaio 1, a concentração média de COT dos efluentes ozonizados/ clorados-desclorados foi de 16,25 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado/clorado-desclorado foi de 13,93 $mg.L^{-1}$. Para CIT a concentração média dos efluentes ozonizados/clorados foi de 62,55 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado/clorado-desclorado foi de 62,55 $mg.L^{-1}$. Para CT, a concentração média dos efluentes ozonizados/clorados-desclorados foi de 78,80 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 76,00 $mg.L^{-1}$.

Para o ensaio 2, a concentração média de COT dos efluentes ozonizados/ clorados-desclorados foi de 13,95 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado/clorado-desclorado foi de 12,03 $mg.L^{-1}$. Para CIT, a concentração média dos efluentes ozonizados/clorados-desclorados foi de 55,32 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado/clorado-desclorado foi de 56,70 $mg.L^{-1}$. Para CT, a concentração média dos efluentes ozonizados/clorados-desclorado foi de 67,35 $mg.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado foi de 70,65 $mg.L^{-1}$.

O comportamento do COT, CIT e CT foi semelhante ao comportamento da DQO e também em relação aos ensaios realizados aplicando somente ozônio.

5.2.2.6 Cloreto

A concentração de cloreto observada nos ensaios de ozonização/cloração para as dosagens médias aplicadas: 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos e; seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato

de 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.49 e Figuras 5.190 e 5.191.

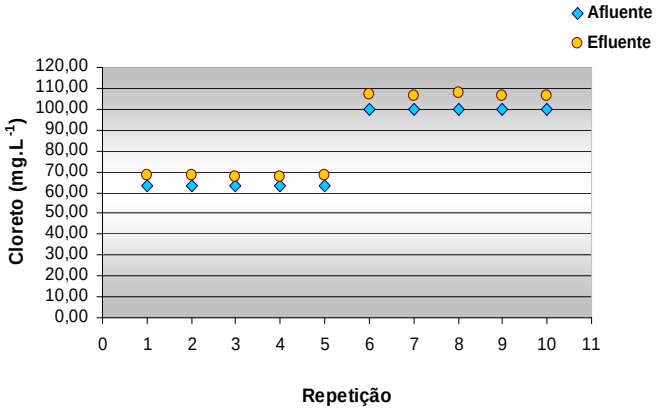


Figura 5.190: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

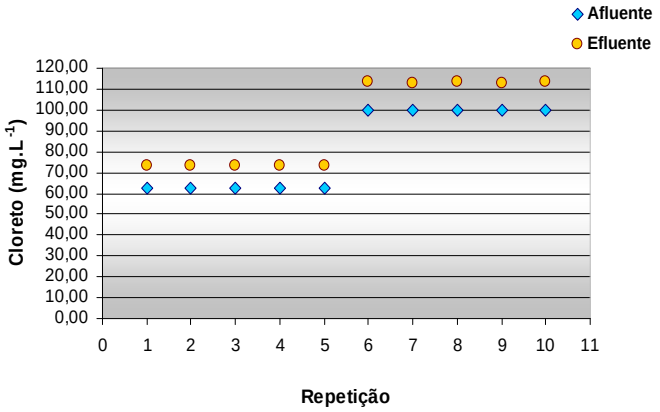


Figura 5.191: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

Houve um aumento na concentração de cloreto, o que pode ser comprovado analisando as médias, para ensaio 1 a concentração média de cloreto dos efluentes ozonizados e clorados-desclorados foi de 87,41 mg $Cl^-.L^{-1}$, concentração superior ao dos efluentes não ozonizados/clorados que foi de 81,44 mg $Cl^-.L^{-1}$. O aumento na concentração de cloreto foi superior no ensaio 2, pois a concentração média de cloreto dos efluentes ozonizados/clorados foi de 93,35 mg $Cl^-.L^{-1}$ e nos efluentes não

ozonizados/clorados foi de 81,40 mg $Cl^-.L^{-1}$. Este aumento na concentração se deve a existência cloretos em algumas soluções de hipoclorito de sódio. Além do aumento devido ao cloreto contido na solução de hipoclorito de sódio, seu aumento pode ter sido ocasionado também pela redução de Fe^{2+}, Mn^{2+}, H_2S e matéria orgânica, que reagem com o cloro e este é reduzido em sua maior parte ao íon cloreto.

5.2.2.7 Nitrito e Nitrato

As concentrações de nitrito e nitrato observadas nos ensaios de ozonização/cloração para as dosagens médias aplicadas: 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos e; seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.50 e Figuras 5.192 a 5.195.

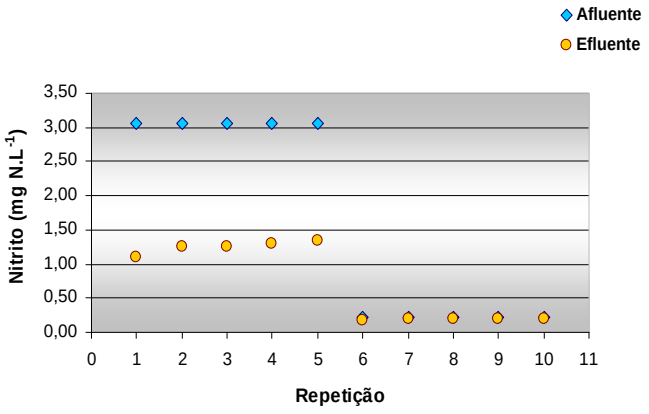


Figura 5.192: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

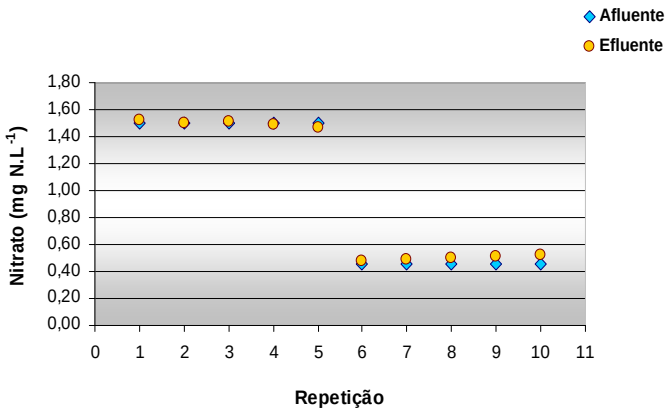


Figura 5.193: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

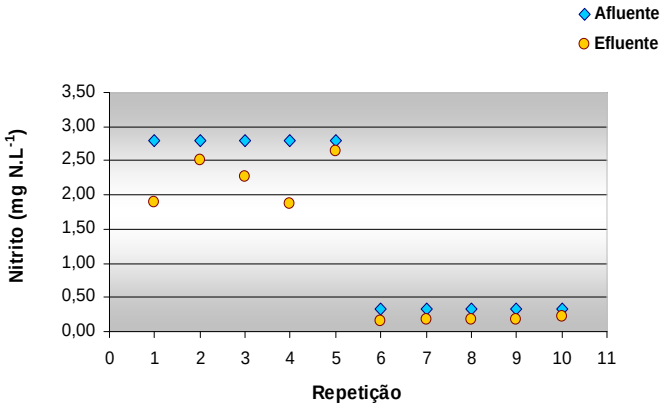


Figura 5.194: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 15 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

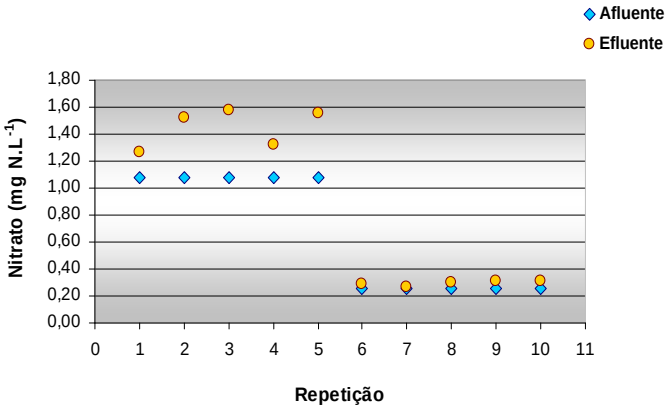


Figura 5.195: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 15 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

No ensaio 1, a concentração média para nitrito foi de 1,50 mg $N.L^{-1}$ nos efluentes ozonizados/clorados-desclorados e efluentes não ozonizados/clorados-desclorados foi de 1,63 mg $N.L^{-1}$. O mesmo comportamento ocorreu no ensaio 2, porém com uma remoção um pouco maior de nitrito no efluente ozonizado/clorado-desclorado. A concentração média de nitrito dos efluentes ozonizados/clorados-desclorados foi de 1,21 mg $N.L^{-1}$ e no efluente não ozonizado/clorado-desclorado foi de 1,57 mg $N.L^{-1}$.

De acordo com Meyer (1994) os nitritos são rapidamente oxidados pelo cloro, comportamento semelhante ao ocorrido nos ensaios de ozonização/cloração.

A concentração média de nitrato no ensaio 1 foi de 1,00 mg $N.L^{-1}$ nos efluentes ozonizados/clorados-desclorados dos e 0,98 mg $N.L^{-1}$, valores com diferença significativa. No ensaio 2, a concentração média de nitrato foi de 0,87 mg $N.L^{-1}$ no efluente ozonizado/clorado-desclorado e 0,67 mg $N.L^{-1}$ no efluente não ozonizado/clorado-desclorado.

Os resultados detectados para nitrato foram semelhantes aos detectados por Singer e Zilli (1975) o qual obteve a oxidação da amônia, convertida a nitrato. Por meio dos resultados detectados nos ensaios de ozonização, com destaque pra o ensaio 2, pode se verificar um aumento de nitrato nos efluentes ozonizados/clorados-desclorados, o que indica uma oxidação da amônia pelo cloro, convertendo-os à nitrato.

5.2.2.8 Sulfato

A concentração de sulfato observada nos ensaios de ozonização/cloração para as dosagens médias aplicadas: 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos e; seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela A.51 e Figuras 5.196 e 5.197.

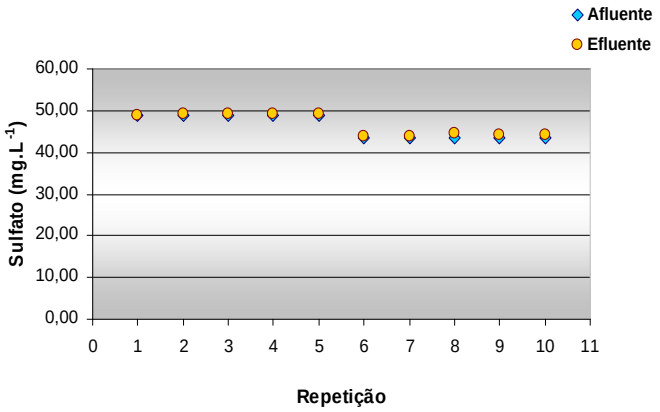


Figura 5.196: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos

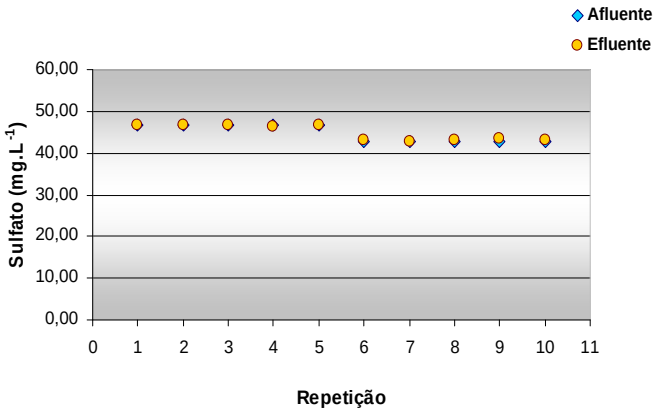


Figura 5.197: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 15 minutos e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

A concentração média de sulfato, no ensaio 1 foi de 46,66 $mg.L^{-1}$ nos efluentes ozonizados/clorados-desclorados, concentração muito semelhante aos efluentes não ozonizados/clorados-desclorados que foi de 46,20 $mg.L^{-1}$, praticamente não havendo alterações. Este comportamento foi semelhante ao ocorrido no ensaio de ozonização. O mesmo comportamento ocorreu no ensaio 2, a concentração média de sulfato dos efluentes ozonizados/clorados-desclorados foi de 44,89 $mg.L^{-1}$ e nos efluentes não ozonizados/clorados-desclorados 44,60 $mg.L^{-1}$.

Assim como detectado nos ensaios de ozonização o mesmo comportamento foi detectado nos ensaios de ozonização/cloração, ou seja, não houve nenhuma alteração nas concentrações de sulfato com o aumento dos tempos de contato e dosagens aplicadas, verificando muito pouca, ou nenhuma influência da ozonização/cloração.

5.2.2.9 Subprodutos da ozonização/cloração (Aldeídos)

As concentrações de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal observadas nos ensaios de ozonização/cloração para as dosagens médias aplicadas: 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; seguido de 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 15 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos e; seguido de 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos podem ser observadas por meio da Tabela 5.30.

Tabela 5.30: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal detectados nos ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Form. ($\mu g.L^{-1}$)	Acet. ($\mu g.L^{-1}$)	Gli. ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGli ($\mu g.L^{-1}$)
Afluente	-	10	-	15	10,0	38,2	<ld	<ld
1	**2,70**		**4,22**		10,8	37,8	<ld	<ld
2	**2,65**		**4,24**		9,0	49,3	<ld	<ld
3	**2,71**		**4,29**		10,5	50,7	<ld	<ld
4	**2,80**		**4,39**		9,3	51,4	<ld	<ld
5	**2,70**		**4,40**		8,8	44,5	<ld	<ld
Afluente	-		-		5,8	59,3	<ld	<ld
6	**3,32**		**4,50**		7,5	65,9	<ld	<ld
7	**2,56**		**4,42**		5,0	41,1	<ld	<ld
8	**2,68**		**4,47**		5,2	52,4	<ld	<ld
9	**2,70**		**4,43**		5,1	52,1	<ld	<ld
10	**2,63**		**4,46**		6,9	57,8	<ld	<ld
Afluente	-	20	-	30	<ld	43,3	<ld	<ld
1	**9,03**		**9,03**		<ld	36,8	<ld	<ld
2	**8,69**		**8,96**		<ld	37,8	<ld	<ld
3	**8,53**		**8,74**		<ld	49,3	<ld	<ld
4	**8,44**		**8,99**		<ld	50,7	<ld	<ld
5	**8,51**		**8,87**		<ld	51,4	<ld	<ld
Afluente	-		-		5,2	59,3	<ld	<ld
6	**8,30**		**9,10**		3,2	65,9	<ld	<ld
7	**8,10**		**8,82**		5,7	67,8	<ld	<ld
8	**7,99**		**9,09**		4,6	41,1	<ld	<ld
9	**7,62**		**9,09**		5,0	52,8	<ld	<ld
10	**7,19**		**9,09**		5,1	61,1	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção; Form. : Formaldeído; Acetal. Acetaldeído; Gli:Glioxal; Metilgli: MetilGlioxal

A formação de subprodutos no ensaio 1 de ozonização/cloração foi muito baixa, comportamento semelhante aos ensaios de ozonização, entretanto foi detectado além de acetaldeído, formaldeído. A formação ocorrida nas amostras, estão na faixa de ppb, concentrações muito baixas de formação nos efluentes ozonizados/clorados-desclorados.

As amostras 1, 3, 6 e 10 apresentaram formação média de formaldeído igual 1,0 $\mu g.L^{-1}$. A formação do acetaldeído foi observada nas amostras 2, 3, 4, 5 e 6, com uma concentração média de formação de 7,7 $\mu g.L^{-1}$, concentração superior ao detectado quando se aplicou ozônio. Não foi detectado glioxal e metilglioxal nas amostras do ensaio 1, a maior formação de acetaldeído não teve influência devido à aplicação do cloro e, provavelmente, pelo aumento do ozônio consumido, não

podendo ser devidamente afirmado, já que o aumento tanto do ozônio consumido quanto da formação de acetaldeídos foram muito pequenos.

No ensaio 2 que também não foram detectados glioxal e metilglioxal. Apenas na amostra 7 foi detectado formaldeído, mas em um concentração muito baixa 0,5 $\mu g.L^{-1}$. Nas amostras 3, 4, 5, 6, 7 e 10 foram detectados a formação de acetaldeído, uma formação média de 6,4 $\mu g.L^{-1}$. Concentração muito próxima do ensaio 1, contudo a maior concentração do cloro após a ozonização pode ter oxidado ou transformado o acetaldeído em outro subproduto, já que nos ensaios de ozonização foi encontrado uma concentração muito maior de acetaldeído. Este comportamento também foi detectado nos ensaios realizados no Brasil, porém mais estudos devem ser realizados para maior entendimento desta reação.

Para os ensaios 1 e 2 a concentração média de formação de formaldeído observadas para os tempos de contato aplicados estiveram abaixo do valor máximo permitido para os padrões japoneses e poloneses (80,0 e 50,0 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente).

5.2.2.10 Inativação de *E. coli*

Os resultados de inativação de *E. coli* utilizando como desinfetantes ozônio/cloro no efluente do tratamento de esgotos da cidade de Bennekom estão apresentados na Tabela A.51. Para as concentrações de ozônio e cloro que se aplicou dosagem média de 5,81 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos; 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato 20

minutos e; 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempo de contato 30 minutos, foram quantificadas as concentrações finais de *E. coli* (UFC/100 mL)

Obteve-se inativação de 2,94 a 3,15 log para a *E. coli* para dosagem que se pretendia aplicar 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e 5,0 mg $Cl_2.L^{-1}$. No ensaio 1 foi consumido dosagem média de 1,80 mg $O_3.L^{-1}$ e 4,38 mg $Cl_2.L^{-1}$, com estas dosagens consumidas houve inativação média de 3,03 log.

Para o ensaio 2, que se aplicou dosagem média de 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ e 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ obteve-se inativação de 3,71 a 3,98 log para *E. coli.* Foi consumido dosagem média de 6,06 mg $O_3.L^{-1}$ e 8,80 mg $Cl_2.L^{-1}$, sendo que com estas dosagens médias obteve-se inativação média de 3,87 log.

A inativação foi crescente com o aumento da dosagem consumida de ozônio e cloro. As inativações nos ensaios aplicando ozônio/cloro foram substancialmente superiores do que as inativações obtidas nos ensaios que se aplicou apenas ozônio.

Todas as amostras estiveram com o abaixo de 10^3/100 mL para *E. coli* determinados pela OMS (1989) para reuso.

5.2.3 Condições experimentais dos ensaios de peroxização

Nos ensaios de desinfecção que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio, estudou-se o efeito das dosagens de que se aplicou dosagem média de 2,58; 8,89 e 7,49 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 10 e 20 minutos e; seguidos pela aplicação de 2,0; 8,0 e 2,0 mg.$H_2O_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10; 20 e 20 minutos, respectivamente. Estudou-se a inativação de *E. coli*, oxidação da matéria orgânica e formação de subprodutos no efluente doméstico tratado anóxicamente.

Ensaio 1: Dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos seguido de 2,0 mg.$H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos.

Ensaio 2: Dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos seguido de 8,0 mg.$H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos.

Ensaio *: Dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos seguido de 8,0 mg.$H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos.

5.2.3.1 Ozônio consumido, ozônio residual dissolvido, *off-gas*, peróxido de hidrogênio aplicado, peróxido de hidrogênio residual e peróxido de hidrogênio consumido

Por meio da Tabela A.53 e Figuras 5.198 a 5.200 podem se observar às concentrações de ozônio consumido, ozônio dissolvido e *off-gas* nos ensaios 1, 2 e 3.

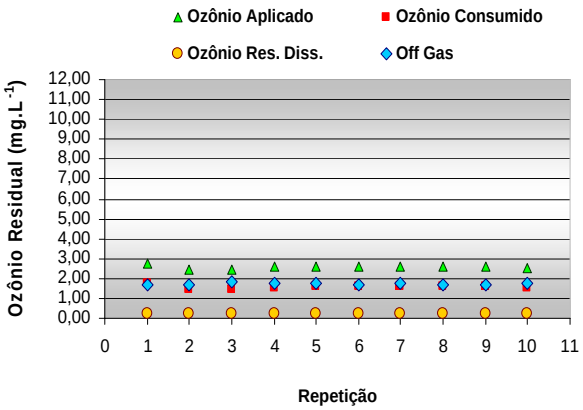


Figura 5.198: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

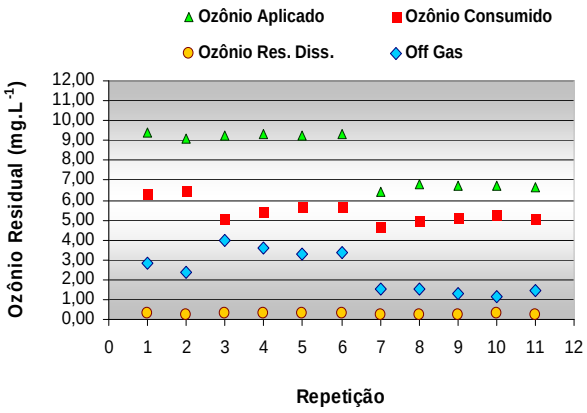


Figura 5.199: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

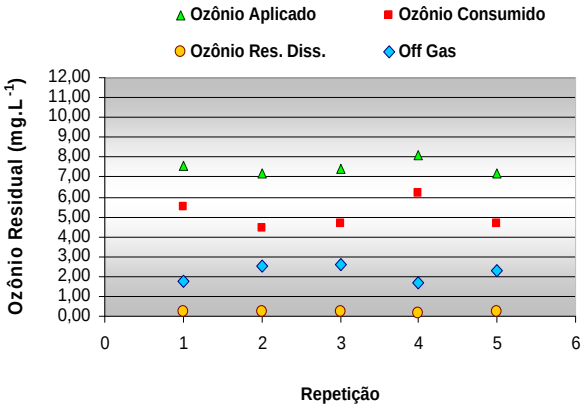


Figura 5.200: Concentração de ozônio consumido, residual dissolvido e *off-gas* para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

Pode-se verificar que a concentração de ozônio residual, determinada para as dosagens e tempos de contato estudados, foi baixa e indicou variação mínima. Contudo, a fração de gás ozônio excedente (*off-gas*) capturado na saída superior da câmara de ozonização, apresentou uma diferença quantitativa, possivelmente relacionada à vazão de gás adotada e ao difusor de gás.

No ensaio 1, a dosagem média aplicada foi de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, sendo a dosagem média consumida de 1,58 mg $O_3.L^{-1}$. A taxa de transferência de ozônio foi de 61,0%.

No ensaio 2, a dosagem média aplicada foi de 8,89 mgO_3.L^{-1}, sendo a dosagem média consumida de 5,41 mg O_3.L^{-1}. A taxa de transferência de ozônio foi de 66,0%.

No ensaio 3, a dosagem média aplicada foi de 7,49 mg O_3.L^{-1}, sendo a dosagem média consumida de 5,10 mg O_3.L^{-1}. A taxa de transferência de ozônio foi de 68,0%.

Os resultados de transferência tiveram um aumento no ensaio 1, comparado com os ensaios de ozonização e ozonização/cloração (5.2.1 e 5.2.2). Nos ensaios 2 e 3 foram detectados concentrações semelhantes aos ensaios de ozonização (5.2.1) e ozonização/cloração (5.2.2). Estes resultados são semelhantes aos detectados por Xu et al. (2002), vale salientar que ambos os trabalhos foram realizados em países de clima temperado.

Por meio da Tabela A.54 pode-se observar o peróxido de hidrogênio aplicado, peróxido de hidrogênio residual e peróxido de hidrogênio consumido.

Nos ensaios 1, 2 e 3 as concentrações médias consumidas foram 1,70, 5,46 e 1,66 mg O_3.L^{-1}, respectivamente.

5.2.3.2 Alcalinidade, pH e Temperatura

Os valores observados de pH, temperatura, alcalinidade total nos ensaios de peroxização 1, 2 e 3 podem ser observado na Tabela A.55 e Figuras 5.201 a 5.209.

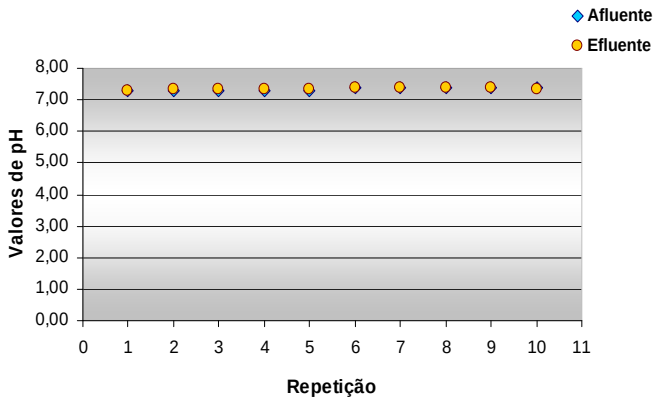


Figura 5.201: Valores de pH para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

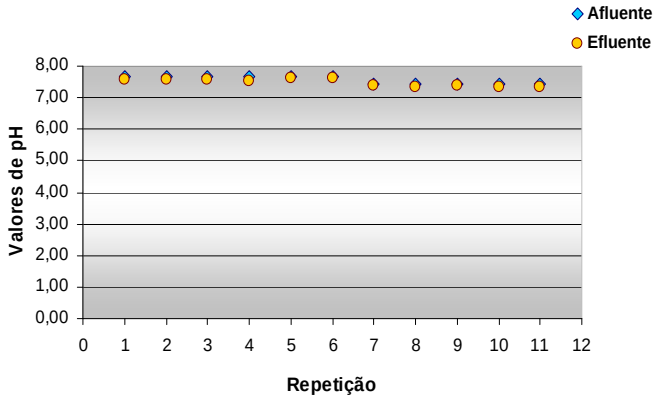


Figura 5.202: Valores de pH para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

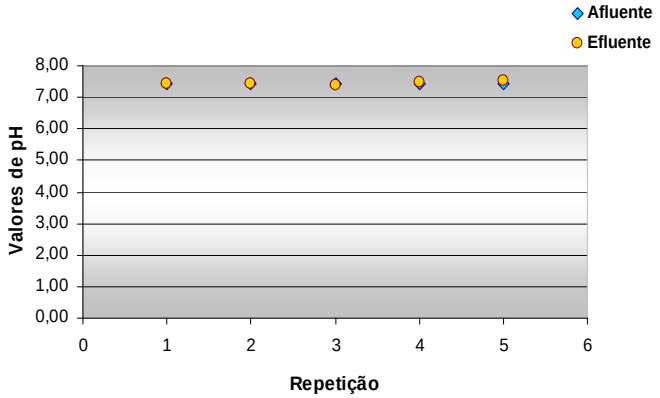


Figura 5.203: Valores de pH para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

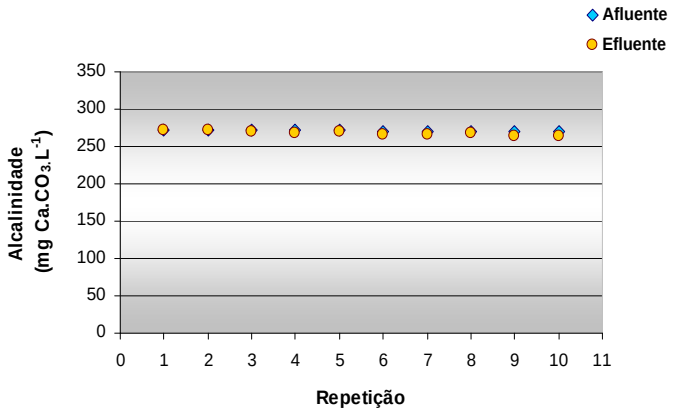


Figura 5.204: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

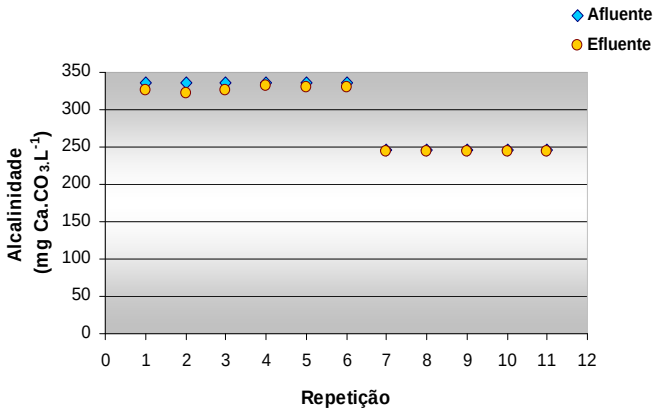


Figura 5.205: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$ tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

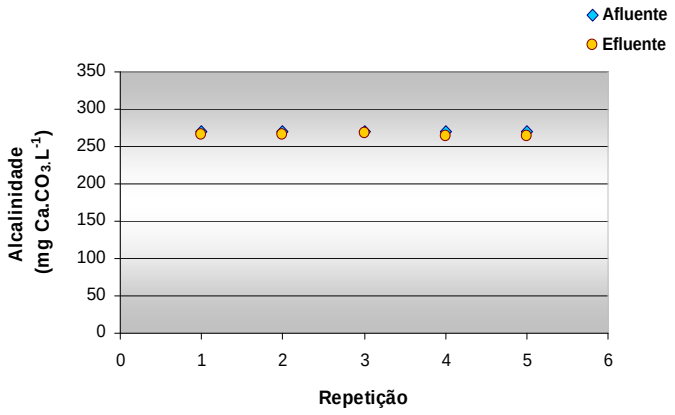


Figura 5.206: Alcalinidade total para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$ tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

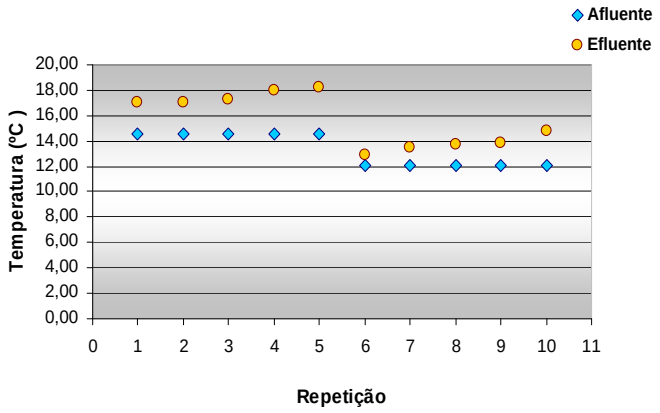


Figura 5.207: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

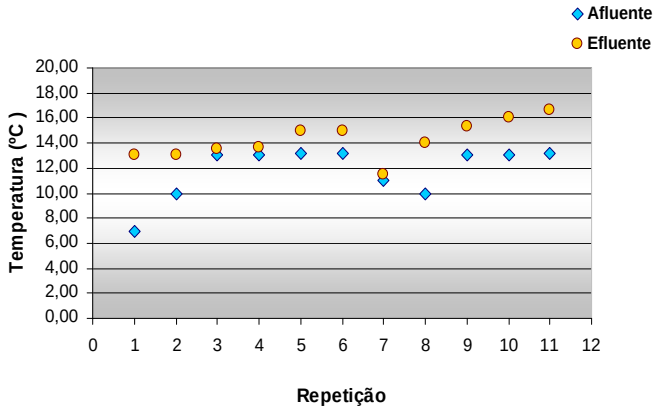


Figura 5.208: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

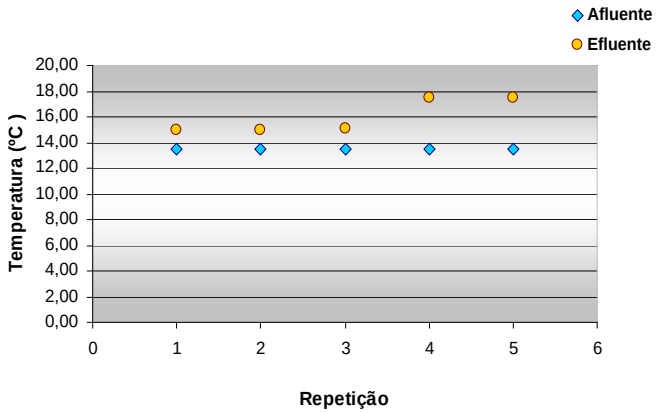


Figura 5.209: Valores de temperatura para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

No ensaio 1 os valores de pH variaram de 7,29 e 7,39, com valor de pH médio de 7,34 no afluente e 7,35 no efluente que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio. A temperatura média afluente foi de 13,30 ^{o}C e efluente 15,63 ^{o}C e alcalinidade total afluente foi de 272 e efluente 269 $mg.CaCO_3.L^{-1}$. Houve um pequeno consumo de alcalinidade nos ensaios de peroxização.

No ensaio 2 os valores de pH ficaram entre 7,33 e 7,69, com valor de pH médio de 7,65 no afluente e 7,46 no efluente que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio. A temperatura média afluente foi de 11,80 ^{o}C e efluente 14,24 ^{o}C e alcalinidade total afluente foi de 296 e efluente 290 $mg.CaCO_3.L^{-1}$. Também foi detectado um pequeno consumo de alcalinidade nos ensaios de peroxização. E no ensaio 3 os valores de pH ficaram entre 7,40 e 7,52, com valor de pH médio de 7,43 no afluente e 7,45 no efluente que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio. A temperatura média afluente foi de 13,05 ^{o}C e efluente 16,02 ^{o}C e alcalinidade total afluente foi de 270 e efluente 266 $mg.CaCO_3.L^{-1}$. Foi detectado um pequeno consumo de alcalinidade nos ensaios de peroxização, comportamento semelhante aos dos ensaios 1 e 2.

Nos ensaios que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio os valores de pH também estiveram entre 6,0 a 8,0, faixa que a ozonização é pouco afetada para efluente doméstico, de acordo com a maioria dos dados disponíveis na literatura.

Assim como nos ensaios que se aplicaram ozônio e ozônio/cloro os valores de temperatura do efluente que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio tenderam a um aumento devido ao tempo de peroxização, tempo em que o efluente permaneceu exposto ao ambiente.

5.2.3.3 Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV)

A concentração dos ácidos orgânicos voláteis nos ensaios de peroxização 1, 2 e 3 podem ser observados na Tabela A.56 e Figuras 5.210 a 5.212.

