

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
MESTRADO EM SANEAMENTO AMBIENTAL**

JOSÉ REGES DA SILVA LOBÃO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO, ESTABILIDADE E CONFIABILIDADE DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

**FORTALEZA
2009**

JOSÉ REGES DA SILVA LOBÃO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO, ESTABILIDADE E CONFIABILIDADE DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de concentração em Saneamento Ambiental, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre.

FORTALEZA

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

José, Reges da Silva Lobão

Análise de desempenho, estabilidade, confiabilidade e proposta de programa de controle operacional para ETEs compactas.

Orientador: Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino

Dissertação – Universidade Federal do Ceará,
Fortaleza, 2009

1. Análises de confiabilidade de estações de tratamento de esgoto
2. Meio ambiente
3. Programa de controle operacional

JOSÉ REGES DA SILVA LOBÃO

ANÁLISE DE DESEMPENHO, ESTABILIDADE E CONFIABILIDADE DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, a área de concentração em Saneamento Ambiental, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, em cuja biblioteca de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental encontra-se uma cópia à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas da ética científica

Dissertação defendida e aprovada em 13/03/2009 pela banca julgadora:

Profa. Marisete Dantas de Aquino (Orientador)

Prof. Rogério Campos

Prof. Raimundo Oliveira Souza

DEDICATÓRIA

A Deus,

À minha família,

À minha mãe, minha tia,

À minha irmã Regiane,

À minha professora e orientadora Marisete.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pelos obstáculos impostos nesta árdua caminhada e a Fé que me deu forças para superá-los.

A Professora Marisete, pela orientação e oportunidade de me fazer conhecer o imenso mundo da Engenharia Sanitária que, sem dúvida alguma, contribuiu para o meu amadurecimento pessoal, acadêmico e profissional.

A toda à GETES, Gerência de Macrocoleta e Tratamento de Esgotos da Cagece, pela aquisição do conhecimento, necessária à estruturação desse trabalho, e pela disponibilidade de instrumentação na conclusão do mesmo.

A todos os professores de forma geral, que contribuíram para minha formação ao longo desse árduo e, ao mesmo tempo, gratificante período de estudo em um curso de referência nacional.

Aos meus familiares e amigos, que me apoiaram e agora comemoram mais uma etapa de vida vencida. Em especial, a minha mãe Gleide e a minha tia Neiva, que sustentaram o pilar da esperança, mesmo quando me sentia desestimulado, aos meus avós, que desde o início da vida estudantil, me deram condições de estudar.

E finalmente, à minha irmã e minha prima que mesmo quando dizia das dificuldades do curso, me incentivavam, a ter paciência, e também ao meu amigo Rosiel, pela parceria que tivemos ao longo do curso, na ampliação dos horizontes e obtenção de maior conhecimento.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS E QUADROS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativa.....	5
1.2. Objetivos.....	6
1.4. Estrutura do trabalho	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. Saúde e Saneamento Ambiental	8
2.2. A situação Atual do Saneamento no Brasil.....	9
2.3. Tratamento Anaeróbio	10
2.4. Tratamento de Despejo Sanitário e Considerações Gerais e Conceitos	11
2.5. Processos Anaeróbio.....	12
2.6. Tratamento por Processos Anaeróbios.....	13
2.7. Tratamento por Processos Aeróbios.....	20
2.7.1. Controle Operacional de Lagoas de Estabilização	22
2.8. A situação do Saneamento Básico de Fortaleza	24
2.9. Aplicação de Tecnologias Anaeróbias.....	27
2.10. Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios	29
2.11. Partida do reator UASB	36
2.12. Tempo de Permanência e Retenção nos Reatores Anaeróbios	37
2.13. Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente.....	38
2.14. Partida com Inoculação do Reator.....	39

2.14.1.	Volume de Lodo de Inócuo	39
2.14.2.	Carga Hidráulica Volumétrica	39
2.14.3.	Temperatura	40
2.14.4.	Fatores Ambientais	40
2.14.5.	Aclimatação e Seleção da Biomassa	40
2.15.	Procedimentos Antecedentes a Partida do Reator	41
2.15.1.	Caracterização de Lodo de Inócuo	41
2.15.2.	Caracterização de Esgoto Bruto	41
2.15.3.	Estimativa de Volume de Lodo Necessário	41
2.16.	Procedimentos Durante a Partida do Reator	42
2.16.1.	Inoculação do Reator	42
2.16.2.	Alimentação do Reator	42
2.17.	Partida sem Inoculação do Reator	43
2.18.	Medidas de Segurança	44
2.19.	Monitoramento do Processo	44
2.20.	Procedimentos Operacionais	45
2.20.1.	Unidades de Desinfecção.....	45
2.20.2.	Leitos de Secagem do Lodo	46
2.20.3.	Caixa de Admissão	51
2.20.4.	Grade	51
2.20.5.	Caixa de Areia	52
2.20.6.	Bombas de Influente	52
2.21.	Legislação Ambiental Associada ao tema	53
3.	METODOLOGIA	59
3.1.	Fundamentação Metodológica.....	61
3.2.	Fluxogramas Metodológicos	69

3.2.1.	Fluxograma com Probabilidade Pré-determinada	70
3.2.2.	Fluxograma sem Probabilidade Pré-determinada	71
4.	RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	72
4.1.	Avaliação Individual	74
4.1.1.	Desempenho da ETE Aracapé 2006 e 2007	74
4.1.2.	Desempenho da ETE São Cristóvão 2006 e 2007	91
4.1.2.	Desempenho da ETE Alm.Tamandaré 2006 e 2007	106
4.2.	Avaliação Comparativa de Eficiência.....	123
4.1.2.	Eficiência de Remoção da DQO	123
4.3.	Análise de Confiabilidade das Estações	130
4.3.1.	Análise de Confiabilidade 2006 – Procedimento 01	131
4.3.2.	Análise de Confiabilidade 2006 – Procedimento 02	134
4.3.3.	Análise de Confiabilidade 2007 – Procedimento 01	137
4.3.4.	Análise de Confiabilidade 2007 – Procedimento 02	140
4.4.	Análise dos Valores de CDC em função dos Coeficientes de Variação considerando diferentes Níveis de Confiabilidade.....	143
4.5.	Análise de DBO, DQO, SST em função os Coeficientes de Variação considerando diferentes Níveis de Confiabilidade.....	146
4.6.	Análises Descritivas e de Estabilidade de Estações.....	149
5.	CONCLUSÃO	153
6.	RECOMENDAÇÕES	157
7.	BIBLIOGRAFIA	158
	ANEXO A	164
	ANEXO B	165
	ANEXO C	168

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa de esgotamento sanitário de Fortaleza evidenciando as bacias 26
- Figura 2 - Fluxograma de uma ETE Compacta 50
- Figura 3 - Fluxograma de Sistema de Desidratação ETE Compacta 50
- Figura 4 - Fluxograma com probabilidade pré-determinada 70
- Figura 5 - Fluxograma sem probabilidade pré-determinada 71
- Figura 6 - Análise de DQO 2006 76
- Figura 7- Análise de DQO 2007 76
- Figura 8 - Análise de pH 2006 78
- Figura 9 - Análise de pH 2007 78
- Figura 10 - Análise de Temperatura 2006 80
- Figura 11 - Análise de Temperatura 2007 80
- Figura 12 - Análise de Turbidez 2006 81
- Figura 13 - Análise de Turbidez 2007 81
- Figura 14 - Análise de SST 2006 83
- Figura 15 - Análise de SST 2006 83
- Figura 16 - Análise de Condutividade Elétrica 2006 84
- Figura 17 - Análise de Condutividade Elétrica 2007 85
- Figura 18 - Análise de DBO 2006 86
- Figura 19 - Análise de DBO 2006 86
- Figura 20 - Análise de Eficiência DQO 2006 87
- Figura 21 - Análise de Eficiência DQO 2007 88
- Figura 22 - Análise de Eficiência SST 2006 88
- Figura 23 - Análise de Eficiência SST 2007 89
- Figura 24 - Análise de Eficiência DBO 2006 90
- Figura 25 - Análise de Eficiência DBO 2007 90
- Figura 26 - Análise de DQO 2006 93
- Figura 27 - Análise DQO 2007 93
- Figura 28 - Análise de pH 2006 94
- Figura 29 - Análise pH 2007 95
- Figura 30 - Análise de Temperatura 2006 96
- Figura 31 - Análise de Temperatura 2007 96

Figura 32 - Análise de Turbidez 2006	97
Figura 33 - Análise de Turbidez 2007	98
Figura 34 - Análise de SST 2006	99
Figura 35 - Análise de SST 2006	99
Figura 36 - Análise de Condutividade Elétrica 2006	100
Figura 37 - Análise de Condutividade Elétrica 2007	101
Figura 38 - Análise de DBO 2006	102
Figura 39 - Análise de DBO 2007	102
Figura 40 - Análise de Eficiência DBO 2006	103
Figura 41 - Análise de Eficiência DBO 2007	104
Figura 42 - Análise de Eficiência SST 2006	104
Figura 43 - Análise de Eficiência SST 2007	105
Figura 44 - Análise de Eficiência DBO 2006	106
Figura 45 - Análise de Eficiência DBO 2007	106
Figura 46 - Análise de DBO 2006	109
Figura 47 - Análise de DBO 2007	110
Figura 48 - Análise de pH 2006	111
Figura 49 - Análise de pH 2007	112
Figura 50 - Análise de Temperatura 2006	113
Figura 51 - Análise de Temperatura 2007	113
Figura 52 - Análise de Turbidez 2006	114
Figura 53 - Análise de Turbidez 2007	115
Figura 54 - Análise de SST 2006	116
Figura 55 - Análise de SST 2007	116
Figura 56 - Análise de Condutividade Elétrica 2006	117
Figura 57 - Análise de Condutividade Elétrica 2007	118
Figura 58 - Análise de DBO 2006	119
Figura 59 - Análise de DBO 2006	119
Figura 60 - Análise de Eficiência DQO 2006	120
Figura 61 - Análise de Eficiência DQO 2007	121
Figura 62 - Análise de Eficiência SST 2006	121
Figura 63 - Análise de Eficiência SST 2007	122
Figura 64 - Análise de Eficiência DBO 2006	123
Figura 65 - Análise de Eficiência DBO 2007	123

Figura 66 - Comparação DBO 2006	125
Figura 67 - Comparação DBO 2007	126
Figura 68 - Comparação SST 2006	127
Figura 69 - Comparação SST 2007	128
Figura 70 - Comparação DBO 2006	129
Figura 71 - Comparação DBO 2007	130
Figura 72 - Análise de CDC – DBO 2006	144
Figura 73 - Análise de CDC – DQO 2006	144
Figura 74 - Análise de CDC – SST 2006	145
Figura 75 - Análise de CDC em CV	146
Figura 76 - Análise de CDC – DBO 2007	147
Figura 77 - Análise de CDC – DQO 2007	147
Figura 78 - Análise de CDC – SST 2007	148
Figura 79 - Caixa de Areia	165
Figura 80 – Leito de Secagem	165
Figura 81 – Leito de Secagem	166
Figura 82 – Sistema de Gradeamento	166
Figura 83 – Sistema de Reatores e Leitos de Secagem	167
Figura 84 – Sistema de Bombas e Poço de Sucção	167
Figura 85 – Sistema Complexo de ETE Compacta	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de serviços de água e esgotos no Brasil, por região – comparação entre 1989 e 2000	19
Tabela 2 - Lançamento de efluentes – padrões	55
Tabela 3 - Padrões de lançamento	73
Tabela 4 - Análise de Confiabilidade 1 (2006)	133
Tabela 5 - Análise de Confiabilidade 2 (2006)	136
Tabela 6 - Análise de Confiabilidade 1(2007)	139
Tabela 7 - Análise de Confiabilidade 2 (2007)	142
Tabela 8 - Valores de Coeficientes de Variação em função dos Níveis de Confiabilidade	145
Tabela 9 - Análise Descritiva 2006	149
Tabela 10 - Análise Descritiva 2007	149
Tabela 11 - Análise Confiabilidade X Concentrações 2006	151
Tabela 12 - Análise Confiabilidade X Concentrações 2007	151

RESUMO

Os esgotos domésticos são compostos, em parte, por dejetos humanos que podem conter organismos patogênicos, onde também se verifica que, a matéria orgânica presente nesses resíduos, quando introduzida aos mananciais, provoca o consumo do oxigênio dissolvido na água. Nesse sentido, o tratamento de efluentes domésticos é essencial para evitar a proliferação de doenças de veiculação hídrica e proteção da biota dos cursos d'água. Confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar sua função adequadamente, de acordo com as condições especificadas, por um período previsto de tempo. Sendo assim, torna-se essencial que os processos de tratamento de esgotos sejam avaliados em relação à confiabilidade, fornecendo informações que podem subsidiar a seleção de um determinado sistema de tratamento e permitindo a avaliação do desempenho real de uma ETE, no que se refere ao atendimento aos requisitos legais estabelecidos ou às metas de eficiência definidas durante o projeto. A metodologia adotada neste estudo foi à abordagem, qualitativa e quantitativa de parâmetros, compreendendo avaliação de eficiência, confiabilidade e estabilidade. Os instrumentos de análise foram disponibilizados e propostos por METCALF; EDDY (1991) e NIKU *et al.* (1979) e utilização de ferramentas do Excel. Apresenta resultados gerados a partir de análises realizadas, de acordo a manipulação de dados fornecidos pela CAGECE. Foi feita uma pesquisa bibliográfica que resultou na elaboração do trabalho, que comprehende todas as análises realizadas e a construção do programa de controle operacional para ETEs compactas. O presente trabalho conclui a necessidade de implantação deste estudo na estruturação de projetos, cujos objetivos comprehendem permitir que as estações de tratamentos de esgotos atendam às normas, cumprindo compromissos com o meio ambiente e com a sociedade, propondo uma nova visão pública relativa ao tratamento de águas residuárias, e determinando uma boa relação entre a empresa de saneamento e todo o sistema social, favorecendo a melhoria da atual situação.

