



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Carmen Josefa Miguelez Rodriguez

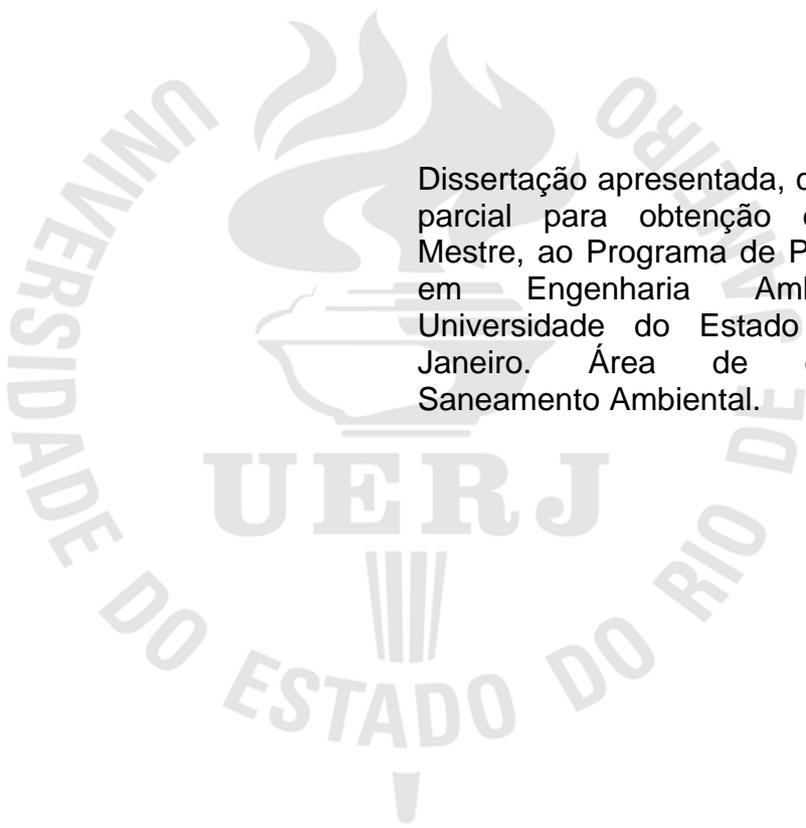
Tratamento de efluentes líquidos na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF): avaliação da aplicabilidade do processo eletrolítico

Rio de Janeiro

2008

Carmen Josefa Miguelez Rodriguez

**Tratamento de efluentes líquidos na Estação Antártica Comandante Ferraz
(EACF): avaliação da aplicabilidade do processo eletrolítico**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Gandhi Giordano

Coorientador: Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho

Rio de Janeiro

2008

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

R696 Rodriguez, Carmen Josefa Miguez
Tratamento de efluentes líquidos na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF): avaliação da aplicabilidade do processo eletrolítico / Carmen Josefa Miguez Rodriguez. - 2008.
259 f.:il.

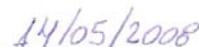
Orientador: Gandhi Giordano.
Coorientador: Olavo Barbosa Filho.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Faculdade de Engenharia.

1. Águas residuais - Purificação - Teses. 2. Esgotos - Teses. 3. Eletrólise - Teses 4. Efluente - Qualidade - Teses. 5. Estação Antártica Comandante Ferraz. 6. Engenharia Ambiental. I. Giordano, Gandhi. II. Barbosa Filho, Olavo. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 628.31

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.


Assinatura


Data

Carmen Josefa Miguelez Rodriguez

**Tratamento de efluentes líquidos na Estação Antártica Comandante Ferraz
(EACF): avaliação da aplicabilidade do processo eletrolítico**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovado em 14/03/2008

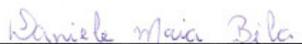
Banca Examinadora:



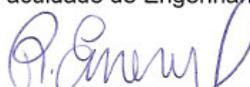
Prof. Gandhi Jordano, D.Sc. - Orientador
Faculdade de Engenharia da UERJ



Prof. Olavo Barbosa-Filho, Ph.D. – Co-orientador
Faculdade de Engenharia da UERJ



Profª Daniele Maia Bila, D.Sc.
Faculdade de Engenharia da UERJ



Prof. Roberto de Barrós Emery Trindade, Ph.D.
PETROBRÁS – UNIVERSIDADE PETROBRÁS

Rio de Janeiro
2008

DEDICATÓRIA

À minha família, pelo apoio em todos os momentos, em especial, aos meus pais Elvira e José, pelo exemplo de perseverança, além do aprendizado de amor e respeito à natureza e, a Miguel Fabrício por tudo que representa.

AGRADECIMENTOS

À Marinha do Brasil por ter concedido a oportunidade de realização deste curso, em especial à Diretoria de Obras Civis da Marinha pelo apoio durante todo o trabalho.

Aos integrantes do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), SECIRM e Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) que colaboraram com o fornecimento de informações, coleta de dados e confecção do reator eletrolítico. Em especial à equipe do AMRJ que contribuiu para tornar este trabalho possível: Eng. Gerson, Eng. Rubens, FC Jair e técnicos do Setor de Maquetes. E, aos Chefes da EACF no decorrer deste estudo: CF(FN) Áthila e CMG Sá de Mello.

Aos professores do PEAMB, pelo aprendizado, apoio, reflexões críticas e demais integrantes da equipe do PEAMB, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental pelo apoio durante todo o curso. Aos professores de outros Institutos da UERJ, que também colaboraram para a realização deste trabalho.

Aos pesquisadores do Programa Antártico Brasileiro e de outros países que contribuíram com o intercâmbio de informações.

Ao professor Gandhi Giordano, meu orientador, pelo seu conhecimento e experiência compartilhados, pela orientação segura, amizade e exemplo de profissionalismo.

Ao professor Olavo Barbosa Filho, pelas palavras sábias, orientação objetiva, críticas construtivas e conhecimentos transmitidos.

À empresa TECMA Tecnologia por ter disponibilizado as suas instalações e equipamentos para realização de toda a parte experimental. Em especial ao Eng. Olegário, chefe do laboratório, por seu apoio, paciência, profissionalismo e aos técnicos que colaboraram diretamente com a realização das experiências realizadas.

Aos diversos profissionais que de algum modo participaram do desenvolvimento desta pesquisa.

Aos amigos que durante todo o desenvolvimento do trabalho sempre colaboraram com palavras de estímulo e em especial aos amigos Marly e Rubens.

À minha família pela compreensão e apoio durante todo o trabalho.

À DEUS pela oportunidade de vivência desta experiência e em especial pelas pessoas que este trabalho proporcionou conhecer.

Quando o ser humano aprender a respeitar até o menor ser da criação, seja animal, seja vegetal, ninguém precisará ensiná-lo a amar seu semelhante.