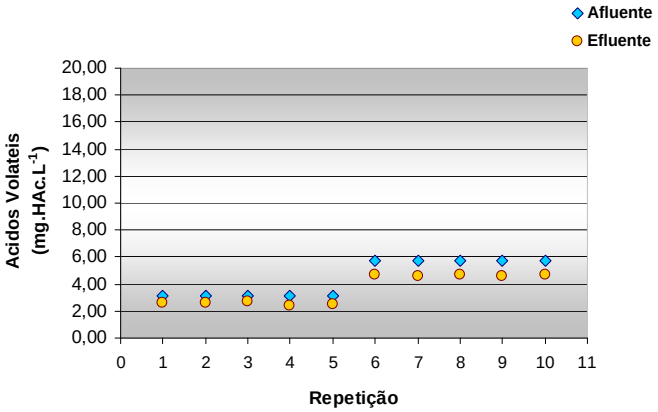


Figura 5.210: Concentrações de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de10 minutos

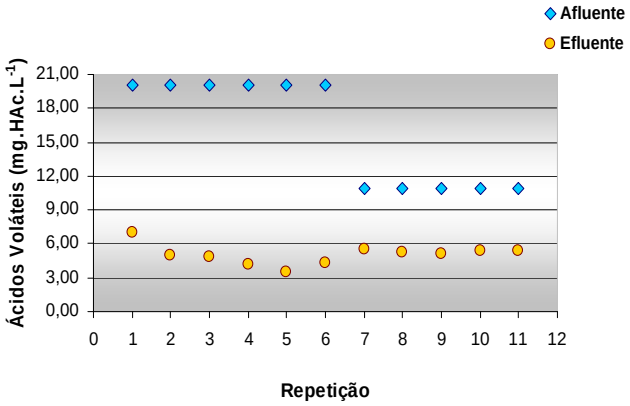


Figura 5.211: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 30 minutos

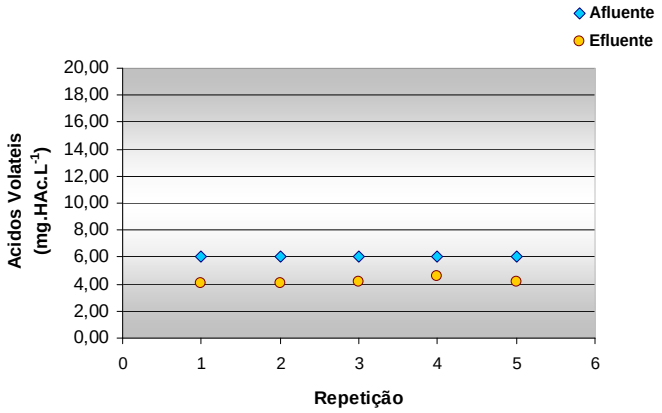


Figura 5.212: Concentração de ácidos orgânicos voláteis para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

A concentração de ácidos orgânicos voláteis foi relativamente baixa devido à qualidade do efluente que era um efluente anóxico, com exceção do um afluente das amostras de 1 a 6 referente ao ensaio 2 que foi de 20,0 mg.HAc.L^{-1}.

Pode-se verificar por meio da Tabela A.55 e Figuras 5.210 a 5.212 que há uma diminuição na concentração dos ácidos orgânicos voláteis nos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio, provavelmente estes AOV, foram oxidados pela ação do ozônio/peróxido de hidrogênio, pois estes são facilmente oxidados.

No ensaio 1 houve uma diminuição da concentração de AOV como ocorrido nos ensaios anteriores (ozônio e ozônio/cloro), 4,33 mg.HAc.L^{-1} no afluente e 3,63 mg.HAc.L^{-1} no efluente que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio.

Uma diminuição maior ocorreu no ensaio 2, média de 15,21 mg.HAc.L^{-1} nas amostras de 1 a 6. Nas amostras de 7 a 11 a diminuição da concentração de AOV foi menor, pois a média foi de 5,31 mg.HAc.L^{-1}. No ensaio 3 a concentração de AOV diminuíram pouco, da ordem de 1,87 mg.HAc.L^{-1}.

Por meio da Figura 5.213 pode-se observar um cromatograma típico da determinação da concentração de ácidos orgânicos voláteis para os ensaios de peroxização.

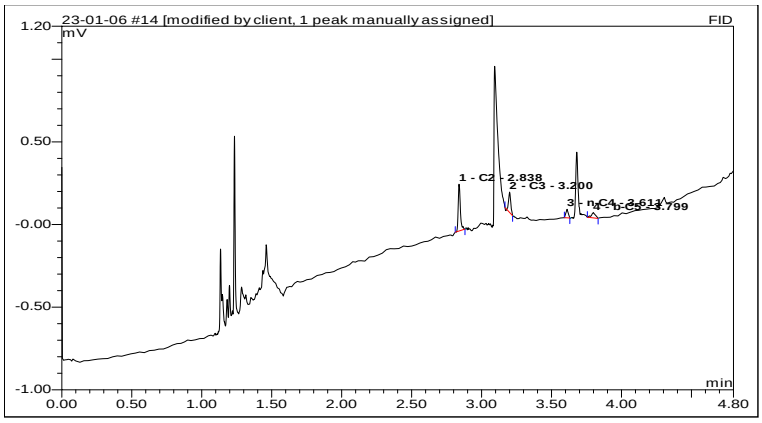


Figura 5.213: Cromatograma da GC/FID de ácidos voláteis dos ensaios de peroxização

5.2.3.4 Demanda Química de Oxigênio

Os valores detectados de DQO nos ensaios de peroxização 1, 2 e 3 podem ser observados por meio da Tabela A.57 e Figuras 5.214 a 5.216.

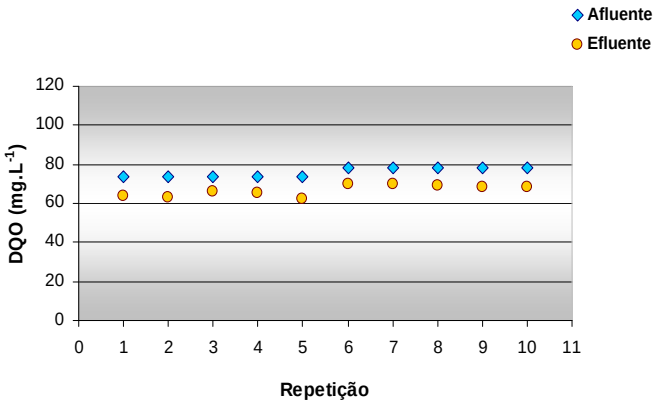


Figura 5.214: DQO para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos

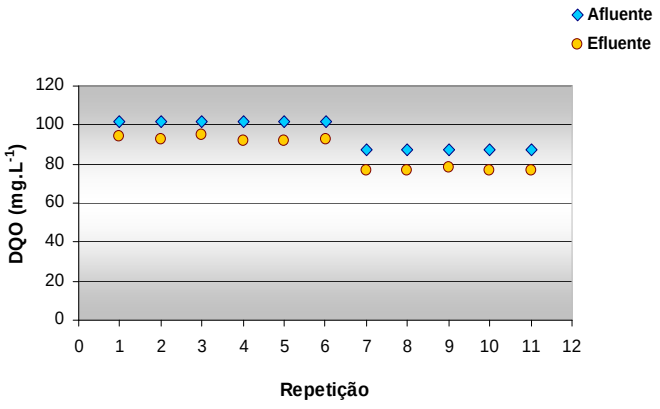


Figura 5.215: DQO para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

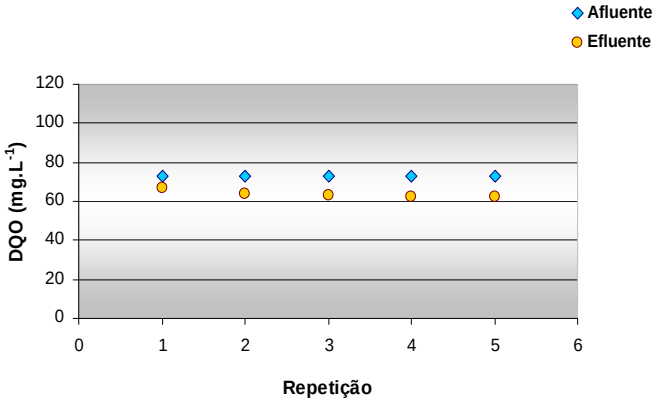


Figura 5.216: DQO para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

Nos ensaios de desinfecção que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio, estudou-se o efeito das dosagens de 2,58; 8,89 e 7,49 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 10 e 20 minutos e 2,0; 8,0 e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10 e 20 minutos na oxidação da matéria orgânica no efluente doméstico tratado anóxicamente.

No ensaio 1, a média de DQO dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 67 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 76 $mg.L^{-1}$. A remoção média de DQO foi de 12,5%, valor superior aos ensaios aplicando ozônio (6,4%) e cloro (4,6%),o que prova um maior poder de oxidação para as dosagens aplicadas.

As médias de DQO dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio no ensaio 2 foram de 86 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 95 $mg.L^{-1}$. A remoção média de DQO no ensaio 2 foi de 9,7%, valor semelhante ao detectado nos ensaios de ozonização (5.2.1), entretanto superior ao detectado nos ensaios de ozonização/cloração (5.2.2).

No ensaio 3 as médias de DQO dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi 64 $mg.L^{-1}$ e no afluente 73 $mg.L^{-1}$. A remoção média foi de 12,9%.

Nos estudos realizados por Costa (2003) a autora detectou uma melhora significativa de remoção de DQO quando adicionou peróxido de hidrogênio ao ozônio, comportamento não detectado na presente pesquisa.

5.2.3.5 Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico Total (CIT) e Carbono Total (CT)

As concentrações de COT, CIT e CT observadas nos ensaios de peroxização 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio da Tabela A.58 e Figuras 5.217 a 5.225.

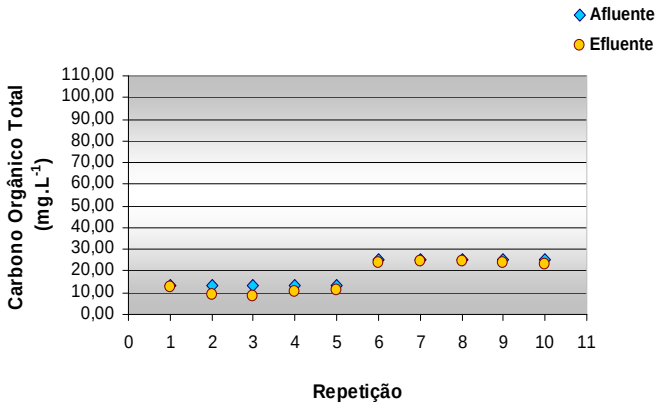


Figura 5.217: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos

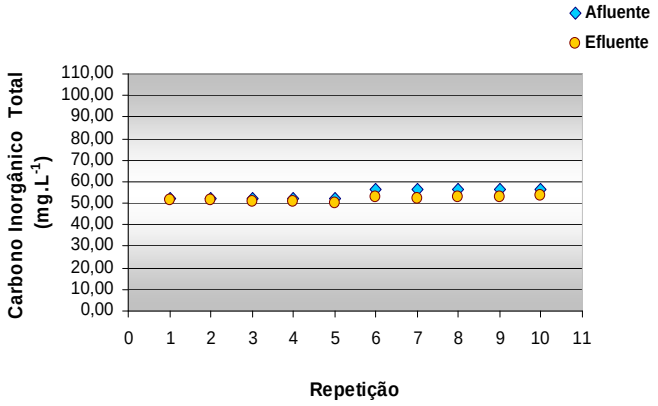


Figura 5.218: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos

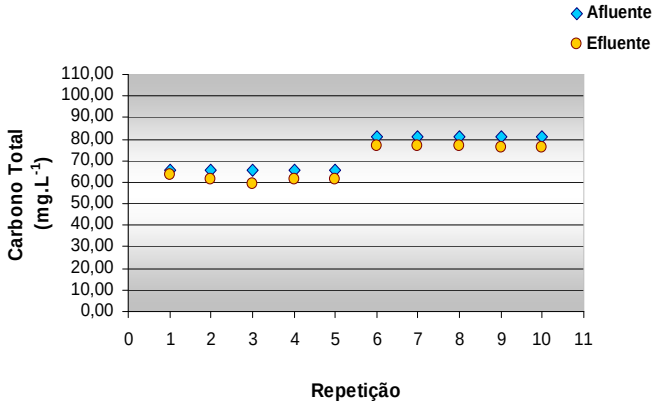


Figura 5.219: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 10 minutos

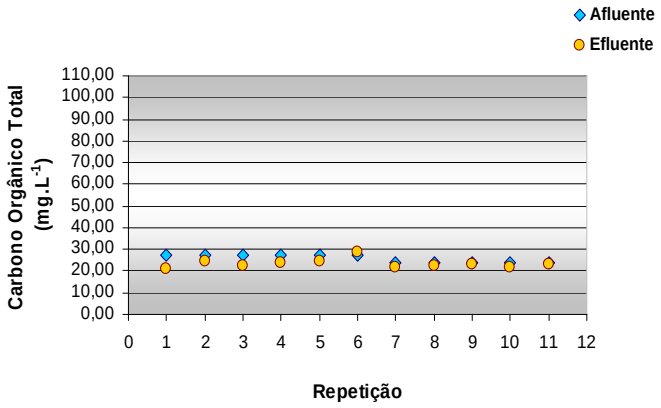


Figura 5.220: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

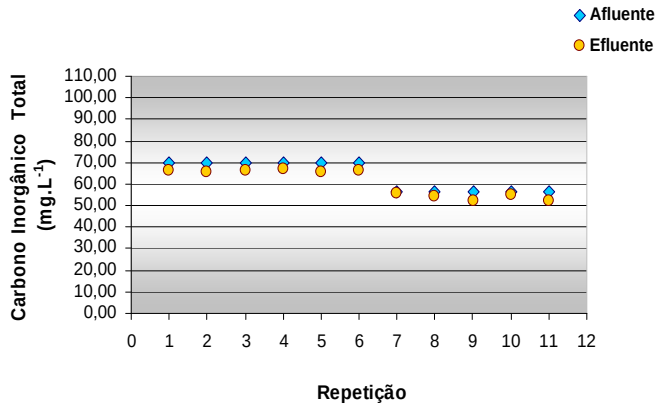


Figura 5.221: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

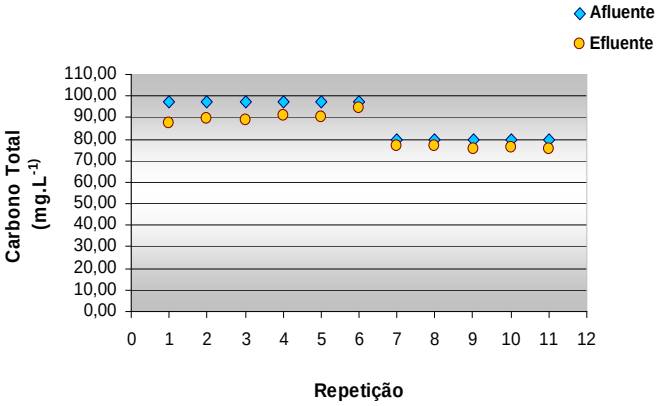


Figura 5.222: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

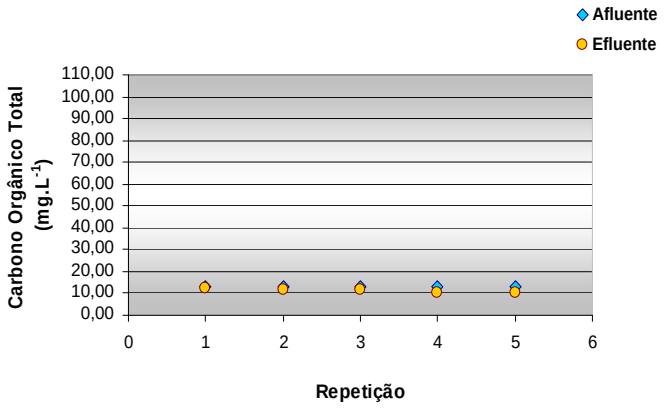


Figura 5.223: Concentração de COT para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

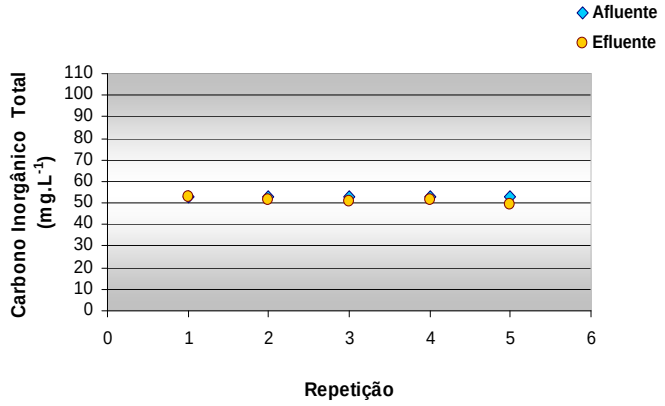


Figura 5.224: Concentração de CIT para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

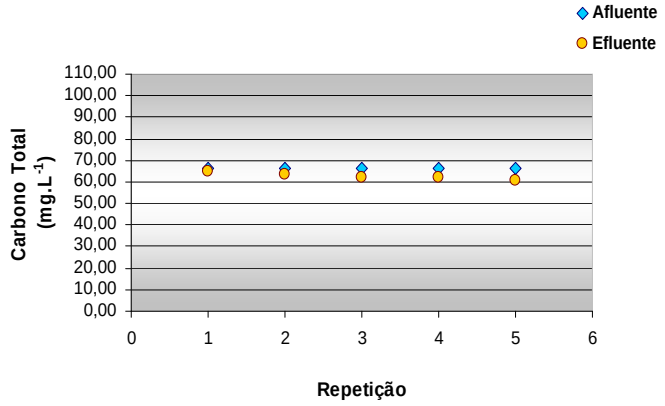


Figura 5.225: Concentração de CT para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato 20 minutos

No ensaio 1, a concentração média de COT dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 17,12 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 19,00 $mg.L^{-1}$. Para CIT, a concentração média dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 51,81 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 54,20 $mg.L^{-1}$. Para CT, a concentração média dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 69,01 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 73,30 $mg.L^{-1}$.

Para o ensaio 2, a concentração média de COT dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 23,34 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 25,61 $mg.L^{-1}$. Para CIT, a concentração média dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 60,48 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 63,62 $mg.L^{-1}$. Para CT, o valor médio dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi 83,92 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 89,92 $mg.L^{-1}$.

No ensaio 3, a concentração média de COT dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 11,32 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 13,10 $mg.L^{-1}$. Para CIT, a concentração média dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 51,24 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 53,00 $mg.L^{-1}$. Para CT, a concentração média dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi 62,52 $mg.L^{-1}$ e no afluente foi de 66,10 $mg.L^{-1}$.

O comportamento do COT, CIT e CT foi semelhante ao observado pela DQO em relação aos ensaios realizados aplicando somente ozônio, ozônio/cloro.

Assim como o ozônio, o ozônio/peróxido de hidrogênio não destroem significativamente o COT, porém aumenta a biodegradabilidade do efluente, o que torna mais fácil a remoção em filtros biologicamente ativos (MWDSC e JMM, 1992).

A presença de carbono inorgânico no afluente à ozonização diminui a quantidade de radicais hidroxila disponíveis, como isso ação do desinfetante (SUNDER & HEMPEL, 1977).

Este fato foi observado nos ensaios que se aplicaram ozônio e peróxido de hidrogênio. Entretanto, segundo Costa (2003) foi observada uma melhora na eficiência na remoção de COT quando foi adicionado peróxido de hidrogênio, isso indica que mais estudos devem ser realizado para estudar melhor a ação do peróxido de hidrogênio quando aplicado em conjunto com o ozônio.

5.2.3.6 Cloreto

A concentração de cloreto observada nos ensaios 1, 2 e 3 de peroxização podem ser observadas por meio da Tabela A.59 e Figuras 5.226 a 5.228.

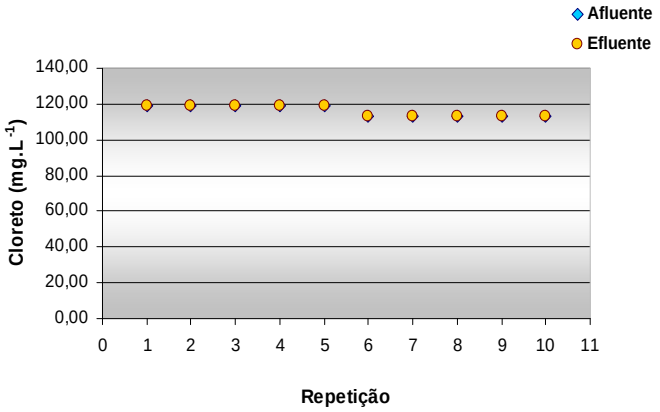


Figura 5.226: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

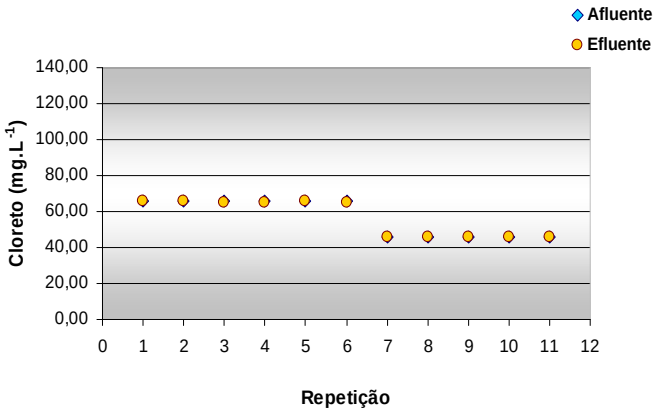


Figura 5.227: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

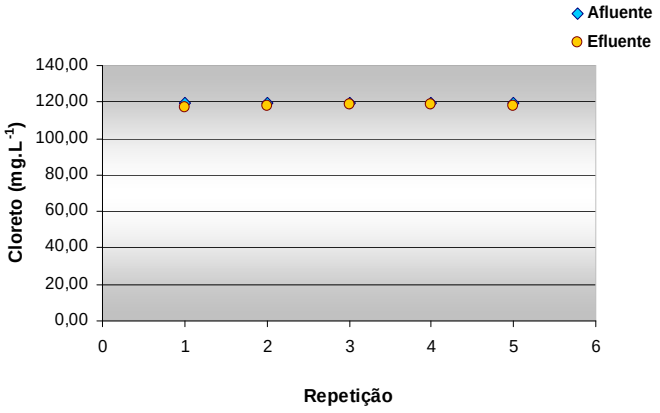


Figura 5.228: Concentração de cloreto para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

Houve pouca alteração na concentração de cloreto nos ensaios peroxização, o comportamento semelhante aos ensaios de ozonização (5.2.1).

Isso pode ser comprovado analisando a concentração médias do ensaio 1, a concentração média de cloreto dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 115,90 mg $Cl^-.L^{-1}$, concentração muito semelhante ao afluente, 116,18 mg $Cl^-.L^{-1}$, praticamente não houve alteração. O mesmo comportamento ocorreu no ensaio 2, a concentração média de cloreto dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 56,36 mg $Cl^-.L^{-1}$e no afluente,

56,64 mg $Cl^-.L^{-1}$. No ensaio 3, a concentração média de cloreto dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 118,09 mg $Cl^-.L^{-1}$ e no afluente, 119,10 mg $Cl^-.L^{-1}$.

5.2.3.7 Nitrito e Nitrato

A concentração de nitrito e nitrato observada nos ensaios de peroxização 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio da Tabela A.60 e Figuras 5.229 a 5.234.

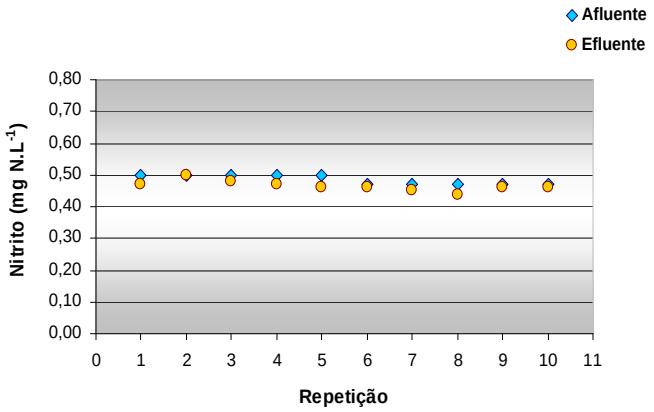


Figura 5.229: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

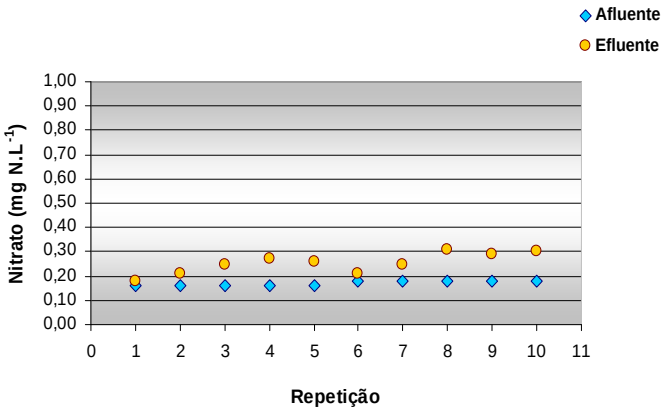


Figura 5.230: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 5,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

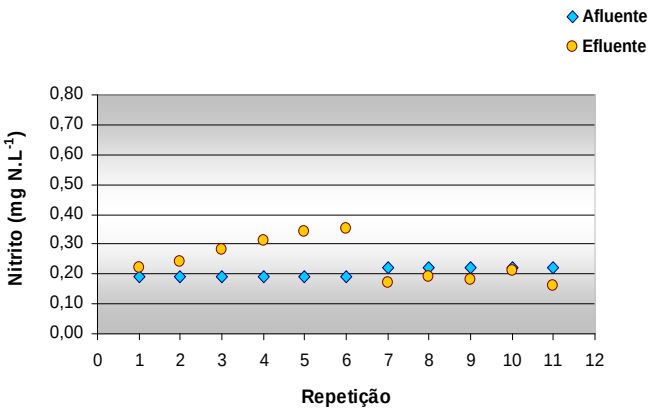


Figura 5.231: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

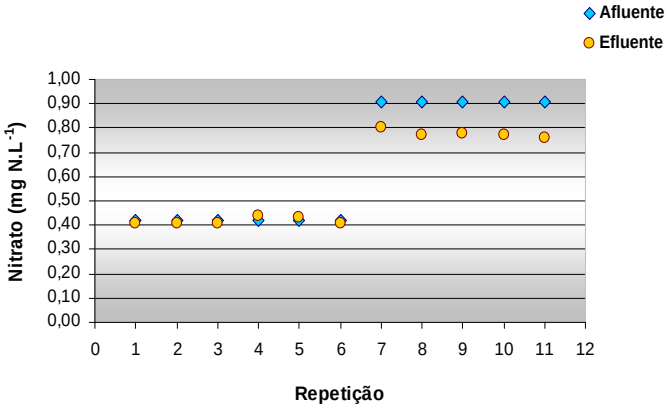


Figura 5.232: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

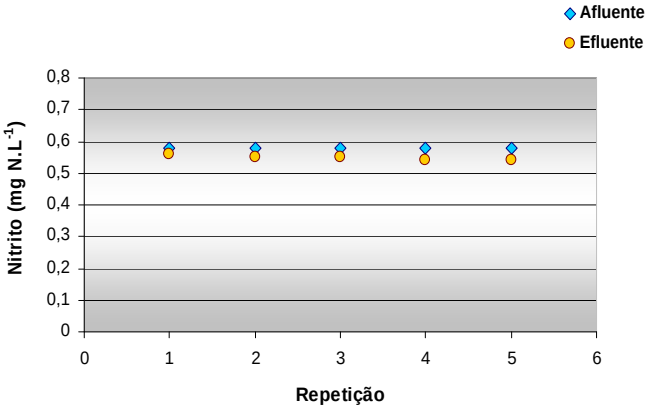


Figura 5.233: Concentração de nitrito para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

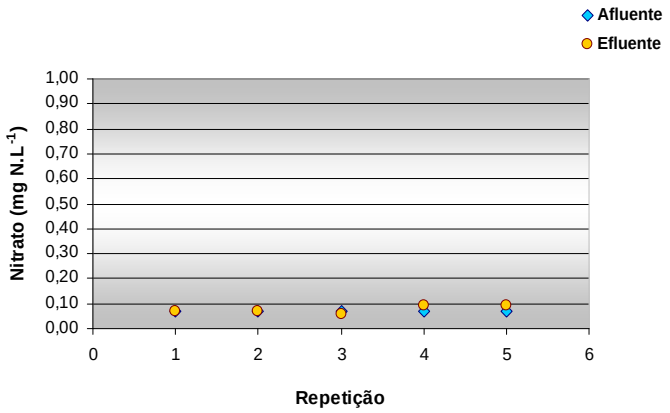


Figura 5.234: Concentração de nitrato para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

A concentração média de nitrito no ensaio 1 nos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 0,47 mg $N.L^{-1}$ e 0,49 mg $N.L^{-1}$ nos afluentes. Para nitrato a concentração média nos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi 0,21 mg $N.L^{-1}$ e nos afluentes, 0,17 mg $N.L^{-1}$.

Para o ensaio 2 a concentração de nitritos dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 0,24 mg $N.L^{-1}$ e 0,20 mg $N.L^{-1}$ nos afluentes. A concentração média de nitratos foi 0,58 mg $N.L^{-1}$ nos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio e 0,64 mg $N.L^{-1}$ nos afluentes.

No ensaio 3, a concentração de nitritos foi de 0,55 mg $N.L^{-1}$ nos efluentes que se aplicaram ozônio e peróxido de hidrogênio e 0,58 mg $N.L^{-1}$ no afluente que não se aplicaram os desinfetantes. A concentração média para nitritos foi 0,08 mg $N.L^{-1}$ nos efluentes que se aplicaram ozônio e peróxido de hidrogênio e 0,07 mg $N.L^{-1}$ no afluente que não se aplicaram os desinfetantes.

Para a concentração média apresentada não foi verificada diferença significativa entre o efluente a concentração e o afluente que não se aplicaram os desinfetantes. De acordo Singer e Zilli (1975) que estudou a oxidação da amônia em efluentes domésticos aplicando ozônio, haveria uma tendência em aumento na

concentração de nitrato nos efluentes que oxidassem a amônia, entretanto este comportamento não foi observado nestes ensaios, o que indica que também não houve oxidação da amônia.

5.2.3.8 Sulfato

A concentração encontrada de sulfato nos ensaios de peroxização 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio da Tabela A.61 e Figuras 5.235 a 5.237.

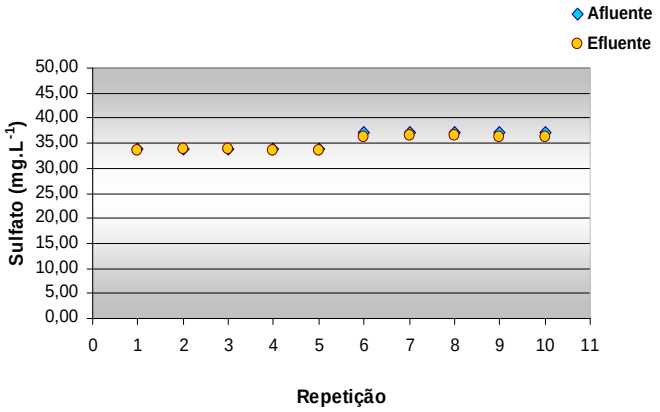


Figura 5.235: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 2,58 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 10 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 10 minutos

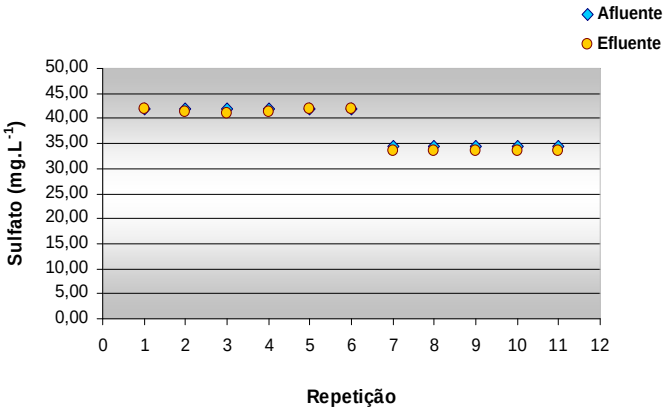


Figura 5.236: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

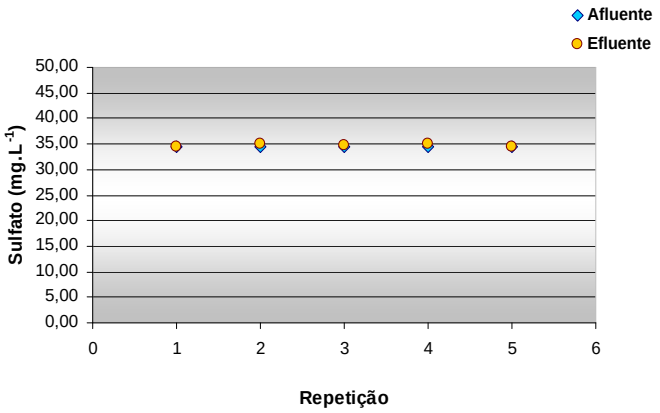


Figura 5.237: Concentração de sulfato para dosagem média aplicada de 7,49 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato 20 minutos e 2,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

A concentração média de sulfato, no ensaio 1 nos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio, apresentou concentração muito semelhante nos afluentes que não se aplicaram os desinfetantes. O efluente que se aplicaram ozônio e peróxido de hidrogênio a concentração média foi de 35,00 $mg.L^{-1}$ e no afluente que não se aplicaram os desinfetantes, 35,61 $mg.L^{-1}$, comportamento semelhante ao ocorrido nos ensaios de ozonização e ozonização/cloração (5.2.1 e 5.2.2). O mesmo comportamento ocorreu no ensaio 2, a concentração média de sulfato nos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 37,90 $mg.L^{-1}$ e no afluente que não se aplicaram os desinfetantes foi de 38,55 $mg.L^{-1}$.

Para o ensaio 3, a concentração média de sulfato dos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 34,25 $mg.L^{-1}$ e no afluente que não se aplicaram os desinfetantes foi de 34,47 $mg.L^{-1}$.

O mesmo comportamento observado nos ensaios de ozonização e ozonização/cloração (5.2.1 e 5.2.2) foi detectado nos ensaios de peroxização, ou seja, não houve nenhuma alteração nas concentrações de sulfato, com o aumento

dos tempos de contato e dosagens aplicadas, verificando muito pouca, ou nenhuma influência da peroxização.

O comportamento detectado na presente pesquisa foi totalmente diferente ao detectado por Costa (2003) que verificou alta eficiência de remoção de sulfato em sua pesquisa que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio.

5.2.3.9 Subprodutos da ozonização/peroxização (Aldeídos)

A concentração de formaldeído, acetaldeído, glioxal e metilglioxal observada nos ensaios de peroxização 1, 2 e 3 podem ser observadas por meio da Tabela 5.31.