Palavras - chave: análises de confiabilidade de estações de tratamento de esgoto, meio ambiente, programa de controle operacional.

ABSTRACT

The domestic sewers are composites, in part, for human dejections that can contain pathogenic organisms, where also are verified that, the present organic substance in these residues, when introduced to the sources, provokes the consumption of the oxygen dissolved in the water. In this direction, the treatment of effluent domestic servants is essential to prevent the proliferation of illnesses of water propagation and protection of biota of the courses water. Trustworthiness is the probability of an item of playing its function adequately, in accordance with the specified conditions, for a foreseen period of time. Being thus, one becomes essential that the processes of treatment of sewers are evaluated in relation to the trustworthiness, supplying information that can subsidize the election of one definitive system of treatment and allowing the evaluation of the real performance of a ETE, as for the attendance to the established legal requirements or to the defined goals of efficiency during the project. The methodology adopted in this study was to the boarding, qualitative and quantitative of parameters, understanding evaluation of efficiency, trustworthiness and stability. The analysis instruments had been the disposal and considered for METCALF; EDDY (1991) and NIKU *et al.* (1979) and use of tools of the Excel. It presents results generated from carried through analyses, in agreement the manipulation of data supplied for the CAGECE. A bibliographical research was made that resulted in the elaboration of the work, that understands all the carried through analyses and the construction of the compact program of operational control for ETEs. The present work concludes the necessity of implantation of this study in the to structuralize o of projects, whose objectives understand to allow that the stations of treatments of sewers take care of to the norms, fulfilling commitments with the environment and with the society, considering a new relative public vision to the residuary water treatment, and determining a good relation enters the sanitation company all and the social system, favoring the improvement of the current situation.

Key Word: analyses of trustworthiness of stations of treatment of sewer, environment, program of operational control.

Capítulo I

1. Introdução

Dentre os recursos naturais mais importantes para o homem, o mais relevante é a água, onde é perceptível a sua inevitável escassez no Planeta, em decorrência do mau uso e ocorrência de fenômenos naturais, como secas não previstas, que vêm ocorrendo nas últimas décadas. Em regiões onde predomina o clima semi-árido, a escassez de água potável é precisamente um fator de extrema importância, e que certamente merece uma atenção especialmente direcionada à elaboração de soluções consistentes e sustentáveis. O problema não é apenas de níveis de quantidade, mas também de qualidade. Logo, dentre as causas da falta d'água potável, está à rápida contaminação dos corpos d'água. O intenso crescimento populacional urbano desordenado tem causado o aumento da poluição ambiental, devido à injeção de esgotos nos recursos hídricos sem nenhum tipo de tratamento.

Durante muito tempo, se buscaram soluções baratas para o tratamento de esgotos. O uso de tanques sépticos para o tratamento de esgotos sanitários de populações pequenas começou a ser difundido na década de 30 (AZEVEDO NETO, 1985). Nas décadas de 70 e 80, houve um efetivo avanço da tecnologia, decorrente de pressões relativas à escassez de reservas naturais.

De acordo com trabalho realizado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2002 – os índices brasileiros de atendimento urbano quanto à coleta e ao tratamento de esgoto gerado são de 50,4% e 27,3%, respectivamente. Esta pesquisa mostra as diversas situações das cidades e regiões brasileiras em que se produz uma elevada quantidade de esgoto – emitindo os mesmos sem qualquer tipo de tratamento nos rios e mares que servem de corpos receptores. Como consequência, é inevitável a ocorrência de poluição das águas que circundam as áreas urbanas, sendo bastante elevada, promovendo o encarecimento deste recurso natural precioso, onde cada vez mais, ocorre a captação de água para o abastecimento e outros usos menos importantes.

Os esgotos domésticos são compostos, em parte, por dejetos humanos que podem conter organismos patogênicos, onde também se verifica que, a matéria orgânica presente nesses resíduos, quando introduzida nos mananciais, provoca o consumo do oxigênio dissolvido na água. Nesse sentido, o tratamento de efluentes domésticos é essencial para evitar a proliferação de doenças de veiculação hídrica e proteção da biota dos cursos d'água.

Mesmo que a introdução de uma estação de tratamento de esgotos vise à remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, possibilitando seu reuso para determinados fins específicos, ou seu retorno ao corpo d'água sem alterar os padrões da classe em que este está enquadrado, a discussão sobre o saneamento não deve ater-se apenas ao atendimento à população, mas levar em conta a qualidade do serviço de tratamento como instrumento de proteção ambiental e também de saúde pública. Os atendimentos sanitários de má qualidade podem gerar sérios problemas em comunidades e cidades, que vão desde maus odores a possíveis epidemias.

Dentro deste contexto, justifica-se a avaliação rotineira do desempenho das estações de tratamento de esgotos a fim de minimizar as possíveis falhas de desempenho operacional e garantir sua descarga efluente em concordância com o disposto na legislação pertinente.

O desempenho das estações de tratamento de esgotos pode ser avaliado pela verificação do atendimento à legislação através do enquadramento das concentrações finais dos poluentes e suas respectivas eficiências de remoção no Padrão de Lançamento definido pelo órgão ambiental. A avaliação dos parâmetros de monitoramento das estações de tratamento de esgotos é, portanto, uma ferramenta de essencial importância na verificação quanto ao desempenho das Estações de Tratamento de Esgotos – nesse trabalho traduzido no atendimento à legislação.

O principal objetivo deste trabalho é estabelecer um parecer crítico sobre a qualidade do tratamento de efluentes em Fortaleza, relativos às seguintes estações de tratamento de esgotos: ETE Aracapé, ETE São Cristóvão e ETE Almirante

Tamandaré a partir da análise do desempenho operando em escala real. Os parâmetros analisados – Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais Suspensos (SST), Condutividade Elétrica, Potencial Hidrogeniônico (Ph), Temperatura e Turbidez – podem ser considerados como os fatores mais elementares na análise de qualidade de um efluente, visto que se relacionam ao principal problema causado por lançamento de esgoto nos corpos d'água: o consumo de oxigênio dissolvido.

Estudos dessa natureza devem ser constantemente realizados, visando não apenas ao diagnóstico sobre o cumprimento à lei, mas também a uma constante discussão sobre a eficiência e representatividade dos padrões impostos pela legislação.

Com o grande número de estações, as deficiências existentes no processo de desinfecção de afluentes são inevitáveis, onde a importância da construção do programa de monitoramento é atuante na inativação de falhas de aspectos operacionais nas estações, reduzindo custos de disposição de excesso de células e consumo excessivo de energia; na imposição de maiores atenções na desinfecção de efluentes, obtendo resultados mais satisfatórios. Portanto, com intuito de facilitar a operação de sistemas de tratamento, utiliza-se a engenharia de controle como suporte da engenharia de processos na obtenção de melhores resultados.

Mesmo que exista o atendimento ao padrão de lançamento, não é suficiente para um veredito positivo sobre a eficiência de uma estação de tratamento de esgotos, ou seja, quando os valores médios dos dados observados numa ETE atendem aos padrões estipulados pela legislação, essa estação pode estar operando fora desses limites em grande parte do tempo. Em contrapartida, uma estação que apresente valores médios em discordância com o padrão de lançamento pode atender à legislação em tempo considerável.

Na efetuação de um projeto de uma estação de tratamento de esgotos, a variação temporal das concentrações efluentes deve ser considerada. A análise de confiabilidade visa à extração de um valor de projeto que considere essa variação das condições de operação de uma ETE. Para tanto, os efluentes são considerados

como uma probabilidade de ocorrem e o atendimento ao padrão é associado a uma taxa percentual de atendimento durante certo tempo.

O estudo da confiabilidade teve início no período da 2^a Guerra Mundial e, desde então, tem crescido e se desenvolvido em diversas áreas, como na engenharia mecânica, nos sistemas de energia, na confiabilidade humana e na engenharia de manutenção.

A confiabilidade de sistemas é dividida em duas grandes categorias: a confiabilidade de projetos e confiabilidade operacional. A primeira categoria inclui o estudo de itens como análise de confiabilidade, verificação de projetos e análise de testes de confiabilidade, enquanto que a segunda se trata da análise de falhas, registros de operação, ação corretiva, dentre outros.

Confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar sua função adequadamente, de acordo com as condições especificadas, por um período previsto de tempo (DHILLON, 1983). Especificamente, em termos de desempenho de ETEs, METCALF e EDDY (1991) definem a confiabilidade como sendo o percentual de tempo em que a concentração do efluente atende ao requisito de concentração estabelecido.

Segundo GNÉDENKO (1972) a teoria da confiabilidade é uma disciplina que estuda as leis gerais que devem ser observadas no estabelecimento de projetos, ensaios, e na coleta e exploração de dados para assegurar a eficácia máxima da sua utilização.

Com base neste conceito, ressalta-se a importância de que os processos de tratamento de esgotos sejam avaliados em relação à confiabilidade, fornecendo informações que podem subsidiar a seleção de um determinado sistema de tratamento e permitindo a avaliação do desempenho real de uma ETE, no que se refere ao atendimento aos requisitos legais estabelecidos ou às metas de eficiência definidas durante o projeto.

A definição de confiabilidade está diretamente ligada à noção de qualidade. A

qualidade de uma estação de tratamento de esgotos depende profundamente da qualidade de seu efluente. No presente trabalho, os padrões de qualidade que estão relacionados à eficiência de remoção de DBO, DQO e SST – a esses parâmetros poderiam ser incluídos a remoção de organismos termotolerantes, Turbidez e o aumento do oxigênio dissolvido, dentre outros, mas somente os três primeiros serão mencionados e analisados por representarem os parâmetros considerados na legislação estadual monitorados com mais freqüência nas estações de tratamento de esgotos e também pela dificuldade de obtenção de dados.

Uma Estação de Tratamento de Esgoto pode operar ora com grande eficiência, ora com resultados insatisfatórios – fato que pode levar a uma interpretação equivocada dos resultados finais de atendimento à legislação. Com isso, uma estação bem projetada deve, no decorrer do tempo, manter uma estabilidade padrão de eficiência, onde repetitivamente não ocorre devido às alterações funcionais – que vão desde a ocorrência de falhas operacionais a alterações climáticas, dentre outros. Para a consideração do fator variabilidade, uma análise de confiabilidade foi executada visando à obtenção de padrões de concentração efluente proporcionais à realidade de cada estação.

De acordo com a análise de confiabilidade na avaliação do desempenho de estações de tratamento de esgotos, o presente trabalho pretende verificar também a variabilidade das amostras efluentes ao tratamento de esgotos, segundo os parâmetros DBO, DQO e SST, e avaliar a estabilidade das ETE's estudadas quanto ao cumprimento à legislação do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

1.1. Justificativa

Existe a necessidade de implantação de uma barreira de controle de agentes transmissores de doenças infecciosas em que o contato direto do homem com o esgoto é provável, tendo os processos de desinfecção de esgoto, que em geral é a forma mais segura e de menor custo para utilização. A desinfecção de esgoto tem por objetivo a inativação seletiva dos organismos que ameaçam a saúde humana, de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos para as diferentes situações.

O processo de desinfecção de efluentes de uma estação de tratamento de esgoto pode se dar de forma específica, pela construção de uma etapa exclusiva para este tratamento.

As deficiências existentes no processo de desinfecção de efluentes no Ceará, devido a pouca atenção aos aspectos operacionais, sendo comum a não observância da desinfecção dos efluentes e não havendo uma prática operacional eficiente estabelecida pelos responsáveis por estas estações de tratamentos, em Fortaleza pouco é sabido sobre o real status de desinfecção destes efluentes.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é estabelecer um parecer crítico sobre a qualidade do tratamento de efluentes em Fortaleza, relativos às seguintes estações de tratamento de esgotos: ETE Aracapé, ETE São Cristóvão e ETE Almirante Tamandaré, a partir da análise do desempenho operando em escala real, onde foram analisados os parâmetros – DQO, SST, Condutividade Elétrica, Temperatura e Turbidez, pretendendo verificar também a variabilidade das amostras dos efluentes ao tratamento de esgotos, e avaliar a estabilidade das Estações estudadas quanto ao cumprimento à legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

A determinação da confiabilidade operacional permite, ainda, uma reflexão sobre a metodologia usualmente utilizada para definição da eficiência de projeto das ETEs, a qual normalmente não considera a variabilidade inerente a cada processo de tratamento, que está diretamente associada à confiabilidade.

O objetivo específico compreende as seguintes etapas:

- Obtenção de dados dos projetos e desempenhos operacionais das Estações de Tratamento estudadas;
- Identificação dos componentes das Estações;
- Descrição e exposição de funcionamento da ETE's;
- Determinação dos procedimentos de operação e manutenção das ETE's.