Albert Schweitzer – Nobel da Paz - 1952

RESUMO

RODRIGUEZ, Carmen Josefa Miguelez. *Tratamento de efluentes líquidos na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF): avaliação da aplicabilidade do processo eletrolítico*. 2008. 259f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Esta pesquisa enfoca o uso do processo eletrolítico, como alternativa para tratamento de efluentes líquidos na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), considerando as limitações ambientais locais e aspectos de consumo de energia. Este processo, classificado como não convencional, vem sendo estudado pela comunidade científica nacional e internacional para tratamento de diversos efluentes, inclusive esgotos domésticos, apresentando várias vantagens que estimularam a verificação de sua aplicabilidade para as condições peculiares da EACF. Foram realizados ensaios, em escala de laboratório, com esgotos domésticos coletados em um condomínio no Rio de Janeiro, usando reatores eletrolíticos com capacidade de 4 L, com eletrodos de desgaste de alumínio (Al) e de ferro (Fe), distância entre as placas de 0,9 cm e 1,8 cm, temperaturas na faixa de 7°C a 22°C, e ensaios para verificação da sua eficiência, por meio de parâmetros como DQO, DBO₅, SST, turbidez e volume de lodo gerado. Sob temperatura de 15°C e condições de condutividade da ordem de 900 µS/cm, estimada para os esgotos da EACF, aplicando densidade de corrente de 22,9 A/m², 4,5 V, tempo de retenção de 25 min, os resultados apresentaram valores de DQO no efluente tratado de 65 mg/L (redução de 89%), DBO de 56 mg/L (redução de 64 %), SST de 8 mg/L, com turbidez de 11,3 uT e, após filtração, turbidez de 3,2 uT, consumo de energia de 0,8 Wh/L. O aspecto é límpido e a qualidade final obtida é compatível para ser submetida a tratamento de desinfecção. A partir dos dados obtidos, foram avaliadas por meio de pré-projeto: a viabilidade de sua implantação em *container*, a estimativa de consumo de energia e de lodo gerado, requisitos de manutenção, operação, além da sugestão de monitoramentos e de medidas de mitigação de impactos ambientais associados à respectiva instalação.

Palavras-Chave: Controle de efluentes líquidos. Tratamento de águas de abastecimento e residuárias. Processo eletrolítico. Esgotos. Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF).

ABSTRACT

This research focuses on the use of the electrolytical process as alternative for treatment of wastewater in Ferraz Station, considering the local environmental limitations, and aspects of consumption of energy. This process, classified as unconventional, has been studied by the national and international scientific community to treat several effluents, besides domestic sewage, presenting several advantages which stimulated the verification of its applicability in the peculiar conditions of Ferraz Station. Laboratory experiments, with domestic sewage collected in a condominium in Rio de Janeiro were accomplished using electrolytical reactors of 4 L, with electrodes of aluminum (Al) and of iron (Fe), distance between the plates of 0,9 cm and 1,8 cm, temperatures, in the strip from 7°C to 22°C, and analyses laboratories for verification of its efficiency through COD, BOD₅, Suspended Solids, turbidity and generated sludge. Under temperature of 15°C and conditions of conductivity of 900 µS/cm, estimated for the station sewage, applying density of current of 22,9 A/m², 4,5 V, time of retention of 25 min, the results presented values of COD in the treated effluent of 65 mg/L (reduction of 89%), BOD of 56 mg/L (reduction of 64%), Suspended Solids of 8 mg/L, with turbidity of 11,3 Tu and after filtration 3,2 Tu, consumption of energy of 0,8 Wh/L. Its appearance is very clean and the final result is compatible to be submitted to disinfection treatment. Based on the obtained data, the viability of its implantation in container, the estimate of consumption of energy and generated sludge and maintenance requirements, operation, besides the monitoring suggestion, and mitigating measures of environmental impacts were evaluated in a preliminary project.

Key-words: Wastewater treatment. Electrolytical process. Sewage treatment. Ferraz Station (Brazil), Antarctica.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 1.0 | Localização global da EACF..... | 32 |
| Figura 1.1 | Tambores de combustíveis abandonados na área da estação Wilkes, atualmente fechada..... | 36 |
| Figura 1.2 | Programa de limpeza em área abandonada na Antártica..... | 36 |
| Figura 1.3 | Vista Aérea da Baía do Almirantado..... | 41 |
| Figura 1.4 | Vista aérea da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF)..... | 41 |
| Figura 1.5 | Vista frontal da EACF..... | 41 |
| Figura 1.6 | Vista aérea da face posterior da EACF..... | 42 |
| Figura 1.7 | Vôo de apoio da FAB à Operação Antártica XXVI..... | 43 |
| Figura 1.8 | Navio de Apoio Oceanográfico ARY RONGEL..... | 43 |
| Figura 1.9 | Tanques de óleo combustível na EACF..... | 46 |
| Figura 1.10 | Vista Aérea da EACF, com Lagos Norte e Sul..... | 47 |
| Figura 1.11 | Compactador e incinerador de lixo na EACF..... | 48 |
| Figura 1.12 | Conjunto de fossas sépticas e filtros instalados em 1996 na EACF..... | 49 |
| Figura 1.13 | Reparo no ponto de lançamento do efluente tratado, durante maré baixa, no verão de 2006..... | 49 |
| Figura 2.1 | Coleta de amostra de água em um lago contaminado na Antártica..... | 81 |
| Figura 3.1 | Esquema de placas e Processo Eletrolítico..... | 92 |
| Figura 3.2 | Ensaio em escala de laboratório com o Processo Eletrolítico. | 92 |
| Figura 3.3 | Classificação dos reatores de eletrocoagulação, segundo Holt..... | 114 |
| Figura 3.4 | Diagrama representativo dos fenômenos envolvidos nos processos eletroquímicos (eletrocoagulação)..... | 115 |
| Figura 3.5 | Calha eletrolítica da ETE de Glicério, Macaé – RJ..... | 118 |
| Figura 3.6 | Calha eletrolítica vazia..... | 118 |
| Figura 4.1 | Lago Norte usado no abastecimento da EACF..... | 124 |
| Figura 4.2 | Lago Sul usado no abastecimento da EACF..... | 124 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Figura 4.3 | Rede de águas servidas do banheiro masculino..... | 127 |
| Figura 4.4 | Tratamento de esgotos EACF (Fossas e Filtros) instalado em 1996..... | 127 |
| Figura 4.5 | Rede de lançamento dos efluentes na Baía do Almirantado, aberta para substituição..... | 127 |
| Figura 4.6 | Reparo no ponto do lançamento dos efluentes (maré baixa) na Baía do Almirantado..... | 127 |
| Figura 4.7 | Foto lateral do Reator B com vista dos parafusos..... | 130 |
| Figura 4.8 | Reator eletrolítico A..... | 131 |
| Figura 4.9 | Reator eletrolítico B..... | 131 |
| Figura 4.10.a | Reator eletrolítico A - vista lateral..... | 131 |
| Figura 4.10.b | Reator eletrolítico A – vista superior - distância entre placas de 1,8 cm..... | 131 |
| Figura 4.11.a | Reator eletrolítico B – vista frontal..... | 131 |
| Figura 4.11.b | Detalhes reator eletrolítico B – vista superior - distância entre placas de 0,9 cm..... | 131 |
| Figura 4.12 | Equipamentos utilizados durante os ensaios..... | 132 |
| Figura 4.13 | Fonte de corrente contínua..... | 133 |
| Figura 4.14 | Condutivímetro..... | 133 |
| Figura 4.15 | Ponto de coleta das amostras de esgoto utilizadas nos ensaios, em um condomínio na Barra da Tijuca, RJ..... | 134 |
| Figura 4.16 | Armazenamento do esgoto coletado nos vasilhames de 5 L.. | 134 |
| Figura 4.17 | Amostras coletadas e identificadas, prontas para envio para análise..... | 137 |
| Figura 4.18 | Processo com Reator A..... | 137 |
| Figura 4.19 | Processo com Reator B..... | 137 |
| Figura 4.20 | Leitura de corrente e de tensão na fonte com os parâmetros iniciais adotados: $U=10\text{ V}$ e $I= 2,9\text{ A}$ | 139 |
| Figura 4.21 | Processo eletrolítico, com monitoramento do tempo e da temperatura..... | 139 |
| Figura 4.22 | Ensaio de volume de lodo com cones Imhoff de plástico..... | 140 |
| Figura 5.1 | Diagrama de barras de distribuição de íons, em mg/L em CaCO_3 | 150 |