Tabela 5.31: Concentração de Formaldeído, Acetaldeído, Glioxal e Metilglioxal detectados nos ensaios de peroxização

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Form. ($\mu g.L^{-1}$)	Acetal ($\mu g.L^{-1}$)	Gli. ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGli ($\mu g.L^{-1}$)
Afluente	-	10	-	10	6,5	<ld	<ld	<ld
1	**1,79**		**1,59**		11,5	<ld	<ld	<ld
2	**1,48**		**1,74**		13,8	<ld	<ld	<ld
3	**1,42**		**1,76**		13,6	<ld	<ld	<ld
4	**1,56**		**1,77**		12,0	<ld	<ld	<ld
5	**1,62**		**1,66**		12,1	<ld	<ld	<ld
Afluente	-		-		7,9	<ld	<ld	<ld
6	**1,62**		**1,58**		9,0	<ld	<ld	<ld
7	**1,60**		**1,73**		9,9	<ld	<ld	<ld
8	**1,61**		**1,77**		10,1	<ld	<ld	<ld
9	**1,60**		**1,68**		8,5	<ld	<ld	<ld
10	**1,53**		**1,75**		9,5	<ld	<ld	<ld
Afluente	-	20	-	20	7,5	20,0	<ld	<ld
1	**6,31**		**6,18**		2,9	10,0	<ld	<ld
2	**6,48**		**6,22**		3,3	15,7	<ld	<ld
3	**5,04**		**5,43**		7,5	19,2	<ld	<ld
4	**5,40**		**5,10**		2,3	28,0	10,4	<ld
5	**5,62**		**4,96**		3,3	31,0	<ld	<ld
6	**5,64**		**5,32**		7,21	25,7	<ld	<ld
Afluente	-	20	-	20	2,9	57,6	<ld	<ld
7	**4,65**		**4,76**		3,3	67,6	18,7	<ld
8	**4,99**		**6,30**		6,5	82,4	<ld	<ld
9	**5,14**		**5,23**		7,2	89,9	<ld	<ld
10	**5,28**		**4,61**		4,6	63,2	<ld	<ld
11	**5,01**		**5,97**		5,2	75,8	<ld	<ld

Continua

Continuação da Tabela 5.31

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H2O2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Form. ($\mu g.L^{-1}$)	Acetal ($\mu g.L^{-1}$)	Gli. ($\mu g.L^{-1}$)	MetilGli ($\mu g.L^{-1}$)
Afluente	-		-		<ld	28,4	<ld	<ld
1	**5,51**		**1,68**		<ld	28,0	<ld	<ld
2	**4,44**		**1,55**		<ld	48,9	<ld	<ld
3	**4,64**		**1,71**		<ld	32,2	<ld	<ld
4	**6,22**		**1,62**		<ld	33,3	<ld	<ld
5	**4,70**		**1,72**		<ld	44,5	<ld	<ld

< ld: inferior ao limite de detecção; Form.: Formaldeído; Acetal.: Acetaldeído; Gli:Glioxal; Metilgli.: MetilGlioxal

A formação de subprodutos no ensaio 1 de peroxização foi muito baixa, comportamento semelhante aos ensaios de ozonização e ozonização/cloração (5.2.1 e 5.2.2). A concentração de formaldeído das amostras de 1 a 6 foi de 6,5 $\mu g.L^{-1}$ e a concentração média nos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 12,6 $\mu g.L^{-1}$, a formação média foi de 6,1 $\mu g.L^{-1}$. Nas amostras de 6 a 10 a concentração do afluente foi de 7,9 $\mu g.L^{-1}$ e a concentração média nos efluentes que se aplicaram ozônio e peróxido de hidrogênio foi de 9,4 $\mu g.L^{-1}$, a formação média foi de 1,5 $\mu g.L^{-1}$. Não foi detectado acetaldeído, glioxal e metilglioxal nas amostras do ensaio 1, concordando com os estudos de Wert et. al (2007), Nawrocki et al. (1998) e Schetchter e Singer (1995), que obtiveram uma predominância de formação de formaldeído em suas pesquisas.

No ensaio 2, nas amostras de 1 a 6 foi detectado formaldeído, mas não a formação do mesmo. Nas amostras de 7 a 11 a concentração afluente foi de 2,9 $\mu g.L^{-1}$ e as concentrações médias nos efluentes que se aplicaram ozônio/peróxido de hidrogênio foi de 5,4 $\mu g.L^{-1}$, uma formação média de 2,5 $\mu g.L^{-1}$.

Para acetaldeído, as amostras 1, 2 e 3 não apresentaram formação de acetaldeído, apenas as amostras 4, 5 e 6 apresentaram formação, uma média de 8,2 $\mu g.L^{-1}$. Nas amostras de 7 a 11 foram detectados e quantificados concentrações

maiores que as amostras de 1 a 6, a concentração média de formação de acetaldeído foi de 18,2 $\mu g.L^{-1}$. A concentração média afluente foi 57,6 $\mu g.L^{-1}$ e nos efluentes que se aplicaram ozônio e peróxido de hidrogênio a concentração média foi de 75,8 $\mu g.L^{-1}$. Foi detectado nas amostras 4 e 7 a formação de glioxal, 10,4 e 18,7 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente.

Por meio da Figura 5.238 pode ser observado o cromatograma que foi identificado glioxal.

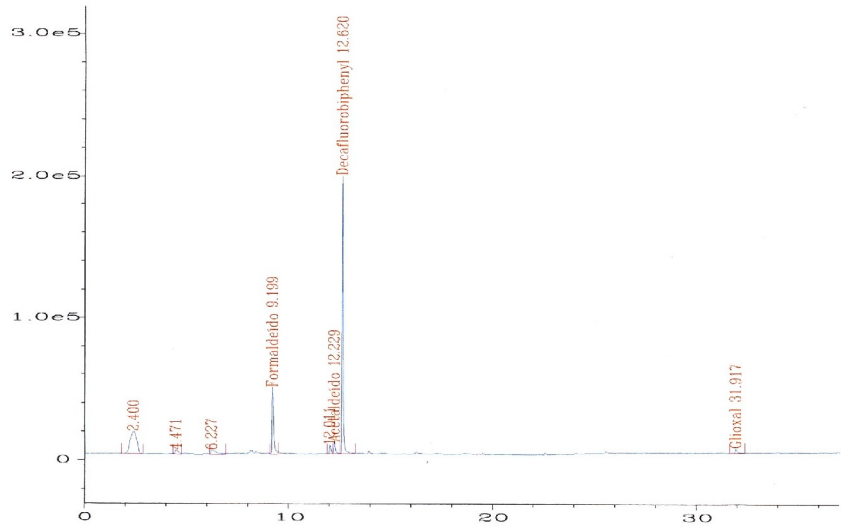


Figura 239: Cromatograma da amostra 7, dosagem média aplicada de 8,89 mg $O_3.L^{-1}$, tempo de contato de 20 minutos e 8,0 mg $H_2O_2.L^{-1}$ e tempo de contato de 20 minutos

No ensaio 3 não foi formado formaldeído, glioxal e metilglioxal. Apenas foi detectado acetaldeído, sendo quee a formação do mesmo ocorreu em quatro das cinco amostras. A concentração afluente foi de 28,4 $\mu g.L^{-1}$, a concentração média dos efluentes que se aplicaram ozônio e peróxido de hidrogênio foi de 39,7 $\mu g.L^{-1}$, formação média de 11,3 $\mu g.L^{-1}$.

Nos ensaios de peroxização não foi possível estabelecer nenhum critério que pudesse ou não influenciar a maior ou menor formação, pois a formação da maioria dos aldeídos foi baixa e aleatória.

De acordo com Nawrocki e Kalkowska (1998) há controvérsias quanto a potencialização na formação de aldeídos exercida pela adição do peróxido de hidrogênio ao ozônio, existem linhas de pesquisa que afirmam seu incremento pelo aumento de radicais hidroxila, assim como, linhas de pesquisas que acreditam na oxidação dos aldeídos pelo aumento de radicais hidroxila. Contudo este comportamento não pode ser avaliado separadamente nesta pesquisa.

Para os ensaios 1, 2 e 3 a concentração média de formação de formaldeído observadas para os tempos de contato aplicados estiveram abaixo do valor máximo permitido para os padrões japoneses e poloneses (80,0 e 50,0 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente), assim como verificado para os ensaios de ozonização e ozonização/cloração (5.2.1 e 5.2.2).

5.2.3.10 Inativação de *E. coli*

Os resultados de inativação de *E. coli* utilizando como desinfetantes ozônio/peróxido de hidrogênio no efluente do tratamento de esgoto da cidade de Bennekom estão apresentados na Tabela A.62. Nos ensaios 1, 2 e 3, foram quantificadas as concentrações finais de *E. coli* (UFC/100 mL)

No ensaio 1, foi consumido 1,58 mg $O_3.L^{-1}$ e 1,70 mg $H_2O_2.L^{-1}$. Nestas dosagens consumidas obteve-se inativação de 2,98 a 3,33 log para *E. coli*. A inativação média foi de 3,13 log.

No ensaio 2 foram consumidos 5,41 mg $O_3.L^{-1}$ e 5,45 mg $H_2O_2.L^{-1}$. Nestas dosagens consumidas obteve-se inativação de 3,60 a 4,04 log para *E. coli.* A inativação média foi de 3,88 log. No ensaio 3, obteve-se inativação de 3,33 a 3,56 log para *E. coli,* para dosagem média aplicada de 5,10 mg $O_3.L^{-1}$ e 1,66 mg $H_2O_2.L^{-1}$, com estas dosagens aplicadas houve inativação média de 3,42 log.

Existem pesquisadores que acreditam na desinfecção direta do ozônio (HOIGNÉ e BADER, 1975; HOIGNÉ e BADER, 1978) e outros acreditam que a reação com radical hidroxila é mais importante na desinfecção (DAHI, 1976; BANCROFT et al., 1974).

Não é possível avaliar qual o poder de inativação peróxido de hidrogênio quando ele foi aplicado junto com o ozônio, pois quando aplicado apenas ozônio a inativação foi menor, porém a dosagem consumida de ozônio também foi menor. Entretanto, o aumento da dosagem consumida não seria capaz de alcançar os valores de inativação detectados nos ensaios de peroxização, isso indica um que o peróxido de hidrogênio foi um fator favorável a maior inativação obtida.

6. CONCLUSÕES

6.1 Conclusões dos dados obtidos no Brasil

6.1.1 Ozonização

- ✓ Para os ensaios de ozonização foi observado um aumento nos valores de pH dos efluentes ozonizados. Este comportamento pode ser explicado devido a um *stripping* de CO_2, o que ocasiona diminuição na concentração de H^+.

- ✓ Por meio do teste estatístico realizado verificou-se que para faixa de concentração de ozônio aplicada não há influência significativa na remoção da DQO, enquanto a variável tempo de contato é significativa.

- ✓ A remoção de DQO observada pode ter sido ocasionada pelo *stripping* de alguns gases orgânicos (por exemplo: metano) e não totalmente pela oxidação da matéria orgânica devido à ozonização.

- ✓ Para a formação de formaldeído nos ensaios que se aplicou 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5; 10 e 15 minutos foi verificado um incremento na formação com o aumento do tempo de contato.

- ✓ Para a dosagem aplicada de 8,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5; 10 e 15 minutos, a concentração média de formação de formaldeído aumentou até o tempo de contato de 10 minutos, entretanto ocorreu uma diminuição na formação para o tempo de contato de 15 minutos.

- ✓ Para a dosagem aplicada de 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato de 5; 10 e 15 minutos, a formação média de formaldeído foi inferior ao ensaio que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$, comportamento que pode ser explicado devido a máxima formação de formaldeído já ter ocorrido para a dosagem e tempo de contato aplicados, uma possível oxidação do formaldeído exercida pelo ozônio, a formação de outro subproduto a partir do formaldeído, ou mesmo a consumo total dos precursores da formação.

- ✓ A formação de acetaldeído seguiu o mesmo comportamento de formação de formaldeído, porém com uma concentração média maior de formação.

- ✓ Formaldeído e acetaldeído tem incremento na formação com o aumento da dosagem de ozônio e tempo de contato aplicados, até que se atinja sua saturação de formação.

- ✓ Muito pouco, ou mesmo a não detecção na formação de glioxal e metilglioxal foi observado nos ensaios de ozonização.

- ✓ Glioxal e metilglioxal demonstraram a não dependência na sua formação em relação ao tempo de contato e dosagem de ozônio consumida.

- ✓ De acordo com o teste estatístico realizado é possível afirmar que o tempo de contato não foi significativo para a inativação de coliformes totais. Entretanto, foi significativo para *E. coli* (5%). A concentração de ozônio aplicada se apresentou significativa (0,1%), para inativação de coliformes totais e *E. coli*.

- ✓ De acordo com Resolução CONAMA 357/05, os ensaios que se aplicou 8,0 $mg.O_3.L^{-1}$ praticamente todas as amostras atenderam os padrões de lançamento para corpo receptor classe 2, tanto para coliformes totais quanto para *E. coli e* para os ensaios que se aplicou 10,0 $mg.O_3.L^{-1}$ todas as amostras atenderam os padrões de lançamento tanto para coliformes totais quanto para *E. coli*.

- ✓ Foi detectado toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphinia similis* para os ensaios apenas para os ensaios que se aplicou 8,0 mg $O_3.L^{-1}$.

- ✓ Para o organismo-teste: *Danio rerio* a dosagem de 5,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempo de contato de 5 minutos apresentou amostras com toxicidade aguda. Para as dosagens de 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ os resultados mostraram não haver toxicidade aguda.

6.1.2 Cloração

- ✓ Os testes estatísticos realizados para avaliar a significância da variação do cloro consumido em função tempo de contato e da dosagem de cloro aplicada nas amostras indicam que a variável tempo de contato não é significativa, enquanto que a concentração de cloro aplicada é muito significativa (0,1%).

- ✓ Nos ensaios que se aplicou 10,0; 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos, foram observadas remoções de DQO apenas para os ensaios que se aplicou 10,0 mg $Cl_2.L^{-1}$. Para os ensaios que se aplicou 20,0 e 30,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ houve um aumento de DQO, comportamento que se explica como uma possível modificação da matriz orgânica pela ação do cloro, deixando-a mais biodegradável e mais acessível à oxidação nos testes de DQO.

- ✓ Para as dosagens de 10,0; 20,0 e 30,0 $Cl_2.L^{-1}$ foi verificado um aumento médio de ST de 14,8; 21,6 e 25,5%, respectivamente, para os efluentes clorados-desclorados.

- ✓ Houve muito pouca formação de trialometanos ou mesmo nenhuma formação, valores estes abaixo do padrão de potabilidade (100,0 $\mu g.L^{-1}$), segundo a portaria MS 518/2004.

- ✓ A concentração de trialometanos formada não apresenta correlação direta com a dosagem de cloro aplicado. O fato dos efluentes serem não-nitrificados, apresentando quantidades médias de 30,76 mg $N\text{-}NH_3.L^{-1}$, sendo este o composto de reação preferencial com o cloro, parece inibir a formação de THMs.

- ✓ De acordo com Resolução CONAMA 357/95 para concentração aplicada de 10,0 mg.Cl_2.L^{-1} apenas 3 amostras atenderam os valores aceitáveis para lançamento em corpo receptor classe 2 imposto pela norma para coliformes totais e *E. coli*.

- ✓ Para os ensaios que se aplicou 20,0 mg.Cl_2.L^{-1} praticamente todas as amostras atenderam os padrões de lançamento para corpo receptor classe 2, de acordo com Conama 357/95, tanto para coliformes totais quanto para *E. coli* e, para os ensaios que se aplicou 30,0 mg.Cl_2.L^{-1} todas as amostras atenderam os padrões de lançamento tanto para coliformes totais quanto para *E. coli*.

- ✓ De acordo com os testes estatísticos foi verificado que o tempo de contato não foi significativo para a inativação de coliformes totais e *E. coli* e para a dosagem de cloro aplicada foi verificado diferença significativa nas análises estatísticas (0,1%).

- ✓ Para o organismo-teste: *Daphnia similis,* o efluente do reator $UASB_{mod}$ e as amostras cloradas com 10,0; 20,0 e 30,0 mg Cl_2.L^{-1} apresentaram toxicidade aguda.

6.1.3 Ozonização/Cloração

- ✓ As análises estatísticas realizadas para se avaliar a significância da variação do ozônio consumido em função tempo de contato e da dosagem de ozônio aplicada de forma combinada para os ensaios de ozonização/cloração indica que a

concentração de ozônio consumido varia de maneira significativa de acordo com o aumento do tempo de contato e da concentração de ozônio aplicada (0,1%). O mesmo comportamento foi observado para o cloro consumido.

- ✓ Foi observado o mesmo comportamento para os ensaios de ozonização/cloração com relação aos valores de pH comparado com a aplicação dos desinfectantes separadamente.

- ✓ O mesmo comportamento para a remoção de DQO foi observado nos ensaios de ozonização/cloro, quando analisados os desinfetantes separadamente.

- ✓ O aumento na concentração ST, analisando apenas a ação do cloro seguiu o mesmo comportamento observado nos ensaios de cloração.

- ✓ A formação de subprodutos para os ensaios 1, 2 e 3 apresentou concentração média de formação de formaldeído iguais a 195,7, 253,6 e 172,3 $\mu g.L^{-1}$.

- ✓ A concentração de formaldeído tendeu a aumento, com o aumento da dosagem aplicada e tempo de contato do ensaio 1 para o 2, entretanto como detectado nos ensaios de ozonização e confirmado nos ensaios de ozonização/cloração houve um decréscimo na concentração de formaldeído do ensaio 2 para o 3.

- ✓ A aplicação de cloro para os ensaios de ozonização/cloração provocou uma diminuição na concentração de formaldeído.

- ✓ O mesmo comportamento observado na formação de formaldeído foi observado para o acetaldeído, porém com uma concentração média de formação superior para o ensaio 1 e 2.

- ✓ Houve uma maior formação de glioxal e metilglioxal para os ensaios 1, 2 e 3 comparado aos ensaios de ozonização.

- ✓ Para os ensaios 1, 2 e 3 foi detectado uma concentração maior de clorofórmio, assim como também foram detectados traços de bromodiclorometano e dibromoclorometano.

- ✓ A concentração observada de trialometanos são no mínimo preocupantes, pois os graves efeitos negativos destes compostos no meio aquático não podem ser desconsiderados.

- ✓ De acordo com Resolução CONAMA 357/95 apenas uma amostra do ensaio 1 não atendeu o valor imposto nela norma para lançamento em corpo receptor classe 2 para coliformes totais, para todas as outras amostras e ensaios foram atingidos os valores impostos pela norma, tanto para coliformes totais, assim como para *E. coli*.

- ✓ Os bioensaios de toxidade aguda apresentaram: indícios de toxicidade ou toxicidade aguda para o organismo-teste: *Daphnia similis,* para os efluentes ozonizados/clorados-desclorados para os ensaios 1 e 3.

6.2 Conclusões dos dados obtidos na Holanda

6.2.1 Ozonização

- ✓ As eficiências médias de transferência foram inferiores às observadas nos ensaios realizadas no Brasil, porém, havia diferença significativa na altura da coluna utilizada, fato que melhora a transferência do ozônio para a massa líquida.

- ✓ Não foram observados alterações nos valores de pH para os efluentes ozonizados, devido à menor vazão de ozônio aplicada e também ao menor tamanho da coluna, fatores que ajudaram ao *stripping* de CO_2 e como conseqüência um aumento nos valores de pH.

- ✓ Nos ensaios que se aplicou dosagem média de 2,66 e 7,85 mg $O_3.L^{-1}$ as remoções médias de DQO foram 6,5 e 9,3%, respectivamente.

- ✓ Para os ensaios de ozonização não foi detectado formaldeído, glioxal e metilglioxal e, concentração muito baixa de acetaldeído para os ensaios que se aplicou dosagem média de 2,66 e 7,85 mg $O_3.L^{-1}$, 5,5 e 21,2 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente.

- ✓ Os valores de inativação dos ensaios de ozonização foram menores que os apresentados nos ensaios realizados no Brasil, explicado pela menor transferência de ozônio obtida nestes ensaios.

6.2.2 Ozonização/Cloração

- ✓ As eficiências médias de transferência de ozônio seguiram o mesmo comportamento observado para os ensaios de ozonização.

- ✓ Os valores de pH não tiveram sofreram alterações para os efluentes ozonizados/clorados-desclorados.

- ✓ Nos ensaios que se aplicou dosagem média de 5,81 e 9,34 mg $O_3.L^{-1}$ seguido de 10,0 e 20,0 mg $Cl_2.L^{-1}$ as remoções médias de DQO foram 3,6 e 6,3%, respectivamente.

- ✓ Para os ensaios de ozonização/cloração não foi detectado, glioxal e metilglioxal e, concentração muito baixa de acetaldeído e formaldeído.

- ✓ Todas as amostras mantiveram a concentração de *E. coli* abaixo de 10^3/100 mL, valor que atingi o padrão de reuso de esgoto da OMS (1989).

6.2.2 Peroxização

- ✓ Os valores de pH não tiveram sofreram alterações para os efluentes peroxizados.

- ✓ Nos ensaios 1, 2 e 3 observou-se remoções médias de DQO de 12,5, 9,7 e 12,9%, respectivamente. Estes valores foram superiores aos ensaios de ozonização e ozonização/cloração, visto que para estes ensaios foi detectado

uma melhor eficiência na transferência de ozônio somando-se a ação oxidante do peróxido de hidrogênio na oxidação da matéria orgânica.

- ✓ Nos ensaios de peroxização não foi possível estabelecer nenhum critério que pudesse ou não influenciar a maior ou menor formação de aldeídos, pois a formação da maioria dos aldeídos foi baixa e aleatória.

- ✓ Apenas uma amostra do ensaio 1 não esteve abaixo de 10^3/100 mL para *E. coli e* todas as amostras dos ensaios 2 e 3 mantiveram a concentração de *E. coli* abaixo de 10^3/100 mL atendendo o padrão de reuso de esgoto da OMS (1989).

7. RECOMENDAÇÕES

- ✓ Estudar diferentes vazões, tempos de contato e dosagens de ozônio para se avaliar o aumento de pH nos efluente ozonizados.

- ✓ Capturar e analisar o *off-gas* para avaliar a sua composição e, então, verificar a influência do *stripping* na remoção de DQO, associado as vazões de ozônio aplicado.

- ✓ Aplicar tempos de contato maiores na ozonização para se avaliar o comportamento na formação, possível oxidação, transformação ou limitação da formação de aldeídos, assim como, dosagens maiores de ozônio.

- ✓ Avaliar a formação de aldeídos, inativação de microrganismos e oxidação da matéria orgânica pela ozonização, ozonização/cloração e peroxização para efluentes provenientes de outros tipos de tratamento secundário.

- ✓ Estudar com maior profundidade a possível toxicidade de efluentes desinfetados por ozônio, cloro, ozônio/cloro e ozônio/peróxido de hidrogênio.

- ✓ Avaliar a formação de trialometanos, inativação de microrganismos e redução e/ou aumento da matéria orgânica pela cloração para efluentes provenientes de outros tipos de tratamento secundário.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

ABNT (2004). NBR 12713 - Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia spp* (Cladocera, Crustácea), Rio de Janeiro, ABNT. 12p.

_____ (2004a). ABNT/CEET 00:001.044-001- Ecotoxicologia aquática Toxicidade aguda – Método de ensaio com peixes. Rio de Janeiro, ABNT. 25p.

American Public Health Association - APHA (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, New York, 20. ed.

ANDRADE NETO, C. O.; GALVÃO, M., V.; MELO, H. N. S.; MELO, J. L. S.; RODRIGUES, J. I. C. (2002). Desinfecção de efluente de filtros anaeróbios: Pesquisa em "Jar-Test" e em tanque de contato. XVIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental, Cancun, México, Anais Eletrônicos.

ASSIRATI, D. M. (2005). Desinfecção de efluentes de ETE com ozônio para uso agrícola. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Saneamento e Ambiente, Unicamp.

BAKER, M. N. (1930). The quest for pure water. Journal American Water Works Association.

* De acordo com:
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BANCROFT, K.; CHROSTOWSKI, P.; WRIGHT R. L.; SUFFET I. H. (1984). Ozonation and oxidation competition values Relationship to disinfection and microorganisms regrowth, Water Research, v. 18, n. 4, p. 473-478.

BARRIONUEVO, W. R. (1995). Resposta cardio-respiratória do paulistinha (teleósteo, ciprinidae) a diferentes temperaturas e tensões de oxigênio, durante diferentes fases de desenvolvimento. São Carlos, 98 p. Tese (doutorado) - Universidade Federal de São Carlos.

BELLAR, T. A.; LICHTENBERG, J. J; KRONER, R. C. (1974). The Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Water. Journal of American Water Works Association. 66(12): 703-706.

BITTON, G. (1994). Wastewater Microbiology. John Wiley & Sons, New York.

BORZELLECA, J. F.; CARCHMAN, R. A. (1982). Effects of Selected Organic Drinking Water Contaminants on Male Reproduction. Research Triangle Park, NC, USEPA, EPA 600/1-82-009, NTIS PB82-259847, Contract No. R804290.

BROCK, K. H.; DOERR, C. L.; MOORE, M. M. (1998). Mutagenicity of three disinfection byproducts:di-and trichloacetic acid chloral hydrate in mouse lynploma cells. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, v. 413, n. 3, p. 265-276.

BULL, R. J.; KOPFLER, F. C. (1996). Health Effects of Disinfectants and Disinfection By-products, American Water Works Associa. Environ. Chem. 55 (1-4) 73.

CAMEL, V.; BERMOND, A. (1998). The use of ozone and associated oxidation processes in drinking water treatment. Water Research, 32 (11): 3208-3222.

CAN, Z. S.; GUROL, M. (2003). Formaldehyde formation during ozonation of drinking water, Ozone Sci. and Engin, v. 25, p. 41-51.

CHIANG, P. C.; KO, Y. W.; LIANG, C. H.; CHANG, E. E. (1999). Modeling an ozone bubble column for predicting its disinfection efficiency and control of DBP formation. Chemosphere, v. 39, n. 1, p. 55-70.

COREY, G. (1996). Epidemiological research on the adverse effects associated with the by products of chlorination of drink water. Water Quality in Latin America: balancing the microbial and chemical risks in drinking water disinfection. Washington, D.C., ILSI Press. Edição de Craun, G.F., p.105-22.

COSTA, J.B. (2007). Avaliação Ecotoxicológica de Efluente de um Tratamento Secundário de Esgoto Sanitário Após Desinfecção com Ácido Peracético, Cloro, Ozônio e Radiação Ultravioleta.178p. São Carlos. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

COSTA, H. S. (2003). Estudo do comportamento do processo de ozonização como pós - tratamento de efluentes de sistema de tratamento anaeróbio de águas residuárias domiciliares. 295p. São Carlos. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CRAFTSTORM, R. C.; FORNACE, A.J. JR.; AUTRUP, H.; LECHNER, J. F.; HARRIS C. C. (1983). Formaldehyde damage to DNA and inhibition of DNA repair in human bronchial cells Science*,* v. 220, n. 4593, p. 216-218.

DAHI, E. (1976). Physicochemical aspects of disinfection of water by means of ultrasound and ozone, Water Research, v. 10, n. 8, p. 677-684.

DANIEL, L. A. (1993). Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos. Tese (Doutorado) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DANIEL, L. A. (Coordenador), (2001). Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. Rio de Janeiro, ABES, 155p. Projeto PROSAB.

DOE (1998). Washington State Department of Ecology. Criteria for Sewage Works Design. In: Water Quality Program, USA.

DUGUET, J. P.; BRODARD, E.; DUSSERT, B.; MALLEVIALLE, J. (1985). Improvement in the effectiveness of ozonation of drinking water through the use of hydrogen peroxide. Ozone: Sci. Eng. v 7 (3) p. 241–258.

EL-REHAILI, A. M. (1995). Response of BOD, COD and TOC of secondary effluents to chlorination, Water Research, v. 29, n. 6, p.1571-1577.

ESGOTO É VIDA (2000). Incorporação da coleta, tratamento e disposição do esgoto sanitário na agenda de prioridades dos municípios brasileiros. Brasília, Abr. http://www.esgotoevida.com.br (16 junho).

EUROPE UNION - (EU) (1998). Council Directive 98/83/EC; Quality of Water Intended for Human Consumption.

EVANS, F. (1972). Ozone in Water and Wastewater Treatment. Ann Arbor Science, Michigan.

FACILE, N.; BARBEAU, B., PRÉVOST, M., E KOUDJONOU B. (1980). Evaluating bacterial aerobic spores as a surrogate for Giardia and Cryptosporidium inactivation by ozone. Water Research, v.34, n 12, p. 3238-3246.

FINCH, G. R.; SMITH, D. W. (1989). Ozone dose-response of *Echerichia coli* in activated sludge effluent. Water Research. v 23 (8), p. 1017-1025.

FOSTER, D. M.; EMERSON, M. A.; BUCK, C. E.; WALSH, D. S.; SPROUL, O.J. (1980) Ozone Inactivation of Cell- and Fecal-Associated Viruses and Bacteria. Journal of the Water Pollution Control Federation. v 52, n 8, p 2174-2184.

GALLARD, H.; GUNTEN, U. V. (2002). Chlorination of natural organic matter: kinetics of chlorination and of THM formation. Water Research, v. 36, n. 1, p. 65-74.

GHADIRIAN P.; MAISONNEUVE, P.; PERRET, C.; LACROIX, A.; BOYLE, P. (1998). Epidemiology of sociodemographic characteristics, lifestyle, medical history, and colon cancer: A case-control study among French Canadians in Montreal. Cancer Detect Prev, v. 22 (5), p. 396–404.

GIBBONS, J.; LAHA, S. (1999). Water purification systems: a comparative analysis based on the occurrence of disinfection by-products, Environ. Pollution, v 106 (3), p. 425–428.

GLAZE, W. H.; KANG, J. W. (1988). Advanced Oxidation Processes for Treating Groundwater Contaminated with TCE and PCE: Laboratory Studies. Journal of American Water Works Association, v. 88, n. 5, p. 57-63.

GLAZE, W. H.; KOGA, M.; CANCILLA, D.; WANG, K.; MCGUIRE, M. J.; LIANG, S.; DAVIS, M. K.; TATE, C. H.; AIETA, E. M. (1989). Evaluation of Ozonation By-Products from Two California Surface Waters, Journal - American Water Works Association, v 81, n. 8, p 66-73.

GONÇALVES, R. F. (Coordenador), (2003). Desinfecção de Esgotos Sanitários, Rio de Janeiro, ABES, 438p. , Projeto PROSAB.

GOTTSCHALK, C.; LIBRA, J. A.; SAUPE, A. (2000). Ozonation of Water and Waste Water. Wiley-VCH.

GULATI, D. K.; HOPE, E.; BARNES, L. H.; RUSSEL, S.; POONASHA, K. B. (1989). Bromoform reproductive and fertility assessment in Swiss CD-1 Mice when administered by Gavage. Research Triangle Park, NC, National Institute for Environmental Health Sciences, NTIS PB89-169254.

HAMILTON, M. A.; RUSSO, R. C. E THURSTON, R. V. (1977). Trimmed Spearman-Karber Method for Estimating Median Lethal Concentrations in Toxicity Bioassays. Environmental Science & Technology, v. 11, n 7, p. 714-19.

HAUTMAN, D. P.; MUNCH, D. J. (1997). Development of U.S. EPA Method 551.1, J. Chrom. Sci. v 35 (5), p. 221–231.

HERRERO-JIMENEZ, P.; THILLY, G.; SOUTHAM, P.J.; TOMITA-MITCHELL, A.; MORGENTHALER, S.; FURTH, E. E.; THILLY, W. G. (1998). Mutation, cell kinetics, and subpopulation at risk for colon cancer in the United States. Mutat Res, v. 400, n. 1, p. 553–578.

HILDESHEIM, M. E.; CANTOR, K. P.; LYNCH, C.F.; DOSEMECI, M.; LUBIN, J.; ALAVANJA, M.; CRAUN, G. (1998). Drinking water source and chlorination byproducts. II. Risk of colon and rectal cancers. Epidemiology. v 9 (1), p. 29–35.

HOFFMAN, L.; PLAYLE, R. C. (1997). Wildlife toxicity testing. IN: HOFFMAN, D.J.; RATTNER, B.A.; BURTON Jr, G. A., CAIRNS Jr., J.; Handbook of ecotoxicology. Boca Raton, Lewis Publishers. Cap 4, p. 47-69.

HOIGNÉ, J.; BADER, H. (1975). Ozonation of Water: Role of Hydroxyl Radicals as Oxidizing Intermediates. Science, v. 190, n. 4216, p. 782.

HOIGNÉ, J.; BADER, H. (1978). Ozone Initiated Oxidations of Solutes in Wastewater: A Reaction Kinetic Approach. Progress Water Technol., v. 10, n. 516, p. 657.

HOUSTON, A. C. (1913). Studies in Water Supply. Macmillan & Co., Ltd. London.

HUGHES, S. (1992). Breakthrough in the removal of organics. Water Waste Treat., v. 35, n. 7, p. 26–27.

HUNT, N. K.; MARIÑAS, B. J. (1999). Inactivation of *Escherichia coli* with ozone chemical and inactivation kinetics. Water Research, v. 33, n. 11, p. 2633-2641.

International Programme on Chemical Safety - IPCS (2002). Formaldehyde. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (Concise International Chemical Assessment Document 40).

The International Agency for Research on Cancer – IARC (1999). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some chemicals that cause Tumours of the Kidney or Urinary Bladder in Rodents and Some Other Substances, v. 73, WHO.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (1990). Manual de testes de avaliação da ecotoxicologia de agentes químicos.

JACANGELO, J. G.; PATANIA, N. L.; REAGAN, K.M.; AIETA, E. M.; KRASNER, S. W.; MCGUIRE, M. J. (1989). Ozonation: Assessing Its Role in the Formation and Control of Disinfection By-products. Journal AWWA, v.81, n. 8, p. 74-84.

JACANGELO, J. G.; TRUSSELL, R. R. (2002). International report: water and wastewater disinfection - trends, issues and practices, Water Science and Technology: Water Supply, v. 2, n. 3, p. 147-157.

KARIMI, A. A.; REDMAN, J. A.; GLAZE, W. H.; STOLARIK, G. F. (1997). Evaluation an AOP for TCE and PCE Removal. J. AWWA, v. 89, n. 8, p. 41-53.

KHORDAGUI, H. K. & MANCY, H. K., (1983). Formation of Trihalomethanes During Disinfection of Drinking Water. Water Quality Bulletin, v 8, p. 37-43.

KING, W. D.; MARRETT, L. D.; WOOLCOTT, C. G. (2000). Case-control study of colon and rectal cancers and chlorination by-products in treated water. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, v 9, p. 813–818.

KINMAM, R. N. (1972). Ozone in Water Disinfection. Ozone in Water and Wastewater Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.

LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D.R. (1991). Ozone in Water Treatment: Aplication and Engineering. Lewis Publishers, 569p.

LAROCQUE, R. (1999). Ozone applications in Canada – a state of art review. Ozone Sci. Eng., v. 21, n. 2, p. 119-126.

LAUBUSCH, E. J. (1971). Chlorination and other disinfection processes. In: *Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water Supplies* (American Water Works Assocciation). New York: Mc Graw-Hill Book Company, p. 158-224.

LAZAROVA, V.; JANEX, M.; FIKSDAL, L.; OBERG, C.; BARCINA, L.; POMMEPUY, M. (1998). Advanced wastewater disinfection technologies: short and long term efficiency. Water Science & Technology, v. 38, n.12, p.109-117.