- Avaliação de desempenho operacional com sugestões de melhoria;
- Análises de estabilidade, desempenho e confiabilidade das estações estudadas;

1.3. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em 6 (seis) capítulos. O **Capítulo 1** (Introdução) apresenta a importância do tema (com uma breve contextualização), questões sobre a pesquisa, problemas associados ao tema da pesquisa, os objetivos e estrutura do trabalho.

O **Capítulo 2** apresenta uma revisão bibliográfica sobre a tecnologia e a importância da mesma no tratamento de esgotos, expõe a legislação associada ao tema e tabelas com dados estatísticos, explicitando as diversas variáveis associadas ao mesmo e uma fundamentação relativa à estatística descritiva, que é utilizada para a obtenção dos resultados.

O **Capítulo 3** expõe procedimentos metodológicos estatísticos relativos à pesquisa, definindo passo a passo as técnicas e procedimentos utilizados para a obtenção dos resultados.

O **Capítulo 4** promove a apresentação de dados importantes à elaboração da pesquisa; estudo de caso; resultados e discussão.

O **Capítulo 5** (conclusões) conclui o trabalho de uma forma crítica ao que foi exposto anteriormente e os **Capítulos 6 e 7** expõem recomendações e a bibliografia, respectivamente, que serviu de suporte para a estruturação da dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Saúde e saneamento ambiental

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, as epidemias de cólera ficou marcada entre as décadas de 1990 e 2000, constatando-se que a maioria dos países da América do Sul, inclusive o Brasil, foi infectada pela falta de saneamento básico, como também pelo processo de degradação ambiental, advinda, portanto, por veiculação hídrica. Isso ocorreu pela inexistência de ações compatíveis com os níveis de problemas com que essas nações enfrentavam. A falta de informação e a degradação ambiental aceleraram ainda mais esse processo, onde políticas básicas como tratamento de esgoto, distribuição de água tratada, drenagem urbana e a preservação dos recursos naturais, não eram difundidas pelos governos.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o reaparecimento da epidemia da cólera, foi devido às práticas nômades das populações, tendo em vista que nesse período houve um aumento considerável dessa prática; como também da ocorrência das profundas mudanças de cunhos social e econômico, ocorridos no leste Europeu, em termos de implementações insignificantes relativas à infra-estrutura de saneamento e saúde pública.

O combate ostensivo às epidemias inibe consideravelmente seu avanço, principalmente quando feito de forma preventiva, obtendo saúde pública de boa qualidade, trazendo melhores condições de vida, universalizando políticas de saneamento básico.

Um dos resultados que se espera com o aperfeiçoamento do tratamento de esgotos é exatamente promover ações que permitam o reuso do efluente tratado, principalmente no emprego de atividades aplicáveis ao cultivo de culturas e procedimentos de limpeza, acarretando redução de custos e preservando o uso de água potável. O emprego de águas residuárias tratadas no solo promove um aumento da fertilidade, melhorando suas propriedades físicas e químicas. Esse uso é identificado com a utilização de sistemas de irrigação MOTA (1997). Outro fator importante é o reuso de esgoto tratado para efetuação de limpeza em estações de

tratamento, onde o gasto com água potável é bastante intenso.

2.2. A situação atual do saneamento básico no Brasil

A Organização das Nações Unidas ressalta a necessidade do fornecimento de água potável e saneamento satisfatórios as populações de cada país.

"A importância dos serviços de saneamento para o meio ambiente e a qualidade de vida da população é sentida, de forma mais evidente, nos contextos de urbanização ou industrialização aceleradas, em que a ausência de tratamento adequado dos resíduos constitui a principal causa de degradação ambiental. A poluição das águas nessas áreas também limita os usos múltiplos dos recursos hídricos – abastecimento de água, irrigação, lazer, quando a água encontra-se poluída, repercutindo assim negativamente na economia das regiões afetadas" (ABICALIL, 2002, p.115).

Mesmo com a grande quantidade de recursos naturais, o processo de degradação ambiental no Brasil é crescente, prejudicando-se com isso o oferecimento de um ambiente sadio e o direito ao uso da qualidade da água, desnorteando com os costumes e ações de prevenção, e da contemplação da sustentabilidade da vida, ou seja, num futuro próximo, a quantidade de recursos naturais não serão compatíveis suficientemente, para suportar as demandas atuais e muito menos as futuras. A escassez de saneamento básico implica no aumento do processo de degradação ambiental, acelerando ainda mais o desaparecimento destes recursos e limitando rapidamente a sua exploração.

Avaliando a estrutura de atendimento de água tratada no Brasil, verifica-se que a mesma é bem superior, em comparação com a malha de tratamento de esgoto. A região Nordeste se enquadra dentro da média nacional para abastecimento d'água, porém, o mesmo não acontece com o esgotamento sanitário, como sinalizam os principais indicadores nacionais de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Segundo a Organização Mundial de Saúde, observa-se que o índice nacional de abastecimento de água chega a 92,4%, enquanto que o esgotamento sanitário divide-se em etapas, sendo a primeira a coleta do esgoto,

tendo um índice nacional médio de 50,9% e a segunda o tratamento de esgotos gerados, obtendo índice nacional médio de 25,6%. O que indica que nem todo o esgoto coletado é tratado.

Segundo Mota (1997), estudos mostram que há tendência declinante na expansão da cobertura de abastecimento de água à medida que se aproxima a universalização no meio urbano. No caso de esgotamento sanitário a situação é um pouco diferente. Apesar do nível de cobertura crescente ao longo das décadas, este foi inferior ao crescimento populacional. O índice de atendimento por esgotos ainda é baixo, requerendo investimento mais consistente.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento , entre 1992 e 1999, o acesso aos serviços de saneamento para os 40% mais pobres do Brasil aumentou 6%, passando de 26,3% para 32,3%, enquanto os 10% dos mais ricos passaram de 76,5% para 80,1%, ou seja, um aumento de 3,6%. A Tabela 1 mostra a tendência crescente para a universalização dos serviços de saneamento, apesar dos baixos índices em classes mais carentes da população.

No Brasil ainda há muito que fazer para garantir o acesso da população aos serviços de água e esgoto. Tal como ocorre em relação a outros indicadores sociais, a distribuição regional é desigual (VERAS, 1998), notadamente em relação ao esgotamento sanitário, conforme mostra a Tabela 1 com a distribuição dos serviços de água e esgoto por regiões no país.

2.3. Tratamento anaeróbio

Sabe-se que a Terra, inicialmente começou a ser habitada por bactérias anaeróbias, onde esses microorganismos anaeróbios apareceram no nosso Planeta há milhares de anos atrás. Os mesmos sofreram processos de seleções naturais, onde evoluíram mais tarde. Com esse processo de evolução, verificou-se que desenvolveram mecanismos microbianos, desenvolvendo etapas de fermentação, inclusive produzindo metano, ácido lático e outros ácidos graxos (VAN HAANDEL, 1999)

Em (VAN HAANDEL, 1999), verificou-se que nas décadas de vinte e trinta, já haviam estudos especificados por pesquisadores, induzindo a um melhor uso do processo de digestão anaeróbia, dentre os quais se destacam: controle do pH, inoculação dos digestores, temperatura sobre a velocidade de digestão, facilitando com isso, o uso prático de sistemas aquecidos.

2.4. Tratamento de despejos sanitários, considerações gerais e conceitos

Existem muitos tipos de ações no tratamento de despejos de águas residuárias, se encaixando na obtenção dos padrões de qualidade exigidos, segundo leis governamentais, sendo também especificado o tipo de corpo receptor, onde será injetado o efluente tratado.

Os sistemas de tratamento biológicos, mesmo realizando tarefas de remover sólidos coloidais não sedimentáveis, têm como objetivo principal a decomposição de matéria orgânica através do mecanismo celular dos microorganismos. (VAN HAANDEL, 1999).

Os despejos sanitários são tratados de tal forma que, são implementadas remoções de matéria orgânica, inorgânica e elementos patogênicos, que são dissolutos em suspensão, onde se utiliza processos de remoção biológica, física e química (VON SPERLING, 1998).

No final do século XIX, foram idealizados, projetados e construídos sistemas de tratamento do tipo comunitários, onde se esperava remoção de sólidos sedimentáveis, que indicava a parte do esgoto mais evidente. O processo utilizado era o da sedimentação simples, que ainda hoje é empregado nas estações de tratamento, mas é uma das etapas iniciais, porém muito importante obtenção da eficiência do tratamento de esgotos. Mesmo assim, entendeu-se que os resultados com esse processo, ainda seria deficiente, para a obtenção de alcance das normas, caracterizado pela insistente existência de matéria orgânica no esgoto após a sedimentação. (VON SPERLING, 1998).

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES), o sistema coletivo de tratamento de esgoto do tipo Reator anaeróbio de mantas de lodo, confere ao tratamento de esgotos um grau de qualidade dos efluentes dentre dos padrões e normas brasileiras, e compreende um tipo de tratamento pouco complicado, onde são necessários controles operacionais e de manutenção, compreendendo, portanto, um processo barato. A escolha dos sistemas de tratamento deve levar em consideração o fim a que ele se destina e um estudo técnico-econômico mostrará a escolha certa do sistema. (VON SPERLING, 1998).

2.5. Processo anaeróbio

É de extrema importância que se conheça os processos de conversão biológica, onde esse conhecimento é diretamente utilizado no projeto de reatores anaeróbios, fazendo um monitoramento mais preciso, na qualidade do efluente, que será lançado. Os parâmetros esperados, relativos aos reatores, até certo ponto imprimem uma dificuldade na quantificação matemática dos mesmos, devido à complexidade dos substratos. O controle desses parâmetros é tido como uma das prioridades, onde se tratam de produtos que podem ser prejudiciais tanto aos próprios operadores das estações, como também às pessoas têm residência próxima às estações. O tratamento de esgotos envolvendo o processo biológico anaeróbio consiste na degradação de matéria orgânica e produção de biogás (composto essencialmente por metano e dióxido de carbono). O processo ocorre na ausência de oxigênio, sendo quatro as etapas de degradação da matéria orgânica:

- Hidrólise: proteínas, lipídios e carboidratos, são convertidos a monômeros. Esta etapa é caracterizada por ser potencialmente limitante e bastante sensível à temperatura.
- Acidogênese: formação de álcoois, ácidos voláteis e dióxido de carbono.
- Acetogênese: formação de ácido ascético, hidrogênio e dióxido de carbono.
- Metanogênese: formação de metano a partir do ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio, (VON SPERLING, 1998).
- O tipo de catabolismo que ocorre no processo anaeróbio, segundo (VON SPERLING, 1998), é o fermentativo, pelo fato de ocorrer na presença de um

oxidante. Esses oxidantes mostram a ocorrência de reagrupação de elétrons na molécula fermentada, resultando na formação de dois produtos, que são obtidos quando o processo de fermentação se estabiliza. Nessas reações, obtidas nesse processo, percebe-se a liberação de energia e grande parte da matéria orgânica, que é convertida em metano, dióxido de carbono e água.

De acordo com CHERNICHARO (1997) há a necessidade de implantação de sistemas que permitam a integração de setores, nas ações de proteção ambiental, onde o tratamento de água residuária esteja vinculado à recuperação e reúso de seus resultados obtidos. Nos países subdesenvolvidos, ocorre o contrário, onde se verifica a falta de políticas eficazes, no combate à destruição do meio ambiente, falta de recursos, energia e ausência de sobra de alimentos. O reúso das águas residuárias tratadas pode intensificar a solução desses inadmissíveis problemas. Nos processos anaeróbios, o lodo produzido tem volume pequeno e de melhor qualidade. Se compararmos com os processos aeróbios, percebe-se que a quantidade de lodo produzida é maior, e menos estável. Isto se deve a relação de proporção de anabolismo e catabolismo, que produz a formação de mais ou menos massa celular, por conseguinte mais ou menos resíduo endógeno, bem como, a velocidade da taxa de decaimento do lodo (VON SPERLING, 1998). A parte sólida das águas residuárias é denominada de esgoto, onde se pode incluir a parte orgânica em uma quantidade maior e a inorgânica em menor.

O processo de digestão anaeróbia é considerado como a simulação de um ecossistema, onde se têm vários tipos de microorganismos, interagindo na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas (CHERNICHARO, 1997).

2.6. Tratamento através dos processos anaeróbios

De acordo com CHERNICHARO (1997), durante muito tempo o uso de sistemas de tratamento anaeróbios, no tratamento de águas residuárias era tido como muito caro e de difícil controle operacional. Com a intensificação de estudos sanitários, as pesquisas na área de tratamento anaeróbio, foram entendidas como

um grande avanço no desenvolvimento desses sistemas.

O filtro anaeróbio foi o primeiro sistema de tratamento anaeróbio que demonstrou viabilidade técnica de se aplicar cargas elevadas a unidades anaeróbias de tratamento (VON SPERLING, 1996).

Os filtros anaeróbios são reatores que dispõem de uma camada de material suporte (“leito”), em cuja superfície ocorre a fixação de microrganismos e o desenvolvimento de biofilmes. O fluxo hidráulico, ascendente, horizontal ou descendente, ocorre nos interstícios do leito formado pelo material suporte, onde também proliferam microrganismos que podem se agrregar na forma de grânulos e flocos.