| | | |
|----------------------|---|-----|
| Figura 5.2 | Escuma formada no reator usando eletrodos de desgaste de Al..... | 182 |
| Figura 5.3 | Escuma formada no reator usando eletrodos de desgaste de Fe.... | 182 |
| Figura 6.1 | Fluxograma da ETE com processo eletrolítico..... | 184 |
| Figura 6.2 | Container padrão IMO 20 pés, refrigerado, habitável..... | 186 |
| Figura 6.3 | Esquema do Sistema da ETE com o Processo Eletrolítico..... | 187 |
| Figura 6.4 | Exemplo de uma alternativa de <i>lay-out</i> de ETE com processo eletrolítico em <i>container</i> padrão IMO 20 pés..... | 190 |
| Figura AA.1 | Estrutura do PROANTAR..... | 242 |
| Figuras AB.1 e AB.2- | Imagens de satélite: localização da EACF no continente antártico e ilha Rei George, arquipélago <i>Shetland</i> do Sul..... | 243 |
| Figura AB.3 | Mapa da Ilha Rei George..... | 243 |
| Figura AB.4 | Planta de Situação da EACF na Ilha Rei George..... | 244 |
| Figura AB.5 | Mapa da Baía do Almirantado com a localização e ano de implantação das estações de pesquisa Comandante Ferraz (Brasil), na Península <i>Keller</i> , <i>Machu Picchu</i> (Peru) e <i>Arctowski</i> (Polônia)..... | 244 |
| Figura AC.1 | Estações de Pesquisa na Antártica..... | 245 |
| Figura AC.2 | Detalhe das estações de pesquisa nas ilhas antárticas, próximas a EACF..... | 246 |
| Figura AE.1 | Planta de Situação da EACF (1999)..... | 249 |
| Figura AE.2 | <i>Lay-out</i> previsto para a EACF em 2008..... | 250 |
| Figura AF.1 | Diagramas das redes do sistema de esgoto sanitário – EACF..... | 251 |
| Figura AF.2 | Diagramas das redes do sistema de águas servidas – EACF..... | 253 |
| Figura AF.3 | Diagramas das redes do sistema de esgoto sanitário e águas servidas da enfermaria..... | 253 |
| Figura AG.1 | Concepção do sistema de tratamento de efluentes, do tipo biológico, instalado na EACF em 2007..... | 254 |
| Figura AI.1 | Sistema de tratamento de efluentes implantado na estação antártica <i>Progress Station</i> (Rússia) com o processo eletrolítico..... | 259 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|--------------|---|-----|
| Gráfico 1.1 | Variação da ocupação da EACF no período de 29/out/2003 a 20/set/2004..... | 44 |
| Gráfico 1.2 | Variação da ocupação da EACF durante o período do verão 2003/2004..... | 45 |
| Gráfico 2.1 | Percentual de estações de pesquisa na Antártica com algum tipo de tratamento de esgotos..... | 70 |
| Gráfico 2.2 | Situação tratamento de efluentes nas estações antárticas..... | 71 |
| Gráfico 2.3 | Tipos de tratamento de efluentes implantados nas estações antárticas..... | 71 |
| Gráfico 4.1 | Comparação do Reator A com o Reator B, quando aplicadas a mesma corrente e quando aplicadas a mesma ddp..... | 138 |
| Gráfico 5.1 | Resultados análise alcalinidade e sais da água do Lago Sul -EACF. | 146 |
| Gráfico 5.2 | Condutividade e pH da água do Lago Sul – EACF..... | 146 |
| Gráfico 5.3 | Resultados análise alcalinidade e sais da água do Lago Norte – EACF..... | 147 |
| Gráfico 5.4 | Condutividade e pH da água do Lago Norte – EACF..... | 147 |
| Gráfico 5.5 | Resultados análise alcalinidade e sais da água da cozinha..... | 148 |
| Gráfico 5.6 | Condutividade e pH da água da torneira da cozinha – EACF..... | 148 |
| Gráfico 5.7 | Análise de dureza da água coletada na EACF em 2006..... | 151 |
| Gráfico 5.8 | Condutividade das amostras d`água coletadas na EACF..... | 154 |
| Gráfico 5.9 | Comparação entre a condutividade d`água e do esgoto coletados no RJ..... | 155 |
| Gráfico 5.10 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico – Variação de pH e da temperatura no reator A ($i=2,9$ A, $t=10$ min), nas temperaturas iniciais do afluente de 7 °C, 12 °C e 16° C..... | 156 |
| Gráfico 5.11 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico - Resultados de DQO, DBO ₅ , SST do esgoto tratado (ET) no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=10$ min), nas temperaturas de 7 °C, 12 °C e 16 °C..... | 157 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Gráfico 5.12 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura nos resultados de DQO, DBO ₅ e SST do ET, na diferença de potencial e no consumo de energia no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=10$ min)..... | 158 |
| Gráfico 5.13 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura no consumo de energia no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=10$ min)..... | 158 |
| Gráfico 5.14 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico – Variação de pH e da temperatura no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A, $t=10$ min) nas temperaturas iniciais do afluente de 7, 12, 16 e 21 °C..... | 159 |
| Gráfico 5.15 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico - Resultados de DQO, DBO ₅ e SST do esgoto tratado (ET) no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=10$ min)..... | 159 |
| Gráfico 5.16 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura nos resultados de DQO, DBO ₅ e SST do ET, na diferença de potencial e no consumo de energia no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=10$ min)..... | 160 |
| Gráfico 5.17 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico - 1ª série de ensaios - Influência da variação de temperatura no consumo de energia no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=10$ min)..... | 160 |
| Gráfico 5.18 | 1ª série de ensaios processo eletrolítico - Comparação entre os resultados de densidade de potência e redução de DQO, com anodos de Al, $i=2,9$ A, $t=10$ min, nos reatores A ($n=5$) e B ($n=8$), nas temperaturas iniciais de 7 °C, 12 °C, 17 °C e 22°C..... | 161 |
| Gráfico 5.19 | 2ª série de ensaios processo eletrolítico – Variação de pH e da temperatura no reator A ($i=2,9$ A, $t=10$ min), nas temperaturas iniciais do esgoto de 7 °C, 12 °C, 16 °C e 21 °C. | 162 |
| Gráfico 5.20 | 2ª série de ensaios processo eletrolítico - Resultados de DQO, DBO ₅ e SST dos esgotos tratados (ET) no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=10$ min), nas temperaturas de 7 °C, 12 °C, 16°C e 21 °C..... | 163 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Gráfico 5.21 | 2ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura nos resultados de DQO, DBO ₅ e SST do ET, na diferença de potencial e no consumo de energia no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=10$ min)..... | 163 |
| Gráfico 5.22 | 2ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura no consumo de energia no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=10$ min)..... | 164 |
| Gráfico 5.23 | 2ª série de ensaios processo eletrolítico – Variação de pH e da temperatura no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A, $t=12$ min) nas temperaturas iniciais do afluente de 7, 12, 16 e 21 °C.. | 164 |
| Gráfico 5.24 | 2ª série de ensaios processo eletrolítico - Resultados de DQO, DBO ₅ , SST do esgoto tratado (ET) no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=12$ min)..... | 165 |
| Gráfico 5.25 | 2ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura nos resultados de DQO, DBO ₅ e SST do esgoto tratado (ET), na diferença de potencial e no consumo de energia no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=12$ min)..... | 166 |