LAZAROVA, V.; SAVOYE, P.; JANEX, M.L.; BLATCHLEY III, E.R. e POMMEPUY, M. (1999) Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives, Water Science and Technology, v. 40, n 4-5, p. 203-213.

LEAL, J. L. (1909). Sterilization plant of the Jersey City Water Supply. J. AWWA 100.

LÉO, L. F. R.; PIVELLI, R. P.; FABRETI, A. A.; MACEDO, M. F. (2005). Avaliação da formação de trialometanos na desinfecção de esgotos brutos, anaeróbios, facultativos e pós-tratados com hipoclorito de sódio, XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campo Grande 2005, Anais Eletrônicos.

LÉO, L. F. R.; PIVELLI, R. P.; FABRETI, A. A.; MACEDO, M. F. (2006). Formação de trialometanos e ácidos haloacéticos na cloração de efluentes de lagoas de estabilização, XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Punta del Este, Uruguay, Anais Eletrônicos.

LIBERTI, L. E.; NOTARNICOLA, M. (1999). Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. Water Science Technology, v. 40, n. 4-5, p. 235-245.

LIPPMAN, M. (2000). Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects, ACGIH, 2. ed.

MATSUMOTO, N.; WATANABE, K. (1999). Footprints and future steps of ozone applications in Japan. Ozone Science and Engineering. V 21 (2), p. 127-138.

METCALF & EDDY (2002). Wastewater engineering treatment and reuse. New York: McGraw-Hill, 4. ed., 1819p.

MEYER, S. T. (1994) O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trialometanos e os riscos potenciais à saúde pública. Cad. Saúde Pública v.10, n.1.

MILTNER, R. J.; SHUKAIRY, H. M.; SUMMERS, R. S. (1992). Disinfection by-product formation and control by ozonation e biotreatment. American WaterWorks Association, p. 53-55.

MONARCA, S.; FERETTI, D.; COLLIVIGNARELLI , C.; GUZZELLA , L.; ZERBINI , I.; BERTANZA , Z. E PEDRAZZANI, R. (2000). The influence of different disinfectants on mutagenicity and toxicity of urban wastewater. Water Research. v. 34, n. 17, p. 4261- 4269.

MUTTAMARA, S.; SALES, C. I.; GAZALI, Z. (1995). Formation of trihalomethane from chemical disinfectants and humic substances in drinking water. Water Suppy, v 13 (2), p. 105-117.

Metropolitan Water District of Southern California and James M. Montgomery Consulting Engineers – MWDSC & JMM (1992). Pilot Scale Evaluation of Ozone and Peroxone AWWARF and AWWA, Denver, CO.

NARKIS, N.; KOTT, Y. (1992). Comparation between Chlorine Dioxide and Chlorine for Use as a Desinfectant of Wastewater Effluents. Water Science and Technology WSTED4, v. 26, n. 7-8, p. 1483-1492.

NAROTSKY, M. G.; HAMBY, B. T.; MITCHELL, D. S.; KAVLOCK, R. J. (1992). Full-litter Resorptions Caused by Low-molecular weight Halocarbons in F-344 Rats. The Teratology Society Thirty-Second Annual Meeting, June 27–July, the Nuerobehavioural Teratology Society Sixteenth Annual Meeting, June 27–30, 1992.

NAWROCKI J.; BILOZOR, S. (1997). Brominated oxidation by-products in drinking water treatment, Journal Water Supply Res. & Technology, Aqua, v 46 (6), p. 304.

NAWROCKI J.; KALKOWSKA, I (1998) Effect of pH and hydrogen peroxide on aldehyde formation in ozonation process. Journal Water Supply Res. & Technology, Aqua, v 47, p. 50-56.

NAWROCKI J.; SWIETLIK, J.; RACZYK-STANISLAWIAK, U.; DABROWSKA, A.; BILOZOR, S.; ILECKI, W. (2003). Influence of Ozonation Conditions on Aldehyde and Carboxylic Acid Formation Ozone: Science and Engineering, v. 25, n. 1, p. 53-62.

NIKOLAOU, A. D.; GOLFINOPOULOS, S. K.; LEKKAS, T. D.; KOSTOPOULOU, M. N. (2004). DBP levels in chlorinated drinking water: Effect of humic substances, Environ Monit Assess. v 93 (1-3), p. 301–319.

NUVOLARI, A. (2003). Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda./Fatec, 519p.

OLIVIERI, R.F.; RIBEIRO, S. (1993). Ozônio na desinfecção em sistemas de tratamento de água. Desinfecção de águas de abastecimento e residuárias em países em desenvolvimento. Belo Horizonte, Minas Gerais, Anais: ABES, p. 263-273.

Organização Mundial da Saúde – OMS (1989). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.Genebra.

PAILLARD, H.; BRUNET, R.; DORE, M. (1988). Optimal conditions for applying an ozone/hydrogen peroxide oxidizing system. Water Research, v. 22, n. 1, p. 91–103.

PARASKEVA, P.; GRAHAM, N. J. D. (2002). Ozonation of municipal wastewater effluents. Water Environ. Res. v.74, n. 6, p. 569-581.

PARASKEVA, P.; GRAHAM, N. J. D. (2005). Treatment of a secondary municipal effluent by ozone, UV and microfiltration: microbial reduction and effect on effluent quality. Desalination, v. 186, n. 1-3, p. 47–56

PASSIG, F. H. (2005). Reator anaeróbio híbrido para o tratamento de esgoto sanitário. São Carlos, 155p. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PIANOWSKI, E. H.; JANISSEK, P. R. (2003). Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trialometanos Sanare. Revista Técnica da Sanepar, v. 20, n. 20, p. 6-17.

PIETERSE, M. J. (1988). Potential Health Risk of Trihalomethanes in Drinking Water: A Perspective South African. Journal of Science, v. 84, n 3, p 166-170.

PONTIUS, F. W. (1990). Water Quality and treatment: a handbook of community water supplies. American Water Works Association. MC Graw Hill, 4. ed., New York, 1194p.

RENNECKER, J. L.; MARIÑAS, B. J.; OWENS, J. H. (1999). Inactivation of *Cryptosporidium parvum oocysts* with ozone. Water Research, v. 33, n. 11, p. 2481-2488.

RICE, R. G.; ROSON, C. M.; MILLER, G. W.; HILL, A. G. (1981). Use of ozone in drinking water treatment, J. AMMA, v. 73, n. 1, p. 44–57.

RIPLEY, L.E. ; BOYLE, W.C. ; CONVERSE, J.C. (1986) Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength waste. J. Water Pollut. Control Fed.; v 58, n 5, p. 406.

ROBSON, C. M.; RICE R. G. (1991). Wastewater ozonation in the USA – history and current status – 1989. Ozone Science and Engineering. v.13, n. 1, p. 23-40.

ROOK, J. J. (1974). Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Water. Water Treatment and Examination. v. 23, n. 2, p. 234-243.

ROSSIN, A. C. (1987). Desinfecção. In: *Técnica de Abastecimento de Água (Tratamento de Água)*, v. 2, São Paulo: CETESB/ASCETESB.

ROY, D.; ENGLEBRECHT, R.S.; CHIAN, E.S.K. (1980) Inactivation of Enteroviruses by Ozone. Prog. Water Techn., v 12, p. 819-836.

RUDDICK, J. A.; VILLENEUVE D.C.; CHI, I.; VALLI, V. E. (1983). A teratological assessment of four trihalomethanes in the rat. J. Environ. Sci. Health (Part B): Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes, B18, p. 333.

SALLA, M. R. (2006). Sistema de ozonização em esgoto de reator anaeróbio: Estudo da hidrodinâmica e das respostas oscilantes de DQO. 446 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SAMPAIO, A. O. (1985). Desinfecção de Esgotos Sanitários com Utilização de Radiação Ultravioleta. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SANTOS, C. L. (1987). Trialometanos Resumo Atual. Engenharia Sanitária, v. 26, p. 190-194.

SAVOYE, P.; JANEX M.L.; LAZAROVA, V. (2001). Wastewater disinfection by low-pressure UV and ozone: a design approach based on water quality. Water Science & Technology, v. 43, n. 10, p. 163-171.

SCHECHTER D. S.; SINGER P. C. (1995). Formation of Aldehydes During Ozonation, Ozone Science & Eng., v 17 (1), p. 53-69 .

SCHEUPLEIN, R.J. (1985). Formaldehyde: The Food and Drug Administration's perspective. In: V. Turoski (ed.), Formaldehyde - analytical chemistry and toxicology. American Chemical Society, Washington, D.C. pp. 237-245 (Advances in Chemistry Series 210).

SILVA, L. M.; SANTANA, M. H. P.; BOODTS, J.F.C. (2003). Electrochemistry and green chemical processes: electrochemical ozone production. Química Nova. v. 26, n 6, p 880-888.

SINGER, P. C.; ZILLI, W. B. (1975). Ozonation of Ammonia in Wastewater. Water Research, v. 9, n. 22, p. 127-134.

SIMPMA, J,; MEULEPAS, R.J.W.; PARSHINA, S.N., STAMS, A.J.M., LETTINGA, G. e LENS, P.N.L. (2004) Effect of carbon monoxide, hydrogen and sulfate on termophilic (55°C) hydrogenic carbon monoxide conversion in two anaerobic bioreactor sludges. Appl, Microbiol. Biotechnol., v 64(3), p.421-428.

SOARES, L. V. (2007) Ozonização de Esgoto Sanitário: Estudo da Hidrodinâmica, Transferência de Massa e Inativação de Microrganismos Indicadores. 249 p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SOUZA, J. B. (2000). Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas: comparação técnica de processo alternativo ao cloro empregando radiação ultravioleta e ácido peracético. 130p. São Carlos. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. (1981) Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. New York: Wiley-Interscience, 780 p.

SUNDER, M.; HEMPEL, D. C. (1977). Oxidation of tri and perchloroethen in aqueous solution with ozone and hydrogen peroxide in a tube reactor. Water Research, v. 31, n. 1, p. 33-40.

TARDIFF, R. G. (1979). Health effects of organics: rish e hazard assessment of ingest chloroform. Journal AWWA, v. 69, n. 12, p. 658-661.

TAMURA, H.; IWAKURA, C. (1982). Cathodic H_2 gas production through Pd alloy membrane electrodes. International Journal of Hydrogen Energy, v.7 (11), p.887-882 .

THORELL, B.; BOREN, H.; GRIMVALL, A.; NYSTROEM A. R. (1992). Saevenhed, Water Sci. Technol, v. 25, n. 2, p. 139.

TOMKINS, B.; MCMAHON, J.; CALDWELL, W. (1989). Liquid chromatographic determination of total formaldehyde in drinking water. J. Assoc. Off. Anal. Chem., v. 72, p. 835-839.

TYRRELL, S. A.; RIPPEY, S. R.; WATKINS, W. D. (1995). Inactivation of bacterial and viral indicators in secondary sewage effluents using chlorine and ozone. Water Research, v. 29, n.11, p. 2483-2490.

United States Environmental Protection Agency – USEPA (1986). Municipal Wastewater Disinfection Design Manuals, Cincinnati, Ohio, EPA-625/1-86-021.

_____ (1999a) Chlorine Disinfection – Wastewater Technology Fact Sheet., Washington DC. EPA-832/R-99-062.

_____ (1999b) Guidance Manual – Alternative Disinfections and Oxidants, Washington DC. EPA-815/R-99-014.

_____ (1999c) Ozone Disinfection – Wastewater Technology Fact Sheet., Washington DC. EPA-832/R-99-063.

_____ (2001) Controlling Disinfection By-Products and Microbial Contaminants in Drinking Water, Washington DC.

VAN BREMEM, J. (1984). Water Quality. International Course in Sanitary Engineering. Delft: IHE/International Institute fr Infrastructural, Hydraulic and Engineering. (Mimeo).

VENOSA, A. D. (1972). Ozone as Water and Wastewater Disinfectant: A Literature Review. In: E.L. Evans H. (Ed.), Ozone in Water and Wastewater Treatment, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.

VIGNESWARAN, S.; VISVANATHAN, C. (1995). Water treatment processes – Simple Options. Florida, CRC Press. cap. 8, p. 191-208: Disinfection.

VILLANUEVA, C. M.; KOGERVINAS, M.; GRIMALT, J. O. (2001). Cloración del agua potable em Espanã y cancer de vejiga. Gaceta Sanitaria, Barcelona, p. 48-53.

WANG, S., MA, J.; LIU, B.; JIANG, Y.; ZHANG H. (2008). Degradation characteristics of secondary effluent of domestic wastewater by combined process of ozonation and biofiltration, Journal of Hazardous Materials. v. 150 (1) p. 109-114.

WARD, R. W.; GIFFIN, R.D.; DEGRAEVE, G.M. e STONE, R.A. (1976). Disinfection Efficiency and Residual Toxicity of several Wastewater Disinfectants, EPA-600/2-76-156, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

Water Environment Federation - WEF (1996). Wastewater Disinfection - Manual of Pratice. FD-10. Alexandra, VA: Water Environment Federation, USA.

WEIJIMA, J.; STAMS, A.J.M.; POL, L.W.H. e LETTINGA, G. (2000). Thermophilic sulfate reduction and methanogenesis with methanol in a high rate anaerobic. Biotechnol. Bioeng., v. 67(3), p. 354-363.

WERT, E. C., ROSARIO-ORTIGA, F. L., DRURY, D. D., SNYDERA, S. A. (2007). Formation of oxidation byproducts from ozonation of wastewater. Water Research, v. 41, n.7, p.1481 – 1490.

WHIPPLE, G. C. (1906). Disinfection as a means of water purification. In: Proc. American Water Works Association, p. 266-288.

WHITE, G. C. (1999). Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, 4. ed., A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York.

WICKRAMANAYAKE, G.B; RUBIN, ALAN J; SPROUL, OTIS J. (1984). Inactivation of Naegleria and Giardia Cysts in Water by Ozonation. Journal of the Water Pollution Control Federation. v. 56, n. 8, p. 983-988.

WOJTENKO, I. (2001). Challenges of Combined Sewer Overflow Disinfection by Ultraviolet Light Irradiation. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. v. 31, n. 3, p. 223-239.

WU, J. J.; PARK, S.; HENGEMUEHLE, S. M.; YOKOYAMA, M. T.; PERSON, H. L.; GERRISH, J. B.; MASTEN, S. J. (1999). The Use of Ozone to reduce the Concentration of Malodorous Metabolites in Swine Manure Slurry Journal of Agricultural Engineering Research, v. 72, Issue 4, p. 317-327.

YAMADA, H.; SOMIYA, I. (1989). Determination of Carbonyl Compounds in Ozonated Water by the PFBOA Method, Ozone Sci. Eng. v. 11 (2), p. 127-141.

XU, P., JANEX, M. L.; SAVOYE, P.; COCKX, A.; LAZAROVA, V. (2002). Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design. Water Research. v. 36 (4), p.1043-1055.

ZAGATTO, P. A. (1999). Ecotoxicologia Aquática In: VII Congresso Brasileiro de Liminologia, Florianópolis. Mini-Curso, UFSC, 124p.

ZALL, D. M.; FISHER, M. D.; GARNER, Q. M. (1956). Photometric determination of chlorides in water. Analytical Chemistry, v. 28, n. 11, p. 1665-1678.

APÊNDICE

Tabela A.1: Concentrações de ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e *off-gas* para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	*Off-Gas* ($mg.L^{-1}$)	Ozônio Residual Dissolvido ($mg.L^{-1}$)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)
1	**5,00**	5	1,00	0,02	**3,99**
2	**5,00**		1,25	0,03	**3,73**
3	**5,00**		1,35	0,05	**3,62**
Concentração média e desvios padrão			1,20 ± 0,18	0,03 ± 0,02	**3,78 ± 0,19**
1	**5,00**	10	1,06	0,01	**3,93**
2	**5,00**		1,02	0,01	**3,96**
3	**5,00**		0,96	0,03	**4,00**
Concentração média e desvios padrão			1,01 ± 0,05	0,02 ± 0,01	**3,96 ± 0,04**
1	**5,00**	15	1,12	0,01	**3,86**
2	**5,00**		0,96	0,02	**4,01**
3	**5,00**		1,01	0,03	**3,94**
Concentração média e desvios padrão			1,03 ± 0,08	0,02 ± 0,01	**3,94 ± 0,08**
1	**8,00**	5	2,56	0,01	**5,43**
2	**8,00**		2,43	0,03	**5,54**
3	**8,00**		2,97	0,03	**5,00**
Concentração média e desvios padrão			2,65 ± 0,28	0,02 ± 0,01	**5,32 ± 0,29**
1	**8,00**	10	2,55	0,02	**5,43**
2	**8,00**		2,86	0,03	**5,11**
3	**8,00**		2,91	0,05	**5,04**
Concentração média e desvios padrão			2,77 ± 0,20	0,03 ± 0,02	**5,19 ± 0,21**
1	**8,00**	15	2,15	0,02	**5,83**
2	**8,00**		2,27	0,03	**5,70**
3	**8,00**		2,58	0,03	**5,04**
Concentração média e desvios padrão			2,33 ± 0,22	0,03 ± 0,01	**5,52 ± 0,42**
1	**10,0**	5	2,76	0,04	**7,20**
2	**10,0**		2,93	0,01	**7,00**
3	**10,0**		3,07	0,02	**6,91**
Concentração média e desvios padrão			2,92 ± 0,16	0,02 ± 0,02	**7,04 ± 0,15**
1	**10,0**	10	2,75	0,02	**7,23**
2	**10,0**		2,86	0,03	**7,11**
3	**10,0**		2,91	0,05	**7,04**
Concentração média e desvios padrão			2,84 ± 0,08	0,03 ± 0,02	**7,13 ± 0,10**
1	**10,0**	15	2,15	0,03	**7,82**
2	**10,0**		2,27	0,03	**7,70**
3	**10,0**		2,58	0,04	**7,38**
Concentração média e desvios padrão			2,33 ± 0,22	0,03 ± 0,01	**7,63 ± 0,23**

Tabela A.2: Alcalinidade Total e pH para os ensaios de ozonização

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)		pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)
1	AF	5,00	5		6,34	159
	EF				6,62	153
2	AF	5,00			6,17	159
	EF				6,45	166
3	AF	5,00			6,64	221
	EF				6,98	214
Concentração média e desvios padrão				AF	6,38 ± 0,24	180 ± 36
				EF	6,68 ± 0,27	178 ± 32
1	AF	5,00	10		6,27	156
	EF				7,03	166
2	AF	5,00			6,11	166
	EF				7,06	156
3	AF	5,00			6,48	205
	EF				7,66	208
Concentração média e desvios padrão				AF	6,29 ± 0,19	176 ± 26
				EF	7,25 ± 0,36	177 ± 28
1	AF	5,00	15		6,48	146
	EF				7,66	140
2	AF	5,00			6,44	177
	EF				6,92	166
3	AF	5,00			6,52	187
	EF				7,33	203
Concentração média e desvios padrão				AF	6,39 ± 0,16	170 ± 21
				EF	7,03 ± 0,26	170 ± 32
1	AF	8,00	5		7,40	231
	EF				8,85	234
2	AF	8,00			6,84	203
	EF				7,23	195
3	AF	8,00			7,54	169
	EF				7,55	166
Concentração média e desvios padrão				AF	7,26 ± 0,37	201 ± 26
				EF	7,88 ± 0,86	198 ± 28
1	AF	8,00	10		7,34	218
	EF				7,92	221
2	AF	8,00			6,87	187
	EF				7,58	185
3	AF	8,00			7,18	172
	EF				7,85	166
Concentração média e desvios padrão				AF	7,13 ± 0,24	192 ± 20
				EF	7,78 ± 0,18	192 ± 23
1	AF	8,00	15		7,51	211
	EF				9,05	211
2	AF	8,00			6,87	187
	EF				7,92	174
3	AF	8,00			7,25	172
	EF				8,37	169
Concentração média e desvios padrão				AF	7,21 ± 0,32	190 ± 16
				EF	8,45 ± 0,57	185 ± 19
1	AF	10,0	5		6,77	190
	EF				7,20	172
2	AF	10,0			6,49	185
	EF				6,99	177
3	AF	10,0			6,64	177
	EF				7,05	182
Concentração média e desvios padrão				AF	6,63 ± 0,14	184 ± 7
				EF	7,08 ± 0,11	177 ± 5
1	AF	10,0	10		6,71	179
	EF				7,23	161
2	AF	10,0			6,36	200
	EF				7,00	195
3	AF	10,0			6,65	184
	EF				7,14	172
Concentração média e desvios padrão				AF	6,57 ± 0,19	188 ± 11
				EF	7,12 ± 0,12	176 ± 17

Continua

Continuação da Tabela A.2

Amostra		Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total (mg.$CaCO_3$.L^{-1})
1	AF	10,0	15	6,67	174
	EF			7,15	156
2	AF	10,0		6,49	198
	EF			6,77	200
3	AF	10,0		6,60	190
	EF			6,96	172
Concentração média e desvios padrão			AF	6,59 ± 0,09	187 ± 12
			EF	6,96 ± 0,19	176 ± 22

Tabela A.3: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de ozonização

Amostra		Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido (mg.L^{-1})	DQO (mg.L^{-1})	% de remoção
1	AF	5,00	5	3,84	247	31,6
	EF				169	
2	AF	5,00		4,01	103	25,2
	EF				77	
3	AF	5,00		3,94	133	21,1
	EF				105	
Concentração média e desvios padrão				AF	161 ± 62	26,0 ± 5,3
				EF	117 ± 39	
1	AF	5,00	10	3,93	145	42,8
	EF				83	
2	AF	5,00		3,96	105	40,0
	EF				63	
3	AF	5,00		4,00	132	48,5
	EF				68	
Concentração média e desvios padrão				AF	127 ± 17	43,8 ± 4,3
				EF	71 ± 9	
1	AF	5,00	15	3,99	142	32,4
	EF				96	
2	AF	5,00		3,73	115	52,2
	EF				55	
3	AF	5,00		3,62	136	41,9
	EF				79	
Concentração média e desvios padrão				AF	131 ± 12	42,2 ± 9,9
				EF	77 ± 17	
1	AF	8,00	5	5,43	82	53,7
	EF				38	
2	AF	8,00		5,54	102	50,0
	EF				51	
3	AF	8,00		5,00	96	34,4
	EF				63	
Concentração média e desvios padrão				AF	93 ± 10	46,0 ± 10,2
				EF	51 ± 13	
1	AF	8,00	10	5,43	92	55,4
	EF				41	
2	AF	8,00		5,11	103	36,9
	EF				65	
3	AF	8,00		5,04	97	36,1
	EF				62	
Concentração média e desvios padrão				AF	97 ± 6	42,8 ± 10,2
				EF	56 ± 13	
1	AF	8,00	15	5,83	86	64,0
	EF				31	
2	AF	8,00		5,70	111	54,1
	EF				51	
3	AF	8,00		5,39	105	41,00
	EF				62	
Concentração média e desvios padrão				AF	101 ± 13	53,1 ± 11,5
				EF	48 ± 16	

Continua

Continuação da Tabela A.3

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	DQO ($mg.L^{-1}$)	% de remoção
1	**AF**	**10,0**	5	**7,20**	129	47,3
	EF				68	
2	**AF**	**10,0**		**7,00**	150	21,3
	EF				118	
3	**AF**	**10,0**		**6,91**	117	24,8
	EF				88	
Concentração média e desvios padrão				**AF**	132 ± 17	31,1 ± 14,1
				EF	91 ± 25	
1	**AF**	**10,0**	10	**7,23**	174	48,3
	EF				90	
2	**AF**	**10,0**		**7,11**	136	34,6
	EF				89	
3	**AF**	**10,0**		**7,04**	126	35,7
	EF				81	
Concentração média e desvios padrão				**AF**	145 ± 25	39,5 ± 7,6
				EF	87 ± 5	
	EF	**10,0**	15	**7,82**	126	49,2
	EF				64	
2	**AF**	**10,0**		**7,70**	135	49,6
	EF				68	
3	**AF**	**10,0**		**7,38**	126	49,2
	EF				64	
Concentração média e desvios padrão				**AF**	129 ± 5	49,3 ± 0,2
				EF	65 ± 2	

Tabela A.4: NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico para os ensaios de ozonização

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	NTK ($mg.N.L^{-1}$)	Nitrogênio Amoniacal ($mg.N.L^{-1}$)	Nitrogênio Orgânico ($mg.N.L^{-1}$)
1	**AF**	**5,00**	5	45,10	35,30	9,80
	EF			46,00	35,80	10,20
2	**AF**	**5,00**		51,00	36,60	14,40
	EF			56,20	37,20	19,00
3	**AF**	**5,00**		51,90	44,10	7,80
	EF			51,90	43,80	8,10
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	49,40 ± 3,70	38,70 ± 4,80	10,70 ± 3,40
			EF	51,40 ± 5,10	38,90 ± 4,30	12,40 ± 5,80
1	**AF**	**5,00**	10	42,60	36,20	6,40
	EF			45,10	36,00	9,10
2	**AF**	**5,00**		45,10	38,10	7,00
	EF			50,20	37,50	12,70
3	**AF**	**5,00**		51,10	43,20	7,90
	EF			52,80	44,10	8,70
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	46,30 ± 4,40	39,20 ± 3,60	7,10 ± 0,80
			EF	49,40 ± 3,90	39,20 ± 4,30	10,20 ± 2,20
1	**AF**	**5,00**	15	43,40	35,10	8,30
	EF			44,30	36,80	7,50
2	**AF**	**5,00**		43,40	36,80	6,60
	EF			46,00	38,30	7,70
3	**AF**	**5,00**		57,00	42,80	14,20
	EF			57,90	43,80	14,10
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	48,00 ± 8,00	38,20 ± 4,10	9,70 ± 4,00
			EF	49,40 ± 7,40	39,60 ± 3,70	9,80 ± 3,80

Continua

Continuação da Tabela A.4

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	NTK ($mg.N.L^{-1}$)	Nitrogênio Amoniacal ($mg.N.L^{-1}$)	Nitrogênio Orgânico ($mg.N.L^{-1}$)
1	**AF**	**8,00**	5	59,60	48,30	11,30
	EF			58,50	48,00	10,50
2	**AF**	**8,00**		47,70	38,70	9,00
	EF			45,10	38,80	6,40
3	**AF**	**8,00**		47,70	37,20	10,50
	EF			46,80	36,60	10,20
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	51,60 ± 6,90	41,40 ± 6,00	10,30 ± 1,20
			EF	50,10 ± 7,30	41,10 ± 6,00	9,00 ± 2,30
1	**AF**	**8,00**	10	61,00	48,80	12,20
	EF			60,70	50,50	10,20
2	**AF**	**8,00**		49,40	40,00	9,40
	EF			46,80	39,20	7,20
3	**AF**	**8,00**		49,40	37,20	12,20
	EF			47,70	36,40	11,30
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	53,50 ± 7,20	42,00 ± 6,00	11,30 ± 1,60
			EF	51,70 ± 7,80	42,00 ± 7,50	9,60 ± 2,10
1	**AF**	**8,00**	15	56,30	45,80	10,50
	EF			60,70	50,20	10,50
2	**AF**	**8,00**		41,70	37,00	4,70
	EF			45,10	36,80	8,30
3	**AF**	**8,00**		50,20	38,30	11,90
	EF			48,50	37,70	10,80
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	49,40 ± 7,30	40,40 ± 4,80	9,00 ± 3,80
			EF	51,40 ± 8,20	41,60 ± 7,50	9,90 ± 1,40
1	**AF**	**10,0**	5	51,70	37,20	14,50
	EF			53,90	38,50	15,40
2	**AF**	**10,0**		54,10	45,00	9,10
	EF			59,60	45,20	14,40
3	**AF**	**10,0**		50,20	39,80	10,40
	EF			46,80	38,50	8,30
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	52,00 ± 1,90	40,70 ± 4,00	11,30 ± 2,80
			EF	53,40 ± 6,40	40,70 ± 3,90	12,70 ± 3,80
1	**AF**	**10,0**	10	46,20	37,70	8,50
	EF			48,40	39,10	9,30
2	**AF**	**10,0**		57,40	43,30	14,10
	EF			58,50	43,60	14,90
3	**AF**	**10,0**		54,50	39,80	14,70
	EF			48,50	38,50	10,00
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	52,70 ± 5,80	40,30 ± 2,80	12,40 ± 3,40
			EF	51,80 ± 5,80	40,40 ± 2,80	11,40 ± 3,00
1	**AF**	**10,0**	15	47,30	37,20	10,10
	EF			48,40	40,20	8,20
2	**AF**	**10,0**		51,90	43,00	8,90
	EF			53,00	43,60	9,40
3	**AF**	**10,0**		52,80	40,60	12,20
	EF			49,40	38,50	10,90
Concentrações médias e desvios padrão			**AF**	50,60 ± 2,90	40,30 ± 2,90	10,40 ± 1,70
			EF	50,20 ± 2,40	40,80 ± 2,60	9,50 ± 1,40

Tabela A.5: Nitrito e Nitrato para os ensaios de ozonização

Amostra		Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Nitrito (mg.N.L^{-1})	Nitrato (mg.N.L^{-1})
1	AF	5,00	5	0,0022	0,9420
	EF			0,0013	0,5550
2	AF	5,00		0,0013	0,7750
	EF			0,0018	0,3390
3	AF	5,00		0,0017	0,5470
	EF			0,0017	0,2900
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0017 ± 0,0005	0,7547 ± 0,1983
			EF	0,0017 ± 0,0003	0,3930 ± 0,1382
1	AF	5,00	10	0,0019	0,9420
	EF			0,0015	0,4700
2	AF	5,00		0,0013	0,8200
	EF			0,0016	0,2490
3	AF	5,00		0,0016	0,5710
	EF			0,0017	0,2580
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0016 ± 0,0003	0,7777 ± 0,1891
			EF	0,0016 ± 0,0001	0,3257 ± 0,1251
1	AF	5,00	15	0,0019	0,8850
	EF			0,0020	0,4450
2	AF	5,00		0,0018	0,7920
	EF			0,0023	0,3230
3	AF	5,00		0,0080	0,6000
	EF			0,0027	0,3190
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0039 ± 0,0023	0,7590 ± 0,1453
			EF	0,0036 ± 0,0004	0,3623 ± 0,0716
1	AF	8,00	5	0,0018	0,6080
	EF			0,0020	0,3390
2	AF	8,00		0,0013	0,8890
	EF			0,0016	0,4040
3	AF	8,00		0,0012	0,6514
	EF			0,0015	0,3750
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0014 ± 0,0003	0,7033 ± 0,1608
			EF	0,0017 ± 0,0003	0,3573 ± 0,0407
1	AF	8,00	10	0,0030	0,6040
	EF			0,0028	0,6380
2	AF	8,00		nd	0,8530
	EF			0,0023	0,4040
3	AF	8,00		nd	0,8790
	EF			nd	0,4125
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0030 ± 0,0000	0,7787 ± 0,1518
			EF	0,0026 ± 0,0004	0,3948 ± 0,0236
1	AF	8,00	15	0,0036	0,6810
	EF			0,0062	0,2740
2	AF	8,00		0,0022	0,5430
	EF			0,0025	0,4230
3	AF	8,00		0,0013	0,6130
	EF			0,0015	0,3290
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0024 ± 0,0012	0,6251 ± 0,0727
			EF	0,0034 ± 0,0025	0,3573 ± 0,0761
1	AF	10,0	5	0,0015	1,4809
	EF			0,0011	0,7167
2	AF	10,0		0,0018	0,7470
	EF			0,0019	0,4860
3	AF	10,0		0,0018	0,7630
	EF			0,0016	0,4610
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0017± 0,0002	0,9970 ± 0,4192
			EF	0,0015 ± 0,0004	0,5546 ± 0,1410

nd: não detectado

Continua

Continuação da Tabela A.5

Amostra		Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Nitrito (mg.N.L^{-1})	Nitrato (mg.N.L^{-1})
1	AF	10,0	10	0,0012	1,4008
	EF			0,0018	0,6694
2	AF	10,0		0,0019	0,8490
	EF			0,0023	0,5390
3	AF	10,0		0,0022	0,7750
	EF			0,0017	0,4290
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0018± 0,0005	1,0083 ± 0,3420
			EF	0,0019 ± 0,0003	0,5458 ± 0,1203
1	AF	10,0	15	0,0011	1,4187
	EF			0,0018	0,7206
2	AF	10,0		0,0019	0,7600
	EF			0,0022	0,4000
3	AF	10,0		0,0094	0,6940
	EF			0,0023	0,4330
Concentração média e desvios padrão			AF	0,0041 ± 0,0046	0,9576 ± 0,4007
			EF	0,0021 ± 0,0003	0,5179 ± 0,1763

Tabela A.6: Sulfeto para os ensaios de ozonização

Amostra		Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido (mg.L^{-1})	Sulfeto (mg.L^{-1}.S^{2-})
1	AF	5,00	5	3,84	0,221
	EF				0,074
2	AF	5,00		4,01	0,502
	EF				0,306
3	AF	5,00		3,94	0,086
	EF				0,049
Concentração média e desvios padrão				AF	0,270 ± 0,212
				EF	0,053 ± 0,019
1	AF	5,00	10	3,93	0,124
	EF				0,038
2	AF	5,00		3,96	0,373
	EF				0,029
3	AF	5,00		4,00	0,084
	EF				0,024
Concentração média e desvios padrão				AF	0,194 ± 0,157
				EF	0,030 ± 0,007
1	AF	5,00	15	3,99	0,141
	EF				0,031
2	AF	5,00		3,73	0,22
	EF				0,026
3	AF	5,00		3,62	0,081
	EF				0,019
Concentração média e desvios padrão				AF	0,147 ± 0,070
				EF	0,025 ± 0,006
1	AF	8,00	5	5,43	0,420
	EF				0,025
2	AF	8,00		5,54	0,088
	EF				0,044
3	AF	8,00		5,00	0,100
	EF				0,027
Concentração média e desvios padrão				AF	0,203 ± 0,188
				EF	0,032 ± 0,010

Continua

Continuação da Tabela A.6

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Sulfeto ($mg.L^{-1}.S^{2-}$)
1	AF	8,00	10	5,43	0,334
	EF				0,020
2	AF	8,00		5,11	0,096
	EF				0,013
3	AF	8,00		5,04	0,096
	EF				0,017
Concentração média e desvios padrão				AF	0,175 ± 0,137
				EF	0,017 ± 0,004
1	AF	8,00	15	5,83	0,147
	EF				0,018
2	AF	8,00		5,70	0,055
	EF				0,039
3	AF	8,00		5,39	0,114
	EF				0,024
Concentração média e desvios padrão				AF	0,105 ± 0,047
				EF	0,027 ± 0,011
1	AF	10,0	5	7,20	0,118
	EF				0,028
2	AF	10,0		7,00	0,157
	EF				0,050
3	AF	10,0		6,91	0,102
	EF				0,023
Concentração média e desvios padrão				AF	0,126 ± 0,028
				EF	0,034 ± 0,014
1	AF	10,0	10	7,23	0,279
	EF				0,029
2	AF	10,0		7,11	0,128
	EF				0,038
3	AF	10,0		7,04	0,119
	EF				0,013
Concentração média e desvios padrão				AF	0,175 ± 0,090
				EF	0,027 ± 0,013
1	AF	10,0	15	7,82	0,166
	EF				0,029
2	AF	10,0		7,70	0,077
	EF				0,026
3	AF	10,0		7,38	0,218
	EF				0,027
Concentração média e desvios padrão				AF	0,154 ± 0,071
				EF	0,027 ± 0,002