Tanto podem ser aplicados para tratamento de esgotos concentrados como de baixa carga orgânica. Contudo, são mais indicados para esgotos diluídos, porque os riscos de entupimento do meio filtrante aumentam com a concentração de sólidos suspensos. Portanto, embora possam ser utilizados como unidade principal do tratamento dos esgotos, são mais adequados para pós-tratamento (polimento). Certamente estarão mais bem associados quando precedidos de um reator que retenha sólidos decantáveis, como o decanto - digestor, promovendo depuração complementar.

Apenas os filtros anaeróbios de fluxo ascendente têm sido significativamente aplicados e pesquisados, para tratamento de esgotos sanitários. Sobre os filtros de fluxo descendente, praticamente não se tem realizado estudos e pesquisas. Sobretudo, pouco se conhece sobre filtros de fluxo descendente com leito afogado.

Os filtros com leito afogado e não afogado apresentam diferenças funcionais marcantes. Nos de fluxo ascendente ou descendente afogado, o lodo retido nos interstícios, como em diminutos decantadores, flocula e até granula, e têm papel muito importante na remoção da parcela dissolvida da matéria orgânica dos esgotos. Em consequência, nestes modelos o biofilme não desempenha papel tão preponderante e a superfície específica do meio suporte não é tão importante. Nos filtros de fluxo descendente não afogado, os microrganismos ativos na

biodegradação são principalmente os do biofilme aderido ao material suporte e a eficiência é menor.

O Decanto-digestor seguido de filtros anaeróbios compõe um sistema que pode ser muito vantajoso para tratamento de esgotos sanitários: associa, em série, um reator resistente às variações do afluente com um reator eficiente também sobre a parcela dissolvida dos esgotos; tem operação esporádica, e não requer operador especializado; tem partida imediata, com bom funcionamento desde o início; absorve choques tóxicos e de sobrecarga com rápida recuperação; e não perde eficiência à longo prazo.

O tanque séptico foi inventado na França. Tal invenção teve como finalidade a retenção de matéria sólida contidas nos esgotos das residências, evitando assim, que ela fosse obstruir a fossa absorvente ou colmatar ou impermeabilizar suas paredes, dificultando a infiltração dos líquidos. Baseado nas recentes descobertas de Pasteur, Mouras acreditava, com razão, que a redução observada no volume da matéria sedimentável do esgoto fosse devida à atividade bacteriana que produzia a liquefação e gaseificação dos sólidos orgânicos, em ambiente anaeróbio, através do processo denominado de fermentação. Daí à denominação “séptico”, que adotaram para o tanque, (ANDRADE NETO, 1997).

No Brasil, encontram-se tanques sépticos em grande quantidade em praticamente qualquer lugar habitado que se vá. A maioria atende habitações unifamiliares, mas são empregados também para vazões maiores. É verdade que a maioria, por falhas de projeto, execução e operação, apenas pretendem ser tanques sépticos, mas há também muitos bons sistemas em funcionamento (ANDRADE NETO, 1997).

A aplicação pioneira parece ter sido o grande tanque construído em Campinas para o tratamento dos esgotos urbanos em 1892, mas começaram a ser difundidos dos últimos anos da década de 30.

Desde 1963 a tecnologia brasileira de projeto, construção e operação de tanques sépticos têm sido fortemente influenciadas pelas normas da ABNT

referentes ao assunto. Algumas iniciativas, contudo, introduzem inovações e extrapolam, conscientemente, as recomendações das Normas.

Segundo ANDRADE NETO (1997), o filtro anaeróbio é um reator de lodo ativo sobre a fase líquida, mas com biomassa aderida a um suporte fixo, o que lhe confere uma maior estabilidade. Promove eficiência complementar pela ação ativa do lodo sobre a parcela solúvel dos esgotos. Seus vários modelos e configurações (existentes e a serem criados) permitem grande liberdade de projetos e flexibilidade construtiva, de opções de forma, sentido de fluxo, detalhes construtivos e materiais suportes.

Dentre os modelos de decanto-digestor, os de câmara em série proporcionam maior eficiência que os de câmara única, com as mesmas facilidades de construção e operação, pois embora ocorra decantação e digestão nas duas câmaras, a primeira favorece a digestão e a segunda a decantação, sequenciadamente, enquanto nos de câmara única todos os fenômenos ocorrem num mesmo ambiente. Em relação aos de câmara sobrepostas, além da maior simplicidade construtiva, apresentam a vantagem de propiciar menor profundidade.

Nos decanto-digestores de câmaras em série, a primeira câmara acumula a maior quantidade de lodo porque tem maior volume e recebe sólidos de mais fácil decantação, e, apesar da eficiência na sedimentação ser prejudicada por bolhas de gases ascendentes e por mistura natural, promovendo também significativa remoção da matéria orgânica dissolvida nos esgotos, justamente devido à maior concentração de lodo ativo e à mistura. A segunda câmara, contendo pouco lodo, permite uma sedimentação mais tranquila e mais eficiente na remoção de sólidos suspensos, devido à menor interferência das bolhas de gases resultantes da digestão do lodo, propiciando eficiência global bem maior do que uma única câmara de igual volume. O efluente de um decanto-digestor contém ainda elevadas concentrações de sólidos, matéria orgânica solúvel, e nutrientes inorgânicos. Dependendo do destino ou da capacidade de autodepuração do corpo receptor, pode ser necessário um pós-tratamento para atender aos requisitos de qualidade do efluente. Atualmente, é comum a associação de decanto-digestor com filtros biológicos anaeróbios, constituindo-se num exemplo clássico de combinação de reatores anaeróbios.

Para sistemas decanto–digestor dimensionado de acordo com CAMPOS, (1991) e afluente entre 230 e 290 mgDBO/l, o efluente da fossa séptica obtidos em dois trabalhos com duração de 2,5 anos cada o efluente do decanto – digestor foi em média 90 mg/l. O efluente final do filtro anaeróbio, operando com tempo de detenção real (considerando volume útil) de 6 a 7 horas, para a vazão média, ou cerca de dez a onze horas de detenção se considerando o volume total do filtro anaeróbio (incluindo o volume ocupado pelas pedras) foi entre 35 a 45 mg DBO/l. A eficiência global dos sistemas operados as condições citadas, foi sempre da ordem de 85% na remoção de DBO e de 76% na remoção de DQO. Com relação aos sólidos em suspensão (SS) os efluentes finais ficaram na faixa de 45 a 75 mg/l, sólidos suspensos voláteis (SSV) na faixa de 20 a 35 mg/l e a remoção de coliformes fecais no sistema decanto – digestor seguido de filtro anaeróbio é muito pobre, estimando-se que em relação a organismos patogênicos ocorra o mesmo (ANDRADE NETO, 1997).

Em Fortaleza, segundo relatório enviado pela CAGECE, a eficiência de sistemas decanto – digestor seguidos de filtros anaeróbios implantados em 15 conjuntos habitacionais é, em média, de 67,2% na remoção de DBO e 90,2% na remoção de SS.

As principais vantagens do sistema anaeróbio sobre o aeróbio residem o fato de ser compacto, não consumir energia elétrica, comparativamente, menor quantidade de sólidos e requerer poucos cuidados operacionais.

Como as bactérias anaeróbias, de maneira geral, apresentam baixo coeficiente de síntese celular, o descarte de sólidos, assim como a disposição final, é operação que resulta muito facilitada em relação aos tratamentos convencionais (ANDRADE NETO, 1997).

Quanto às vantagens dos filtros anaeróbios: Dentre os reatores anaeróbios, os filtros se destacam por apresentarem elevada segurança operacional, além de operação e monitoramento mais simples. Geralmente, são utilizados para o tratamento de despejos predominantemente solúveis, visto que os riscos de entupimento no meio suporte aumentam proporcionalmente à concentração de

sólidos em suspensão, principalmente para as unidades com fluxo ascendente (ANDRADE NETO, 1997).

O Sistema decanto–digestor seguido por filtro anaeróbio, é uma associação de reatores muito boa e que certamente propiciará arranjos ainda mais vantajosos, constituindo a associação em série de um reator de lodo passivo sobre a fase líquida, menos sensíveis às variações do afluente e eficiente na remoção de sedimentáveis, com um reator de lodo ativo sobre a fase líquida, eficiente também sobre a parcela solúvel dos esgotos, onde com um tempo, entre duas operações de esgotamento, o primeiro tem eficiência decrescente e o segundo tem eficiência crescente, oferecendo sempre bons resultados de tratamento.

A formação de lodos não estabilizados, dos ácidos e produtos malcheirosos, pode ser entendida como devida à permanência das bactérias acidificantes, cujo período de formação é bastante pequeno, em detrimento das bactérias metanogênicas, que podem ser verificados, quando o processo de digestão é mais intenso.

De acordo com CAMPOS (1991), o sistema de tratamento de esgoto do tipo, reator anaeróbio de manta de lodo é bastante utilizado, mostrando grande eficiência, no exterior, nos processos de tratamento de grande diversidade de esgotos industriais. É importante mencionar que, entre os diversos tipos de sistemas de tratamento de esgotos, têm-se como preferencial o uso das lagoas de estabilização, relativos a despejos sanitários e industriais, sendo restrito o seu emprego.

Tabela 1: Distribuição de serviços de água e esgotos no Brasil, por região – comparação entre 1989 e 2000.

	% de municípios com abastecimento de água			% de municípios com esgotamento sanitário		
	1989	2000	Variação (%)	1989	2000	Variação (%)
Norte	86,9	94,0	7,1	8,4	7,1	(-) 1,3
Nordeste	93,8	96,4	2,6	26,1	42,9	16,8
Centro-Oeste	92,9	98,4	5,5	12,9	17,9	5,0
Sudeste	99,9	100,0	0,1	91,0	92,9	1,9
Sul	97,3	98,5	1,2	39,1	38,9	(-) 0,2
BRASIL	95,9	97,9	2,0	47,3	53,2	5,9

Fonte: IBGE (2000).

Entre os principais componentes dos sistemas de saneamento urbano no Brasil, apenas o abastecimento de água está consistentemente firmado, e tem se aproximado do conceito de universalização. Entretanto, há demandas complementares. No que diz respeito aos outros componentes, em termos de infraestrutura urbana há muito a ser feito. O sistema de esgotamento requer mais atenção no contexto presente. A coleta de esgotos foi expandida nos últimos anos. Porém, o tratamento adequado dos esgotos ainda é um grande desafio. As pressões ambientais geradas pelo não tratamento de efluentes estão estreitamente ligadas à disseminação de doenças de veiculação hídrica. Para minimizar tal efeito sobre a saúde pública, há conflito em relação ao emprego de diferentes tecnologias e a sustentabilidade destas.

De acordo com CAMPOS (1991) o decantador é um tanque que tem condições de remover partículas de menor tamanho que as retidas na caixa de areia. Para que isso ocorra, nele a velocidade do esgoto cai para um valor abaixo de 1 centímetro por segundo. Essa velocidade, embora já bem pequena, ainda é capaz de propiciar a deposição das menores partículas em suspensão, que desse modo escapam com o efluente ao lado das partículas dissolvidas e em estado coloidal. Esse tipo de decantador até aqui considerado, é conhecido por decantador primário, ou seja, o que recebe o esgoto submetido previamente a tratamento preliminar

(gradeamento e desarenação).

Para o tratamento de pequeno volume esgoto até o máximo de 75 metros cúbicos por dia, convém esclarecer, a NBR-41/81 recomenda o uso de tanques sépticos de câmara única, de câmaras em série ou de câmaras sobrepostas (tanque Imhoff). Esses tanques caracterizam-se por permitir uma única unidade construtiva tanto para a sedimentação de partículas como para a digestão do lodo delas resultantes.

2.7. Tratamento através de processos aeróbios.

As lagoas de estabilização são unidades especialmente construídas com a finalidade de tratar os esgotos. No entanto, a construção é simples, baseando-se principalmente em movimento de terra de escavação e preparação de taludes.

Segundo CAMPOS (1987), as lagoas anaeróbias são responsáveis pelo tratamento primários dos esgotos. Elas são dimensionadas para receber cargas orgânicas elevadas, que impedem a existência de oxigênio dissolvido no meio líquido. Sua profundidade normalmente varia de 3,0 m a 4,5 m e o tempo de detenção hidráulico nunca é inferior a 3 dias.

As lagoas de estabilização sem aeração consistem numa técnica simplificada que exige uma área extensa para a instalação da lagoa, na qual os esgotos sofrem o processo aeróbio de depuração graças à existência de plantas verdes que oxigenam a água. Para reduzir a área necessária podem ser instaladas lagoas menores para processar a depuração anaeróbia. A eficiência na remoção de DBO é de 70 a 90% e de coliformes é de 90 a 99%. Os custos de implantação e operação são reduzidos, tem razoável resistência a variações de carga e o lodo gerado é removido após 20 anos de uso. Por outro lado, sofre com a variação das condições atmosféricas (temperatura e insolação), produz maus odores, no caso das anaeróbias, e insetos. Quando sua manutenção é descuidada há o crescimento da vegetação local CAMPOS (1987).

Dentre os sistemas de lagoas de estabilização, o processo de lagoas facultativas é o mais simples, dependendo unicamente de fenômenos puramente naturais. O esgoto afluente entra em uma extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo desse percurso, que demora vários dias, uma série de eventos contribui para a purificação dos esgotos.

A Matéria Orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo. Este lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, água, metano e outros. Apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo.