| Gráfico 5.26 | 2ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura no consumo de energia no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=12$ min)..... | 166 |
| Gráfico 5.27 | 2ª Série de ensaios processo eletrolítico - Comparação entre os resultados nos reatores A ($n=5$) e B ($n=8$), com anodos de Al, $i=2,9$ A, $t= 10$ min, quanto à densidade de potência e redução de DQO, nas temperaturas iniciais de 7 °C, 12 °C , 16 °C e 21 °C..... | 167 |
| Gráfico 5.28 | 3ª série de ensaios processo eletrolítico – Variação do pH e da temperatura no reator A ($i=2,9$ A, $t=15$ min), nas temperaturas iniciais (Θ_i) de 8 °C, 11 °C, 16° C e 22 °C..... | 168 |
| Gráfico 5.29 | 3ª série de ensaios processo eletrolítico - Resultados de DQO, DBO ₅ e SST dos esgotos tratados (ET) no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=15$ min), nas temperaturas iniciais (Θ_i) de 8 °C, 11 °C, 16 °C e 22 °C..... | 169 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Gráfico 5.30 | 3ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura nos resultados de DQO, DBO ₅ e SST do ET, na diferença de potencial e no consumo de energia no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=15$ min)..... | 169 |
| Gráfico 5.31 | 3ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura no consumo de energia no reator A (anodos de Al ($n=5$), $i=2,9$ A e $t=15$ min)..... | 170 |
| Gráfico 5.32 | 3ª série de ensaios processo eletrolítico – Variação do pH e da temperatura no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A, $t=15$ min) nas temperaturas iniciais do EB de 8 °C, 11 °C, 16 °C e 22 °C..... | 170 |
| Gráfico 5.33 | 3ª série de ensaios processo eletrolítico - Resultados de DQO, DBO ₅ , SST dos esgotos tratados (ET) no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=15$ min)..... | 171 |
| Gráfico 5.34 | 3ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura nos resultados de DQO, DBO ₅ e SST do esgoto tratado (ET), na diferença de potencial e no consumo de energia no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=15$ min)..... | 171 |
| Gráfico 5.35 | 3ª série de ensaios processo eletrolítico - Influência da variação de temperatura no consumo de energia no reator B (anodos de Al ($n=8$), $i=2,9$ A e $t=15$ min)..... | 172 |
| Gráfico 5.36 | 3ª Série de ensaios processo eletrolítico - Comparação entre os resultados, nos reatores A ($n=5$) e B ($n=8$), anodos de Al, $i=2,9$ A, $t= 15$ min, quanto à densidade de potência e redução de DQO, nas temperaturas iniciais de 8 °C, 11 °C, 16 °C e 22°C..... | 172 |
| Gráfico 5.37 | Comparação dos resultados obtidos com eletrodos de desgaste de alumínio (Ensaio 3.3 e 3.4) e de aço carbono (Ensaio 4.3 e 4.4)..... | 173 |
| Gráfico 5.38 | 4ª série de ensaios processo eletrolítico – Resultados de DQO e de SST do ET, no reator A (anodos de Fe ($n=5$), $i= 2,1$ A e $t = 15$ min, 22 min e 30 min)..... | 174 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Gráfico 5.39 | 4ª série de ensaios processo eletrolítico – Variação da temperatura e do consumo de energia nos ensaios 4.P1, 4.P2 e 4.P3 no reator A (anodos de Fe (n=5), $i = 2,1$ A, $J = 28,28$ A/m ²)..... | 176 |
| Gráfico 5.40 | 4ª série de ensaios processo eletrolítico – Resultados de SST (ET - Mistura) e SST (ET - decantado) no reator A (anodos de Fe (n=5), $i=2,1$ A e $t= 15$ min, 22 min e 30 min)..... | 177 |
| Gráfico 5.41 | 4ª série de ensaios processo eletrolítico – Variação do lodo gerado e do consumo de energia nos ensaios 4.P1, 4.P2 e 4.P3 no reator A (anodos de Fe (n=5), $i = 2,1$ A, $J = 28,28$ A/m ²) em função do tempo de retenção..... | 178 |
| Gráfico 5.42 | 4ª série de ensaios processo eletrolítico – Influência da densidade de potência (tempo e densidade de corrente) nos ensaios 4.4, 4.P5 e 4.P6 no reator B (anodos de Fe (n=5)) em função do tempo de retenção..... | 179 |
| Gráfico 5.43 | 5ª série de ensaios processo eletrolítico – Resultados..... | 181 |
| Gráfico 6.1 | Estimativa de energia necessária para climatização do container..... | 196 |
| Gráfico 6.2 | Estimativa do consumo de energia (processo e climatização) para o processo eletrolítico e biológico..... | 197 |
| Gráfico AD.1 | Série temporal das médias anuais de temperaturas do ar, média, mínima e máxima na EACF, Ilha Rei George. (1986-2006)..... | 247 |
| Gráfico AD.2 | Série temporal das médias mensais de temperaturas do ar, média, mínima e máxima do ar na EACF (1986-2007)..... | 247 |
| Gráfico AD.3 | Série temporal das velocidades médias anuais do vento na EACF (1986-2006)..... | 248 |
| Gráfico AD.4 | Série temporal das velocidades médias mensais dos ventos na EACF (1986-2007)..... | 248 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|------------|--|----|
| Quadro 1.1 | Sistema de aquecimento do sistema de tratamento de esgotos implantado em 1996, na EACF..... | 50 |
| Quadro 1.2 | Padrões da Resolução CONAMA 357/2005 para os principais parâmetros de qualidade, em águas salinas, na zona de mistura..... | 54 |
| Quadro 1.3 | Eficiências de remoção de matéria orgânica, ou concentrações a serem atingidas no efluente final, de acordo com a Diretriz FEEMA (RJ) DZ.215.R-1..... | 55 |
| Quadro 1.4 | Principais parâmetros estabelecidos na norma chilena DS nº 20/2000, para descarga de resíduos líquidos em corpos d'água marinhos dentro da zona de proteção litoral..... | 56 |
| Quadro 1.5 | Limites de parâmetros de efluentes, para descarga no mar para proteção da vida aquática marinha, no Estado da Califórnia, 1990..... | 57 |
| Quadro 1.6 | Principais poluentes nas águas residuárias – efluentes domésticos, e suas conseqüências..... | 60 |
| Quadro 1.7 | Caracterização aproximada de esgotos domésticos, com consumo de água igual a 450L/pessoa.dia..... | 63 |
| Quadro 1.8 | Características típicas de sólidos no esgoto bruto..... | 63 |
| Quadro 2.1 | Valores de projeto relativos à ETE da nova Estação de pesquisa belga <i>Dronning Maud Land</i> | 74 |
| Quadro 2.2 | Parâmetros de monitoramento de ETE..... | 83 |
| Quadro 2.3 | Faixas de temperatura para o desenvolvimento ótimo das bactérias..... | 85 |
| Quadro 2.4 | Membranas utilizadas para o tratamento de água e esgoto.... | 88 |
| Quadro 3.1 | Reações no processo eletrolítico com eletrodos de desgaste de Alumínio..... | 97 |
| Quadro 3.2 | Reações no processo eletrolítico com eletrodos de desgaste de Ferro..... | 98 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Quadro 3.3 | Características das bolhas formadas em processos de flotação..... | 99 |
| Quadro 3.4 | Arranjo dos eletrodos nos processos eletrolíticos..... | 111 |
| Quadro 4.1 | Coletas de água realizadas na EACF..... | 123 |
| Quadro 4.2 | Parâmetros analisados nas amostras de água de abastecimento coletadas na EACF e normas de referência utilizadas..... | 125 |
| Quadro 4.3 | Reatores eletrolíticos A e B utilizados na parte experimental. | 130 |
| Quadro 4.4 | Volume coletado das amostras em função do ensaio a ser realizado..... | 137 |
| Quadro 5.1 | Equipamentos hidrossanitários na EACF..... | 144 |