Tabela A.7: SST, SSF e SSV para os ensaios de ozonização

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	SST ($mg.L^{-1}$)	SSF ($mg.L^{-1}$)	SSV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	**5,00**	5	**3,84**	54,50	20,00	34,50
	EF				34,60	14,00	20,60
2	AF	**5,00**		**4,01**	34,00	4,80	29,20
	EF				18,00	3,20	14,80
3	AF	**5,00**		**3,94**	30,40	9,20	21,20
	EF				24,00	4,80	19,20
Concentração média e desvios padrão				AF	39,60 ± 13,00	11,30 ± 7,80	18,30 ± 6,70
				EF	25,50 ± 8,40	7,30 ± 5,80	18,20 ± 3,00

Continua

Continuação da Tabela A.7

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	SST ($mg.L^{-1}$)	SSF ($mg.L^{-1}$)	SSV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	5,00	10	3,93	36,80	2,00	34,80
	EF				20,70	1,00	19,70
2	AF	5,00		3,96	40,00	8,00	32,00
	EF				25,80	4,80	21,00
3	AF	5,00		4,00	34,40	12,40	22,00
	EF				24,50	10,00	14,50
Concentração média e desvios padrão				AF	37,00 ± 2,80	7,50 ± 5,20	29,60 ± 6,70
				EF	23,70 ± 2,70	5,30 ± 4,50	18,40 ± 3,40
1	AF	5,00	15	3,99	42,80	3,00	39,80
	EF				26,30	2,00	24,30
2	AF	5,00		3,73	38,00	8,00	30,00
	EF				25,80	4,80	21,00
3	AF	5,00		3,62	36,40	13,60	22,80
	EF				22,50	10,30	12,20
Concentração média e desvios padrão				AF	39,10 ± 3,30	8,20 ± 5,30	30,90 ± 8,50
				EF	24,90 ± 2,10	5,70 ± 4,20	19,20 ± 6,30
1	AF	8,00	5	5,43	14,00	4,00	10,00
	EF				8,00	2,00	6,00
2	AF	8,00		5,54	22,00	5,30	16,70
	EF				12,70	3,10	9,60
3	AF	8,00		5,00	33,60	8,40	25,20
	EF				12,00	3,00	9,00
Concentração média e desvios padrão				AF	23,20 ± 9,90	5,90 ± 2,30	17,30 ± 7,60
				EF	10,90 ± 2,50	2,70 ± 0,60	8,20 ± 1,90
1	AF	8,00	10	5,43	28,00	7,00	21,00
	EF				9,00	3,00	6,00
2	AF	8,00		5,11	29,70	7,20	22,50
	EF				13,80	3,30	10,50
3	AF	8,00		5,04	37,20	8,90	28,30
	EF				17,60	4,20	13,40
Concentração média e desvios padrão				AF	31,60 ± 4,90	7,70 ± 1,00	23,90 ± 3,90
				EF	13,50 ± 4,30	3,50 ± 0,60	10,00 ± 3,70
1	AF	8,00	15	5,83	21,30	5,30	16,00
	EF				7,00	2,00	5,00
2	AF	8,00		5,70	39,30	9,40	29,90
	EF				13,40	3,40	10,00
3	AF	8,00		5,39	42,40	10,40	32,00
	EF				27,60	7,60	20,00
Concentração média e desvios padrão				AF	34,30 ± 11,40	8,40 ± 2,70	20,00 ± 8,70
				EF	16,00 ± 10,50	4,30 ± 2,90	11,70 ± 7,60
1	AF	10,0	5	7,20	34,00	4,70	29,30
	EF				29,50	3,80	25,70
2	AF	10,0		7,00	36,50	8,40	28,10
	EF				33,70	5,80	27,90
3	AF	10,0		6,91	22,00	2,30	19,70
	EF				17,30	1,80	15,50
Concentração média e desvios padrão				AF	30,80 ± 7,80	5,10 ± 3,00	25,70 ± 5,20
				EF	26,80 ± 8,50	3,80 ± 2,00	23,00 ± 6,60
1	AF	10,0	10	7,23	65,50	5,70	59,80
	EF				34,00	2,20	31,80
2	AF	10,0		7,11	34,50	5,10	29,40
	EF				21,60	3,20	18,40
3	AF	10,0		7,04	40,40	6,20	34,20
	EF				14,40	5,90	8,50
Concentração média e desvios padrão				AF	46,80 ± 16,50	5,60 ± 0,60	41,10 ± 16,30
				EF	23,30 ± 9,90	3,80 ± 1,90	19,60 ± 11,70
1	AF	10,0	15	7,82	47,00	6,50	40,50
	EF				23,50	3,50	20,00
2	AF	10,0		7,70	41,00	9,50	31,50
	EF				14,30	5,00	9,30
3	AF	10,0		7,38	47,00	5,00	42,00
	EF				27,50	3,50	24,00
Concentração média e desvios padrão				AF	45,00 ± 3,50	7,00 ± 2,30	38,00 ± 5,70
				EF	21,80 ± 6,80	4,00 ± 0,90	17,80 ± 7,60

Tabela A.8: ST, STF e STV para os ensaios de ozonização

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)		ST ($mg.L^{-1}$)	STF ($mg.L^{-1}$)	STV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	5,00	5	3,84		245,60	56,80	188,80
	EF					227,20	46,80	180,40
2	AF	5,00		4,01		214,00	50,30	163,70
	EF					206,80	48,80	158,00
3	AF	5,00		3,94		204,70	93,20	111,50
	EF					189,30	87,40	101,90
Concentração média e desvios padrão					AF	221,40 ± 21,50	66,80 ± 23,10	154,67 ± 39,43
					EF	207,80 ± 19,00	61,00 ± 22,88	146,77 ± 40,44
1	AF	5,00	10	3,93		200,40	31,60	168,80
	EF					180,80	29,20	151,60
2	AF	5,00		3,96		232,40	54,80	177,60
	EF					211,20	51,40	159,80
3	AF	5,00		4,00		228,80	92,40	136,40
	EF					198,80	91,20	107,60
Concentração média e desvios padrão					AF	220,50 ± 17,50	59,60 ± 30,70	160,90 ± 21,70
					EF	196,90 ± 15,30	57,30 ± 31,40	139,70 ± 28,00
1	AF	5,00	15	3,99		218,40	26,80	191,60
	EF					193,60	26,20	167,40
2	AF	5,00		3,73		257,60	58,80	198,80
	EF					230,30	50,80	179,50
3	AF	5,00		3,62		224,80	108,80	116,00
	EF					195,80	100,20	95,60
Concentração média e desvios padrão					AF	233,60 ± 21,00	64,80 ± 41,30	168,80 ± 45,90
					EF	206,60 ± 20,60	59,00 ± 37,70	147,50 ± 45,40
1	AF	8,00	5	5,43		353,10	87,50	265,60
	EF					271,50	77,20	194,30
2	AF	8,00		5,54		209,20	80,40	128,80
	EF					204,00	75,80	128,20
3	AF	8,00		5,00		220,80	38,00	182,80
	EF					196,40	37,50	158,90
Concentração média e desvios padrão					AF	261,00 ± 80,00	68,60 ± 26,80	192,40 ± 68,90
					EF	224,00 ± 41,00	63,50 ± 22,50	160,50 ± 33,00
1	AF	8,00	10	5,43		270,00	65,40	204,60
	EF					232,00	55,90	176,10
2	AF	8,00		5,11		226,00	110,40	115,60
	EF					216,40	109,70	106,70
3	AF	8,00		5,04		220,60	121,00	99,60
	EF					212,00	118,00	94,00
Concentração média e desvios padrão					AF	238,90 ± 27,10	98,90 ± 29,50	139,90 ± 56,60
					EF	220,10 ± 10,50	94,50 ± 33,70	125,60 ± 44,20
1	AF	8,00	15	5,83		260,00	96,90	163,10
	EF					240,00	84,20	155,80
2	AF	8,00		5,70		256,80	87,60	169,20
	EF					220,80	69,60	151,20
3	AF	8,00		5,39		247,30	41,00	206,30
	EF					214,80	40,00	174,80
Concentração média e desvios padrão					AF	254,70 ± 6,60	75,20± 30,00	179,50 ± 23,40
					EF	225,20 ± 13,20	64,60 ± 22,50	160,60 ± 12,50
1	AF	10,0	5	7,20		216,20	91,00	125,20
	EF					166,20	81,00	85,20
2	AF	10,0		7,00		265,30	105,00	160,30
	EF					252,30	93,00	159,30
3	AF	10,0		6,91		350,80	113,60	237,20
	EF					256,00	95,20	160,80
Concentração média e desvios padrão					AF	277,40 ± 68,10	103,20 ± 11,40	174,20 ± 57,30
					EF	224,80 ± 50,80	89,70 ± 7,60	135,10 ± 43,20

Continua

Continuação da Tabela A.8

Amostra		Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	ST ($mg.L^{-1}$)	STF ($mg.L^{-1}$)	STV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	**10,0**	10	**7,23**	334,60	147,80	186,80
	EF				211,50	121,30	90,20
2	AF	**10,0**		**7,11**	248,00	133,80	114,20
	EF				240,70	116,50	124,20
3	AF	**10,0**		**7,04**	278,00	151,30	126,70
	EF				274,00	148,00	126,00
Concentração média e desvios padrão				**AF**	286,90 ± 44,00	144,30 ± 9,30	142,60 ± 38,80
				EF	242,00 ± 31,30	128,60 ± 17,00	113,50 ± 20,20
1	AF	**10,0**	15	**7,82**	259,20	104,30	154,90
	EF				247,70	101,60	146,10
2	AF	**10,0**		**7,70**	268,70	120,00	148,70
	EF				228,90	86,40	142,50
3	AF	**10,0**		**7,38**	344,40	85,90	258,50
	EF				300,00	81,40	218,60
Concentração média e desvios padrão				**AF**	290,80 ±46,70	103,40 ± 17,10	187,40 ± 61,70
				EF	258,90 ± 36,80	89,80 ± 10,50	169,10 ± 42,90

Tabela A.9: Inativação de coliformes totais em função do tempo de contato e a concentração efetiva de ozônio consumida para o efluente ozonizado para dosagens aplicadas de 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Inativação Coliformes Totais	
				N/No	log
1	**5,00**	5	**3,84**	$1x10^{-2}$	2,00
2	**5,00**		**4,01**	$6x10^{-3}$	2,20
3	**5,00**		**3,94**	$3x10^{-3}$	2,49
Valor Médio e Desvio Padrão					2,23 ± 0,25
1	**5,00**	10	**3,93**	$8x10^{-3}$	2,09
2	**5,00**		**3,96**	$7x10^{-3}$	2,15
3	**5,00**		**4,00**	$3x10^{-3}$	3,60
Valor Médio e Desvio Padrão					2,61 ± 0,86
1	**5,00**	15	**3,99**	$8x10^{-3}$	2,11
2	**5,00**		**3,73**	$4x10^{-3}$	2,36
3	**5,00**		**3,62**	$2x10^{-3}$	2,76
Valor Médio e Desvio Padrão					2,41 ± 0,32
1	**8,00**	5	**5,43**	$1x10^{-2}$	2,87
2	**8,00**		**5,54**	$2x10^{-3}$	2,62
3	**8,00**		**5,00**	$3x10^{-4}$	3,46
Valor Médio e Desvio Padrão					2,98 ± 0,43
1	**8,00**	10	**5,43**	$8x10^{-4}$	3,09
2	**8,00**		**5,11**	$4x10^{-3}$	2,44
3	**8,00**		**5,04**	$5x10^{-4}$	3,34
Valor Médio e Desvio Padrão					2,96 ± 0,47
1	**8,00**	15	**5,83**	$1x10^{-3}$	3,00
2	**8,00**		**5,70**	$4x10^{-3}$	2,44
3	**8,00**		**5,39**	$4x10^{-4}$	3,40
Valor Médio e Desvio Padrão					2,95 ± 0,48

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0.

Continua

Continuação da Tabela A.9

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Inativação Coliformes Totais	
				N/No	log
1	**10,0**	5	**7,20**	$5x10^{-4}$	3,28
2	**10,0**		**7,00**	$6x10^{-4}$	3,20
3	**10,0**		**6,91**	$7x10^{-4}$	3,17
Valor Médio e Desvio Padrão					3,22 ± 0,06
1	**10,0**	10	**7,23**	$2x10^{-4}$	3,70
2	**10,0**		**7,11**	$9x10^{-5}$	4,06
3	**10,0**		**7,04**	$1x10^{-3}$	2,97
Valor Médio e Desvio Padrão					3,57 ± 0,57
1	**10,0**	15	**7,82**	$3x10^{-4}$	3,50
2	**10,0**		**7,70**	$1x10^{-4}$	3,88
3	**10,0**		**7,38**	$2x10^{-4}$	3,66
Valor Médio e Desvio Padrão					3,68 ± 0,19

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0.

Tabela A.10: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e a concentração efetiva de ozônio consumida para o efluente ozonizado para dosagens aplicadas de 5,0, 8,0 e 10,0 mg $O_3.L^{-1}$ e tempos de contato 5, 10 e 15 minutos

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Inativação Coliformes Totais	
				N/No	log
1	**5,00**	5	**3,84**	$4x10^{-3}$	2,41
2	**5,00**		**4,01**	$2x10^{-3}$	2,66
3	**5,00**		**3,94**	$2x10^{-3}$	2,70
Valor Médio e Desvio Padrão					2,61 ± 0,18
1	**5,00**	10	**3,93**	$4x10^{-3}$	2,43
2	**5,00**		**3,96**	$1x10^{-3}$	2,93
3	**5,00**		**4,00**	$2x10^{-3}$	2,70
Valor Médio e Desvio Padrão					2,69 ± 0,25
1	**5,00**	15	**3,99**	$3x10^{-3}$	2,60
2	**5,00**		**3,73**	$4x10^{-4}$	3,35
3	**5,00**		**3,62**	$2x10^{-3}$	2,77
Valor Médio e Desvio Padrão					2,91 ± 0,39
1	**8,00**	5	**5,43**	$3x10^{-4}$	3,57
2	**8,00**		**5,54**	$1x10^{-3}$	2,94
3	**8,00**		**5,00**	$9x10^{-4}$	3,03
Valor Médio e Desvio Padrão					3,18 ± 0,34
1	**8,00**	10	**5,43**	$4x10^{-4}$	3,43
2	**8,00**		**5,11**	$4x10^{-4}$	3,37
3	**8,00**		**5,04**	$1x10^{-3}$	2,90
Valor Médio e Desvio Padrão					3,23 ± 0,29
1	**8,00**	15	**5,83**	$1x10^{-4}$	4,00
2	**8,00**		**5,70**	$5x10^{-4}$	3,22
3	**8,00**		**5,39**	$7x10^{-4}$	3,18
Valor Médio e Desvio Padrão					3,50 ± 0,44
1	**10,0**	5	**7,20**	$6x10^{-5}$	4,22
2	**10,0**		**7,00**	$13x10^{-4}$	3,89
3	**10,0**		**6,91**	$12x10^{-4}$	3,92
Valor Médio e Desvio Padrão					4,01 ± 0,18

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0.

Continua

Continuação da Tabela A.10

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Inativação Coliformes Totais	
				N/No	log
1	**10,0**	10	**7,23**	$6x10^{-5}$	4,25
2	**10,0**		**7,11**	$8x10^{-5}$	4,09
3	**10,0**		**7,04**	$4x10^{-5}$	4,35
Valor Médio e Desvio Padrão					4,23 ± 0,13
1	**10,0**	15	**7,82**	$2x10^{-5}$	4,65
2	**10,0**		**7,70**	$5x10^{-5}$	4,30
3	**10,0**		**7,38**	$9x10^{-5}$	4,02
Valor Médio e Desvio Padrão					4,33 ± 0,32

Tabela A.11: Concentração de cloro consumido, concentração de cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração

Amostra	Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Residual Total ($mg.L^{-1}$)	Cloro Residual Livre ($mg.L^{-1}$)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)
1	**10,50**	10	2,20	0,50	**8,30**
2	**10,40**		5,30	4,00	**5,10**
3	**10,00**		5,40	3,70	**4,60**
Concentração média e desvios padrão			4,30 ± 1,82	2,73 ± 1,94	**6,00 ± 2,01**
1	**10,50**	20	1,80	1,60	**8,70**
2	**10,40**		5,00	4,80	**5,40**
3	**10,00**		4,40	4,00	**5,60**
Concentração média e desvios padrão			3,73 ± 1,70	3,47 ± 1,67	**6,57 ± 1,85**
1	**10,50**	30	1,70	1,70	**8,80**
2	**10,40**		4,70	2,70	**5,70**
3	**10,00**		3,60	3,50	**6,40**
Concentração média e desvios padrão			3,33 ± 1,52	2,63 ± 0,90	**6,97 ± 1,93**
1	**20,50**	10	8,20	7,00	**12,30**
2	**20,20**		7,80	6,50	**12,40**
3	**20,70**		7,00	6,20	**13,70**
Concentração média e desvios padrão			7,67 ± 0,61	6,57 ± 0,40	**12,80 ±0,78**
1	**20,50**	20	7,80	6,90	**12,70**
2	**20,20**		7,60	6,00	**12,60**
3	**20,70**		6,80	5,60	**13,90**
Concentração média e desvios padrão			7,40 ± 0,53	6,17 ± 0,67	**13,07 ± 0,72**
1	**20,50**	30	7,40	6,80	**13,10**
2	**20,20**		6,40	5,20	**13,80**
3	**20,70**		6,20	5,10	**14,60**
Concentração média e desvios padrão			6,65 ± 0,66	5,70 ± 0,95	**13,82 ± 0,73**
1	**28,90**	10	17,60	14,30	**11,30**
2	**30,10**		15,20	10,70	**14,90**
3	**28,90**		13,60	11,40	**15,30**
Concentração média e desvios padrão			15,47 ± 2,01	12,13 ± 1,91	**13,83 ± 1,80**
1	**28,90**	20	16,60	7,80	**12,30**
2	**30,10**		15,10	6,20	**15,00**
3	**28,90**		11,30	12,10	**17,60**
Concentração média e desvios padrão			14,33 ± 2,73	8,68 ± 3,02	**14,97 ± 2,65**
1	**28,90**	30	17,10	13,20	**11,80**
2	**30,10**		13,50	10,30	**16,60**
3	**28,90**		12,60	12,10	**16,30**
Concentração média e desvios padrão			14,40 ± 2,38	11,85 ± 1,46	**14,90 ± 2,69**

Tabela A.12: Alcalinidade Total e pH para os ensaios de cloração

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)
1	AF	10,50	10	7,09	175
	EF			7,11	177
2	AF	10,40		6,58	1460
	EF			6,66	153
3	AF	10,00		6,89	288
	EF			6,92	283
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	6,85 ± 0,26	203 ± 75
			EF	6,90 ± 0,23	204 ± 69
1	AF	10,50	20	7,09	175
	EF			7,10	177
2	AF	10,40		6,58	146
	EF			6,62	151
3	AF	10,00		6,89	288
	EF			6,94	269
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	6,85 ± 0,26	203 ± 75
			EF	6,90 ± 0,23	199 ± 62
1	AF	10,50	30	7,09	175
	EF			7,12	175
2	AF	10,40		6,58	146
	EF			6,72	149
3	AF	10,00		6,89	288
	EF			7,04	295
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	6,85 ± 0,26	203 ± 75
			EF	6,96 ± 0,20	206 ± 78
1	AF	20,50	10	7,20	276,00
	EF			7,36	258,00
2	AF	20,20		6,96	186,00
	EF			6,77	184,00
3	AF	20,70		6,79	148,00
	EF			7,11	152,00
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	6,98 ± 0,21	203 ± 66
			EF	7,08 ± 0,30	198 ± 54
1	AF	20,50	20	7,20	276
	EF			7,37	258
2	AF	20,20		6,96	186
	EF			6,71	180
3	AF	20,70		6,79	148
	EF			6,89	146
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	6,98 ± 0,21	203 ± 66
			EF	6,99 ± 0,34	195 ± 57
1	AF	20,50	30	7,20	276
	EF			7,23	266
2	AF	20,20		6,96	186
	EF			6,76	182
3	AF	20,70		6,79	148
	EF			7,05	146
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	6,98 ± 0,21	203 ± 66
			EF	7,01 ± 0,24	198 ± 62
1	AF	28,90	10	6,99	205
	EF			6,52	200
2	AF	30,10		6,92	151
	EF			7,21	148
3	AF	28,90		7,13	190
	EF			7,12	200
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	7,01 ± 0,11	182 ± 28
			EF	6,95 ± 0,38	183 ± 30

Continua

Continuação da Tabela A.12

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)
1	AF	28,90	20	6,99	205
	EF			6,61	1920
2	AF	30,10		6,92	151
	EF			7,63	159
3	AF	28,90		7,13	190
	EF			7,14	184
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	7,01 ± 0,11	182 ± 28
			EF	6,95 ± 0,38	178 ± 17
1	AF	28,90	30	6,99	205
	EF			6,55	184
2	AF	30,10		6,20	151
	EF			7,20	161
3	AF	28,90		7,13	190
	EF			7,15	184
Valores Médios e Desvios Padrão			AF	7,01 ± 0,11	182 ± 28
			EF	6,95 ± 0,38	176 ± 13

Tabela A.13: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de cloração

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	DQO ($mg.L^{-1}$)
1	AF	10,50	10	8,30	123
	EF				145
2	AF	10,40		5,10	45
	EF				42
3	AF	10,00		4,60	137
	EF				125
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	102 ± 50
				EF	104 ± 55
1	AF	10,50	20	8,60	123
	EF				157
2	AF	10,40		5,50	45
	EF				34
3	AF	10,00		5,60	137
	EF				115
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	102 ± 50
				EF	102 ± 63
1	AF	10,50	30	8,70	123
	EF				153
2	AF	10,40		5,80	45
	EF				39
3	AF	10,00		6,40	137
	EF				125
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	102 ± 50
				EF	106 ± 59
1	AF	20,50	10	12,30	156
	EF				139
2	AF	20,20		12,40	232
	EF				241
3	AF	20,70		13,70	141
	EF				128
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	176 ± 49
				EF	169 ± 66

Continua

Continuação da Tabela A.13

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	DQO ($mg.L^{-1}$)
1	AF	20,50	20	12,70	156
	EF				148
2	AF	20,20		12,60	232
	EF				237
3	AF	20,70		13,90	141
	EF				134
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	176 ± 49
				EF	173 ± 55
1	AF	20,50	30	13,10	156
	EF				154
2	AF	20,20		13,80	232
	EF				255
3	AF	20,70		14,60	141
	EF				135
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	176 ± 49
				EF	135 ± 64
1	AF	28,90	10	11,30	185
	EF				203
2	AF	30,10		14,90	198
	EF				222
3	AF	28,90		15,30	202
	EF				220
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	195 ± 9
				EF	215 ± 10
1	AF	28,90	20	12,30	185
	EF				208
2	AF	30,10		15,00	198
	EF				225
3	AF	28,90		17,60	202
	EF				234
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	195 ± 9
				EF	222 ± 13
1	AF	28,90	30	11,80	185
	EF				205
2	AF	30,10		16,60	198
	EF				220
3	AF	28,90		16,30	202
	EF				228
Valores Médios e Desvios Padrão				AF	195 ± 9
				EF	218± 12

Obs.: *(+) para aumento de DQO e (-) para redução de DQO.*

Tabela A.14: NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico para os ensaios de cloração

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	NTK ($mg\ N.L^{-1}$)	Nitrogênio Amoniacal ($mg\ N.L^{-1}$)	Nitrogênio Orgânico ($mg\ N.L^{-1}$)
1	AF	10,50	10	8,30	24,00	23,40	0,60
	EF				22,30	21,80	0,50
2	AF	10,40		5,10	22,60	20,70	1,90
	EF				21,10	19,80	1,30
3	AF	10,00		4,60	51,10	40,30	10,70
	EF				45,80	39,20	6,60
Concentração média e desvios padrão				AF	32,60 ± 16,00	28,10 ± 10,60	4,40 ± 5,50
				EF	29,70 ± 13,90	26,90 ± 10,60	2,80 ± 3,30

Continua

Continuação da Tabela A.14

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	NTK ($mg\ N.L^{-1}$)	Nitrogênio Amoniacal ($mg\ N.L^{-1}$)	Nitrogênio Orgânico ($mg\ N.L^{-1}$)
1	AF	10,50	20	8,60	24,00	23,40	0,60
	EF				21,20	20,70	0,50
2	AF	10,40		5,50	22,60	20,70	1,90
	EF				19,90	19,60	0,30
3	AF	10,00		5,60	51,10	40,30	10,70
	EF				45,40	39,10	6,30
Concentração média e desvios padrão				AF	32,60 ± 16,00	28,10 ± 10,60	4,40 ± 5,50
				EF	28,80 ± 14,40	26,50 ± 11,00	2,40 ± 3,40
1	AF	10,50	30	8,70	24,00	23,40	0,60
	EF				22,10	21,60	0,50
2	AF	10,40		5,80	22,60	20,70	1,90
	EF				21,00	19,60	1,40
3	AF	10,00		6,40	51,10	40,30	10,70
	EF				45,70	38,90	6,80
Concentração média e desvios padrão				AF	32,60 ± 16,00	28,10 ± 10,60	4,40 ± 5,50
				EF	29,60 ± 14,00	26,70 ± 10,60	2,90 ± 3,40
1	AF	20,50	10	12,30	47,20	44,00	3,20
	EF				43,90	41,80	2,10
2	AF	20,20		12,40	39,40	31,40	8,00
	EF				34,90	29,00	5,90
3	AF	20,70		13,70	30,10	24,10	6,00
	EF				24,80	21,10	3,70
Concentração média e desvios padrão				AF	38,90 ± 8,60	33,20 ± 10,10	5,70 ± 2,40
				EF	34,50 ± 9,60	30,60 ± 10,50	3,90 ± 1,90
1	AF	20,50	20	12,70	47,20	44,00	3,20
	EF				42,80	41,50	1,30
2	AF	20,20		12,60	39,40	31,40	8,00
	EF				37,20	30,00	7,20
3	AF	20,70		13,90	30,10	24,10	6,00
	EF				26,00	20,80	5,20
Concentração média e desvios padrão				AF	38,90 ± 8,60	33,20 ± 10,10	5,70 ± 2,40
				EF	35,30 ± 8,60	30,80 ± 10,40	4,60 ± 3,00
1	AF	20,50	30	13,10	47,20	44,00	3,20
	EF				42,80	41,80	1,00
2	AF	20,20		13,80	39,40	31,40	8,00
	EF				37,20	29,80	7,40
3	AF	20,70		14,60	30,10	24,10	6,00
	EF				26,00	20,50	5,50
Concentração média e desvios padrão				AF	38,90 ± 8,60	33,20 ± 10,10	5,70 ± 2,40
				EF	35,30 ± 8,60	30,70 ± 10,70	4,60 ± 3,30
1	AF	28,90	10	11,30	27,70	23,60	4,10
	EF				22,70	21,40	1,30
2	AF	30,10		14,90	38,00	33,10	4,90
	EF				34,00	30,00	4,00
3	AF	28,90		15,30	41,90	35,40	6,50
	EF				38,30	32,00	6,30
Concentração média e desvios padrão				AF	35,90 ± 7,30	30,70 ± 6,30	5,20 ± 1,20
				EF	31,70 ± 8,10	27,80 ± 5,60	3,90 ± 2,50
1	AF	28,90	20	12,30	27,70	23,60	4,10
	EF				24,00	21,00	3,00
2	AF	30,10		15,00	38,00	33,10	4,90
	EF				34,90	30,00	4,90
3	AF	28,90		17,60	41,90	35,40	6,50
	EF				38,30	31,80	6,50
Concentração média e desvios padrão				AF	35,90 ± 7,30	30,70 ± 6,30	5,20 ± 1,20
				EF	32,40 ± 7,50	27,60 ± 5,80	4,80 ± 1,80
1	AF	28,90	30	11,80	27,70	23,60	4,10
	EF				23,00	21,30	1,70
2	AF	30,10		16,60	38,00	33,10	4,90
	EF				34,90	30,30	4,60
3	AF	28,90		16,30	41,90	35,40	6,50
	EF				38,30	32,00	6,30
Concentração média e desvios padrão				AF	35,90 ± 7,30	30,70 ± 6,30	5,20 ± 1,20
				EF	32,10 ± 8,00	27,90 ± 5,80	4,20 ± 2,30

Tabela A.15: Nitrito e Nitrato para os ensaios de cloração

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Nitrito ($mg.L^{-1}$)	Nitrato ($mg.L^{-1}$)
1	AF	10,50	10	8,30	0,0018	0,9590
	EF				0,0046	1,4480
2	AF	10,40		5,10	0,0030	0,6080
	EF				0,0057	1,2360
3	AF	10,00		4,60	0,0018	1,5460
	EF				0,0036	2,2430
Concentração média e desvios padrão				AF	0.0022 ± 0.0007	1.0377 ± 0.4739
				EF	0.0046 ± 0.0011	1.6423 ± 0.5309
1	AF	10,50	20	8,60	0,0018	0,9590
	EF				0,0048	1,5050
2	AF	10,40		5,50	0,0030	0,6080
	EF				0,0051	1,2360
3	AF	10,00		5,60	0,0018	1,5460
	EF				0,0051	2,1370
Concentração média e desvios padrão				AF	0.0022 ± 0.0007	1.0377 ± 0.4739
				EF	0.0050 ± 0.0002	1.6260 ± 0.4625
1	AF	10,50	30	8,70	0,0018	0,9590
	EF				0,0050	1,5170
2	AF	10,40		5,80	0,0030	0,6080
	EF				0,0047	1,3780
3	AF	10,00		6,40	0,0018	1,5460
	EF				0,0036	2,3730
Concentração média e desvios padrão				AF	0.0022 ± 0.0007	1.0377 ± 0.4739
				EF	0.0046 ± 0.0007	1.7560 ± 0.5388
1	AF	20,50	10	12,30	0,0014	0,7510
	EF				0,0088	1,1010
2	AF	20,20		12,40	0,0034	0,8690
	EF				0,0059	1,3907
3	AF	20,70		13,70	0,0034	0,5837
	EF				0,0047	0,7997
Concentração média e desvios padrão				AF	0.0027 ± 0.0012	0.7346 ± 0.1434
				EF	0.0065 ± 0.0021	1.0971 ± 0.2955
1	AF	20,50	20	12,70	0,0014	0,7510
	EF				0,0091	1,1670
2	AF	20,20		12,60	0,0034	0,8690
	EF				0,0045	1,5619
3	AF	20,70		13,90	0,0034	0,5837
	EF				0,0041	0,7141
Concentração média e desvios padrão				AF	0.0027 ± 0.0012	0.7346 ± 0.1434
				EF	0.0059 ± 0.0028	1.1477 ± 0.4242
1	AF	20,50	30	13,10	0,0014	0,7510
	EF				0,0085	1,3870
2	AF	20,20		13,80	0,0034	0,8690
	EF				0,0052	1,5334
3	AF	20,70		14,60	0,0034	0,5837
	EF				0,0041	0,8731
Concentração média e desvios padrão				AF	0.0027 ± 0.0012	0.7346 ± 0.1434
				EF	0,0059 ± 0,0023	1,2645 ± 0,3468
1	AF	28,90	10	11,30	0,0029	0,6330
	EF				0,0015	1,4680
2	AF	30,10		14,90	0,0035	0,6000
	EF				0,0019	0,7470
3	AF	28,90		15,30	0,0018	0,7222
	EF				0,0009	0,8445
Concentração média e desvios padrão				AF	0.0027 ± 0.0009	0.6517 ± 0.0632
				EF	0.0014 ± 0.0005	1.0198 ± 0.3912

Continua

Continuação da Tabela A.15

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Nitrito ($mg.L^{-1}$)	Nitrato ($mg.L^{-1}$)
1	AF	**28,90**	20	12,30	0,0029	0,6330
	EF				0,0015	1,5620
2	AF	**30,10**		15,00	0,0035	0,6000
	EF				0,0017	0,7390
3	AF	**28,90**		17,60	0,0018	0,7222
	EF				0,0007	0,8241
Concentração média e desvios padrão				AF	0,0027 ± 0,0009	0,6517 ± 0,0632
				EF	0,0013 ± 0,0005	1,0417 ± 0,4526
1	AF	**28,90**	30	11,80	0,0029	0,6330
	EF				0,0017	1,3370
2	AF	**30,10**		16,60	0,0035	0,6000
	EF				0,0021	0,7549
3	AF	**28,90**		16,30	0,0018	0,7222
	EF				0,0008	0,8405
Concentração média e desvios padrão				AF	0,0027 ± 0,0009	0,6517 ± 0,0632
				EF	0,0015 ± 0,0007	0,9775 ± 0,3143

Tabela A.16: Cloreto para os ensaios de cloração

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Cloreto ($mg\ Cl^{-}.L^{-1}$)
1	AF	**10,50**	10	8,30	59,00
	EF				91,00
2	AF	**10,40**		5,10	28,00
	EF				51,00
3	AF	**10,00**		4,60	40,00
	EF				67,00
Concentração média e desvios padrão				AF	42,30 ± 15,60
				EF	69,70 ± 20,10
1	AF	**10,50**	20	8,60	59,00
	EF				98,00
2	AF	**10,40**		5,50	28,00
	EF				51,00
3	AF	**10,00**		5,60	40,00
	EF				67,00
Concentração média e desvios padrão				AF	42,30 ± 15,60
				EF	72,00 ± 23,90
1	AF	**10,50**	30	8,70	59,00
	EF				98,00
2	AF	**10,40**		5,80	28,00
	EF				54,00
3	AF	**10,00**		6,40	40,00
	EF				69,00
Concentração média e desvios padrão				AF	42,30 ± 15,60
				EF	73,70 ± 22,40
1	AF	**20,50**	10	12,30	25,00
	EF				69,50
2	AF	**20,20**		12,40	26,00
	EF				60,50
3	AF	**20,70**		13,70	20,00
	EF				38,00
Concentração média e desvios padrão				AF	23,70 ± 3,20
				EF	56,00 ± 16,20