A Matéria Orgânica dissolvida (DBO solúvel), conjuntamente com a MO em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada) não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. A sua decomposição se dá através de bactérias facultativas, que têm a capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio. Essas bactérias utilizam-se da Matéria Orgânica como fonte de energia, alcançada através da respiração. Na respiração aeróbia, há a necessidade da presença de oxigênio, o qual é suprido pela fotossíntese realizada pelas algas. Há, assim, um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico. Para a ocorrência da fotossíntese é necessária uma fonte de energia luminosa no caso o sol. Por esta razão, locais com elevada radiação solar e baixa nebulosidade são bastante propícios à implantação de lagoas facultativas.

A fotossíntese, por depender da energia solar, é mais elevada próximo à superfície. À medida que se aprofunda na lagoa, a penetração da luz é menor, o que ocasiona a predominância do consumo de oxigênio (respiração) sobre a sua produção (fotossíntese), com a eventual ausência de oxigênio dissolvido a partir de certa profundidade. Ademais, a fotossíntese só ocorre durante o dia, fazendo com que durante a noite possa prevalecer a ausência de oxigênio. Devido a estes fatos, é essencial que as principais bactérias responsáveis pela estabilização da Matéria Orgânica sejam facultativas, para poder sobreviver e proliferar, tanto na presença, quanto na ausência de oxigênio.

Segundo CAMPOS (1987), o processo de lagoas facultativas é essencialmente natural, não necessitando de nenhum equipamento. Por esta razão, a estabilização da Matéria Orgânica se processa em taxas muito lentas, implicando na necessidade de um elevado período de detenção na lagoa (usualmente superior a 20 dias). A fotossíntese, para que seja efetiva, necessita de uma elevada área de exposição para o melhor aproveitamento da energia solar pelas algas, também implicando na necessidade de grandes unidades. Desta forma, a área total requerida pelas lagoas facultativas é a maior dentre todos os processos de tratamento dos esgotos (excluindo-se os processos de disposição sobre o solo). Por outro lado, o fato de ser um processo totalmente natural está associado a uma maior simplicidade operacional, fator de fundamental importância em nosso meio.

O objetivo principal da lagoa de maturação é a remoção de patogênicos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para os patogênicos, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. As lagoas de maturação constituem num pós-tratamento de processos que objetivem a remoção da DBO, sendo usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou lagoa única disposta com chicanas.

2.7.1. Controle Operacional de Lagoas de Estabilização

A operação de um sistema de lagoas de estabilização consiste principalmente em controlar e favorecer condições para o processo biológico natural em conformidade com as condições estabelecidas em projeto.

De acordo com KELLNER (1998), as lagoas de estabilização, por serem consideradas um dos sistemas de tratamento de esgoto mais simples, tanto operacional como construtivamente, têm geralmente as atividades de operação e manutenção desprezadas.

Entretanto, esse sistema depende das condições climáticas e de um controle efetivo para minimização da ocorrência de possíveis inconvenientes. Atividades

como: inspeção diária de cada lagoa; coletas mensais de amostra para avaliar a eficiência do sistema e adoção de medidas preventivas e/ou corretivas são etapas fundamentais no sistema de operação e manutenção das lagoas.

1. Atividades diárias do Operador:

- Percorrer o perímetro de todo o sistema de tratamento, verificando visualmente e registrando em uma planilha de controle diário as possíveis alterações como:
 - a) Estado de conservação dos gramados de proteção dos diques internos e externos, observando qualquer erosão nos taludes;
 - b) Estado de conservação e de limpeza das calhas de águas pluviais;
 - c) As condições de segurança no entorno da estação de tratamento de esgoto visando evitar a entrada de animais ou pessoas estranhas;
 - d) Verificação da distribuição da vazão no caso de existência de várias entradas.
- Registrar em planilha as condições meteorológicas como: Temperatura do ar; Direção e intensidade dos ventos; precipitações pluviométricas; umidade do ar, nebulosidade.
- Medir e anotar em planilha:
 - a) A temperatura do esgoto afluente e efluente de cada lagoa;
 - b) O nível da lâmina líquida em cada lagoa;
 - c) O pH no afluente e efluente de cada lagoa
 - d) O oxigênio dissolvido (OD), nas lagoas facultativas, a 20 cm abaixo da superfície no mínimo 3 vezes ao dia;
- Manter limpos os dispositivos de entrada de esgoto nas lagoas, bem como os poços vertedores dos efluentes;
- Manter as margens das lagoas isenta de vegetais

2. Atividades periódicas do Operador:

- Verificar as condições das placas de sinalização interna e de avisos na estação e, se for o caso, solicitar material para manutenção das mesmas;
- Coletar amostras para análises físico-químicas e microbiológicas;
- Limpar as tubulações de entrada submersas, geralmente usa-se arame de aço, o qual é introduzido e retorcido várias vezes para desobstrução;

3. Principais problemas operacionais e possíveis soluções

A simplicidade de operação de um sistema de lagoas de estabilização não elimina possíveis problemas que podem ocorrer. Desta forma, ainda sim ocorrem os problemas, onde devem ser identificadas as suas causas e medidas preventivas e/ou corretivas que poderão ser tomadas durante o funcionamento do sistema.

Destaca-se que para um bom funcionamento de qualquer sistema de tratamento é necessária uma equipe mínima de pessoas. Entretanto, o numero de pessoas dependerá do tamanho da estação, número de lagoas que compõe o referido sistema.

VON SPERLING (1995) sugere que para uma população igual ou superior a 50.000 habitantes deve-se ter na estação de tratamento um supervisor ou gerente entre 6 (seis) e 8 (oito) ajudantes em escala de revezamento. O monitoramento da qualidade do efluente final do sistema de lagoas é indispensável para atender os destinos desejados, como por exemplo, o reuso.

2.8. A situação atual do saneamento básico em Fortaleza.

Em Fortaleza, capital do estado do Ceará, Nordeste do Brasil, o cenário do saneamento descrito anteriormente não difere do restante do país. A infra-estrutura sanitária não acompanhou o processo acelerado de urbanização. A falta de um sistema público de esgotamento sanitário, associada à capacidade limitada de absorção dos efluentes no solo tem determinado a utilização de sistemas de

tratamento do tipo tanque séptico seguido de filtro anaeróbio (TS-FAN), com encaminhamento dos efluentes tratados para galerias de águas pluviais e corpos hídricos formadores das bacias hidrográficas que cortam a área metropolitana, contribuindo, assim, para o agravamento dos problemas sócio-ambientais do município (BEZERRA, 2004).

No início dos anos 80, do século passado, Fortaleza buscou soluções alternativas para compatibilizar o uso e a ocupação do solo com a falta de infra-estrutura sanitária. Editou assim o Decreto Municipal 6.511/83, que regulamentou o controle de efluentes em áreas desprovidas de rede pública de esgoto e estimulou o emprego e disseminação desse tipo de tecnologia (TS-FAN) com lançamento dos efluentes, após desinfecção, em galerias de águas pluviais e recursos hídricos superficiais.

Tem-se observado que estudos mais aprofundados sobre a operação e manutenção de tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios, para posterior disposição em corpos hídricos superficiais de Fortaleza, ainda exigem estudos complementares. ANDRADE NETO (1997) lembra que mesmo sendo uma tecnologia simples e bem estabelecida, a falta de análise dos projetos e de acompanhamento da execução e operação dos mesmos têm dificultado uma melhor avaliação desses sistemas.

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE é a principal concessionária de serviços de água e esgotos e atua em pelo menos 150 municípios, de um total de 184. A cidade de Fortaleza faz parte do rol desses municípios, cujo serviço de saneamento básico está sob regime de concessão de responsabilidade da CAGECE - Decreto municipal nº 3.839/1972, renovado em julho 2003 (Lei Municipal nº 8.716) (BEZERRA, 2004). Em relação à taxa de cobertura de esgotamento sanitário, dos 526.079 domicílios de Fortaleza, 44,40% estão ligados à rede geral de esgoto e 3,23% estão desprovidos de qualquer tipo de esgotamento sanitário, 19% tratam seus efluentes em fossa séptica, 30,18% em fossa rudimentar e 3,19% com outra modalidade de tratamento (LEGFOR, 2004). Dados da CAGECE revelam, para Fortaleza, o índice de cobertura abastecimento de água de 96,35% correspondendo a uma população de 2.175.818 habitantes, e o índice de cobertura

de esgotamento sanitário de 48,09% representando uma população de 1.211.757 habitantes (CAGECE, 2003).

A superfície esgotável de Fortaleza é dividida em três bacias hidrográficas: Bacia da Vertente Marítima (3.074 ha), Bacia do Rio Maranguapinho /Ceará (7.159 ha) e Bacia do Cocó/Coaçu (15.476,3 ha), totalizando 25.710 ha (SANEAR, 2002).

Grande parte da Bacia da Vertente Marítima integra o sistema antigo de esgotamento constituído de rede coletora, coletores troncos, interceptores, estações elevatórias, estação de pré-condicionamento, emissário terrestre e emissário submarino, conforme demonstra a Figura 1.



Figura 1 - Mapa de esgotamento sanitário de Fortaleza evidenciando as bacias.

Fazem parte também do sistema de esgotamento do município de Fortaleza, operados pela CAGECE, os chamados sistemas isolados, cujo tratamento predominante é do tipo anaeróbio (TS-FAN e Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo - RALF), totalizando 68 sistemas, sendo 16 sistemas de lagoas de estabilização, 39 TS-FAN e 13 RALF's. Os corpos receptores desses sistemas são os próprios cursos d'água e estão localizados nas bacias do Maranguapinho/Ceará e Cocó/Coaçu, para atender aos vários conjuntos habitacionais existentes (CAGECE, 2005).

2.9. Aplicação de tecnologia anaeróbia para tratamento de esgotos domésticos.

Há necessidade por sistemas simplificados de tratamento dos esgotos. Estes sistemas devem conjugar os seguintes requisitos principais (VON SPERLING, 1995):

- Baixo custo de implantação;
- Elevada sustentabilidade do sistema, relacionada a pouca dependência de fornecimento de energia, de peças e equipamentos de recomposição etc;
- Simplicidade operacional, de manutenção e de controle (pouca dependência de operadores e engenheiros altamente especializados);
- Baixos custos operacionais;
- Adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos);
- Pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado na estação;
- Baixos requisitos de área;
- Existência de flexibilidade em relação às expansões futuras a ao aumento de eficiência;
- Possibilidade de aplicação em pequena escala (sistemas descentralizados), com pouca dependência da existência de grandes interceptores;
- Fluxograma simplificado de tratamento (poucas unidades integrando à estação);
- Elevada vida útil;

- Ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha;
- Possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas;
- Existência de experiência prática.

Embora não exista uma solução que atenda integralmente a todos os requisitos listados, existem várias alternativas que atendem, em maior ou menor grau, aos principais itens, que devem ser observados num estudo técnico-econômico de escolha de alternativas. Entende-se que, atualmente no Brasil, os sistemas anaeróbios encontram uma grande aplicabilidade, particularmente os reatores de manta de lodo (reatores UASB). Segundo CHERNICHARO (1997) as vantagens do tratamento anaeróbio são:

- Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos anaeróbios;
- Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos;
- Baixa demanda de área e baixos custos de implantação;
- Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico;
- Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;
- Tolerância a elevadas cargas orgânicas;
- Aplicabilidade em pequena e grande escala;
- Baixo consumo de nutrientes.

As desvantagens observadas são:

- As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por grande número de compostos;
- A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado;
- Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;
- A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda

- precisam ser mais estudadas;
- Possibilidade de geração de efluentes com aspecto desagradável;
 - Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.

Nos sistemas anaeróbios a maior parte do material orgânico biodegradável presente é convertida em biogás, cerca de 70 a 90%, que é removida da fase líquida e deixa o reator na forma gasosa. Uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa microbiana, em média de 5 a 15%, constituída junto ao lodo excedente, onde se sabe que este além de obter pequenas taxas bacterianas, apresenta-se mais concentrado e com maiores características de desidratação. O material orgânico não convertido em Biogás ou em biomassa deixa o sistema como material não degradado, correspondendo, em média 10 a 30%. Segundo CAMPOS (1999) hoje em dia, a tecnologia anaeróbia, aplicada ao tratamento de esgoto doméstico, encontra-se consolidada no país. Praticamente todas as análises de alternativas de tratamento incluem os reatores anaeróbios como uma das principais opções.

2.10. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.

Os reatores anaeróbios dificilmente produzem efluentes que atendam aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira, tornando-se de grande importância, portanto, o pós-tratamento dos efluentes dos reatores anaeróbios, como uma forma de adequar o efluente tratado aos quesitos da legislação ambiental e propiciar a proteção dos corpos d'água receptores dos lançamentos de esgotos (CHERNICHARO, 2001).