| Quadro 5.2 | Estimativa de volume máximo de esgotos, baseado no consumo máximo provável de água no horário de pico de consumo (7 às 9 hs)..... | 144 |
| Quadro 5.3 | Classificação da água em função dos níveis de dureza..... | 152 |
| Quadro 6.1 | Descrição das etapas apresentadas no fluxograma da Figura 6.1..... | 185 |
| Quadro 6.2 | Características de container tipo padrão IMO 20 pés..... | 187 |
| Quadro 6.3 | Pré-dimensionamento dos componentes do sistema de tratamento de efluentes, com processo eletrolítico..... | 188 |
| Quadro 6.4 | Vida útil estimada das placas do reator eletrolítico..... | 189 |
| Quadro 6.5 | Geração de lodo por ano..... | 189 |
| Quadro 6.6 | Especificações da ETE com processo eletrolítico..... | 190 |
| Quadro 6.7 | Relação de equipamentos para instalação da ETE..... | 191 |
| Quadro 6.8 | Sugestão de programa de monitoramento da ETE..... | 193 |
| Quadro 6.9 | Estimativa de consumo energético do processo eletrolítico.... | 195 |
| Quadro 6.10 | Estimativa de consumo energético do <i>container</i> a 12 °C e a 25 °C..... | 196 |
| Quadro A.1 | Parâmetros de controle de descarga de efluentes domésticos no Brasil, Chile, CEE e EUA (Califórnia)..... | 219 |
| Quadro B.1 | Principais parâmetros para controle de lançamento de efluentes e exemplos de valores limites com referências de legislação atendidas..... | 220 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Quadro C.1 | Sumário de atividades de monitoramento ambiental na Antártica por país..... | 221 |
| Quadro F.1 | Vida útil estimada das placas dos reatores eletrolíticos..... | 237 |
| Quadro G.1 | Impactos ambientais x Sugestão de Medidas Mitigadoras, para a implantação do Sistema de Tratamento de Efluentes com o Processo Eletrolítico na EACF..... | 239 |
| Quadro AA.1 | Base legal do PROANTAR..... | 241 |
| Quadro AA.2 | Membros do PROANTAR..... | 242 |
| Quadro AH.1 | Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas na Europa, de acordo com as diretivas 91/271/CEE, de 21 de maio de 1991 e Diretiva 98/15/CE, de 27 de fevereiro de 1998..... | 255 |
| Quadro AH.2 | Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas na Europa, em zonas sensíveis, sujeitas a eutrofização, de acordo com a diretiva 98/15/CE.... | 256 |
| Quadro AI.1 | Sistemas de tratamento de efluentes (TE) implantados nas estações de pesquisa antárticas..... | 257 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabela 3.1 | Tempos de desgaste de eletrodos de <i>Al</i> e de <i>Fe</i> | 94 |
| Tabela 3.2 | Eficiência dos processos e custos comparativos por níveis de tratamento..... | 122 |
| Tabela 4.1 | Coletas de água realizadas no Rio de Janeiro..... | 135 |
| Tabela 4.2 | Coletas de esgoto realizadas no Rio de Janeiro..... | 135 |
| Tabela 5.1 | Consumo de água na EACF - 15/abr a 31/jul/2006 e 24/fev a 07/mar/2007..... | 142 |
| Tabela 5.2 | Volume diário estimado de efluentes na EACF..... | 143 |
| Tabela 5.3 | Características físico-químicas das amostras d'água de abastecimento da EACF, coletadas em 2006..... | 145 |
| Tabela 5.4 | Concentração de íons analisados, em mg/L CaCO ₃ , na amostra coletada no ponto de entrada da caixa d'água, em 17/mar/2006..... | 149 |
| Tabela 5.5 | Dureza das amostras d'água de abastecimento da EACF, coletadas em 2006..... | 151 |
| Tabela 5.6 | Medições de temperatura e pH na rede de esgotos da EACF.. | 155 |
| Tabela 5.7 | Dados dos processos eletrolíticos dos ensaios 4.P3, 4.3, 4.P2 e 4.P1..... | 175 |
| Tabela 5.8 | Variação da temperatura observada e calculada nos processos eletrolíticos dos ensaios 4.P3, 4.3, 4.P2 e 4.P1..... | 176 |
| Tabela 5.9 | Dados dos processos eletrolíticos dos ensaios 4.4, 4.P5 e 4.P6..... | 179 |
| Tabela D1.1 | Dados das amostras, coletadas no condomínio X (RJ), em 23/05/2007..... | 222 |
| Tabela D1.2 | Caracterização da água e efluente, coletados no condomínio X (RJ), em 23/05/2007..... | 222 |
| Tabela D1.3 | 1ª Série de ensaios – Processo eletrolítico com material do eletrodo de desgaste: Alumínio (<i>Al</i>)..... | 223 |
| Tabela D2.1 | Dados das amostras, coletadas no condomínio X (RJ), em 29/05/2007..... | 224 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabela D2.2 | Caracterização da água e efluente, coletados no condomínio X (RJ), em 23/05/2007..... | 224 |
| Tabela D2.3 | 2ª Série de ensaios – Processo eletrolítico com material do eletrodo de desgaste: Alumínio (Al)..... | 225 |
| Tabela D3.1 | Dados das amostras, coletadas no condomínio X (RJ), em 13/06/2007..... | 226 |
| Tabela D3.2 | Caracterização da água e efluente, coletados no condomínio X (RJ), em 13/06/2007..... | 226 |
| Tabela D3.3 | 3ª Série de ensaios de eletrocoagulação – material do eletrodo de desgaste – Alumínio (Al)..... | 227 |
| Tabela D4.1 | Dados das amostras, coletadas no condomínio X (RJ), em 29/05/2007..... | 228 |
| Tabela D4.2 | Caracterização da água e efluente, coletados no condomínio X (RJ), em 26/06/2007..... | 228 |
| Tabela D4.3 | 4ª Série de ensaios de eletrocoagulação – material do eletrodo de desgaste – Ferro (Fe)..... | 229 |
| Tabela D5.1 | Dados das amostras, coletadas no condomínio X (RJ), em 12/07/2007..... | 230 |
| Tabela D5.2 | Caracterização da água e efluente, coletados no condomínio X (RJ), em 12/07/2007..... | 230 |
| Tabela D5.3 | 5ª Série de ensaios de eletrocoagulação – material do eletrodo de desgaste – Ferro (Fe)..... | 231 |
| Tabela E.1 | Ensaio realizado para avaliação do processo eletrolítico, em escala de laboratório - maio a agosto/2007..... | 232 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------|---|
| AADC | <i>Australian Antarctic Data Center</i> |
| AAEG | Área Antártica Especialmente Gerenciada |
| AEON | <i>Antarctic Environmental Officers Network</i> |
| AMRJ | Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro |
| ANE (ENA) | Anormalidades nucleares eritrocitárias |
| ATCMs | Reuniões Consultivas do Tratado Antártico (<i>Antarcty Treaty Consultive Meeting</i>) |
| CEE | Comunidade Econômica Européia |
| ChEACF | Chefe da Estação Antártica Comandante Ferraz |
| CIRM | Comissão Interministerial para os Recursos do Mar |
| CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| COMNAP | Conselho dos Gerentes dos Programas Antárticos Nacionais (<i>Council of Managers of National Antarctic Programmes</i>) |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CONANTAR | Comissão Nacional para Assuntos Antárticos |
| CONAPA | Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas |
| DBO ₅ | Demanda Bioquímica de Oxigênio a 5 dias |
| D.N. | Deliberação normativa |
| D.O.U | Diário Oficial da União |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| EACF | Estação Antártica Comandante Ferraz |
| FAB | Força Aérea Brasileira |
| FAS | Filtro Aerado Submerso |
| EB | Esgoto bruto |
| ET | Esgoto tratado |
| ETE | Estação de tratamento de efluentes ou esgotos |
| FEEMA | Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (RJ) |
| GAAm | Grupo de Avaliação Ambiental (PROANTAR) |
| IAATO | <i>International Association Antarctica Tour Operators</i> |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |

| | |
|-----------------|--|
| LABs | Alquibenzeno lineares |
| MARPOL 73/78 | Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios, adotada em 1973 e alterada pelo Protocolo de 1978 e por uma série de emendas a partir de 1984 |
| MB | Marinha do Brasil |
| MBR | Reator Biológico de Membrana (<i>Membrane Bioreactor</i>) |
| MCT | Ministério da Ciência e Tecnologia |
| MD | Ministério da Defesa |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| NUPAC | Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas |
| OD | Oxigênio Dissolvido |
| O&G | Óleos e Graxas |
| OPERANTAR | Operação Antártica |
| POLANTAR | Política Nacional para Assuntos Antárticos |
| PROANTAR | Programa Antártico Brasileiro |
| RAPAL | Reunião de Administradores de Programas Antárticos Latino-Americanos |
| RBC | Reator Biológico de Contato (<i>Rotating Biological Contactors</i>) |
| RCTA | Reuniões Consultivas do Tratado Antártico (<i>ATCMs</i>) |
| RNFT | Resíduo Não Filtrável Total (= SST) |
| SCAR | Comitê Científico sobre Pesquisa Antártica (<i>Scientific Committee on Antarctic Research</i>) |
| SISS | <i>Superintendencia de Servicios Sanitarios – Gobierno de Chile</i> |
| SM | <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> |
| SST | Sólidos em Suspensão Totais (= RNFT) |
| SeCIRM | Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar |
| TECMA | Tecnologia em Meio Ambiente Ltda |
| UERJ | Universidade do Estado do Rio de Janeiro |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| USP | Universidade de São Paulo |
| VL | Volume de Lodo |