Continua

Continuação da Tabela A.16

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Cloreto ($mg\ Cl^{-}.L^{-1}$)
1	AF	20,50	20	12,70	25,00
	EF				80,00
2	AF	20,20		12,60	26,00
	EF				66,50
3	AF	20,70		13,90	20,00
	EF				36,00
Concentração média e desvios padrão				AF	23,70 ± 3,20
				EF	60,80 ± 22,40
1	AF	20,50	30	13,10	25,00
	EF				74,00
2	AF	20,20		13,80	26,00
	EF				56,50
3	AF	20,70		14,60	20,00
	EF				32,00
Concentração média e desvios padrão				AF	23,70 ± 3,20
				EF	54,20 ± 21,10
1	AF	28,90	10	11,30	20,00
	EF				48,50
2	AF	30,10		14,90	21,00
	EF				43,00
3	AF	28,90		15,30	13,00
	EF				25,50
Concentração média e desvios padrão				AF	18,00 ± 4,40
				EF	39,00 ± 12,00
1	AF	28,90	20	12,30	20,00
	EF				59,00
2	AF	30,10		15,00	21,00
	EF				42,00
3	AF	28,90		17,60	13,00
	EF				26,50
Concentração média e desvios padrão				AF	18,00 ± 4,40
				EF	42,50 ± 16,30
1	AF	28,90	30	11,80	20,00
	EF				57,00
2	AF	30,10		16,60	21,00
	EF				41,00
3	AF	28,90		16,30	13,00
	EF				24,50
Concentração média e desvios padrão				AF	18,00 ± 4,40
				EF	40,80 ± 16,30

Tabela A.17: Sulfeto para os ensaios de cloração

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Sulfeto ($mg\ S^{2-}.L^{-1}$)
1	AF	10,50	10	8,30	0,095
	EF				0,040
2	AF	10,40		5,10	0,305
	EF				0,100
3	AF	10,00		4,60	0,060
	EF				0,030
Concentração média e desvios padrão				AF	0,153 ± 0,133
				EF	0,057 ± 0,038

Continua

Continuação da Tabela A.17

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Sulfeto ($mg\ S^{2-}.L^{-1}$)
1	AF	10,50	20	8,60	0,095
	EF				0,035
2	AF	10,40		5,50	0,305
	EF				0,095
3	AF	10,00		5,60	0,060
	EF				0,040
Concentração média e desvios padrão				AF	0,153 ± 0,133
				EF	0,057 ± 0,033
1	AF	10,50	30	8,70	0,095
	EF				0,040
2	AF	10,40		5,80	0,305
	EF				0,105
3	AF	10,00		6,40	0,060
	EF				0,030
Concentração média e desvios padrão				AF	0,153 ± 0,133
				EF	0,058 ± 0,041
1	AF	20,50	10	12,30	0,195
	EF				0,075
2	AF	20,20		12,40	0,305
	EF				0,100
3	AF	20,70		13,70	0,123
	EF				0,094
Concentração média e desvios padrão				AF	0,208 ± 0,092
				EF	0,090 ± 0,013
1	AF	20,50	20	12,70	0,195
	EF				0,055
2	AF	20,20		12,60	0,305
	EF				0,095
3	AF	20,70		13,90	0,123
	EF				0,093
Concentração média e desvios padrão				AF	0,208 ± 0,092
				EF	0,081 ± 0,023
1	AF	20,50	30	13,10	0,195
	EF				0,050
2	AF	20,20		13,80	0,305
	EF				0,105
3	AF	20,70		14,60	0,123
	EF				0,093
Concentração média e desvios padrão				AF	0,208 ± 0,092
				EF	0,083 ± 0,029
1	AF	28,90	10	11,30	0,125
	EF				0,050
2	AF	30,10		14,90	0,095
	EF				0,060
3	AF	28,90		15,30	0,215
	EF				0,110
Concentração média e desvios padrão				AF	0,145 ± 0,062
				EF	0,073 ± 0,032
1	AF	28,90	20	12,30	0,125
	EF				0,050
2	AF	30,10		15,00	0,095
	EF				0,060
3	AF	28,90		17,60	0,215
	EF				0,110
Concentração média e desvios padrão				AF	0,145 ± 0,062
				EF	0,073 ± 0,032
1	AF	28,90	30	11,80	0,125
	EF				0,050
2	AF	30,10		16,60	0,095
	EF				0,060
3	AF	28,90		16,30	0,215
	EF				0,105
Concentração média e desvios padrão				AF	0,145 ± 0,062
				EF	0,072 ± 0,029

Tabela A.18: SST, SSF e SSV para os ensaios de cloração

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	SST ($mg.L^{-1}$)	SSF ($mg.L^{-1}$)	SSV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	10,50	10	8,30	41,20	6,80	34,40
	EF				16,20	1,20	15,00
2	AF	10,40		5,10	37,60	11,60	26,00
	EF				30,00	5,20	24,80
3	AF	10,00		4,60	38,20	12,40	25,80
	EF				31,70	8,00	23,70
Concentração média e desvios padrão				AF	39,00 ± 1,90	10,27 ± 3,03	28,70 ± 4,90
				EF	26,00 ± 8,50	4,80 ± 3,42	21,20 ± 5,40
1	AF	10,50	20	8,60	41,20	6,80	34,40
	EF				17,60	2,30	15,30
2	AF	10,40		5,50	37,60	11,60	26,00
	EF				29,00	6,10	22,90
3	AF	10,00		5,60	38,20	12,40	25,80
	EF				30,20	7,90	22,30
Concentração média e desvios padrão				AF	39,00 ± 1,90	10,30 ± 3,00	28,70 ± 4,90
				EF	25,60 ± 7,00	5,40 ± 2,90	20,20 ±4,20
1	AF	10,50	30	8,70	41,20	6,80	34,40
	EF				14,00	1,30	12,70
2	AF	10,40		5,80	37,60	11,60	26,00
	EF				28,40	6,10	22,30
3	AF	10,00		6,40	38,20	12,40	25,80
	EF				29,30	7,30	22,00
Concentração média e desvios padrão				AF	39,00 ± 1,90	10,30 ± 3,00	28,70 ± 4,90
				EF	23,90 ± 9,00	4,90 ± 3,20	19,00 ± 5,50
1	AF	20,50	10	12,30	36,50	9,50	27,00
	EF				23,50	6,00	17,50
2	AF	20,20		12,40	105,00	8,30	96,70
	EF				92,20	8,00	88,30
3	AF	20,70		13,70	77,30	34,00	43,30
	EF				72,70	32,70	40,00
Concentração média e desvios padrão				AF	72,90 ± 34,50	17,30 ± 14,50	55,70 ± 36,50
				EF	64,10 ± 37,10	15,60 ± 14,90	48,60 ± 36,20
1	AF	20,50	20	12,70	36,50	9,50	27,00
	EF				30,00	7,00	23,00
2	AF	20,20		12,60	105,00	8,30	96,70
	EF				82,00	7,30	74,70
3	AF	20,70		13,90	77,30	34,00	43,30
	EF				67,30	27,00	40,30
Concentração média e desvios padrão				AF	72,90 ± 34,50	17,30 ± 14,50	55,70 ± 36,50
				EF	59,80 ± 26,80	13,80 ± 11,50	46,00 ± 26,30
1	AF	20,50	30	13,10	36,50	9,50	27,00
	EF				24,00	4,00	20,00
2	AF	20,20		13,80	105,00	8,30	96,70
	EF				94,70	2,70	92,00
3	AF	20,70		14,60	77,30	34,00	43,30
	EF				67,30	28,30	39,00
Concentração média e desvios padrão				AF	72,90 ± 34,50	17,30 ± 14,50	55,70 ± 36,50
				EF	62,00 ± 35,70	11,70 ± 14,40	50,30 ± 37,30
1	AF	28,90	10	11,30	53,00	15,20	37,80
	EF				42,80	11,60	31,20
2	AF	30,10		14,90	59,60	16,10	43,50
	EF				42,80	2,80	40,00
3	AF	28,90		15,30	97,60	38,40	59,40
	EF				130,00	34,00	96,00
Concentração média e desvios padrão				AF	70,10 ± 24,10	23,20 ± 13,10	46,90 ± 11,20
				EF	71,90 ± 50,30	16,10 ± 16,10	55,70 ± 35,20

Continua

Continuação da Tabela A.18

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	SST ($mg.L^{-1}$)	SSF ($mg.L^{-1}$)	SSV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	28,90	20	12,30	53,00	15,20	37,80
	EF				35,60	7,60	28,00
2	AF	30,10		15,00	59,60	10,60	43,50
	EF				53,20	2,80	42,60
3	AF	28,90		17,60	97,60	38,40	59,40
	EF				125,00	33,00	92,00
Concentração média e desvios padrão				AF	70,10 ± 24,10	23,20 ± 13,10	46,90 ± 11,19
				EF	71,30 ± 47,40	17,10 ± 13,90	54,20 ± 33,50
1	AF	28,90	30	11,80	53,00	15,20	37,80
	EF				47,60	13,20	34,40
2	AF	30,10		16,60	59,60	16,10	43,50
	EF				49,20	7,60	41,60
3	AF	28,90		16,30	97,60	38,40	59,40
	EF				121,00	31,00	90,00
Concentração média e desvios padrão				AF	70,10 ± 24,10	23,20 ± 13,10	46,90 ± 11,20
				EF	72,60 ± 41,60	17,30 ± 12,20	55,30 ± 30,20

Tabela A.19: ST, STF e STV para os ensaios de cloração

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	ST ($mg.L^{-1}$)	STF ($mg.L^{-1}$)	STV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	10,50	10	8,30	337,60	86,00	251,60
	EF				402,40	114,00	288,40
2	AF	10,40		5,10	269,20	129,60	139,60
	EF				292,40	163,20	129,20
3	AF	10,00		4,60	326,80	117,60	209,20
	EF				367,20	168,80	198,40
Concentração média e desvios padrão				AF	311,20 ± 36,80	111,10 ± 22,50	200,10 ± 56,60
				EF	354,00 ± 56,20	148,70 ± 30,20	205,60 ± 79,50
1	AF	10,50	20	8,60	337,60	86,00	251,60
	EF				387,60	71,60	316,00
2	AF	10,40		5,50	269,20	129,60	139,60
	EF				298,40	169,20	129,20
3	AF	10,00		5,60	326,80	117,60	209,20
	EF				392,60	220,00	172,60
Concentração média e desvios padrão				AF	311,20 ± 36,80	111,07 ± 22,50	200,10 ± 57,00
				EF	359,50 ± 53,00	153,60 ± 75,40	205,90 ± 97,80
1	AF	10,50	30	8,70	337,60	86,00	251,60
	EF				385,60	49,20	336,40
2	AF	10,40		5,80	269,20	129,60	139,60
	EF				292,80	143,60	149,20
3	AF	10,00		6,40	326,80	117,60	209,20
	EF				396,40	174,80	221,60
Concentração média e desvios padrão				AF	311,20 ± 36,80	111,10 ± 22,50	200,10 ± 56,60
				EF	358,30 ± 57,00	122,50 ± 65,40	235,60 ± 94,20
1	AF	20,50	10	12,30	344,00	130,80	213,20
	EF				410,40	206,80	203,60
2	AF	20,20		12,40	276,40	31,20	245,20
	EF				350,00	104,00	246,00
3	AF	20,70		13,70	264,80	113,20	151,60
	EF				319,20	164,00	155,20
Concentração média e desvios padrão				AF	295,10 ± 42,80	91,70 ± 53,20	203,30 ± 47,60
				EF	359,90 ± 46,40	158,30 ± 51,60	201,60 ± 45,40

Continua

Continuação da Tabela A.19

Amostra		Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	ST ($mg.L^{-1}$)	STF ($mg.L^{-1}$)	STV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	20,50	20	12,70	344,00	130,80	213,20
	EF				408,80	181,20	227,60
2	AF	20,20		12,60	276,40	31,20	245,20
	EF				339,60	65,60	274,00
3	AF	20,70		13,90	264,80	113,20	151,60
	EF				326,00	171,20	154,80
Concentração média e desvios padrão				AF	295,10 ± 42,80	91,70 ± 53,20	203,30 ± 47,60
				EF	358,10 ± 44,40	139,30 ± 64,00	218,80 ± 60,10
1	AF	20,50	30	13,10	344,00	130,80	213,20
	EF				410,00	196,80	213,20
2	AF	20,20		13,80	276,40	31,20	245,20
	EF				340,80	76,40	264,40
3	AF	20,70		14,60	264,80	113,20	151,60
	EF				324,80	165,60	159,20
Concentração média e desvios padrão				AF	295,10 ± 42,80	91,70 ± 53,20	203,30 ± 47,60
				EF	358,50 ± 45,30	146,30 ± 62,50	212,30 ± 52,60
1	AF	28,90	10	11,30	222,00	80,00	142,00
	EF				260,00	115,00	145,00
2	AF	30,10		14,90	261,00	97,00	164,00
	EF				328,00	172,00	156,00
3	AF	28,90		15,30	322,00	138,00	184,00
	EF				397,00	208,00	189,00
Concentração média e desvios padrão				AF	268,50 ± 50,60	105,00 ± 29,80	163,60 ± 21,20
				EF	328,10 ± 68,40	165,00 ± 47,90	163,10 ± 22,60
1	AF	28,90	20	12,30	222,0	80,0	142,0
	EF				280,0	150,0	130,0
2	AF	30,10		15,00	261,0	97,0	164,0
	EF				334,0	166,0	168,0
3	AF	28,90		17,60	322,0	138,0	184,0
	EF				415,0	227,0	188,0
Concentração média e desvios padrão				AF	268,50 ± 50,60	105,00 ± 29,80	163,60 ± 21,20
				EF	343,20 ± 68,00	181,00 ± 40,60	162,10 ± 29,60
1	AF	28,90	30	11,80	222,0	80,0	142,0
	EF				250,0	120,0	130,0
2	AF	30,10		16,60	261,0	97,0	164,0
	EF				334,0	174,0	160,0
3	AF	28,90		16,30	322,0	138,0	184,0
	EF				434,0	236,0	198,0
Concentração média e desvios padrão				AF	268,53 ± 50,60	105,00 ± 29,80	163,60 ± 21,20
				EF	339,50 ± 92,10	176,70 ± 58,00	162,90 ± 34,30

Tabela A.20: Inativação de coliformes totais em função do tempo de contato e a concentração efetiva de cloro consumida para os ensaios de cloração

Amostra	Cloro Aplicado Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Inativação Coliformes Totais	
				N/No	log
1	10,50	10	8,30	$2x10^{-7}$	6,61
2	10,40		5,10	$2x10^{-2}$	1,68
3	10,00		4,60	$7x10^{-3}$	2,14
Concentração média e desvios padrão					3,48 ± 2,72
1	10,50	20	8,60	$2x10^{-7}$	6,61
2	10,40		5,50	$2x10^{-2}$	1,76
3	10,00		5,60	$4x10^{-3}$	2,40
Concentração média e desvios padrão					3,59 ± 2,64

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0

Continua

Continuação da Tabela A.20

Amostra	Cloro Aplicado Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido (mg.L^{-1})	Inativação Coliformes Totais	
				N/No	log
1	**10,50**	30	8,70	2x10^{-7}	6,61
2	**10,40**		5,80	2x10^{-2}	1,80
3	**10,00**		6,40	3x10^{-3}	2,54
Concentração média e desvios padrão					3,65 ± 2,59
1	**20,50**	10	12,30	1x10^{-6}	5,95
2	**20,20**		12,40	7x10^{-8}	7,18
3	**20,70**		13,70	6x10^{-6}	5,20
Concentração média e desvios padrão					6,11 ± 1,00
1	**20,50**	20	12,70	1x10^{-6}	5,95
2	**20,20**		12,60	3x10^{-2}	1,47
3	**20,70**		13,90	6x10^{-6}	5,20
Concentração média e desvios padrão					4,21 ± 2,40
1	**20,50**	30	13,10	1x10^{-6}	5,95
2	**20,20**		13,80	3x10^{-2}	1,55
3	**20,70**		14,60	6x10^{-6}	5,20
Concentração média e desvios padrão					4,24 ± 2,35
1	**28,90**	10	11,30	1x10^{-6}	6,00
2	**30,10**		14,90	1x10^{-6}	6,00
3	**28,90**		15,30	1x10^{-5}	5,00
Concentração média e desvios padrão					5,67 ± 0,58
1	**28,90**	20	11,30	1x10^{-6}	6,00
2	**30,10**		14,90	4x10^{-8}	7,36
3	**28,90**		15,30	1x10^{-5}	4,70
Concentração média e desvios padrão					6,02 ± 1,33
1	**28,90**	30	11,30	5x10^{-5}	5,00
2	**30,10**		14,90	2x10^{-5}	4,70
3	**28,90**		15,30	4x10^{-6}	5,46
Concentração média e desvios padrão					5,05 ± 0,38

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0

Tabela A.21: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e a concentração efetiva de cloro consumida para os ensaios de cloração

Amostra	Cloro Aplicado Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido (mg.L^{-1})	Inativação *E. coli*	
				N/No	log
1	**10,50**	10	8,30	2x10^{-6}	5,70
2	**10,40**		5,10	2x10^{-2}	1,70
3	**10,00**		4,60	2x10^{-3}	2,72
Valor Médio e Desvio Padrão					3,37 ± 2,08
1	**10,50**	20	8,60	2x10^{-6}	5,70
2	**10,40**		5,50	1x10^{-2}	1,98
3	**10,00**		5,60	2x10^{-3}	2,81
Valor Médio e Desvio Padrão					3,50 ± 1,95
1	**10,50**	30	8,70	2x10^{-6}	5,70
2	**10,40**		5,80	1x10^{-2}	2,00
3	**10,00**		6,40	1x10^{-3}	2,94
Valor Médio e Desvio Padrão					3,55 ± 1,92
1	**20,50**	10	11,3	5x10^{-6}	5,30
2	**20,20**		14,9	4x10^{-7}	6,38
3	**20,70**		15,3	1,0x10^{-4}	4,00
Valor Médio e Desvio Padrão					5,23 ± 1,19

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0

Continua

Continuação da Tabela A.21

Amostra	Cloro Aplicado Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido (mg.L^{-1})	Inativação *E. coli*	
				N/No	log
1	**20,50**	20	12,3	5x10^{-6}	5,30
2	**20,20**		15,0	3x10^{-4}	3,60
3	**20,70**		17,6	1x10^{-4}	3,95
Valor Médio e Desvio Padrão					4,29 ± 0,90
1	**20,50**	30	11,8	5x10^{-6}	5,30
2	**20,20**		16,6	2x10^{-4}	3,73
3	**20,70**		16,3	1x10^{-4}	3,95
Valor Médio e Desvio Padrão					4,33 ± 0,85
1	**28,90**	10	11,30	1x10^{-6}	6,00
2	**30,10**		14,90	4x10^{-6}	5,70
3	**28,90**		15,30	2x10^{-6}	5,70
Valor Médio e Desvio Padrão					6,45 ± 0,49
1	**28,90**	20	12,30	1x10^{-6}	6,00
2	**30,10**		15,00	1x10^{-6}	6,00
3	**28,90**		17,60	1x10^{-6}	6,00
Valor Médio e Desvio Padrão					6,00 ± 0,00
1	**28,90**	30	11,80	8x10^{-7}	6,08
2	**30,10**		16,60	8x10^{-7}	6,08
3	**28,90**		16,30	8x10^{-7}	6,08
Valor Médio e Desvio Padrão					6,08 ± 0,00

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0.

Tabela A.22: Concentrações de ozônio consumido, ozônio dissolvido e *off-gas* para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	*Off-Gas* (mg.L^{-1})	Ozônio Residual Dissolvido (mg.L^{-1})	Concentração de Ozônio Consumido (mg.L^{-1})
1	**5,00**	5	0,55	0,11	**4,34**
2			0,84	0,08	**4,08**
3			0,88	0,30	**3,82**
4			0,76	0,24	**4,00**
5			0,79	0,16	**4,05**
Concentração média e desvios padrão			0,76 ± 0,13	0,18 ± 0,09	**4,06 ± 0,19**
1	**8,00**	10	0,12	0,12	**7,31**
2			0,07	0,07	**7,09**
3			0,25	0,25	**6,86**
4			0,16	0,16	**7,16**
5			0,13	0,13	**7,11**
Concentração média e desvios padrão			0,15 ± 0,07	0,15 ± 0,07	**7,11 ± 0,16**
1	**10,00**	15	0,13	0,13	**9,30**
2			0,10	0,10	**9,31**
3			0,07	0,07	**9,04**
4			0,14	0,14	**9,24**
5			0,12	0,12	**9,24**
Concentração média e desvios padrão			0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,03	**9,23 ± 0,11**

Tabela A.23: Concentração de cloro consumido, concentração de cloro residual total e cloro residual livre para os ensaios de cloração

Amostra	Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Residual Total ($mg.L^{-1}$)	Cloro Residual Livre ($mg.L^{-1}$)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)
1	**10,00**	10	7,50	6,90	**2,50**
2	**10,17**		6,97	8,05	**3,20**
3	**10,36**		6,20	5,90	**4,16**
4	**10,12**		6,24	5,72	**3,88**
5	**10,61**		6,20	4,28	**4,41**
Concentração média e desvios padrão			6,99 ± 1,16	6,17 ± 1,41	**3,63 ± 0,78**
1	**20,00**	20	16,44	14,92	**3,56**
2	**20,35**		14,40	13,80	**5,60**
3	**20,00**		13,70	13,35	**6,30**
4	**20,25**		12,90	15,85	**7,35**
5	**20,40**		10,35	8,05	**10,05**
Concentração média e desvios padrão			13,56 ± 2,22	13,14 ± 3,04	**6,57 ± 2,39**
1	**30,00**	30	26,50	21,60	**3,50**
2	**30,52**		25,32	15,50	**5,20**
3	**29,40**		24,70	22,90	**4,70**
4	**30,37**		24,87	22,40	**5,50**
5	**30,19**		26,39	20,50	**3,80**
Concentração média e desvios padrão			25,56 ± 0,84	20,57 ± 2,97	**4,50 ± 0,90**

Tabela A.24: Alcalinidade Total e pH para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)
1	**AF**	4,84	5	2,50	10	6,70	184
	EF $_{O3}$					6,98	184
	EF O_3/Cl_2					7,01	163
2	**AF**	4,08		3,20		6,71	201
	EF $_{O3}$					6,95	195
	EF O_3/Cl_2					7,19	186
3	**AF**	3,82		4,16		6,60	122
	EF $_{O3}$					6,91	128
	EF O_3/Cl_2					6,94	126
4	**AF**	4,00		3,88		6,39	154
	EF $_{O3}$					7,09	167
	EF O_3/Cl_2					6,79	178
5	**AF**	4,05		4,41		6,60	146
	EF $_{O3}$					6,70	139
	EF O_3/Cl_2					7,08	143
Valores médios e desvios padrão					**AF**	6,60 ± 0,13	161 ± 31
					EF $_{O3}$	6,93 ± 0,14	163 ± 28
					EF O_3/Cl_2	7,00 ± 0,15	159 ± 25
1	**AF**	7,31	10	3,56	20	6,71	179
	EF $_{O3}$					7,02	182
	EF O_3/Cl_2					7,21	173

Continua

Continuação da Tabela A.24

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)
2	AF	7,09	10	5,60	20	6,64	197
	EF O_3					7,12	199
	EF O_3/Cl_2					7,10	186
3	AF	6,86		6,30		6,56	120
	EF O_3					6,95	126
	EF O_3/Cl_2					7,09	126
4	AF	7,16		7,35		6,48	171
	EF O_3					6,98	175
	EF O_3/Cl_2					7,19	167
5	AF	7,11		10,05		6,51	139
	EF O_3					6,94	143
	EF O_3/Cl_2					6,75	133
Valores médios e desvios padrão					AF	6,64 ± 0,08	161 ± 31
					EF O_3	7,01 ± 0,09	165 ± 30
					EF O_3/Cl_2	7,07 ± 0,19	157 ± 26
1	AF	9,30	15	3,50	30	6,99	188
	EF O_3					7,02	182
	EF O_3/Cl_2					7,22	171
2	AF	9,31		5,20		6,77	197
	EF O_3					7,26	191
	EF O_3/Cl_2					7,35	195
3	AF	9,04		4,70		6,96	124
	EF O_3					7,16	133
	EF O_3/Cl_2					7,37	131
4	AF	9,24		5,50		6,61	171
	EF O_3					6,85	171
	EF O_3/Cl_2					6,94	165
5	AF	9,24		3,80		6,72	161
	EF O_3					7,06	150
	EF O_3/Cl_2					7,05	150
Valores médios e desvios padrão					AF	6,75 ± 0,13	168 ± 28
					EF O_3	7,07 ± 0,15	165 ± 24
					EF O_3/Cl_2	7,19 ± 0,19	162 ± 24

Tabela A.25: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	DQO ($mg.L^{-1}$)	Aumento e Redução de DQO (%)
1	AF	4,84	5	2,50	10	166	- 23,5
	EF O_3					127	+ 26,5
	EF O_3/Cl_2					148	
2	AF	4,08		3,20		87	- 51,7
	EF O_3					42	+ 50,0
	EF O_3/Cl_2					63	
3	AF	3,82		4,16		75	- 26,7
	EF O_3					55	+ 32,7
	EF O_3/Cl_2					73	

Continua

Continuação da Tabela A.25

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	DQO ($mg.L^{-1}$)	Aumento e Redução de DQO (%)
4	**AF**	4,00	5	3,88	10	38	- 7,9
	EF O_3					35	+ 51,4
	EF O_3/Cl_2					53	
5	**AF**	4,05		4,41		70	- 22,9
	EF O_3					54	+ 7,4
	EF O_3/Cl_2					58	
Valores médios e desvios padrão					**AF**	87 ± 48	- 26,5 ± 38,2
					EF O_3	63 ± 37	+ 25,4 ± 19,7
					EF O_3/Cl_2	79 ± 39	
1	**AF**	7,31	10	3,56	20	187	- 49,5
	EF O_3					100	+ 31,0
	EF O_3/Cl_2					131	
2	**AF**	7,09		5,60		118	- 58,5
	EF O_3					49	+ 24,5
	EF O_3/Cl_2					61	
3	**AF**	6,86		6,30		101	- 44,6
	EF O_3					56	+ 42,6
	EF O_3/Cl_2					80	
4	**AF**	7,16		7,35		50	- 54,0
	EF O_3					23	+ 56,5
	EF O_3/Cl_2					36	
5	**AF**	7,11		10,05		68	- 41,2
	EF O_3					40	+ 37,00
	EF O_3/Cl_2					55	
Valores médios e desvios padrão					**AF**	107 ± 57	- 49,5 ± 7,0
					EF O_3	54 ± 293	+ 35,2 ± 14,0
					EF O_3/Cl_2	73 ± 36	
1	**AF**	9,30	15	3,50	30	198	- 49,0
	EF O_3					101	+ 11,9
	EF O_3/Cl_2					113	
2	**AF**	9,31		5,20		99	- 47,5
	EF O_3					52	+15,8
	EF O_3/Cl_2					60	
3	**AF**	9,04		4,70		122	- 54,1
	EF O_3					56	+ 21,4
	EF O_3/Cl_2					68	
4	**AF**	9,24		5,50		35	- 37,1
	EF O_3					22	+ 18,2
	EF O_3/Cl_2					26	
5	**AF**	9,24		3,80		60	- 20,0
	EF O_3					48	+ 22,9
	EF O_3/Cl_2					59	
Valores médios e desvios padrão					**AF**	103 ± 63	- 41,5 ± 13,5
					EF O_3	56 ± 29	+ 16,1 ± 4,8
					EF O_3/Cl_2	65 ± 31	

Obs.: *(+) para aumento de DQO e (-) para redução de DQO*

Tabela A.26: NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	NTK ($mg.N.L^{-1}$)	Nitrogênio Amoniacal ($mg.N.L^{-1}$)	Nitrogênio Orgânico ($mg.N.L^{-1}$)
1	AF	4,84	5	2,50	10	45,54	32,36	13,18
	EF O_3					43,14	32,76	10,38
	EF O_3/Cl_2					39,90	31,95	7,95
2	AF	4,08		3,20		45,54	37,50	8,04
	EF O_3					44,34	36,60	7,74
	EF O_3/Cl_2					41,34	36,35	4,99
3	AF	3,82		4,16		34,75	23,07	11,68
	EF O_3					33,75	22,47	11,28
	EF O_3/Cl_2					31,16	21,72	9,44
4	AF	4,00		3,88		44,34	27,90	16,44
	EF O_3					39,55	27,60	11,95
	EF O_3/Cl_2					36,90	26,90	10,00
5	AF	4,05		4,41		34,75	26,36	8,39
	EF O_3					33,56	26,07	7,49
	EF O_3/Cl_2					28,76	25,30	3,46
Concentração média e desvios padrão					AF	40,98 ± 5,71	29,44 ± 5,61	11,55 ± 3,50
					EF O_3	38,87 ± 5,08	29,10 ± 5,59	9,77 ± 2,04
					EF O_3/Cl_2	35,61 ± 5,47	28,44 ± 5,75	7,17 ± 2,84
1	AF	7,31	10	3,56	20	47,94	32,06	15,88
	EF O_3					45,54	31,46	14,08
	EF O_3/Cl_2					44,34	31,16	13,18
2	AF	7,09		5,60		46,74	37,20	9,54
	EF O_3					44,34	36,60	7,74
	EF O_3/Cl_2					42,24	35,39	6,85
3	AF	6,86		6,30		32,36	21,27	11,09
	EF O_3					32,36	21,27	11,09
	EF O_3/Cl_2					29,96	19,97	9,99
4	AF	7,16		7,35		45,53	28,50	17,03
	EF O_3					43,14	28,00	15,14
	EF O_3/Cl_2					41,94	27,30	14,64
5	AF	7,11		10,05		34,75	26,07	8,68
	EF O_3					33,56	25,47	8,09
	EF O_3/Cl_2					29,96	23,30	6,66
Concentração média e desvios padrão					AF	41,46 ± 7,32	29,02 ± 6,02	12,44 ± 3,78
					EF O_3	39,79 ± 6,30	28,56 ± 5,83	11,23 ± 3,37
					EF O_3/Cl_2	37,69 ± 7,12	27,42 ± 6,12	10,26 ± 3,62
1	AF	9,30	15	3,50	30	46,75	33,35	13,40
	EF O_3					44,34	31,16	13,18
	EF O_3/Cl_2					40,75	30,46	10,29
2	AF	9,31		5,20		46,74	37,50	9,24
	EF O_3					45,75	36,90	8,64
	EF O_3/Cl_2					43,74	35,20	8,54
3	AF	9,04		4,70		35,75	22,17	13,58
	EF O_3					34,75	21,87	12,88
	EF O_3/Cl_2					32,06	20,37	11,69
4	AF	9,24		5,50		40,75	28,75	12,00
	EF O_3					38,94	28,20	10,74
	EF O_3/Cl_2					36,15	27,15	9,00
5	AF	9,24		3,80		34,75	26,97	7,78
	EF O_3					32,36	26,36	6,00
	EF O_3/Cl_2					29,96	25,71	4,25
Concentração média e desvios padrão					AF	40,95 ± 5,76	29,75 ± 5,90	11,20 ± 2,58
					EF O_3	39,23 ± 5,83	28,90 ± 5,60	10,29 ± 3,02
					EF O_3/Cl_2	36,53 ± 5,77	27,78 ± 5,52	8,75 ± 2,80

Tabela A.27: Nitrito e Nitrato para todos os ensaios de ozonização/cloração para os para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Nitrito ($mg.N.L^{-1}$)	Nitrato ($mg.N.L^{-1}$)
1	AF	4,84	5	2,50	10	0,0027	0,8790
	EF O_3					0,0025	0,3516
	EF O_3/Cl_2					0,0049	0,5626
2	AF	4,08		3,20		0,0025	0,6589
	EF O_3					0,0021	0,2636
	EF O_3/Cl_2					0,0040	0,4329
3	AF	3,82		4,16		0,0030	0,7845
	EF O_3					0,0027	0,3243
	EF O_3/Cl_2					0,0052	0,5027
4	AF	4,00		3,88		0,0020	1,0934
	EF O_3					0,0018	0,5832
	EF O_3/Cl_2					0,0050	0,9914
5	AF	4,05		4,41		0,0021	0,9523
	EF O_3					0,0016	0,5321
	EF O_3/Cl_2					0,0047	0,8939
Concentração média e desvios padrão					AF	0,0025 ± 0,0004	0,8736 ± 0,1647
					EF O_3	0,0021 ± 0,0005	0,4110 ± 0,1388
					EF O_3/Cl_2	0,0048 ± 0,0005	0,6767 ± 0,2495
1	AF	7,31	10	3,56	20	0,0031	0,6523
	EF O_3					0,0029	0,3718
	EF O_3/Cl_2					0,0058	0,4610
2	AF	7,09		5,60		0,0028	0,6342
	EF O_3					0,0025	0,3805
	EF O_3/Cl_2					0,0052	0,4641
3	AF	6,86		6,30		0,0033	0,7443
	EF O_3					0,0028	0,3573
	EF O_3/Cl_2					0,0055	0,4538
4	AF	7,16		7,35		0,0035	0,6210
	EF O_3					0,0030	0,3788
	EF O_3/Cl_2					0,0068	0,4621
5	AF	7,11		10,05		0,0027	0,7842
	EF O_3					0,0022	0,3843
	EF O_3/Cl_2					0,0047	0,5072
Concentração média e desvios padrão					AF	0,0031 ± 0,0003	0,6872 ± 0,0726
					EF O_3	0,0027 ± 0,0003	0,3745 ± 0,0106
					EF O_3/Cl_2	0,0056 ± 0,0008	0,4696 ± 0,0214
1	AF	9,30	15	3,50	30	0,0028	0,7529
	EF O_3					0,0026	0,3915
	EF O_3/Cl_2					0,0016	0,5210
2	AF	9,31		5,20		0,0037	0,8421
	EF O_3					0,0033	0,3610
	EF O_3/Cl_2					0,0019	0,4510
3	AF	9,04		4,70		0,0020	0,7312
	EF O_3					0,0017	0,3290
	EF O_3/Cl_2					0,0008	0,4390
4	AF	9,24		5,50		0,0027	0,6541
	EF O_3					0,0023	0,3251
	EF O_3/Cl_2					0,0014	0,4261
5	AF	9,24		3,80		0,0019	0,7933
	EF O_3					0,0017	0,3173
	EF O_3/Cl_2					0,0009	0,4573
Concentração média e desvios padrão					AF	0,0031 ± 0,0003	0,7547 ± 0,0704
					EF O_3	0,0027 ± 0,0003	0,3448 ± 0,0310
					EF O_3/Cl_2	0,0056 ± 0,0008	0,4589 ± 0,0367