O principal papel do pós-tratamento é o de completar a remoção da matéria orgânica e bem como de proporcionar a remoção de constituintes pouco afetados no tratamento anaeróbio, como nutrientes do tipo nitrogênio e fósforo, onde a sua descarga em cursos d'água causa a diminuição dos níveis de oxigênio e o aumento da biomassa de algas originada no corpo receptor, decorrente do processo de eutrofização (crescimento anormal de algas decorrentes da grande quantidade de nutrientes lançados), e os organismos patogênicos, como por exemplo, vírus,

bactérias, protozoários e helmintos (CHERNICHARO, 1997). Estes últimos são considerados indicadores microbiológicos e têm sido reportadas baixas eficiências de remoção de coliformes nos reatores anaeróbios, usualmente da ordem de apenas uma unidade logarítmica. Em relação a outros tipos de microorganismo, por exemplo, vírus e protozoários, pouco se sabe em bibliografia a respeito da sua remoção ou eliminação através do tipo de tratamento em questão. Quando se fala da remoção de ovos de helmintos, tem sido reportada uma ordem de 60 a 80%, insuficiente, portanto, para produzir efluentes que possam ser utilizados na irrigação.

Lembrando das limitações associadas aos sistemas anaeróbios, e levando-se em consideração a necessidade de se desenvolver tecnologias mais apropriadas à realidade brasileira, torna-se importante à inclusão de uma etapa de pós-tratamento de efluentes gerados nos reatores anaeróbios. Tal etapa objetiva o polimento, não só da qualidade microbiológica dos efluentes, levando em consideração os riscos à saúde pública e das limitações impostas à utilização dos esgotos tratados na agricultura, mas também da qualidade em termos de matéria orgânica e nutrientes, em função dos danos ambientais provocados pelas descargas remanescentes destes constituintes nos corpos receptores. Levando em consideração que o sistema de tratamento reatores anaeróbios/pós-tratamento vem se constituindo na principal alternativa de tratamento de esgoto de nos país.

De acordo com a rede 2 do PROSAB, que é composta por 12 instituições, de 11 diferentes estados brasileiro, existem 8 modalidades de pós-tratamento de efluentes anaeróbios, tais como:

- Pós-tratamento no solo;
- Pós-tratamento em lagoas;
- Pós-tratamento em reatores com biofilme;
- Pós-tratamento em reatores de lodos ativados;
- Pós-tratamento em sistema de flotação;
- Pós-tratamento em sistema de filtração;
- Pós-tratamento em sistemas de desinfecção;
- Pós-tratamento do biogás.

Nas estações de tratamento Aracapé, Almirante Tamandaré e São Cristóvão,

espaço de estudo da presente pesquisa, são utilizados os tipos de tratamento com uso de reator anaeróbio, com posterior desinfecção da água residuária, sistema misto envolvendo associação de decanto - digestores com filtros anaeróbios e um sistema de lagoas de estabilização, respectivamente, onde será explicitada mais detalhadamente, expondo discussões e comentários posteriormente.

Com a extrema necessidade de se inibir o processo de contaminação das reservas naturais, principalmente da água, foi importantíssimo promover o desenvolvimento de sistemas de tratamento de esgotos. O principal papel da desinfecção de esgoto é eliminar os organismos patogênicos entéricos, que podem estar presentes no efluente tratado a fim de tornar os corpos hídricos seguros para uso posterior.

Mais detalhadamente, a desinfecção refere-se à inativação seletiva de organismos causadores de doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. A desinfecção é usualmente conseguida através do uso dos seguintes agentes e meios: agentes químicos, físicos, meios mecânicos e radiação (CHERNICHARO, 2001). Os organismos patogênicos de maior preocupação, quando o homem é exposto em ambientes contaminados com esgotos, são as bactérias e os vírus entéricos, além dos parasitas intestinais.

A probabilidade de contaminação está relacionada ao fato das águas residuárias possuírem uma série de organismos patogênicos que são excretados juntamente com as fezes de indivíduos infectados. Percebe-se, que mesmo com os esgotos tratados em sistemas convencionais, como reatores anaeróbios, lodos ativados, filtros biológicos etc., os mesmos desenvolvem meios de contaminação em locais onde se distribui água para abastecimento humano, dentre os quais se identificam o uso recreacional, irrigação de culturas, dessedentação de animais etc. Esse problema ocorre devido às falhas dos processos convencionais de tratamento de esgotos, que não asseguram suficientemente a completa remoção de microorganismos patogênicos. De acordo com o que foi dito, verifica-se que o processo de desinfecção dos esgotos, deve ser considerado quando se projeta uma diminuição expressiva dos perigos de transmissão de doenças infecciosas, quando o contato humano, direto ou indireto, com as águas contaminadas, é possível de

acontecer.

Com a exposição e discussão dos aspectos acima mencionados, entendeu-se que são externos os riscos de contaminação do homem quando este ingere ou promove contato inevitável com as águas, onde residem agentes patogênicos. No Brasil, o problema se torna ainda mais grave pela precariedade do quadro sanitário brasileiro, com baixos índices de cobertura por sistemas de esgotamento sanitário, aliados ao baixo investimento nos serviços de saúde faz com que a nossa população desenvolva doenças transmitidas pelas fezes e consequentemente, pelos esgotos gerados na cidade.

A explosão populacional que atinge os centros urbanos, tendo como área de influência, aproximadamente 75 % do povo brasileiro, como é o exemplo de cidade de Fortaleza. Este problema é responsável pelo agravamento da situação do saneamento no Brasil, onde o mesmo é refletido pela intensa produção de esgoto em pequenos espaços extremamente aglomerados. Saindo dos grandes centros urbanos, são poucas as localidades que apresentam alguma forma de tratamento de esgoto, fazendo o lançamento *in natura* do esgoto gerado pela população. Além disso, são utilizados processos convencionais de tratamento que comprovadamente em literatura, não são eficazes para remoção dos patógenos, podendo desta maneira, vir a contaminar reservatório de abastecimento de água da cidade, bem como, área de lazer, água para fim em irrigação, etc.

Com intuito de promover resoluções e diminuir riscos, é de grande importância a implantação completa do tratamento de efluentes por sistema de desinfecção. Estes podem ser citados abaixo:

- Desinfecção com cloro.
- Desinfecção com radiação ultravioleta.
- Desinfecção com ozônio.
- Desinfecção com agentes químicos.
- Desinfecção com permanganato de potássio.
- Desinfecção com iodo e bromo.
- Desinfecção com metais pesados (mercúrio, chumbo, zinco, prata, cobre).

- Desinfecção com detergentes.
- Desinfecção por agentes físicos.
 - Temperatura.
 - Radiações.
 - Filtração.
 - Dessecção.

Na cidade de Fortaleza, duas das áreas de estudo desta pesquisa em algumas estações, é utilizada o tipo de sistemas de desinfecção com cloro, que será mais detalhadamente comentado adiante.

O cloro é o produto mais utilizado em todo o mundo para desinfecção de água e esgotos. No Brasil, a cloração é o método de maior domínio tecnológico e viabilidade econômica atualmente. É importante lembrar de que todos os desinfetantes químicos produzem subprodutos, direta ou indiretamente e alguns destes podem gerar riscos à saúde pública. A utilização do cloro para desinfecção de efluentes de estações de tratamento de esgoto sanitários necessita ser revista, em face da superior qualidade dos efluentes obtidos modernamente, os quais demandam menores dosagens de cloro e, por conseguinte, apresentam menores riscos ambientais conseqüentes de seus subprodutos.

Temos como o principal objetivo da cloração dos esgotos sanitários a prevenção de disseminação de doenças de veiculação hídrica. A primeira aplicação do cloro para fins de saúde pública foi em 1831, quando foi utilizado como agente profilático durante uma epidemia de cólera na Europa. O reconhecimento formal da aplicabilidade do cloro para a desinfecção dos esgotos ocorreu de fato naquele país somente em 1884. A utilização crescente do cloro na desinfecção de esgotos ocorreu a partir do século 20, quando foram iniciadas as investigações mais sistemáticas sobre a eficiência desse elemento.

Segundo CAMPOS (1987), a desinfecção de esgotos por meio de cloração foi modelada por Selleck no ano de 1970, a partir de estudos de escala piloto com efluentes de decantador primário. Posteriormente, a equação proposta foi confirmada por diversos outros autores. Esta se relaciona à redução de coliformes

com a concentração de cloro residual ao final do processo, sendo necessárias boas condições de mistura no ponto de aplicação e que não ocorram curtos-circuitos ao longo do tanque.

Ainda de acordo com CAMPOS (1987), observando a operação de um sistema em escala real, pode considerar que boas condições de mistura ocorrem com gradiente de velocidade da ordem de 500 s^{-1} e tempo de contato maior ou igual há 30 minutos. Valores de tempo de contato superiores a 60 minutos, por outro lado, devem ser evitados no caso da desinfecção de esgotos com concentração de nitrogênio orgânico superior a 5,0 mg/L, tendo em vista que nessas condições as monocloraminas hidrolisadas podem se converter em organocloraminas com baixa capacidade germicida. Esse modelo é um recurso interessante para o dimensionamento dos sistemas de cloração.

Segundo CAMPOS (1987), o fundamento da desinfecção feita pelo cloro é alteração estrutural dos microorganismos. Ao contatar as bactérias presentes no esgoto sanitário, ele induz uma série de eventos associados à atividade da membrana celular dos mesmos, como, por exemplo, alterando a sua permeabilidade, modifica os ácidos nucléicos, causando mutações. No caso dos vírus, o cloro modifica os seus ácidos nucléicos e o seu envoltório a base de proteína.

As muitas variáveis físicas, químicas e biológicas envolvidas em um processo de desinfecção determinam a existência de um conjunto de valores de tempo de contato e concentração do desinfetante que garantem a desinfecção nos limites da segurança sanitária requerida. Para otimizar este processo deve-se, então, procurar os pares desses parâmetros, os quais funcionarão como referência.

Para desinfecção de águas residuárias, o cloro pode ser encontrado comercialmente na forma gasosa (Cl_2), líquida (hipoclorito de sódio) e sólida (hipoclorito de cálcio). Também pode ser produzido no local a partir de salmoura ou reação controlada de produtos químicos.

O cloro molecular (Cl_2), é um gás amarelo e esverdeado, de densidade maior que o ar à temperatura e a pressão ambiente. Quando comprimido a pressões superiores, a sua pressão de vapor, o cloro se condensa em líquido, com consequente liberação de calor e redução de volume em cerca de 450 vezes. Essa é a razão pela qual o transporte comercial de cloro usualmente é feito em cilindros pressurizados, que possibilitam substancial redução do volume.

Nas aplicações práticas de desinfecção de esgotos também é utilizado o cloro nas formas de hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio. Qualquer quantidade relativa de cloro presente nessas fontes alternativas de cloro é expressa em termos de “cloro disponível”. Comercialmente o hipoclorito de cálcio é encontrado na forma sólida, em diversas marcas, sendo relativamente estável na forma seca. Já o hipoclorito de sódio é encontrado na forma líquida (solução), em concentrações que usualmente variam de 1% a 16%. O hipoclorito de sódio (NaOCl) é o produto mais adequado para cloração em sistemas simples e de pequeno porte, em virtude da facilidade de aplicação em pequenas vazões operacionais, do baixo risco de manuseio e armazenamento e baixo custo. O hipoclorito de cálcio, que também recebe o nome de *cal clorada*, que é o produto utilizado nas Estações de Tratamento, objeto de estudo deste trabalho, na cidade de Fortaleza. Apresenta-se como um pó branco seco, com porcentagem relativamente elevada de cloro livre. Mantendo-o livre de umidade, sua durabilidade é relativamente longa. Quando se umedece, libera cloro de forma mais ou menos intensa. Em contato com o calor, ácidos, combustíveis orgânicos ou matérias oxidáveis, pode provocar incêndio. Este material é normalmente fornecido em tambores de plástico de 45 Kg. Deve ser armazenado em local seco e separado de outros produtos químicos, principalmente daqueles que poderiam facilitar seu umedecimento ou combinar-se com ele. Para utilização, é dissolvido em água, sendo a dosagem feita por via úmida. A presença de certa concentração de cal torna a solução incrustante, afetando o funcionamento das bombas dosadoras.

Na desinfecção de esgotos com compostos de cloro, a concentração do desinfetante se altera com o tempo e, particularmente durante os momentos iniciais da aplicação do cloro, passa por transformações rápidas, desde a forma livre até as formas combinadas. Dessa forma, torna-se mais importante determinar a

concentração de cloro residual do que a de cloro aplicado. Outros aspectos relevantes e que interferem no processo de desinfecção são:

- presença de sólidos no efluente, uma vez que estes podem proteger os microorganismos da ação do desinfetante;
- pH do efluente, já que na inativação de microorganismos aumenta com o decréscimo do pH, tanto para residuais de cloro livre como de cloro combinado;
- temperatura, uma vez que seu aumento também leva a taxa de inativação dos microorganismos.

É de extrema importância salientar que as legislações que tiveram seus artigos ligados à disposição de efluentes não resolvem sobre os padrões de qualidade relacionados ao indicador cloro residual livre (CRL). Há indicação técnica de que o valor de CRL deve ser entre 1 e 3 mg/L. Porém, sabe-se que o cloro e outros halogênios em contato com compostos orgânicos formam trihalometanos, que são considerados causadores de câncer, AISSE (2003). A descloração pode ser alcançada com a adição dos seguintes compostos: dióxido de enxofre, sulfito de sódio, metabissulfito de sódio e tiossulfato de sódio.

2.11. Partida do reator UASB

A inoculação do lodo no início da operação pode ocorrer ou não. Se não acontecer no início do processo, logo o mesmo se desenvolverá enquanto durar o período de partida, devido à acumulação de sólidos sedimentáveis não convertidos, e populações bacterianas responsáveis pela conversão do material orgânico em metano, CAMPOS (1987).