LISTA SÍMBOLOS

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| A | ampère |
| Al | Alumínio |
| A_t | área total |
| c | comprimento |
| C | Coulomb |
| C | Carbono |
| Ca^{+2} | cátion divalente Cálcio |
| C_{ee} | consumo específico de energia |
| C_F | densidade de carga |
| C_p | capacidade calorífica da solução |
| Cl^- | Íon Cloreto |
| $^{\circ}C$ | grau Celsius |
| d | diâmetro |
| d | densidade do material do eletrodo |
| D | Dalton |
| e | elétron |
| F | constante de <i>Faraday</i> |
| Fe | Ferro |
| H | Hidrogênio |
| h | hora |
| h | altura |
| I | corrente elétrica |
| J | densidade de corrente elétrica |
| k | condutividade do eletrólito |
| K | grau Kelvin |
| k | kilo ($\times 10^3$) |
| kg | quilograma |
| l | largura |
| L | litro |
| m | metro |

| | |
|---------------|--|
| m^3 | metro cúbico |
| M | massa do eletrodo desgastada |
| Mg^{+2} | cátion divalente Magnésio |
| mg/L | miligrama por litro |
| mg/L $CaCO_3$ | dureza carbonato |
| min | minuto |
| mg | miligrama |
| mL | mililitro |
| n | número de eletrodos |
| N | Nitrogênio |
| NTK | Nitrogênio Total <i>Kjeldahl</i> (amônia + nitrogênio orgânico) |
| NT | Nitrogênio Total (NTK + nitrito (NO_2^-) + nitrato (NO_3^-)) |
| NTU (uT) | unidade de turbidez nefelométrica |
| O | Oxigênio |
| P | Fósforo |
| P | potência (corrente contínua) |
| P' | densidade de potência |
| Q | vazão |
| R | resistência elétrica |
| S | Siemens |
| S_{placa} | Area da placa |
| t | tempo |
| t | tonelada |
| U | tensão elétrica |
| V | volume |
| V | Volt |
| W | Watt |
| = | Igual a |
| α | Equivalente eletroquímico do material do eletrodo |
| Θ | temperatura |
| λ | condutividade elétrica |
| μ | mícron ($\times 10^{-6}$) |
| Ω | Ohm |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| | INTRODUÇÃO..... | 31 |
| 1 | O AMBIENTE ANTÁRTICO, A ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ (EACF) E A IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS..... | 36 |
| 1.1 | Breve histórico da participação do Brasil na Antártica..... | 39 |
| 1.2 | Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF)..... | 41 |
| 1.2.1 | <u>Dados climáticos.....</u> | 42 |
| 1.2.2 | <u>Logística de apoio.....</u> | 43 |
| 1.2.3 | <u>Ocupação da EACF.....</u> | 44 |
| 1.2.4 | <u>Instalações da EACF.....</u> | 46 |
| 1.2.5 | <u>Sistema de tratamento de efluentes instalado e em implantação.....</u> | 49 |
| 1.3 | Aspectos legais e ambientais relacionados ao tratamento de efluentes no ambiente antártico e na EACF..... | 51 |
| 1.3.1 | <u>Aspectos legais.....</u> | 51 |
| 1.3.1.1 | Aspectos legais relativos à área do Tratado Antártico..... | 52 |
| 1.3.1.2 | Legislação brasileira..... | 53 |
| 1.3.1.3 | Normas internacionais..... | 55 |
| 1.3.2 | <u>Riscos de contaminação da fauna antártica e requisitos ambientais</u> | 57 |
| 1.3.3 | <u>Avaliação de impactos ambientais na região antártica.....</u> | 59 |
| 1.3.3.1 | Impactos ambientais associados à emissão de efluentes líquidos e ao tratamento de esgotos..... | 59 |
| 1.3.3.2 | Avaliação de impactos ambientais no âmbito do PROANTAR..... | 61 |
| 1.4 | Efluentes gerados na EACF e importância do sistema de tratamento..... | 62 |
| 1.4.1 | <u>Importância da melhoria do sistema de tratamento de efluentes na EACF e requisitos desejáveis.....</u> | 64 |
| 2 | PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS APLICÁVEIS NA REGIÃO ANTÁRTICA..... | 67 |
| 2.1 | Alguns estudos realizados sobre tratamento de esgotos na Antártica..... | 67 |
| 2.2 | Tratamentos de efluentes utilizados nas estações antárticas.... | 69 |
| 2.2.1 | <u>Alguns exemplos de sistemas de tratamento de efluentes implantados ou em projeto na Antártica.....</u> | 73 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.2.1.1 | Austrália..... | 73 |
| 2.2.1.2 | Bélgica..... | 73 |
| 2.2.1.3 | Chile..... | 75 |
| 2.2.1.4 | Estados Unidos da América..... | 75 |
| 2.2.1.5 | França e Itália..... | 76 |
| 2.2.1.6 | Nova Zelândia..... | 77 |
| 2.2.1.7 | Rússia..... | 77 |
| 2.2.1.8 | Considerações..... | 78 |
| 2.3 | Monitoramento ambiental associado à emissão de efluentes líquidos na Antártica | 80 |
| 2.3.1 | <u>Monitoramentos de efluentes líquidos realizados na Antártica</u> | 80 |
| 2.3.2 | <u>Monitoramentos realizados no âmbito do PROANTAR</u> | 81 |
| 2.3.3 | <u>Sugestão de Monitoramento para os Efluentes Líquidos da EACF</u> .. | 82 |
| 2.4 | Principais tecnologias de tratamento de esgotos aplicáveis: vantagens e desvantagens | 84 |
| 2.4.1 | <u>Tratamento biológico</u> | 84 |
| 2.4.2 | <u>Utilização de membranas</u> | 88 |
| 2.4.3 | <u>Precipitação química</u> | 89 |
| 2.4.4 | <u>Processo eletrolítico</u> | 89 |
| 2.5 | Avaliação do processo eletrolítico | 90 |
| 3 | REVISÃO DO PROCESSO ELETROLÍTICO | 91 |
| 3.1 | Referencial teórico | 91 |
| 3.1.1 | <u>Fenômenos associados com o processo eletrolítico</u> | 91 |
| 3.1.1.1 | Eletrólise e as Leis de <i>Faraday</i> | 93 |
| 3.1.1.2 | Desgaste dos eletrodos..... | 94 |
| 3.1.1.3 | Considerações sobre as Leis de <i>Faraday</i> | 95 |
| 3.2 | Processo eletroquímico aplicado ao tratamento de efluentes ... | 95 |
| 3.2.1 | <u>Princípios e processos associados</u> | 95 |
| 3.2.1.1 | Coagulação via eletrocoagulação..... | 96 |
| 3.2.1.2 | Flotação via eletroflotação..... | 99 |
| 3.2.2 | <u>Remoção de materiais em suspensão</u> | 100 |
| 3.2.3 | <u>Remoção de compostos solúveis</u> | 101 |
| 3.2.4 | <u>Influência da temperatura</u> | 101 |
| 3.2.4.1 | Na flotação..... | 104 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.2.5 | <u>Outros parâmetros que influenciam no sistema</u> | 104 |
| 3.2.5.1 | Condutividade elétrica do afluente..... | 104 |
| 3.2.5.2 | O pH do afluente..... | 105 |
| 3.2.5.3 | Densidade de corrente..... | 106 |
| 3.2.5.4 | Distância entre os eletrodos..... | 106 |
| 3.2.5.5 | Tensão aplicada..... | 106 |
| 3.2.5.6 | Tempo de retenção..... | 108 |
| 3.2.5.7 | Densidade de carga..... | 108 |
| 3.2.5.8 | Potência consumida (Densidade de Potência)..... | 109 |
| 3.2.5.9 | Material do eletrodo..... | 110 |
| 3.2.5.10 | Arranjo dos eletrodos..... | 110 |
| 3.2.6 | <u>Consumo de energia</u> | 111 |
| 3.2.7 | <u>Tipos de reatores utilizados no processo de eletrocoagulação</u> | 110 |
| 3.3 | Pesquisas e aplicabilidade | 113 |
| 3.3.1 | <u>No tratamento de esgotos domésticos</u> | 114 |
| 3.3.2 | <u>Em outras aplicações</u> | 116 |
| 3.3.2.1 | No descolorimento de efluente têxtil e indústria de papel e celulose | 119 |
| 3.3.2.2 | Na remoção de filmes oleosos e óleo emulsionado..... | 120 |
| 3.4 | Considerações sobre o processo eletrolítico: vantagens e limitações | 120 |
| 3.5 | Estudo comparativo entre a solução com o processo eletrolítico e solução convencional | 121 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 123 |