Tabela A.28: Cloreto para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios de 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Cloreto ($mg\ Cl^{-}.L^{-1}$)
1	**AF**	4,84	5	10	2,50	68,50
	EF O_3					54,00
	EF O_3/Cl_2					70,50
2	**AF**	4,08			3,20	43,00
	EF O_3					34,50
	EF O_3/Cl_2					55,00
3	**AF**	3,82			4,16	20,00
	EF O_3					20,00
	EF O_3/Cl_2					35,50
4	**AF**	4,00			3,88	26,50
	EF O_3					26,50
	EF O_3/Cl_2					42,50
5	**AF**	4,05			4,41	23,00
	EF O_3					19,00
	EF O_3/Cl_2					65,50
Concentração média e desvios padrão					**AF**	36,00 ± 20,00
					EF O_3	30,80 ± 14,40
					EF O_3/Cl_2	53,80 ± 14,80
1	**AF**	7,31	10	20	3,56	62,00
	EF O_3					55,00
	EF O_3/Cl_2					86,50
2	**AF**	7,09			5,60	44,00
	EF O_3					35,00
	EF O_3/Cl_2					67,50
3	**AF**	6,86			6,30	19,00
	EF O_3					19,00
	EF O_3/Cl_2					46,40
4	**AF**	7,16			7,35	28,50
	EF O_3					26,50
	EF O_3/Cl_2					46,00
5	**AF**	7,11			10,05	21,50
	EF O_3					19,00
	EF O_3/Cl_2					49,50
Concentração média e desvios padrão					**AF**	35,00 ± 18,00
					EF O_3	30,90 ± 15,00
					EF O_3/Cl_2	59,10 ± 17,70
1	**AF**	9,30	15	30	3,50	52,00
	EF O_3					53,50
	EF O_3/Cl_2					70,50
2	**AF**	9,31			5,20	45,00
	EF O_3					36,50
	EF O_3/Cl_2					85,50
3	**AF**	9,04			4,70	18,50
	EF O_3					18,50
	EF O_3/Cl_2					66,00
4	**AF**	9,24			5,50	27,00
	EF O_3					27,00
	EF O_3/Cl_2					50,00
5	**AF**	9,24			3,80	26,00
	EF O_3					19,00
	EF O_3/Cl_2					65,50
Concentração média e desvios padrão					**AF**	33,70 ± 14,10
					EF O_3	30,90 ± 14,60
					EF O_3/Cl_2	67,50 ± 12,70

Tabela A.29: Sulfeto para os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Tempo (min)	Concentração de Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Sulfeto ($mg.L^{-1}S^{2-}$)
1	AF	4,84	5	10	2,50	0,165
	EF O_3					0,080
	EF O_3/Cl_2					0,070
2	AF	4,08			3,20	0,060
	EF O_3					0,050
	EF O_3/Cl_2					0,025
3	AF	3,82			4,16	0,065
	EF O_3					0,015
	EF O_3/Cl_2					0,010
4	AF	4,00			3,88	0,030
	EF O_3					0,015
	EF O_3/Cl_2					0,005
5	AF	4,05			4,41	0,055
	EF O_3					0,020
	EF O_3/Cl_2					0,015
Concentração média e desvios padrão					AF	0,075 ± 0,052
					EF O_3	0,036 ± 0,029
					EF O_3/Cl_2	0,025 ± 0,026
1	AF	7,31	10	20	3,56	0,115
	EF O_3					0,080
	EF O_3/Cl_2					0,060
2	AF	7,09			5,60	0,050
	EF O_3					0,040
	EF O_3/Cl_2					0,025
3	AF	6,86			6,30	0,040
	EF O_3					0,015
	EF O_3/Cl_2					0,005
4	AF	7,16			7,35	0,030
	EF O_3					0,020
	EF O_3/Cl_2					0,005
5	AF	7,11			10,05	0,050
	EF O_3					0,020
	EF O_3/Cl_2					0,015
Concentração média e desvios padrão					AF	0,057 ± 0,033
					EF O_3	0,035 ± 0,027
					EF O_3/Cl_2	0,022 ± 0,023
1	AF	9,30	15	30	3,50	0,215
	EF O_3					0,100
	EF O_3/Cl_2					0,070
2	AF	9,31			5,20	0,060
	EF O_3					0,040
	EF O_3/Cl_2					0,020
3	AF	9,04			4,70	0,035
	EF O_3					0,0015
	EF O_3/Cl_2					0,005
4	AF	9,24			5,50	0,035
	EF O_3					0,020
	EF O_3/Cl_2					0,005
5	AF	9,24			3,80	0,065
	EF O_3					0,020
	EF O_3/Cl_2					0,020
Concentração média e desvios padrão					AF	0,082 ± 0,076
					EF O_3	0,039 ± 0,035
					EF O_3/Cl_2	0,024 ± 0,027

Tabela A.30: SST, SSF e SSV para todos os ensaios de ozonização/cloração para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	SST ($mg.L^{-1}$)	SSF ($mg.L^{-1}$)	SSV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	4,84	5	2,50	10	60,00	6,00	54,00
	EF $_{O3}$					47,00	6,00	41,00
	EF O_3/Cl_2					70,00	20,00	50,00
2	AF	4,08		3,20		20,00	3,00	17,00
	EF $_{O3}$					17,00	2,00	15,00
	EF O_3/Cl_2					17,00	2,00	15,00
3	AF	3,82		4,16		25,00	9,00	16,00
	EF $_{O3}$					12,00	5,00	7,00
	EF O_3/Cl_2					6,00	2,00	4,00
4	AF	4,00		3,88		28,00	11,00	17,00
	EF $_{O3}$					16,00	7,00	9,00
	EF O_3/Cl_2					11,00	5,00	6,00
5	AF	4,05		4,41		6,00	2,00	4,00
	EF $_{O3}$					3,00	1,00	2,00
	EF O_3/Cl_2					3,00	1,00	2,00
Concentração média e desvios padrão					AF	27,80 ± 19,88	6,20 ± 3,83	21,60 ± 18,93
					EF $_{O3}$	19,00 ± 16,60	4,20 ± 2,59	14,80 ± 15,37
					EF O_3/Cl_2	21,40 ± 27,68	6,00 ± 7,97	15,40 ± 19,97
1	AF	7,31	10	3,56	20	64,00	5,00	59,00
	EF $_{O3}$					40,00	4,00	36,00
	EF O_3/Cl_2					73,00	18,00	55,00
2	AF	7,09		5,60		26,00	7,00	19,00
	EF $_{O3}$					19,00	2,00	17,00
	EF O_3/Cl_2					10,00	2,00	8,00
3	AF	6,86		6,30		30,00	7,00	23,00
	EF $_{O3}$					17,00	6,00	11,00
	EF O_3/Cl_2					8,00	3,00	5,00
4	AF	7,16		7,35		27,00	12,00	15,00
	EF $_{O3}$					17,00	9,00	8,00
	EF O_3/Cl_2					13,00	7,00	6,00
5	AF	7,11		10,05		5,00	1,00	4,00
	EF $_{O3}$					3,00	1,00	2,00
	EF O_3/Cl_2					2,00	1,00	1,00
Concentração média e desvios padrão					AF	30,40 ± 21,24	6,40 ± 3,97	24,00 ± 20,81
					EF $_{O3}$	19,20 ± 13,27	4,40 ± 3,21	14,80± 13,03
					EF O_3/Cl_2	21,20 ± 29,24	6,20 ± 6,98	15,00 ± 22,51
1	AF	9,30	15	3,50	30	51,00	11,00	40,00
	EF $_{O3}$					40,00	9,00	31,00
	EF O_3/Cl_2					72,00	22,00	50,00
2	AF	9,31		5,20		28,00	9,00	19,00
	EF $_{O3}$					13,00	3,00	10,00
	EF O_3/Cl_2					13,00	3,00	10,00
3	AF	9,04		4,70		34,00	11,00	23,00
	EF $_{O3}$					25,00	7,00	18,00
	EF O_3/Cl_2					10,00	2,00	8,00
4	AF	9,24		5,50		25,00	9,00	16,00
	EF $_{O3}$					13,00	4,00	9,00
	EF O_3/Cl_2					9,00	2,00	7,00
5	AF	9,24		3,80		7,00	2,00	5,00
	EF $_{O3}$					4,00	1,00	3,00
	EF O_3/Cl_2					3,00	1,00	2,00
Concentração média e desvios padrão					AF	29,00 ± 15,89	8,40 ± 3,71	20,60 ± 12,74
					EF $_{O3}$	19,00 ± 13,91	4,80 ± 3,19	14,20 ± 10,80
					EF O_3/Cl_2	21,40 ± 28,52	6,00 ± 8,97	15,40 ± 19,57

Tabela A.31: ST, STF e STV para os ensaios ozonização/cloração para os ensaios de 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	ST ($mg.L^{-1}$)	STF ($mg.L^{-1}$)	STV ($mg.L^{-1}$)
1	AF	4,84	5	2,50	10	393,60	153,60	240,00
	EF $_{O3}$					162,00	45,20	116,80
	EF O_3/Cl_2					418,00	267,60	150,40
2	AF	4,08		3,20		346,60	113,60	236,00
	EF $_{O3}$					288,00	98,00	198,00
	EF O_3/Cl_2					420,00	208,80	211,20
3	AF	3,82		4,16		168,80	92,40	76,40
	EF $_{O3}$					112,50	95,80	71,00
	EF O_3/Cl_2					246,50	198,40	94,80
4	AF	4,00		3,88		127,80	98,50	29,30
	EF $_{O3}$					112,50	83,70	28,80
	EF O_3/Cl_2					246,50	184,20	62,30
5	AF	4,05		4,41		177,80	96,40	81,20
	EF $_{O3}$					157,30	81,60	156,00
	EF O_3/Cl_2					342,50	155,60	186,90
Concentração média e desvios padrão					AF	304,00 ± 119,14	119,87 ± 31,08	184,13 ± 93,32
					EF $_{O3}$	205,60 ± 71,40	79,67 ± 29,87	128,60 ± 64,32
					EF O_3/Cl_2	377,07 ± 72,64	224,93 ± 37,31	152,13 ± 58,33
1	AF	7,31	10	3,56	20	294,00	194,80	199,20
	EF $_{O3}$					148,80	41,60	107,20
	EF O_3/Cl_2					479,60	204,40	275,20
2	AF	7,09		5,60		446,00	294,40	151,60
	EF $_{O3}$					330,80	156,00	174,80
	EF O_3/Cl_2					495,20	306,40	188,80
3	AF	6,86		6,30		149,20	115,20	34,00
	EF $_{O3}$					141,20	109,20	32,00
	EF O_3/Cl_2					212,40	152,40	60,00
4	AF	7,16		7,35		132,40	104,20	28,20
	EF $_{O3}$					121,30	95,60	27,70
	EF O_3/Cl_2					246,30	185,60	60,70
5	AF	7,11		10,05		172,40	79,20	93,20
	EF $_{O3}$					150,70	97,80	102,90
	EF O_3/Cl_2					302,20	136,40	166,80
Concentração média e desvios padrão					AF	329,73 ± 158,49	201,47 ± 89,79	128,27 ± 85,04
					EF $_{O3}$	206,93 ± 107,34	102,27 ± 57,51	104,67± 71,43
					EF O_3/Cl_2	395,73 ± 158,96	221,07 ± 78,34	174,67 ±108,29
1	AF	9,30		3,50		359,20	151,60	207,60
	EF $_{O3}$					169,60	70,00	99,60
	EF O_3/Cl_2					490,00	290,40	199,60
2	AF	9,31		5,20		493,60	260,80	232,80
	EF $_{O3}$					324,80	80,40	244,40
	EF O_3/Cl_2					534,80	294,80	240,00
3	AF	9,04		4,70		143,60	110,00	33,60
	EF $_{O3}$					140,80	107,60	33,20
	EF O_3/Cl_2					306,80	229,20	77,60
4	AF	9,24		5,50		120,70	94,40	25,30
	EF $_{O3}$					115,80	91,00	24,80
	EF O_3/Cl_2					235,70	178,70	57,30
5	AF	9,24		3,80		192,40	94,80	98,20
	EF $_{O3}$					172,80	67,60	153,20
	EF O_3/Cl_2					320,00	122,80	199,20
Concentração média e desvios padrão					AF	332,13 ± 176,56	174,13 ± 77,88	158,00±108,47
					EF $_{O3}$	211.73 ± 98,97	86,00 ± 19,42	125,73±108,00
					EF O_3/Cl_2	443,87 ± 120,80	271,47 ± 36,67	172,40 ± 84,55

Tabela A.32: Inativação de coliformes totais em função do tempo de contato e a concentração efetiva de ozônio/cloro consumida para o efluente ozonizado e clorado-desclorado para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Inativação Coliformes Totais	
						N/No	log
1	EF O_3	4,84	5	2,50	10	$7x10^{-2}$	1,15
	EF O_3/Cl_2					$4x10^{-3}$	2,44
2	EF O_3	4,08		3,20		$7x10^{2}$	1,15
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-7}$	6,85
3	EF O_3	3,82		4,16		$2x10^{-1}$	0,66
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-6}$	6,00
4	EF O_3	4,00		3,88		$4x10^{-1}$	0,40
	EF O_3/Cl_2					$3x10^{-6}$	6,48
5	EF O_3	4,05		4,41		$5x10^{-1}$	0,27
	EF O_3/Cl_2					$3x10^{-6}$	6,48
Valores médios e desvios padrão						**EF O_3**	**0,73 ± 0,41**
						EF O_3/Cl_2	**5,65 ± 1,82**
1	EF O_3	7,31	10	3,56	20	$8x10^{-2}$	1,08
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-4}$	3,88
2	EF O_3	7,09		5,60		$3x10^{-1}$	0,52
	EF O_3/Cl_2					$2x10^{-7}$	6,78
3	EF O_3	6,86		6,30		$1x10^{-1}$	1,00
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-6}$	6,00
4	EF O_3	7,16		7,35		$3x10^{-1}$	0,60
	EF O_3/Cl_2					$5x10^{-6}$	6,30
5	EF O_3	7,11		10,05		$4x10^{-2}$	1,43
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-6}$	6,90
Valores médios e desvios padrão						**EF O_3**	**0,93 ± 0,37**
						EF O_3/Cl_2	**5,97 ± 1,23**
1	EF O_3	9,30	15	3,50	30	$4x10^{-2}$	1,37
	EF O_3/Cl_2					$2x10^{-5}$	4,82
2	EF O_3	9,31		5,20		$1x10^{-2}$	1,86
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-7}$	6,90
3	EF O_3	9,04		4,70		$2x10^{-1}$	0,70
	EF O_3/Cl_2					$3x10^{-7}$	6,48
4	EF O_3	9,24		5,50		$7x10^{-2}$	1,15
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-7}$	7,00
5	EF O_3	9,24		3,80		$1x10^{-2}$	1,93
	EF O_3/Cl_2					$2x10^{-7}$	6,78
Valores médios e desvios padrão						**EF O_3**	**1,40 ± 0,51**
						EF O_3/Cl_2	**6,40 ± 0.90**

Tabela A.33: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e concentração efetiva de ozônio/cloro consumida para o efluente ozonizado e clorado-desclorado para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra		Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Inativação *E. coli*	
						N/No	log
1	EF O_3	4,84	5	2,50	10	$6x10^{-2}$	1,20
	EF O_3/Cl_2					$3x10^{-7}$	6,60
2	EF O_3	4,08		3,20		$9x10^{-2}$	1,05
	EF O_3/Cl_2					$3x10^{-7}$	6,48
3	EF O_3	3,82		4,16		$2x10^{-1}$	0,81
	EF O_3/Cl_2					$5x10^{-6}$	5,30
4	EF O_3	4,00		3,88		$2x10^{-1}$	0,70
	EF O_3/Cl_2					$5x10^{-7}$	6,30
5	EF O_3	4,05		4,41		$7x10^{-2}$	1,15
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-5}$	5,00
Valores médios e desvios padrão						**EF O_3**	**0,98 ± 0,22**
						EF O_3/Cl_2	**5,94 ± 0,73**
1	EF O_3	7,31	10	3,56	20	$3x10^{-2}$	1,52
	EF O_3/Cl_2					$2x10^{-7}$	6,60
2	EF O_3	7,09		5,60		$3x10^{-1}$	0,52
	EF O_3/Cl_2					$3x10^{-7}$	6,60
3	EF O_3	6,86		6,30		$8x10^{-1}$	0,12
	EF O_3/Cl_2					$5x10^{-6}$	5,30
4	EF O_3	7,16		7,35		$5x10^{-6}$	5,30
	EF O_3/Cl_2					$5x10^{-6}$	5,30
5	EF O_3	7,11		10,05		$1x10^{-5}$	5,00
	EF O_3/Cl_2					$1x10^{-5}$	5,00
Valores médios e desvios padrão						**EF O_3**	**2,49 ± 2,48**
						EF O_3/Cl_2	**5,80 ± 0,83**
1	EF O_3	9,30	15	3,50	30	$3x10^{-2}$	1,60
	EF O_3/Cl_2					$2x10^{-7}$	6,78
2	EF O_3	9,31		5,20		$8x10^{-2}$	1,08
	EF O_3/Cl_2					$8x10^{-8}$	7,08
3	EF O_3	9,04		4,70		$3x10^{-1}$	0,60
	EF O_3/Cl_2					$5x10^{-6}$	5,30
4	EF O_3	9,24		5,50		$5x10^{-6}$	5,30
	EF O_3/Cl_2					$5x10^{-6}$	5,30
5	EF O_3	9,24		3,80		$5x10^{-6}$	5,30
	EF O_3/Cl_2					$5x10^{-6}$	5,30
Valores médios e desvios padrão						**EF O_3**	**2,78 ± 2,33**
						EF O_3/Cl_2	**5,95 ± 0,90**

Tabela A.34: Concentrações de ozônio consumido, ozônio residual dissolvido e *off-gas* para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	*Off-Gas* ($mg.L^{-1}$)	Ozônio Residual ($mg.L^{-1}$)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)
1	**2,70**	10	1,94	0,210	0,55
2	**2,65**		1,92	0,170	0,56
3	**2,71**		1,91	0,169	0,63
4	**2,80**		2,15	0,169	0,48
5	**2,70**		1,98	0,180	0,54
6	**3,32**		1,02	0,149	2,15
7	**2,56**		0,77	0,159	1,63
8	**2,68**		0,71	0,137	1,83
9	**2,70**		0,77	0,145	1,79
10	**2,63**		0,79	0,152	1,69
11	**2,48**		1,10	0,211	1,17
12	**2,49**		1,14	0,182	1,17
13	**2,58**		1,14	0,200	1,24
14	**2,46**		1,11	0,202	1,15
15	**2,43**		1,13	0,196	1,10
Concentração média e desvios padrão	**2,66 ± 0,21**		1,31 ± 0,52	0,18 ± 0,55	1,18 ± 0,55
1	**9,03**	20	4,10	0,254	4,68
2	**8,69**		3,81	0,188	4,69
3	**8,53**		3,60	0,206	4,72
4	**8,44**		3,47	0,181	4,79
5	**8,51**		3,60	0,196	4,71
6	**8,30**		2,26	0,171	5,87
7	**8,10**		2,37	0,169	5,56
8	**7,99**		2,45	0,155	5,39
9	**7,62**		1,81	0,177	5,63
10	**7,19**		1,39	0,188	5,61
11	**6,76**	20	3,13	0,232	3,40
12	**6,87**		2,82	0,253	3,90
13	**6,82**		3,21	0,218	3,39
14	**7,41**		2,86	0,245	4,31
15	**7,36**		2,57	0,266	4,52
Concentração média e desvios padrão	**7,85 ± 0,74**		2,90 ± 0,77	0,21 ± 0,04	4,74 ± 0,78

Tabela A.35: Alcalinidade, pH e temperatura para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)	Temperatura (^oC)
Afluente 1	**-**	10	7,13	260	10,00
1	**2,70**		7,24	261	12,10
2	**2,65**		7,25	262	12,50
3	**2,71**		7,28	257	13,00
4	**2,80**		7,30	258	14,60
5	**2,70**		7,31	258	14,30
Afluente 2	**-**		7,35	179	12,00
6	**3,32**		7,38	178	12,10
7	**2,56**		7,40	178	12,10
8	**2,68**		7,42	178	12,40
9	**2,70**		7,45	178	12,60
10	**2,63**		7,43	178	13,40

Continua

Continuação da Tabela A.35

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)	Temperatura (^oC)
Afluente 3	-	10	7,40	197	11,00
11	**2,48**		7,42	198	11,00
12	**2,49**		7,43	201	11,20
13	**2,58**		7,48	199	11,40
14	**2,46**		7,44	199	11,50
15	**2,43**		7,45	197	12,00
Valores Médios e Desvios Padrão	**2,66 ± 0,21**	**AF**	7,32 ± 0,10	212 ± 36	11,20 ± 1,03
		EF	7,38 ± 0,08	213 ± 36	12,41 ± 1,05
Afluente 1	-	20	7,33	253	10,0
1	**9,03**		7,37	256	12,0
2	**8,69**		7,37	259	12,2
3	**8,53**		7,37	256	12,2
4	**8,44**		7,35	260	12,8
5	**8,51**		7,36	259	13,4
Afluente 2	-		7,44	180	17,0
6	**8,30**		7,44	181	17,2
7	**8,10**		7,45	182	17,2
8	**7,99**		7,48	181	17,2
9	**7,62**		7,50	179	17,3
10	**7,19**		7,55	179	17,4
Afluente 3	-		7,32	206	14,5
11	**6,76**		7,27	202	14,5
12	**6,87**		7,31	205	14,6
13	**6,82**		7,37	204	14,6
14	**7,41**		7,36	204	14,8
15	**7,36**		7,39	204	15,5
Valores Médios e Desvios Padrão	**7,85 ± 0,74**	**AF**	7,36 ± 0,06	213 ± 31	14,55 ± 2,26
		EF	7,40 ± 0,07	214 ± 34	14,83 ± 2,05

Tabela A.36: Ácidos Orgânicos Voláteis para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Ácidos Orgânicos Voláteis ($mg.HAc.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	17,64
1	**2,70**		14,10
2	**2,65**		12,44
3	**2,71**		12,00
4	**2,80**		12,26
5	**2,70**		12,56
Afluente 2	-		18,44
6	**3,32**		13,80
7	**2,56**		13,50
8	**2,68**		13,50
9	**2,70**		14,00
10	**2,63**		13,90
Afluente 3	-		5,80
11	**2,48**		2,28
12	**2,49**		5,11
13	**2,58**		3,33
14	**2,46**		2,10
15	**2,43**		3,80
Concentração média e desvios padrão		**AF**	13,96 ± 5,98
		EF	9,91 ± 4,91
Afluente 1	-	20	17,64
1	**9,03**		13,44
2	**8,69**		13,13
3	**8,53**		14,67
4	**8,44**		13,59
5	**8,51**		13,78

Continua

Continuação da Tabela A.36

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)		Ácidos Orgânicos Voláteis (mg.HAc.L^{-1})
Afluente 2	**-**	20		4,32
6	**8,30**			9,39
7	**8,10**			7,61
8	**7,99**			8,63
9	**7,62**			8,75
10	**7,19**			9,02
Afluente 3	**-**			5,63
11	**6,76**			2,18
12	**6,87**			2,79
13	**6,82**			2,22
14	**7,41**			2,33
15	**7,36**			1,45
Concentração média e desvios padrão			**AF**	11,46 ± 5,91
			EF	8,22 ± 4,92

Tabela A.37: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Ozônio Consumido (mg.L^{-1})		DQO (mg.L^{-1})	Remoção (%)
Afluente 1	**-**	10	-		77	-
1	**2,70**		0,55		76	1,3
2	**2,65**		0,56		75	2,6
3	**2,71**		0,63		75	2,6
4	**2,80**		0,48		75	2,60
5	**2,70**		0,54		75	2,60
Afluente 2	**-**		-		67	-
6	**3,32**		2,15		60	10,5
7	**2,56**		1,63		60	10,5
8	**2,68**		1,83		61	9,0
9	**2,70**		1,79		61	9,0
10	**2,63**		1,69		61	9,0
Afluente 3	**-**		-		83	-
11	**2,48**		1,17		77	7,2
12	**2,49**		1,17		77	7,2
13	**2,58**		1,24		77	7,2
14	**2,46**		1,15		77	7,2
15	**2,43**		1,10		77	7,2
Valores Médios e Desvios Padrão				**AF**	76 ± 7	6,4 ± 3,2
				EF	71 ± 8	
Afluente 1	**-**	20	-		78	-
1	**9,03**		4,68		73	6,4
2	**8,69**		4,69		74	5,1
3	**8,53**		4,72		72	7,7
4	**8,44**		4,79		74	5,1
5	**8,51**		4,71		73	6,4
Afluente 2	**-**		-		56	-
6	**8,30**		5,87		48	14,3
7	**8,10**		5,56		50	10,7
8	**7,99**		5,39		49	12,5
9	**7,62**		5,63		49	12,5
10	**7,19**		5,61		48	14,3
Afluente 3	**-**		-		81	-
11	**6,76**		3,40		74	8,6
12	**6,87**		3,90		73	9,9
13	**6,82**		3,39		72	11,1
14	**7,41**		4,31		75	7,4
15	**7,36**		4,52		75	7,4
Valores Médios e Desvios Padrão				**AF**	72 ± 12	9,3 ± 3,1
				EF	65 ± 12	

Tabela A.38: COT, CIT e CT para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)		COT (mg.L^{-1})	CIT (mg.L^{-1})	CT (mg.L^{-1})
Afluente 1	-	10		18,80	59,00	77,80
1	**2,70**			16,00	57,20	73,20
2	**2,65**			14,30	56,90	71,20
3	**2,71**			12,30	57,10	69,40
4	**2,80**			15,20	56,90	72,10
5	**2,70**			13,40	56,80	70,20
Afluente 2	-			16,00	41,00	57,00
6	**3,32**			13,90	42,00	55,90
7	**2,56**			13,70	39,60	53,30
8	**2,68**			17,00	37,90	54,90
9	**2,70**			16,90	37,80	54,70
10	**2,63**			14,50	38,70	53,20
Afluente 3	-			7,93	46,10	54,03
11	**2,48**			7,20	44,40	51,60
12	**2,49**			7,30	45,20	52,50
13	**2,58**			7,40	44,10	51,50
14	**2,46**			7,50	43,00	50,50
15	**2,43**			7,30	42,80	50,10
Concentração média e desvios padrão			**AF**	14,24 ± 4,77	48,70 ± 7,84	62,94 ± 10,95
			EF	12,26 ± 3,81	46,69 ± 7,86	58,95 ± 9,15
Afluente 1	-	20		27,00	61,20	88,20
1	**9,03**			23,30	57,70	81,00
2	**8,69**			18,60	56,20	74,80
3	**8,53**			14,30	59,20	73,50
4	**8,44**			16,70	59,40	76,10
5	**8,51**			15,70	59,50	75,20
Afluente 2	-			15,20	49,50	64,70
6	**8,30**			13,70	42,90	56,60
7	**8,10**			11,50	43,90	55,40
8	**7,99**			14,20	35,70	49,90
9	**7,62**			14,90	36,20	51,10
10	**7,19**			15,00	43,00	58,00
Afluente 3	-			17,90	42,50	60,40
11	**6,76**			15,00	40,20	55,20
12	**6,87**			17,40	38,90	56,30
13	**6,82**			15,80	40,10	55,90
14	**7,41**			15,00	41,50	56,50
15	**7,36**			16,80	40,20	57,00
Concentração média e desvios padrão			**AF**	20,03 ± 5,23	51,07 ± 7,98	71,10 ± 12,65
			EF	15,86 ± 2,66	46,31 ± 9,16	62,17 ± 10,54

Tabela A.39: Cloreto para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Cloreto (mg CL^{-}.L^{-1})
Afluente 1	-	10	61,14
1	**2,70**		60,50
2	**2,65**		60,49
3	**2,71**		60,66
4	**2,80**		60,56
5	**2,70**		60,56
Afluente 2	-		56,16
6	**3,32**		56,47
7	**2,56**		55,35
8	**2,68**		56,05
9	**2,70**		56,25
10	**2,63**		56,34

Continua

Continuação da Tabela A.39

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)		Cloreto (mg CL^{-}.L^{-1})
Afluente 3	-	10		61,20
11	**2,48**			60,55
12	**2,49**			60,87
13	**2,58**			61,27
14	**2,46**			60,52
15	**2,43**			60,48
Concentração média e desvios padrão			**AF**	59,50 ± 2,44
			EF	59,13 ± 2,24
Afluente 1	-	20		60,14
1	**9,03**			62,18
2	**8,69**			60,49
3	**8,53**			60,36
4	**8,44**			60,51
5	**8,51**			60,69
Afluente 2	-			57,79
6	**8,30**			56,65
7	**8,10**			57,05
8	**7,99**			56,91
9	**7,62**			56,42
10	**7,19**			56,59
Afluente 3	-			60,52
11	**6,76**			61,58
12	**6,87**			61,16
13	**6,82**			61,05
14	**7,41**			61,88
15	**7,36**			61,31
Concentração média e desvios padrão			**AF**	59,48 ± 1,25
			EF	59,65 ± 2,21

Tabela A.40: Nitrito e Nitrato para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)		Nitrito (mg N.L^{-1})	Nitrato (mg N.L^{-1})
Afluente 1	-	10		1,49	0,30
1	**2,70**			1,79	0,18
2	**2,65**			1,63	0,25
3	**2,71**			1,66	0,13
4	**2,80**			1,68	0,21
5	**2,70**			1,65	0,22
Afluente 2	-			3,72	9,95
6	**3,32**			3,72	10,13
7	**2,56**			3,94	9,89
8	**2,68**			4,02	9,83
9	**2,70**			3,99	9,88
10	**2,63**			3,99	9,76
Afluente 3	-			4,00	10,87
11	**2,48**			4,21	11,05
12	**2,49**			4,39	10,89
13	**2,58**			4,02	10,75
14	**2,46**			4,06	10,91
15	**2,43**			4,03	10,80
Concentração média e desvios padrão			**AF**	3,07 ± 1,17	7,04 ± 4,95
			EF	3,25 ± 1,16	6,99 ± 4,99
Afluente 1	-	20		1,50	0,34
1	**9,03**			1,57	0,43
2	**8,69**			1,56	0,37
3	**8,53**			1,49	0,35
4	**8,44**			1,49	0,31
5	**8,51**			1,36	0,33

Continua

Continuação da Tabela A.40

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Nitrito (mg N.L^{-1})	Nitrato (mg N.L^{-1})
Afluente 2	**-**	20	2,72	13,89
6	**8,30**		3,46	14,06
7	**8,10**		3,42	13,62
8	**7,99**		3,31	14,55
9	**7,62**		3,62	14,72
10	**7,19**		3,12	15,53
Afluente 3	**-**		5,10	10,14
11	**6,76**		4,53	10,20
12	**6,87**		4,53	10,20
13	**6,82**		5,16	10,68
14	**7,41**		4,95	10,16
15	**7,36**		4,92	10,17
Concentração média e desvios padrão		**AF**	3,11 ± 1,55	8,12 ± 5,91
		EF	3,23 ± 1,41	8,38 ± 6,15

Tabela A.41: Sulfato para os ensaios de ozonização

Amostra	Ozônio Aplicado (mg.L^{-1})	Tempo (min)	Sulfato (mg.L^{-1})
Afluente 1	**-**	10	42,12
1	**2,70**		41,55
2	**2,65**		41,46
3	**2,71**		41,47
4	**2,80**		41,46
5	**2,70**		41,48
Afluente 2	**-**		30,29
6	**3,32**		30,67
7	**2,56**		29,87
8	**2,68**		30,41
9	**2,70**		30,26
10	**2,63**		30,35
Afluente 3	**-**		35,52
11	**2,48**		38,22
12	**2,49**		38,96
13	**2,58**		38,13
14	**2,46**		35,35
15	**2,43**		38,72
Concentração média e desvios padrão		**AF**	35,98 ± 5,01
		EF	36,56 ± 4,88
Afluente 1	**-**	20	41,56
1	**9,03**		41,57
2	**8,69**		41,62
3	**8,53**		41,68
4	**8,44**		41,79
5	**8,51**		41,88
Afluente 2	**-**		29,96
6	**8,30**		29,63
7	**8,10**		29,64
8	**7,99**		29,60
9	**7,62**		29,48
10	**7,19**		29,76
Afluente 3	**-**		36,66
11	**6,76**		35,31
12	**6,87**		35,28
13	**6,82**		36,31
14	**7,41**		36,55
15	**7,36**		36,56
Concentração média e desvios padrão		**AF**	36,06 ± 4,92
		EF	35,78 ± 5,12

Tabela A.42: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e concentração efetiva de ozônio aplicado

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Inativação		*Off-Gas*	Concentração Efetiva de Ozônio aplicado ($mg.L^{-1}$)
			N/No	Inativação		
1	**2,70**	10	$4x10^{-2}$	1,40	3,90	0,55
2	**2,65**		$4x10^{-2}$	1,41	3,88	0,56
3	**2,71**		$4x10^{-2}$	1,36	3,85	0,63
4	**2,80**		$4x10^{-2}$	1,37	4,34	0,48
5	**2,70**		$4x10^{-2}$	1,38	3,75	0,54
6	**3,32**		$2x10^{-2}$	1,71	1,64	2,15
7	**2,56**		$2x10^{-2}$	1,80	1,68	1,63
8	**2,68**		$2x10^{-2}$	1,80	1,77	1,83
9	**2,70**		$2x10^{-2}$	1,77	1,65	1,79
10	**2,63**		$2x10^{-2}$	1,76	1,78	1,69
11	**2,48**		$2x10^{-2}$	1,64	2,43	1,17
12	**2,49**		$2x10^{-2}$	1,62	2,50	1,17
13	**2,58**		$3x10^{-2}$	1,58	2,50	1,24
14	**2,46**		$2x10^{-2}$	1,60	2,50	1,15
15	**2,43**		$3x10^{-2}$	1,57	2,31	1,10
1	**9,03**	20	$2x10^{-3}$	2,62	4,50	4,68
2	**8,69**		$3x10^{-3}$	2,55	4,20	4,69
3	**8,53**		$3x10^{-3}$	2,50	3,97	4,72
4	**8,44**		$4x10^{-3}$	2,44	3,83	4,79
5	**8,51**		$3x10^{-3}$	2,60	3,86	4,71
6	**8,30**		$1x10^{-3}$	2,98	2,73	5,87
7	**8,10**		$1x10^{-3}$	3,03	4,07	5,56
8	**7,99**		$1x10^{-3}$	2,92	2,95	5,39
9	**7,62**		$1x10^{-3}$	3,06	2,19	5,63
10	**7,19**		$1x10^{-3}$	3,00	1,77	5,61
11	**6,76**		$6x10^{-3}$	2,22	4,55	3,40
12	**6,87**		$6x10^{-3}$	2,23	4,28	3,90
13	**6,82**		$7x10^{-3}$	2,15	4,67	3,39
14	**7,41**		$7x10^{-3}$	2,13	4,16	4,31
15	**7,36**		$7x10^{-3}$	2,15	3,74	4,52

Inativação: - log(N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0.