Os processos anaeróbios de alta taxa almejam o controle do tempo de detenção dos sólidos, independente do tempo de detenção hidráulica, o processo de prevenção de aglomerados de matéria orgânica inerte no reator e aprimoramento de ações compatíveis com a elaboração de favoráveis condições para a promoção do transporte de massa. Essas ações permitem uma otimização tanto no projeto de dimensionamento dos reatores, quanto em suas operações. (CHERNICHARO,

1997).

Quando o processo de inoculação é bem sucedido, num reator anaeróbio, é necessário se ter bastante atenção, principalmente em relação ao arraste das bactérias pela elevada velocidade ascensional do esgoto, onde as mesmas podem ser levadas para fora do reator UASB, e consequentemente, o procedimento de partida deverá ser reiniciado. Esse problema do arraste pode ser percebido já no primeiro estágio de ação do reator.

Quando o reator UASB se encontra vazio, entende-se que essa é a melhor situação em que se pode fazer a inoculação, pois quando o mesmo se encontra cheio, as perdas de lodo durante o processo são intensas CHERNICHARO, (1997).

O processo de inoculação deverá ser estudado, até que haja a escolha do inócuo ideal para uma boa partida do reator. A seleção do material com a função de implementar a inoculação deve conter microorganismos que têm a capacidade de degradar compostos orgânicos oriundos de resíduos, provocando a formação de grânulos, ou criar um lodo com propriedades bastante sedimentáveis, CAMPOS (1987).

A aplicação do processo de inoculação em regiões de clima tropical seria uma boa solução, para a obtenção de eficiência na partida do reator, mas é importante mencionar que é possível efetuar a partida do reator sem implantar a inoculação, tendo como base de pesquisa, a obtenção dos parâmetros de eficiência do reator UASB. Para se obter tais resultados, é necessário obter um estado estacionário após 3 ou 4 meses de operação, dependendo da carga orgânica aplicada e das condições operacionais.

2.12. Tempo de permanência e retenção celular nos reatores anaeróbios

De acordo com as condições operacionais e com as características das águas residuárias a serem tratadas, é que se espera como será o período estacionário de um reator UASB. As características mais importantes das águas residuárias são a temperatura e a concentração de matéria orgânica. A principal variável operacional é

o tempo de permanência, (VON SPERLING 1999).

Uma dos resultados esperados é o da retenção interticial, cujo objetivo é imobilizar a biomassa, que ocorre nos intertícios existentes nos meios suportes estacionários, como é o caso dos reatores anaeróbios de leito fixo. A retenção por adesão dos mecanismos em sistemas aquosos, como os digestores anaeróbios, são bastante diversos, de forma que a sobrevivência e o crescimento destes dependem de fatores como temperatura, disponibilidade de nutrientes e estratificação (CHERNICHARO, 1997).

Os reatores UASB, obtêm com bastante eficiência a retenção por granulação, sendo, portanto, um fenômeno restrito ao mesmo, como também, aos filtros anaeróbios. A diferenciação bacteriana permite fazer com que ocorra com mais facilidade a formação de grânulos, onde as mesmas estão dispostas em camadas superpostas (CHERNICHARO, 1997).

2.13. Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente

A partida do DAFA, classificado como reator anaeróbio de alta taxa, pode ser definida como um período de transição inicial, marcados por instabilidades operacionais, podendo ser feita através de três processos distintos:

- Utilizando-se lodo de inócuo adaptado ao esgoto a ser tratado. Trata-se do processo mais conveniente devido à entrada do sistema em regime permanente se processar rapidamente, não havendo necessidade de aclimatação do lodo;
- Utilizando-se lodo de inócuo não adaptado ao esgoto a ser tratado. Nesse caso, existirá um período de aclimatação do sistema, incluindo uma fase de seleção microbiana;
- Sem utilização de lodo inócuo. Considerada a forma mais desfavorável devido à inoculação do reator acontecer com os próprios microorganismos do sistema cuja concentração é muito pequena, resultando num tempo de entrada em regime da ordem de três ou quatro meses, chegando alguns autores a mencionar um tempo de seis meses.

- As dimensões e os parâmetros de funcionamento, onde o tipo de reator utilizado é o de unidades pré-fabricadas em fibra de vidro, cujas dimensões principais e parâmetros de funcionamento são os seguintes: Modelo/Fabricante (Bio-Contactor B-1250/ACS); Nº de unidades (duas); Diâmetro útil (3,20m); Altura total (5,40m); Seção Horizontal Plena ou zona de digestão ($8,04\ m^2\cdot\text{un}$); Seção de entrada do decantador ($1,88m^2\cdot\text{un}$); Seção no nível do coletor do efluente ($7,54m^2\cdot\text{un}$); Altura útil (5,0m); Inclinação das placas do separador de fases (55°); Carga Hidráulica Total ($12,6m^3/\text{h}$); Volume total ($77,72m^3$); Tempo de detenção total (6,17horas); Carga hidráulica espécífica ($0,16h^{-1}$); Velocidade ascensional na zona de digestão (0,78m/h); Velocidade de entrada no decantador (3,35m/h) e Velocidade na saída do decantador (0,83m/h).

2.14. Partida com Inoculação dos Reatores

2.14.1. Volume de Iodo de Inócuo

Nos casos onde se aplica o iodo de semeadura (inócuo), a carga biológica aplicada ao sistema de tratamento, dada em (KgDQO/KgSSV.d), é o parâmetro que caracteriza a carga orgânica aplicada com relação a quantidade de biomassa presente no reator, que em média se encontra na faixa de 0,05 a 50 KgDQO/KgSSV.d. Essa relação deverá ser aumentada gradativamente em função da eficiência do sistema, chegando em regime permanente a ter o valor de 2,0KgDQO/KgSSV.d (CHERNICHARO, 1997).

2.14.2. Carga Hidráulica Volumétrica

A Carga Hidráulica Volumétrica ocasiona três efeitos, de acordo com CHERNICHARO, (1997):

- Retira toda a biomassa de sedimentações precárias, deixando espaço para nova biomassa que está se desenvolvendo;
- Seleciona as biomassas ativas, decorrentes da retirada da biomassa que não

- possui boa sedimentação;
- Promove uma boa mistura no interior do reator.

2.14.3. Temperatura

A temperatura ideal é na faixa de 30 – 35°C. No nosso caso, no Estado do Ceará, este valor se situa na faixa de 25 – 30°C, mais comumente entre 27 – 28°C, consideradas como condições ótimas de temperatura (CHERNICHARO, 1997).

2.14.4. Fatores Ambientais

Na partida, os seguintes fatores são desejáveis de acordo com CHERNICHARO, (1997):

- A temperatura no interior do reator está na faixa 30 – 35°C, não factível para esgotos domésticos;
- O pH deve ser mantida sempre acima de 6,2 , preferivelmente na faixa 6,8 – 7,2
- Ausência de uma concentração de compostos tóxicos.

2.14.5. Aclimatação e Seleção da Biomassa

As principais diretrizes para a seleção da biomassa são segundo CHERNICHARO, (1997):

- Não retornar o lodo disperso perdido com o efluente;
- Promover diluição do afluente quando a concentração das águas residuárias for maior que 5000mg/l, caso não necessário quando se trata de esgoto doméstico;
- Aumentar a carga orgânica gradativamente sempre que a remoção de DBO/DQO atingir pelo menos 60%;
- Manter concentrações de ácido acético abaixo de 1000mg/l. No caso de esgotos domésticos, esse valor no interior do reator é inferior a 200 – 300mg/l, não havendo, portanto tal preocupação;
- Prover a alcalinidade necessária no sistema de forma a manter o pH próximo ao valor de 7.

2.15. Procedimentos Antecedentes a Partida do Reator

2.15.1. Caracterização do Lodo de Inócuo

Após a definição do lodo de inócuo a ser utilizado na partida do DAFA, deve ser feita uma caracterização qualitativa e quantitativa do mesmo, com a determinação dos seguintes parâmetros de acordo com CHERNICHARO, (1997):

- pH;
- Alcalinidade em bicarbonato;
- Ácidos Graxos Voláteis;
- Sólidos Totais (ST);
- Sólidos Voláteis Totais (SVT);
- Atividade Metanogênica Específica (AME).

Além dos parâmetros acima mencionados, se deve proceder a uma caracterização visual e olfativa do lodo.

2.15.2. Caracterização do Esgoto Bruto

Realizar antes da partida do reator, uma campanha, no sentido de caracterizar, qualitativamente e quantitativamente o esgoto bruto.

2.15.3. Estimativa do Volume de Lodo Necessário

Uma estimativa do volume de lodo necessário pode ser obtido do gráfico apresentado a seguir, de autoria do Professor Carlos Augusto de Lemos CHERNICHARO, pertencente à Universidade Federal de Minas Gerais. Este gráfico possibilita a visualização de alternativas de inoculação e partida do reator anaeróbio, considerando-se a aplicação de diferentes percentuais de vazão afluente em função

das concentrações de sólidos voláteis no lodo.

As seguintes concentrações foram estudadas:

- lodo a 3%;
- lodo a 4%;
- lodo a 5%.

2.16. Procedimentos Durante Partida do Reator

Esses procedimentos se referem à partida de um reator realizada pelo professor Chernicharo, em Itabira / Minas Gerais compreendendo a inoculação, alimentação com esgotos e o monitoramento do processo.

2.16.1. Inoculação do Reator

Pode ser feita com o reator cheio ou vazio, sendo melhor a segunda opção, a fim de diminuir as perdas de lodo. Nessa última situação os seguintes paços foram dados de acordo com CHERNICHARO, (1997):

- Transferência do lodo inócuo para o reator, com o cuidado que o mesmo seja carregado no fundo, evitando turbulências e contato excessivo com o ar;
- Deixar o lodo em repouso por um período aproximado de 12 a 24 horas, possibilitando a sua adaptação gradual à temperatura ambiente.

2.16.2. Alimentação do Reator

- Após o período de repouso mencionado anteriormente, iniciar alimentação até que o volume alcançado seja a metade do volume útil;
- Deixar o reator sem alimentação por um período de 24 horas. Ao término desse período e antes de se iniciar uma próxima alimentação, coletar amostra do sobrenadante e efetuar as análises dos seguintes parâmetros: Temperatura, pH, alcalinidade, ácidos voláteis e DQO. Caso esses valores estejam em faixas

aceitáveis (pH entre 6,8 a 7,4 , ácidos voláteis abaixo de 200mg/L como ácido acético) prosseguir o processo de alimentação.

- Continuar o enchimento do reator até que seja atingido seu nível operacional;
- Deixar sem alimentação por um período de 24 horas. Após esse período repetir, as análises com os mesmos parâmetros já mencionados anteriormente;
- Caso os parâmetros analisados estejam dentro da faixa estabelecidas, promover a alimentação contínua do reator, respeitando-se o percentual de vazão estabelecido em função da quantidade de inócuo utilizado;
- Proceder ao aumento gradual da vazão a cada 15 dias, de acordo com a proposta do sistema. Este intervalo pode ser ampliado ou reduzido dependendo dos resultados obtidos (CHERNICHARO, 1997).

2.17. Partida sem Inoculação do Reator

Para a maioria dos tipos de águas residuárias, o processo de partida de um reator DAFA é longo e difícil. No caso do esgoto doméstico, tal operação apresenta menos problemas, devido esse tipo de despejo já possuir embora em concentrações pequenas, as populações necessárias para o processo de digestão anaeróbia, podendo, portanto tal operação ser feita sem a necessidade de utilizar lodo inoculado, pois a fermentação ácida e metanogênica se desenvolverão automaticamente.

Por outro lado, a capacidade de tamponamento do esgoto é suficiente para evitar o azedamento, mesmo no período de partida, quando a população ainda é pequena para converter eficientemente os produtos de fermentação.

A duração do período de partida é definida pelo tempo necessário para se obter uma qualidade do efluente praticamente constante, e uma massa de lodo que não varia nem quantitativamente nem qualitativamente com o tempo. Sem a aplicação de lodo inócuo, no início da operação, este se desenvolverá durante o período da partida, devido a acumulação de sólidos decantáveis não convertidos e populações bacterianas responsáveis pela conversão do material orgânico em metano.

Essa acumulação é limitada função do tamanho do reator, e em algum momento começará a aparecer lodo no efluente sob a forma de partículas sedimentáveis. A partir desse momento, o reator estará cheio de lodo, ficando a massa no seu interior praticamente constante e a quantidade gerada no reator se tornará igual a massa descarregada com o efluente. Depois de se acumular a massa de lodo máxima, deve ser começado a ser feito descartes periódicos para os leitos de secagem.

Segundo CAMPOS (1987), é perfeitamente possível de se iniciar a operação sem lodo no reator, sendo que nesse caso, pode-se aplicar toda a vazão desde o início da operação.

2.18. Medidas de Segurança

Com a possibilidade do relaxamento das Atividades no Tratamento Preliminar, composto de Grade (G) e Caixa de Areia (CA), foi previsto um conjunto de medidas composto de :

- Isolamento da entrada da unidade danificada;
- Esgotamento da unidade pelo registro de descarga de fundo retornando todo o material para a Estação Elevatória;
- Através da Estação de Bombeamento, o material de um Digestor é transferido para o outro, evitando-se com isso o uso de desvios;
- Peça de inspeção lateral de formato circular no diâmetro de 0,60m, dimensão essa que permitirá a inspeção no interior da unidade;
- A parte superior à cobertura é parcialmente removida, devido ser constituída de abertura de dimensão 0,75m X 2,00m com tampas em fibra de vidro.