| 4.1 | Levantamento de campo realizado na EACF | 123 |
| 4.1.1 | <u>Planejamento das coletas de amostras de água da EACF</u> | 123 |
| 4.1.2 | <u>Materiais utilizados no levantamento de campo na EACF</u> | 124 |
| 4.1.3 | <u>Procedimentos</u> | 124 |
| 4.1.3.1 | Coleta e ensaios na água de abastecimento..... | 124 |
| 4.1.3.2 | Consumo de água..... | 125 |
| 4.1.3.3 | Temperatura e pH dos efluentes da EACF..... | 126 |
| 4.2 | Metodologia experimental utilizando o processo eletrolítico | 128 |
| 4.2.1 | <u>Materiais e equipamentos utilizados</u> | 129 |
| 4.2.1.1 | Na coleta das amostras de efluente doméstico e água no RJ..... | 129 |
| 4.2.1.2 | Nos ensaios em laboratório..... | 129 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.2.2 | <u>Procedimentos</u> | 134 |
| 4.2.2.1 | Coleta do efluente utilizado nos ensaios..... | 134 |
| 4.2.2.2 | Procedimentos durante os ensaios do processo eletrolítico..... | 136 |
| 4.2.2.3 | Procedimentos aplicados na 1ª série dos ensaios..... | 138 |
| 4.2.2.4 | Procedimentos aplicados na 2ª série dos ensaios..... | 139 |
| 4.2.2.5 | Procedimentos aplicados na 3ª série dos ensaios..... | 140 |
| 4.2.2.6 | Procedimentos aplicados na 4ª série dos ensaios..... | 140 |
| 4.2.2.7 | Procedimentos aplicados na 5ª série dos ensaios..... | 141 |
| 5 | RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO | 142 |
| 5.1 | Consumo de água e volume estimado de efluentes | 142 |
| 5.2 | Ánálises da água de abastecimento e efluentes da EACF | 145 |
| 5.2.1 | <u>Amostras d`água do Lago Sul</u> | 146 |
| 5.2.2 | <u>Amostras d`água do Lago Norte</u> | 147 |
| 5.2.3 | <u>Água coletada na torneira da cozinha da EACF</u> | 148 |
| 5.2.4 | <u>Análise dos sais, alcalinidade e dureza</u> | 149 |
| 5.2.5 | <u>Análise da condutividade</u> | 153 |
| 5.2.6 | <u>Características dos efluentes: temperatura e pH</u> | 155 |
| 5.3 | Ensaio eletrolítico realizado com eletrodos de desgaste de alumínio | 156 |
| 5.3.1 | <u>1ª Série de ensaios</u> | 156 |
| 5.3.1.1 | Ensaio com o reator A (cantoneiras amarelas, d=1,8 cm)..... | 156 |
| 5.3.1.2 | Ensaio com o reator B (cantoneiras Brancas, d=0,9 cm)..... | 158 |
| 5.3.1.3 | Comparação entre os reatores A (d=1,8 cm) e B (d=0,9 cm), quanto à densidade de potência e redução de DQO..... | 161 |
| 5.3.2 | <u>2ª Série de ensaios</u> | 161 |
| 5.3.2.1 | Ensaio com o reator A (cantoneiras amarelas, d=1,8 cm)..... | 162 |
| 5.3.2.2 | Ensaio com o reator B (cantoneiras Brancas, d=0,9 cm)..... | 164 |
| 5.3.2.3 | Comparação entre os reatores A (d=1,8 cm) e B (d=0,9 cm), quanto à densidade de potência e redução de DQO..... | 167 |
| 5.3.3 | <u>3ª Série de ensaios</u> | 168 |
| 5.3.3.1 | Ensaio com o reator A (cantoneiras amarelas, d=1,8 cm)..... | 168 |
| 5.3.3.2 | Ensaio com o reator B (cantoneiras Brancas, d=0,9 cm)..... | 170 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.3.3.3 | Comparação entre os reatores A (d=1,8 cm) e B (d=0,9 cm), quanto à densidade de potência e redução de DQO..... | 172 |
| 5.4 | Ensaio realizado com placas de aço carbono | 173 |
| 5.4.1 | <u>4ª série de ensaios</u> | 173 |
| 5.4.1.1 | Ensaio com o Reator A (d=1,8 cm)..... | 174 |
| 5.4.1.2 | Ensaio com o Reator B (d=0,9 cm)..... | 178 |
| 5.4.2 | <u>5ª série de ensaios</u> | 180 |
| 5.5 | Análise geral dos dados | 181 |
| 5.5.1 | <u>Comportamento do material dos eletrodos (Al e Fe)</u> | 181 |
| 5.5.2 | <u>Efeito da distância entre placas (eletrodos)</u> | 182 |
| 5.5.3 | <u>Variação de pH durante o processo eletrolítico</u> | 182 |
| 5.5.4 | <u>Efeito da variação da diferença de potencial aplicado</u> | 183 |
| 5.5.5 | <u>Efeito da variação de intensidade de corrente aplicada</u> | 183 |
| 5.5.6 | <u>Efeito da variação da temperatura</u> | 183 |
| 5.6 | Parâmetros para operação | 183 |
| 6 | PROJETO CONCEITUAL PROPOSTO | 184 |
| 6.1 | Instalação | 184 |
| 6.1.1 | <u>Dados de Projeto</u> | 185 |
| 6.1.2 | <u>Pré-dimensionamento da ETE</u> | 187 |
| 6.1.2.1 | Características dos componentes do sistema de tratamento..... | 188 |
| 6.1.2.2 | Vida útil das placas..... | 189 |
| 6.1.2.3 | Quantidade de lodo gerado e espaço estimado para armazenamento e transporte..... | 189 |
| 6.1.2.4 | <i>Lay-out</i> de ETE com processo eletrolítico e especificações..... | 189 |
| 6.1.3 | <u>Especificações Técnicas</u> | 190 |
| 6.1.4 | <u>Requisitos para instalação</u> | 191 |
| 6.2 | Rotinas operacionais e de manutenção preventiva | 191 |
| 6.2.1 | <u>Rotinas operacionais</u> | 191 |
| 6.2.2 | <u>Manutenção preventiva e corretiva</u> | 192 |
| 6.2.3 | <u>Requisitos de equipamentos e de pessoal</u> | 192 |
| 6.3 | Proposta de monitoramento | 193 |
| 6.4 | Viabilidade técnica de implantação do processo eletrolítico | 193 |
| 6.4.1 | <u>Estimativas de espaço ocupado</u> | 194 |
| 6.4.2 | <u>Estimativas de consumo energético</u> | 194 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 6.4.2.1 | Consumo energético do processo eletrolítico..... | 194 |
| 6.4.2.2 | Climatização do container..... | 195 |
| 6.4.3 | <u>Custos associados</u> | 192 |
| 6.4.4 | <u>Impactos ambientais e medidas mitigadoras</u> | 193 |
| 7 | CONCLUSÃO E PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES | 199 |
| | REFERÊNCIAS | 204 |
| | GLOSSÁRIO | 217 |
| | APÊNDICE A - Legislações e parâmetros referentes à descarga de efluentes domésticos no Brasil, Chile, CEE e EUA (Califórnia)... | 219 |
| | APÊNDICE B – Principais parâmetros para controle de lançamento de efluentes, valores limites e normas de referência.... | 220 |
| | APÊNDICE C – Atividades de monitoramento de efluentes líquidos, realizadas por alguns países que operam na Antártica..... | 221 |
| | APÊNDICE D - 1º a 5º séries de ensaios eletrolíticos realizados em bancada de laboratório..... | 222 |
| | APÊNDICE E – Extrato de ensaios de laboratórios realizados..... | 232 |
| | APÊNDICE F – Pré-Dimensionamento ETE..... | 234 |
| | APÊNDICE G – Avaliação preliminar de impactos ambientais relativos à implantação de ETE com o Processo Eletrolítico..... | 239 |
| | ANEXO A – Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR): Base legal, estrutura e membros..... | 241 |
| | ANEXO B – Localização da EACF na Antártica..... | 243 |
| | ANEXO C – Estações de Pesquisa na Antártica..... | 245 |
| | ANEXO D – Dados climáticos da EACF – 1986 a 2006..... | 247 |
| | ANEXO E – Instalações da EACF: planta de situação e “ <i>lay-out</i> ” | 249 |
| | ANEXO F – Diagrama da rede de efluentes líquidos da EACF..... | 251 |
| | ANEXO G – Sistema de tratamento de efluentes na EACF..... | 254 |
| | ANEXO H – Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas na Europa..... | 255 |
| | ANEXO I – Sistemas de tratamento de efluentes implantado nas estações antárticas..... | 257 |