Tabela A.43: Concentrações de ozônio consumido, ozônio dissolvido e *off-gas* para os ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	*Off-Gas* ($mg.L^{-1}$)	Ozônio Residual ($mg.L^{-1}$)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)
1	**6,09**	10	3,73	0,213	2,15
2	**5,63**		3,83	0,204	1,59
3	**5,65**		3,72	0,21	1,72
4	**5,99**		3,84	0,203	1,95
5	**5,71**		3,90	0,223	1,59
6	**6,09**		3,73	0,188	2,17
7	**5,63**		3,83	0,201	1,60
8	**5,65**		3,72	0,210	1,72
9	**5,99**		3,85	0,204	1,94
10	**5,71**		3,90	0,205	1,61
Concentração média e desvios padrão			3,81 ± 0,07	0,21 ± 0,01	1,80 ± 0,23

Continua

Continuação da Tabela A.43

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	*Off-Gas* ($mg.L^{-1}$)	Ozônio Residual ($mg.L^{-1}$)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)
1	**9,77**	20	2,36	0,223	7,19
2	**9,93**		2,44	0,204	7,29
3	**9,00**		3,22	0,234	5,55
4	**8,95**		3,65	0,217	5,08
5	**9,06**		3,58	0,243	5,24
6	**9,77**		2,36	0,257	7,15
7	**9,93**		2,44	0,223	7,27
8	**9,00**		3,22	0,240	5,54
9	**9,06**		3,58	0,226	5,25
10	**8,95**		3,65	0,257	5,04
Concentração média e desvios padrão			3,05 ± 0,58	0,23 ± 0,02	6,06 ± 1,02

Tabela A.44: Cloro aplicado, Cloro Residual e Cloro Consumido

Amostra	Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Residual ($mg.L^{-1}$)	Concentração Efetiva de Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)
1	**5,00**	15	0,78	4,22
2	**5,00**		0,76	4,24
3	**5,00**		0,72	4,29
4	**5,00**		0,61	4,39
5	**5,00**		0,60	4,40
6	**5,00**		0,50	4,50
7	**5,00**		0,58	4,42
8	**5,00**		0,53	4,47
9	**5,00**		0,57	4,43
10	**5,00**		0,54	4,46
Concentração média e desvios padrão			0,62 ± 0,10	4,38 ± 0,10
1	**10,0**	30	0,97	9,03
2	**10,0**		1,04	8,96
3	**10,0**		1,26	8,74
4	**10,0**		1,01	8,99
5	**10,0**		1,13	8,87
6	**10,0**		0,90	9,10
7	**10,0**		1,18	8,82
8	**10,0**		0,91	9,09
9	**10,0**		0,92	9,09
10	**10,0**		0,91	9,09
Concentração média e desvios padrão			1,02 ± 0,13	8,98 ± 0,13

Tabela A.45: Alcalinidade, pH e temperatura para os ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)	T (^oC)
Afluente 1	**-**	10	-	15	7,52	286	16,50
1	**6,09**		5,00		7,56	273	16,60
2	**5,63**		5,00		7,55	275	16,60
3	**5,65**		5,00		7,54	274	16,80
4	**5,99**		5,00		7,56	274	17,20
5	**5,71**		5,00		7,55	274	17,70

Continua

Continuação da Tabela A.45

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)	T (^oC)
Afluente 2	**-**	10	-	15	7,59	269	14,00
6	**6,09**		5,00		7,53	268	14,00
7	**5,63**		5,00		7,54	263	14,20
8	**5,65**		5,00		7,55	260	14,50
9	**5,99**		5,00		7,54	261	16,80
10	**5,71**		5,00		7,58	259	16,90
Concentração média e desvios padrão				**AF**	7,56 ± 0,04	276 ± 7	15,64 ± 1,37
				EF	7,55 ± 0,01	268 ± 7	16,13 ± 1,35
Afluente 1	**-**	20	-	30	7,28	281	14,10
1	**9,77**		10,00		7,27	283	14,30
2	**9,93**		10,00		7,29	288	14,40
3	**9,00**		10,00		7,46	280	14,70
4	**8,95**		10,00		7,53	280	16,00
5	**9,06**				7,47	279	17,20
Afluente 2	**-**		-		7,59	269	12,20
6	**9,77**		10,00		7,53	268	12,30
7	**9,93**		10,00		7,54	265	12,70
8	**9,00**		10,00		7,55	269	13,40
9	**9,06**		10,00		7,54	264	13,90
10	**8,95**		10,00		7,58	265	15,70
Concentração média e desvios padrão				**AF**	7,44 ± 0,16	275 ± 6	14,05 ± 1,40
				EF	7,48 ± 0,11	274 ± 9	14,46 ± 1,52

Tabela A.46: Ácidos Orgânicos Voláteis para os ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	AOV ($mg.HAc.L^{-1}$)
Afluente 1	**-**	10	**-**	15	1,98
1	**6,09**		**5,00**		1,68
2	**5,63**		**5,00**		1,62
3	**5,65**		**5,00**		1,33
4	**5,99**		**5,00**		1,45
5	**5,71**		**5,00**		1,35
Afluente 2	**-**		**-**		4,38
6	**6,09**		**5,00**		3,89
7	**5,63**		**5,00**		2,81
8	**5,65**		**5,00**		3,17
9	**5,99**		**5,00**		2,81
10	**5,71**		**5,00**		2,94
Concentração média e desvios padrão				**AF**	3,18 ± 1,26
				EF	2,31 ± 0,92
Afluente 1	**-**	20	**-**	30	2,71
1	**9,77**		**10,00**		2,18
2	**9,93**		**10,00**		2,79
3	**9,00**		**10,00**		2,22
4	**8,95**		**10,00**		2,33
5	**9,06**		**10,00**		1,45
Afluente 2	**-**		**-**		3,51
6	**9,77**		**10,00**		2,97
7	**9,93**		**10,00**		2,55
8	**9,00**		**10,00**		3,00
9	**9,06**		**10,00**		2,68
10	**8,95**		**10,00**		2,04
Concentração média e desvios padrão				**AF**	3,11 ± 0,42
				EF	2,42 ± 0,48

Tabela A.47: Demanda Química de Oxigênio para os ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	DQO ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	15	82
1	**0,55**		**4,22**		78
2	**0,56**		**4,24**		79
3	**0,63**		**4,29**		80
4	**0,48**		**4,39**		77
5	**0,54**		**4,40**		78
Afluente 2	-		-		85
6	**2,15**		**4,50**		81
7	**1,63**		**4,42**		81
8	**1,83**		**4,47**		81
9	**1,79**		**4,43**		81
10	**1,69**		**4,46**		81
Concentração média e desvios padrão				**AF**	84 ± 2
				EF	80 ± 2
Afluente 1	-	20	-	30	85
1	**4,68**		**9,03**		80
2	**4,69**		**8,96**		80
3	**4,72**		**8,74**		80
4	**4,79**		**8,99**		80
5	**4,71**		**8,87**		80
Afluente 2	-		-		79
6	**5,87**		**9,10**		73
7	**5,56**		**8,82**		74
8	**5,39**		**9,09**		74
9	**5,63**		**9,09**		74
10	**5,61**		**9,09**		73
Concentração média e desvios padrão				**AF**	82 ± 3
				EF	77 ± 3

Tabela A.48: COT, CIT e CT para os ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	COT ($mg.L^{-1}$)	CIT ($mg.L^{-1}$)	CT ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	15	14,00	63,80	77,80
1	**0,55**		**4,22**		12,30	62,70	75,00
2	**0,56**		**4,24**		12,80	62,30	75,10
3	**0,63**		**4,29**		11,70	61,90	73,60
4	**0,48**		**4,39**		12,20	62,50	74,70
5	**0,54**		**4,40**		12,10	62,90	75,00
Afluente 2	-		-		18,50	61,30	79,80
6	**2,15**		**4,50**		16,00	62,00	78,00
7	**1,63**		**4,42**		15,80	61,90	77,70
8	**1,83**		**4,47**		15,90	61,80	77,70
9	**1,79**		**4,43**		15,50	61,70	77,20
10	**1,69**		**4,46**		15,00	61,00	76,00
Concentração média e desvios padrão				**AF**	16,25 ± 2,37	62,55± 1,32	78,80 ± 1,05
				EF	13,93 ± 1,84	62,07 ± 0,55	76,00 ± 1,54
Afluente 1	-	20	-	30	14,00	58,50	72,50
1	**4,68**		**9,03**		13,10	57,90	71,00
2	**4,69**		**8,96**		12,60	56,30	68,90
3	**4,72**		**8,74**		12,90	57,20	70,10
4	**4,79**		**8,99**		12,10	57,50	69,60
5	**4,71**		**8,87**		12,00	58,00	70,00

Continua

Continuação da Tabela A.48

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	COT ($mg.L^{-1}$)	CIT ($mg.L^{-1}$)	CT ($mg.L^{-1}$)
Afluente 2	-	20	-	30	13,90	54,90	68,80
6	**5,87**		**9,10**		11,70	53,80	65,50
7	**5,56**		**8,82**		11,10	52,90	64,00
8	**5,39**		**9,09**		10,90	53,10	64,00
9	**5,63**		**9,09**		12,10	53,30	65,40
10	**5,61**		**9,09**		11,80	53,20	65,00
Concentração média e desvios padrão				**AF**	13,95 ± 0,05	56,70 ± 1,90	70,65 ± 1,95
				EF	12,03 ± 0,71	55,32 ± 2,33	67,35 ± 2,80

Tabela A.49: Cloreto para os ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloreto ($mg\ Cl^{-}.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	15	63,28
1	**0,55**		**4,22**		67,97
2	**0,56**		**4,24**		68,28
3	**0,63**		**4,29**		67,72
4	**0,48**		**4,39**		67,77
5	**0,54**		**4,40**		68,13
Afluente 2	-		-		99,59
6	**2,15**		**4,50**		107,13
7	**1,63**		**4,42**		106,54
8	**1,83**		**4,47**		107,58
9	**1,79**		**4,43**		106,41
10	**1,69**		**4,46**		106,58
Concentração média e desvios padrão				**AF**	81,43 ± 19,14
				EF	87,41 ± 20,49
Afluente 1	-	20	-	30	62,79
1	**4,68**		**9,03**		73,60
2	**4,69**		**8,96**		73,61
3	**4,72**		**8,74**		73,04
4	**4,79**		**8,99**		73,14
5	**4,71**		**8,87**		73,14
Afluente 2	-		-		100,01
6	**5,87**		**9,10**		113,23
7	**5,56**		**8,82**		113,00
8	**5,39**		**9,09**		113,77
9	**5,63**		**9,09**		113,06
10	**5,61**		**9,09**		113,80
Concentração média e desvios padrão				**AF**	81,40 ± 19,62
				EF	93,35 ± 21,10

Tabela A.50: Nitrito e Nitrato para os ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Nitrito ($mg\ N.L^{-1}$)	Nitrato ($mg\ N.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	15	3,05	1,50
1	**0,55**		**4,22**		1,10	1,52
2	**0,56**		**4,24**		1,25	1,50
3	**0,63**		**4,29**		1,26	1,51
4	**0,48**		**4,39**		1,29	1,49
5	**0,54**		**4,40**		1,35	1,47
Afluente 2	-		-		0,21	0,46
6	**2,15**		**4,50**		0,18	0,48
7	**1,63**		**4,42**		0,19	0,49
8	**1,83**		**4,47**		0,20	0,50
9	**1,79**		**4,43**		0,20	0,51
10	**1,69**		**4,46**		0,19	0,52
Concentração média e desvios padrão				**AF**	1,63 ± 072	0,98 ± 0,55
				EF	1,50 ± 0,56	1,00 ± 0,53
Afluente 1	-	20	-	30	2,80	1,07
1	**4,68**		**9,03**		1,89	1,27
2	**4,69**		**8,96**		2,50	1,52
3	**4,72**		**8,74**		2,26	1,58
4	**4,79**		**8,99**		1,88	1,33
5	**4,71**		**8,87**		2,64	1,55
Afluente 2	-		-		0,34	0,26
6	**5,87**		**9,10**		0,15	0,29
7	**5,56**		**8,82**		0,18	0,27
8	**5,39**		**9,09**		0,18	0,30
9	**5,63**		**9,09**		0,18	0,31
10	**5,61**		**9,09**		0,22	0,31
Concentração média e desvios padrão				**AF**	1,57 ± 1,29	0,67 ± 0,43
				EF	1,21 ± 1,11	0,87 ± 0,61

Tabela A.51: Sulfato para os ensaios de ozonização/cloração

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Sulfato ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	15	49,03
1	**0,55**		**4,22**		48,71
2	**0,56**		**4,24**		49,37
3	**0,63**		**4,29**		49,20
4	**0,48**		**4,39**		49,11
5	**0,54**		**4,40**		49,33
Afluente 2	-		-		43,36
6	**2,15**		**4,50**		43,87
7	**1,63**		**4,42**		44,01
8	**1,83**		**4,47**		44,47
9	**1,79**		**4,43**		44,31
10	**1,69**		**4,46**		44,22
Concentração média e desvios padrão				**AF**	46,20 ± 2,99
				EF	46,66 ± 2,63
Afluente 1	-	20	-	30	46,81
1	**4,68**		**9,03**		46,69
2	**4,69**		**8,96**		46,85
3	**4,72**		**8,74**		46,69
4	**4,79**		**8,99**		46,47
5	**4,71**		**8,87**		46,66
Afluente 2	-		-		42,38
6	**5,87**		**9,10**		43,08
7	**5,56**		**8,82**		42,68
8	**5,39**		**9,09**		43,05
9	**5,63**		**9,09**		43,50
10	**5,61**		**9,09**		43,26
Concentração média e desvios padrão				**AF**	44,85 ± 2,07
				EF	44,89 ± 1,89

Tabela A.52: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e concentração de ozônio/cloro consumidos

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloro Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Inativação	
					N/No	Inativação
1	**2,70**	10	**4,22**	15	$1x\ 10^{-3}$	2,94
2	**2,65**		**4,24**		$1x\ 10^{-3}$	2,97
3	**2,71**		**4,29**		$1x\ 10^{-3}$	2,98
4	**2,80**		**4,39**		$1x\ 10^{-3}$	3,03
5	**2,70**		**4,40**		$1x\ 10^{-3}$	3,04
6	**3,32**		**4,50**		$1x\ 10^{-3}$	2,97
7	**2,56**		**4,42**		$1x\ 10^{-3}$	3,09
8	**2,68**		**4,47**		$1x\ 10^{-3}$	3,15
9	**2,70**		**4,43**		$1x\ 10^{-3}$	3,10
10	**2,63**		**4,46**		$1x\ 10^{-3}$	3,03
1	**9,03**	20	**9,03**	30	$1x10^{-4}$	3,98
2	**8,69**		**8,96**		$1x10^{-4}$	3,95
3	**8,53**		**8,74**		$1x10^{-4}$	3,90
4	**8,44**		**8,99**		$1x10^{-4}$	3,92
5	**8,51**		**8,87**		$1x10^{-4}$	3,87
6	**8,30**		**9,10**		$1x10^{-4}$	3,92
7	**8,10**		**8,82**		$1x10^{-4}$	3,94
8	**7,99**		**9,09**		$2x10^{-4}$	3,78
9	**7,62**		**9,09**		$2x10^{-4}$	3,74
10	**7,19**		**9,09**		$2x10^{-4}$	3,71

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0.

Tabela A.53: Concentrações de ozônio consumido, ozônio dissolvido e *off-gas* para os ensaios de peroxização

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	*Off-Gas* ($mg.L^{-1}$)	Ozônio Residual ($mg.L^{-1}$)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)
1	**2,77**	10	0,77	0,21	1,79
2	**2,45**		0,77	0,20	1,48
3	**2,45**		0,82	0,21	1,42
4	**2,60**		0,81	0,23	1,56
5	**2,63**		0,80	0,21	1,62
6	**2,58**		0,76	0,20	1,62
7	**2,60**		0,79	0,21	1,60
8	**2,63**		0,80	0,22	1,61
9	**2,57**		0,76	0,21	1,60
10	**2,56**		0,80	0,23	1,53
Concentração média e desvios padrão			0,79 ± 0,02	0,21 ± 0,01	1,58 ± 0,10
1	**9,39**	20	2,79	0,29	6,31
2	**9,09**		2,36	0,25	6,48
3	**9,27**		3,94	0,29	5,04
4	**9,32**		3,63	0,29	5,40
5	**9,24**		3,31	0,31	5,62
6	**9,29**		3,36	0,29	5,64
7	**6,42**		1,54	0,23	4,65
8	**6,77**		1,52	0,26	4,99
9	**6,71**		1,31	0,26	5,14
10	**6,70**		1,15	0,27	5,28
11	**6,67**		1,43	0,23	5,01
Concentração média e desvios padrão			2,39 ± 1,05	0,27 ± 0,03	5,41 ± 0,57

Continua

Continuação da Tabela A.53

Amostra	Ozônio Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	*Off-Gas* ($mg.L^{-1}$)	Ozônio Residual ($mg.L^{-1}$)	Concentração de Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)
1 (*)	**7,53**	20	1,77	0,25	5,51
2 (*)	**7,19**		2,55	0,20	4,44
3 (*)	**7,44**		2,59	0,21	4,64
4 (*)	**8,12**		1,71	0,19	6,22
5 (*)	**7,19**		2,26	0,23	4,70
Concentração média e desvios padrão			2,18 ± 0,42	0,22 ± 0,02	5,10 ± 0,75

Tabela A.54: Peróxido de hidrogênio aplicado, peróxido de hidrogênio residual e peróxido de hidrogênio consumido

Amostra	H_2O_2 Aplicado ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Residual ($mg.L^{-1}$)	Concentração de H_2O_2 Consumido ($mg.L^{-1}$)
1	**2,00**	10	0,41	1,59
2	**2,00**		0,26	1,74
3	**2,00**		0,24	1,76
4	**2,00**		0,23	1,77
5	**2,00**		0,34	1,66
6	**2,00**		0,42	1,58
7	**2,00**		0,27	1,73
8	**2,00**		0,23	1,77
9	**2,00**		0,32	1,68
10	**2,00**		0,25	1,75
Concentração média e desvios padrão			0,30 ± 0,07	1,70 ± 0,07
1	**8,00**	20	1,82	6,18
2	**8,00**		1,78	6,22
3	**8,00**		2,57	5,43
4	**8,00**		2,90	5,10
5	**8,00**		3,04	4,96
6	**8,00**		2,68	5,32
7	**8,00**		3,24	4,76
8	**8,00**		1,70	6,30
9	**8,00**		2,77	5,23
10	**8,00**		3,39	4,61
11	**8,00**		2,03	5,97
Concentração média e desvios padrão			2,54 ± 0,61	5,46 ± 0,61
1 (*)	**2,00**		0,32	1,68
2 (*)	**2,00**		0,45	1,55
3 (*)	**2,00**		0,29	1,71
4 (*)	**2,00**		0,38	1,62
5 (*)	**2,00**		0,28	1,72
Concentração média e desvios padrão			0,34 ± 0,07	1,66 ± 0,07

Tabela A.55: Alcalinidade, pH e temperatura para os ensaios de peroxização

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	pH	Alcalinidade Total ($mg.CaCO_3.L^{-1}$)	T (^oC)
Afluente 1	-	10	-	10	7,29	273	14,50
1	**1,79**		**1,59**		7,29	272	17,00
2	**1,48**		**1,74**		7,33	272	17,00
3	**1,42**		**1,76**		7,36	271	17,30
4	**1,56**		**1,77**		7,34	268	18,00
5	**1,62**		**1,66**		7,35	267	18,20
Afluente 2	-		-		7,38	267	12,10
6	**1,62**		**1,58**		7,38	266	12,90
7	**1,60**		**1,73**		7,37	265	13,50
8	**1,61**		**1,77**		7,37	265	13,70
9	**1,60**		**1,68**		7,39	267	13,90
10	**1,53**		**1,75**		7,36	265	14,80
Concentração média e desvios padrão				**AF**	7,34 ± 0,05	272 ± 1	13,30 ± 1,26
				EF	7,35 ± 0,03	269 ± 3	15,63 ± 2,06
Afluente 1	-	20	-	20	7,69	337	7,00
1	**6,31**		**6,18**		7,57	327	13,00
2	**6,48**		**6,22**		7,56	322	13,00
3	**5,04**		**5,43**		7,57	326	13,50
4	**5,40**		**5,10**		7,54	332	13,60
5	**5,62**		**4,96**		7,60	331	15,00
6	**5,64**		**5,32**		7,61	330	15,00
Afluente 2	-		-		7,41	246	11,00
7	**4,65**		**4,76**		7,38	245	11,50
8	**4,99**		**6,30**		7,36	246	14,00
9	**5,14**		**5,23**		7,40	244	15,30
10	**5,28**		**4,61**		7,33	245	16,00
11	**5,01**		**5,97**		7,35	244	16,70
Concentração média e desvios padrão				**AF**	7,65 ± 0,04	296 ± 48	11,80 ± 2,60
				EF	7,46 ± 0,11	290 ± 44	14,24 ± 1,52
Afluente 1*	-	20	-	20	7,43	270	13,50
1	**5,51**		**1,68**		7,42	266	15,00
2	**4,44**		**1,55**		7,43	266	15,00
3	**4,64**		**1,71**		7,40	268	15,10
4	**6,22**		**1,62**		7,48	264	17,50
5	**4,70**		**1,72**		7,52	264	17,50
Concentração média e desvios padrão				**AF**	7,43 ± 0,00	270 ± 0	13,05 ± 0,00
				EF	7,45 ± 0,05	266 ± 2	16,02 ± 1,35

Tabela A.56: Ácidos Orgânicos Voláteis para os ensaios de peroxização para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	AOV ($mg.HAc.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	10	3,11
1	**1,79**		**1,59**		2,63
2	**1,48**		**1,74**		2,59
3	**1,42**		**1,76**		2,72
4	**1,56**		**1,77**		2,44
5	**1,62**		**1,66**		2,49

Continua

Continuação da Tabela A.56

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	AOV ($mg.HAc.L^{-1}$)
Afluente 2	-		-		5,77
6	**1,62**		**1,58**		4,68
7	**1,60**	10	**1,73**	10	4,55
8	**1,61**		**1,77**		4,64
9	**1,60**		**1,68**		4,62
10	**1,53**		**1,75**		4,73
Concentração média e desvios padrão				**AF**	4,44 ± 1,40
				EF	3,63 ± 1,09
Afluente 1	-		-		20,00
1	**6,31**		**6,18**		7,06
2	**6,48**		**6,22**		5,03
3	**5,04**		**5,43**		4,79
4	**5,40**		**5,10**		4,13
5	**5,62**		**4,96**		3,47
6	**5,64**	20	**5,32**	20	4,26
Afluente 2	-		-		10,94
7	**4,65**		**4,76**		6,63
8	**4,99**		**6,30**		4,83
9	**5,14**		**5,23**		4,75
10	**5,28**		**4,61**		5,43
11	**5,01**		**5,97**		5,33
Concentração média e desvios padrão				**AF**	13,40 ± 7,58
				EF	5,03 ± 0,92
Afluente 1*	-		-		6,07
1	**5,51**		**1,68**		4,04
2	**4,44**		**1,55**		4,09
3	**4,64**		**1,71**		4,13
4	**6,22**		**1,62**		4,54
5	**4,70**		**1,72**		4,21
Concentração média e desvios padrão				**AF**	6,07 ± 0,00
				EF	4,20 ± 0,20

Tabela A.57: DQO para os ensaios de peroxização para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	DQO ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1	-		-		74
1	**1,79**		**1,59**		64
2	**1,48**		**1,74**		63
3	**1,42**		**1,76**		66
4	**1,56**		**1,77**		65
5	**1,62**	10	**1,66**	10	62
Afluente 2	-		-		78
6	**1,62**		**1,58**		70
7	**1,60**		**1,73**		70
8	**1,61**		**1,77**		69
9	**1,60**		**1,68**		68
10	**1,53**		**1,75**		68
Concentração média e desvios padrão				**AF**	76 ± 2
				EF	67 ± 3

Continua

Continuação da Tabela A.57

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	DQO ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1	-	20	-	20	102
1	**6,31**		**6,18**		94
2	**6,48**		**6,22**		93
3	**5,04**		**5,43**		95
4	**5,40**		**5,10**		92
5	**5,62**		**4,96**		92
6	**5,64**		**5,32**		93
Afluente 2	-		-		87
7	**4,65**		**4,76**		77
8	**4,99**		**6,30**		77
9	**5,14**		**5,23**		78
10	**5,28**		**4,61**		77
11	**5,01**		**5,97**		77
Concentração média e desvios padrão				**AF**	95 ± 8
				EF	86 ± 8
Afluente 1*	-	20	-	20	73
1	**5,51**		**1,68**		67
2	**4,44**		**1,55**		64
3	**4,64**		**1,71**		63
4	**6,22**		**1,62**		62
5	**4,70**		**1,72**		62
Concentração média e desvios padrão				**AF**	73 ± 0
				EF	64 ± 2

Tabela A.58: COT, CIT e CT para os ensaios de ozonização/peroxizados para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	COT ($mg.L^{-1}$)	CIT ($mg.L^{-1}$)	CT ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	10	13,00	52,30	65,30
1	**1,79**		**1,59**		12,30	51,30	63,60
2	**1,48**		**1,74**		9,30	51,70	61,00
3	**1,42**		**1,76**		8,40	50,50	58,90
4	**1,56**		**1,77**		10,40	50,90	61,30
5	**1,62**		**1,66**		10,90	50,30	61,20
Afluente 2	-		-		25,00	56,30	81,30
6	**1,62**		**1,58**		24,00	53,20	77,20
7	**1,60**		**1,73**		24,80	52,10	76,90
8	**1,61**		**1,77**		24,40	52,70	77,10
9	**1,60**		**1,68**		23,60	52,90	76,50
10	**1,53**		**1,75**		23,10	53,30	76,40
Concentração média e desvios padrão				**AF**	19,00 ± 6,32	54,20 ± 2,21	73,30 ± 8,43
				EF	17,12 ± 7,31	51,81 ± 1,12	69,01 ± 8,31
Afluente 1	-	20	-	20	27,20	69,80	97,00
1	**6,31**		**6,18**		21,20	66,40	87,60
2	**6,48**		**6,22**		24,40	65,40	89,80
3	**5,04**		**5,43**		22,60	66,40	89,00
4	**5,40**		**5,10**		24,00	66,70	90,70
5	**5,62**		**4,96**		24,60	65,90	90,50
6	**5,64**		**5,32**		28,80	66,00	94,80
Afluente 2	-		-		23,70	56,20	79,90
6	**4,65**		**4,76**		21,40	55,40	76,80
7	**4,99**		**6,30**		22,10	54,00	77,10
8	**5,14**		**5,23**		23,40	52,00	75,40
9	**5,28**		**4,61**		21,40	54,80	76,20
10	**5,01**		**5,97**		22,80	52,30	75,10
Concentração média e desvios padrão				**AF**	25,61 ± 1,83	63,62 ± 7,10	89,23 ± 8,93
				EF	23,34 ± 2,18	60,48 ± 6,57	83,92 ± 7,66

Continua

Continuação da Tabela A.58

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	COT ($mg.L^{-1}$)	CIT ($mg.L^{-1}$)	CT ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1*	-	20	-	20	13,10	53,00	66,1
1	**5,51**		**1,68**		12,30	52,90	65,2
2	**4,44**		**1,55**		11,60	51,80	63,4
3	**4,64**		**1,71**		11,70	50,50	62,2
4	**6,22**		**1,62**		10,40	51,30	61,7
5	**4,70**		**1,72**		10,60	49,70	60,3
Concentração média e desvios padrão				**AF**	13,10 ± 0,00	53,00 ± 0,00	66,10 ± 0,00
				EF	11,32 ± 0,80	51,24 ± 1,22	62,52 ± 1,85

Tabela A.59: loreto para os ensaios de peroxização para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L-^{1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Cloreto ($mg\ Cl^{-}.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	10	119,07
1	**1,79**		**1,59**		119,00
2	**1,48**		**1,74**		118,88
3	**1,42**		**1,76**		118,95
4	**1,56**		**1,77**		118,79
5	**1,62**		**1,66**		118,69
Afluente 2	-	10	-	10	113,28
6	**1,62**		**1,58**		113,00
7	**1,60**		**1,73**		112,98
8	**1,61**		**1,77**		112,89
9	**1,60**		**1,68**		112,97
10	**1,53**		**1,75**		113,59
Concentração média e desvios padrão				**AF**	116,18 ± 3,05
				EF	115,90 ± 3,12
Afluente 1	-	20	-	20	65,65
1	**6,31**		**6,18**		65,62
2	**6,48**		**6,22**		65,55
3	**5,04**		**5,43**		64,76
4	**5,40**		**5,10**		65,33
5	**5,62**		**4,96**		65,65
6	**5,64**		**5,32**		64,60
Afluente 2	-		-		45,85
7	**4,65**		**4,76**		45,76
8	**4,99**		**6,30**		45,55
9	**5,14**		**5,23**		45,76
10	**5,28**		**4,61**		45,65
11	**5,01**		**5,97**		45,68
Concentração média e desvios padrão				**AF**	56,64 ± 10,33
				EF	56,36 ± 10,23
Afluente 1*	-		-		119,10
1	**5,51**		**1,68**		117,17
2	**4,44**		**1,55**		117,55
3	**4,64**		**1,71**		118,95
4	**6,22**		**1,62**		118,86
5	**4,70**		**1,72**		117,92
Concentração média e desvios padrão				**AF**	119,10 ± 0,00
				EF	118,09 ± 0,79

Tabela A.60: itrito e Nitrato para os ensaios de peroxização para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra	Ozônio Consumido ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Nitrito ($mg\ N.L^{-1}$)	Nitrato ($mg\ N.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	10	0,50	0,16
1	**1,79**		**1,59**		0,47	0,18
2	**1,48**		**1,74**		0,50	0,21
3	**1,42**		**1,76**		0,48	0,25
4	**1,56**		**1,77**		0,47	0,27
5	**1,62**		**1,66**		0,46	0,26
Afluente 2	-		-		0,47	0,18
6	**1,62**		**1,58**		0,46	0,19
7	**1,60**		**1,73**		0,45	0,20
8	**1,61**		**1,77**		0,44	0,17
9	**1,60**		**1,68**		0,46	0,21
10	**1,53**		**1,75**		0,46	0,20
Concentração média e desvios padrão				**AF**	0,49 ± 0,02	0,17 ± 0,01
				EF	0,47 ± 0,02	0,25 ± 0,04
Afluente 1	-	20	-	20	0,19	0,42
1	**6,31**		**6,18**		0,22	0,41
2	**6,48**		**6,22**		0,24	0,41
3	**5,04**		**5,43**		0,28	0,41
4	**5,40**		**5,10**		0,31	0,44
5	**5,62**		**4,96**		0,34	0,44
6	**5,64**		**5,32**		0,35	0,43
Afluente 2	-		-		0,22	0,91
7	**4,65**		**4,76**		0,17	0,80
8	**4,99**		**6,30**		0,19	0,77
9	**5,14**		**5,23**		0,18	0,78
10	**5,28**		**4,61**		0,21	0,77
11	**5,01**		**5,97**		0,16	0,76
Concentração média e desvios padrão				**AF**	0,20 ± 0,02	0,64 ± 0,26
				EF	0,24 ± 0,07	0,58 ± 0,19
Afluente 1*	-	20	-	20	0,58	0,07
1	**5,51**		**1,68**		0,56	0,07
2	**4,44**		**1,55**		0,55	0,07
3	**4,64**		**1,71**		0,55	0,06
4	**6,22**		**1,62**		0,54	0,09
5	**4,70**		**1,72**		0,54	0,09
Concentração média e desvios padrão				**AF**	0,58 ± 0,00	0,07 ± 0,00
				EF	0,55 ± 0,01	0,08 ± 0,01

Tabela A.61: Sulfato para os ensaios de peroxização

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Sulfato ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1	-	10	-	10	33,96
1	**1,79**		**1,59**		33,67
2	**1,48**		**1,74**		33,74
3	**1,42**		**1,76**		33,81
4	**1,56**		**1,77**		33,52
5	**1,62**		**1,66**		33,47
Afluente 2	-		-		37,26
6	**1,62**		**1,58**		36,35
7	**1,60**		**1,73**		36,45
8	**1,61**		**1,77**		36,42
9	**1,60**		**1,68**		36,32
10	**1,53**		**1,75**		36,29
Concentração média e desvios padrão				**AF**	35,61 ± 1,74
				EF	35,00 ± 1,44

Continua

Continuação da Tabela A.61

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Sulfato ($mg.L^{-1}$)
Afluente 1	-	20	-	20	41,93
1	**6,31**		**6,18**		41,79
2	**6,48**		**6,22**		41,38
3	**5,04**		**5,43**		41,12
4	**5,40**		**5,10**		41,27
5	**5,62**		**4,96**		41,82
6	**5,64**		**5,32**		41,86
Afluente 2	-		-		34,49
7	**4,65**		**4,76**		33,54
8	**4,99**		**6,30**		33,44
9	**5,14**		**5,23**		33,59
10	**5,28**		**4,61**		33,68
11	**5,01**		**5,97**		33,46
Concentração média e desvios padrão				**AF**	38,55 ± 3,88
				EF	37,90 ± 4,18
Afluente 1*	-		-		34,47
1	**5,51**		**1,68**		34,35
2	**4,44**		**1,55**		35,08
3	**4,64**		**1,71**		34,87
4	**6,22**		**1,62**		35,00
5	**4,70**		**1,72**		34,60
Concentração média e desvios padrão				**AF**	34,47 ± 0,00
				EF	34,25 ± 0,09

Tabela A.62: Inativação de *E. coli* em função do tempo de contato e dosagem de ozônio/ peróxido de hidrogênio consumido para os ensaios 1, 2 e 3

Amostra	Ozônio Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	H_2O_2 Cons. ($mg.L^{-1}$)	Tempo (min)	Inativação	
					N/No	Inativação
1	**1,79**	10	**1,59**	10	$8x10^{-4}$	3,08
2	**1,48**		**1,74**		$9x10^{-4}$	3,02
3	**1,42**		**1,76**		$9x10^{-4}$	3,04
4	**1,56**		**1,77**		$1x10^{-5}$	2,98
5	**1,62**		**1,66**		$1x10^{-5}$	2,99
6	**1,62**		**1,58**		$6x10^{-4}$	3,24
7	**1,60**		**1,73**		$5x10^{-4}$	3,28
8	**1,61**		**1,77**		$5x10^{-4}$	3,33
9	**1,60**		**1,68**		$7x10^{-4}$	3,16
10	**1,53**		**1,75**		$7x10^{-4}$	3,15
1	**6,31**	20	**6,18**	20	$1x10^{-4}$	3,86
2	**6,48**		**6,22**		$1x10^{-4}$	3,92
3	**5,04**		**5,43**		$2x10^{-4}$	3,75
4	**5,40**		**5,10**		$3x10^{-4}$	3,60
5	**5,62**		**4,96**		$1x10^{-4}$	3,92
6	**5,64**		**5,32**		$1x10^{-4}$	3,95
7	**4,65**		**4,76**		$1x10^{-4}$	3,90
8	**4,99**		**6,30**		$2x10^{-4}$	3,71
9	**5,14**		**5,23**		$9x10^{-4}$	4,04
10	**5,28**		**4,61**		$9x10^{-4}$	4,01
11	**5,01**		**5,97**		$1x10^{-4}$	3,98
1	**5,51**		**1,68**		$5x10^{-4}$	3,33
2	**4,44**		**1,55**		$4x10^{-4}$	3,36
3	**4,64**		**1,71**		$3x10^{-4}$	3,56
4	**6,22**		**1,62**		$3x10^{-4}$	3,51
5	**4,70**		**1,72**		$5x10^{-4}$	3,33

Inativação: - log (N/No); N: número de microrganismos no instante t; No: número de microrganismos no instante t = 0.

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.