2.19. Monitoramento do Processo

Para uma operação satisfatória de um sistema de tratamento anaeróbico,

torna-se necessário que seja feita uma monitoração do processo, no sentido de se manter sempre que possível às condições ambientais necessárias ao mesmo. Recomenda-se sempre que possível, a instalação dos seguintes equipamentos de medição e controle:

- Medidores e registradores das características do afluente (Vazão, Temperatura e pH);
- Medidores e registradores da Temperatura e pH do reator, preferivelmente instalados na parte inferior do tanque;
- Medidores e registradores da produção de biogás.

2.20. Procedimentos Operacionais

Para uma operação satisfatória de um sistema de tratamento anaeróbio, torna-se necessário que seja feita uma monitoração do processo, no sentido de se manter sempre que possível às condições ambientais necessárias ao mesmo. Recomenda-se sempre que possível, a instalação dos seguintes equipamentos de medição e controle:

- Medidores e registradores das características do afluente (Vazão, Temperatura e pH);
- Medidores e registradores da Temperatura e pH do reator, preferivelmente instalados na parte inferior do tanque;
- Medidores e registradores da produção de biogás.

A seguir estão relacionados os parâmetros recomendados e suas freqüências de determinação, para um bom controle desse tipo de tratamento.

2.20.1. Unidade de desinfecção

Para a eliminação do conteúdo residual de organismos patogênicos, o efluente dos reatores será tratado com solução de hipoclorito de cálcio, a ser dosada por meio de bomba dosadora, inter-relacionada diretamente com a elevatória. Após a dosagem, o efluente será encaminhado ao tanque de contato.

O tanque de contato será composto de uma única célula de dosagem. Considerando-se a vazão média da ETE, efetua-se o dimensionamento da dosagem de hipoclorito de cálcio e a concentração da solução, a vazão da bomba dosadora de cloro (regulada com 51% de sua vazão máxima, que é de 15l/h). A preparação da solução de hipoclorito de cálcio a 2% será feita em um tanque de preparação da solução, onde cada carregamento, portanto, será feito em função da massa de hipoclorito de cálcio e tempo referente à manutenção da dosagem, considerando a reposição total da solução. A mistura do reagente com a água será realizada por meio de agitador com ar comprimido na base do tanque. A verificação e eventual reposição da solução de hipoclorito de cálcio deverão ser feita diariamente. Tendo em vista de cloro residual após o tempo máximo de contato, que vem a ser a condição fundamental desejada, deverá ser mantido um rigoroso controle, por parte da Operação, do teor de cloro residual.

O carregamento do tanque de hipoclorito de cálcio é feito em quatro etapas:

- Encher com água o tanque de 250litros;
- Colocar no tanque, a medida de 5kg de hipoclorito de cálcio (ou outra concentração, conforme a demanda de cloro residual);
- Manter o compressor em funcionamento até que todo o produto esteja dissolvido;
- Ajustar a vazão da bomba q para o ponto inclinado, de modo que o residual de produto químico na saída do tanque corresponda análise.

Os procedimentos de operação normal são: abrir válvula R1; manter fechadas as válvulas R2, R3, R4, R5 e R6; bomba dosadora ligada e bomba de elvatória ligada (automático).

2.20.2. Leitos e secagem do Lodo

O funcionamento dos leitos de secagem é um processo natural de perda de umidade que se desenvolve devido aos seguintes fenômenos:

- A liberação dos gases dissolvidos ao serem transferidos do digestor (pressão elevada) e submetidos a pressão atmosférica nos leitos de secagem;
- A liquefação devido à diferença de peso específico aparente do lodo digerido e da

água;

- A evaporação natural da água devido ao contato íntimo com a atmosfera;
- A evaporação devido ao poder calorífico do lodo.

O lodo em condições normais de secagem poderá ser removido do leito de secagem depois de um período, que varia de 20 a 40 dias, cuja umidade atinge valores de 60% a 70%. Em experiências realizadas na estação e tratamento de esgoto da Penha, RJ, o lodo lançado no leito de secagem com umidade média de 95% atinge valores de 50% depois de 20 dias de secagem em condições ótimas.

O leito de secagem é unidade destinada à desidratação (e consequente redução do volume) do lodo digerido, produzido constantemente pelos reatores a partir do momento que este atinge o seu estacionário. O lodo digerido é estabilizado, isto é, o seu conteúdo residual orgânico é insuficiente para produzir emanação de mau cheiro. O aparecimento de moscas, a emanação de odores mefíticos e o fendilhamento grosseiro do lodo durante a secagem são indicadores que o lodo foi insuficientemente digerido.

O leito de secagem é subdividido em quatro células e está dimensionado para receber descargas de lodo com freqüências diárias e semanais. Após atingir o estado estacionário, a cada período especificado, das quatro células, três estarão preenchidas, sendo duas com descargas quinzenais, e uma com descargas diárias. É importante mencionar que quanto maior o tempo de secagem, menor será a quantidade de agentes patogênicos residuais, minimizando o risco da manipulação do material seco. Salienta-se que a operação de descarga do excesso de lodo é fundamental para o sucesso do tratamento, sobretudo em virtude da necessidade de se obter regularmente o efluente livre de sólidos em suspensão (um efluente com material particulado tenderá a obstruir o sistema de valas de infiltração a jusante da ETE). Por consequência, não poderá ser negligenciada a retirada de lodo desidratado do leito de secagem, devendo sempre manter pelo menos uma célula em condições de receber a descarga de lodo dos reatores. Cada reator possui quatro descargas: uma rente ao fundo, uma no topo da câmara de digestão e uma terceira. Normalmente, as descargas são efetuadas a partir da tomada mais elevada da câmara de digestão, com objetivo de remover a parcela de lodo mais leve, onde é

menor a concentração de flocos bacterianos. Contudo, caso adotado o critério de descarga a partir da fuga de lodo do reator (momento limite), poder-se-á descarregar a parcela de lodo mais concentrada, pela descarga do fundo do aparelho. As descargas de lodo poderão ser feitas com o sistema em funcionamento. O lodo é descarregado para uma tubulação comum que está posicionada ao longo do leito de secagem, a qual dispõe de válvulas, individuais para cada célula.

As descargas de lodo devem ser coerentes com a manutenção dos parâmetros estabelecidos no projeto. Por sua vez, a retirada de lodo seco dos leitos, para a adubagem, incineração ou mesmo seu encaminhamento juntamente com o lixo para aterros sanitários, deve ser feita tão logo a desidratação permita. Convém mencionar também que, é necessário promover um sistema de rodízio nas descargas de lodo, nos leitos de secagem. Os tipos de descargas são: lodo leve, lodo de fundo, escuma e areia.

No sistema de rodízio de descargas, são adotadas as medidas de planejamento e de operação. O melhoramento operacional consiste no método de descarga feito na estação, onde são efetuadas descargas de diferentes resíduos. O presente procedimento de descarga, é atuante da seguinte forma: no primeiro dia do mês, dar-se a descarga de lodo leve no reator, até que esse preencha uma altura mínima no leito de secagem, estando sujeita à ação da penetração da luz solar, e portanto, permitindo a secagem do lodo em pelo menos quinze dias. Já as descargas de lodo de fundo, areia e escuma são efetuadas, concebendo às seguintes ações: durante todos os dias, são dadas descargas, em cada tipo de resíduo, onde a mesma é feita durante cinco segundos. É importante relatar que são dois os objetivos principais dos procedimentos de descarga, onde em destaque estão: sincronizar o planejamento feito em escritório com as atividades de manutenções preventivas e corretivas na estação, limpezas e etc; e atuar preventivamente, no impedimento de obstruções que venham a ocorrer nos reatores, tendo com enfoque, a obtenção de um tratamento mais eficiente, no tratamento de esgotos e evitando os caminhos preferenciais dentro do reator.

É usual nesse tipo de processo que o número de câmeras de cada bateria de leito seja de cinco, e que se passe a ter uma freqüência de descarga após o

estabelecimento do regime permanente de uma vez a cada 7 dias. Para se avaliar a quantidade de lodo excedente produzido em reatores do tipo DAFA, tratando esgotos domésticos, tem sido usual a adoção de taxas de 0,1 a 0,2 KGSST/KGDQO aplicada ao sistema. O descarte de lodo excedente não deverá ser necessário durante os primeiros meses de operação do reator. Quando essa operação se tornar necessária, deverá ser feita preferencialmente da parte superior do leito de lodo (floculento). Todavia, em situações onde ocorram acumulações de sólidos junto ao fundo, se deve promover descartes provenientes também do fundo do reator. O descarte do lodo, como já foi mencionado anteriormente, poderá ser feito diretamente para Leitos de Secagem (LS), ou serem encaminhados para o DAFA para completar a sua digestão.

Em condições excepcionais, deverão ser atendidas as contingências que maiores riscos ofereçam. É óbvio que, passando o momento crítico, as recomendações de caráter rotineiro voltem a ser atendidas normalmente. Um aspecto importante é o da nomenclatura de válvulas, onde se especifica: R1 B (entrada do esgoto bruto); R2 D (descarga de fundo do reator); R3 E (descarga no topo da zona de digestão do reator); R4 F (descarga de espuma na câmara de gases); R5 (comportas dos leitos de secagem) e R6 BY-Pass dos tanques de contato. Deve-se também especificar os registros de coleta de amostras, como: 1 – 250cm; 2 – 200cm; 3 – 140cm; 4 – 70cm.

No monitoramento diário, deverão ser usadas ferramentas, para controle e desempenho operacional, onde se destacam: desenho da planta baixa da ETE, desenho do fluxograma de tratamento, mapa de localização da estação, desenho com legenda de tubulações e válvulas, manual de instruções do agitador pneumático e manual de instruções da bomba dosadora e fichas de acompanhamento na operação da estação, onde as mesmas são: Vazão vertedor - triangular; vazão horária das bombas de sucção; acumulação do material gradeado, nos períodos de pico; remoção de areia, informando períodos, quantidade de areia removida, contribuição média dos períodos, relação entre a quantidade de areia removida e contribuição média no período referido; reator UASB, com medição de pH, sólidos decantáveis (ml/Lxh), oxigênio dissolvido (mg), sólidos em suspensão no período de quatro vezes ao mês (mg/L) e medição do Índice de Molhman (ml/Lxg), onde se

mede a sedimentalidade do lodo; medição da recirculação do lodo; descarte do lodo, com medição do número de descargas nos períodos críticos e registro de volume descartado; verificação do efluente final (tanque de contato), com medição de sólidos decantáveis (ml/Lxh), oxigênio dissolvido (mg/L), pH e cloro residual (mg/L); controle mensal para relatório da SEMAM, com medição dos seguintes parâmetros: pH, temperatura, DBO (mg/L), DQO (mg/L), sólidos em suspensão (mg/L), óleos e graxas (mg/L), cloro residual (mg/L), N-NH₃, N-NO₂, N-NO₃, N-Total e P-PO₄; manutenção preventiva e manutenção corretiva.

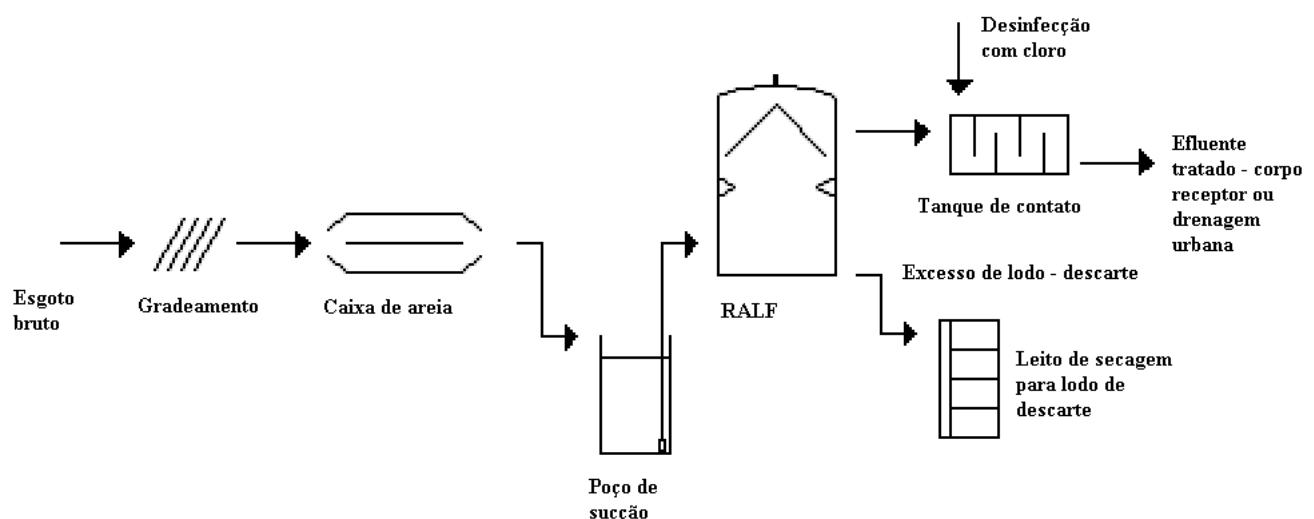


Figura 2 - Fluxograma de uma ETE Compacta

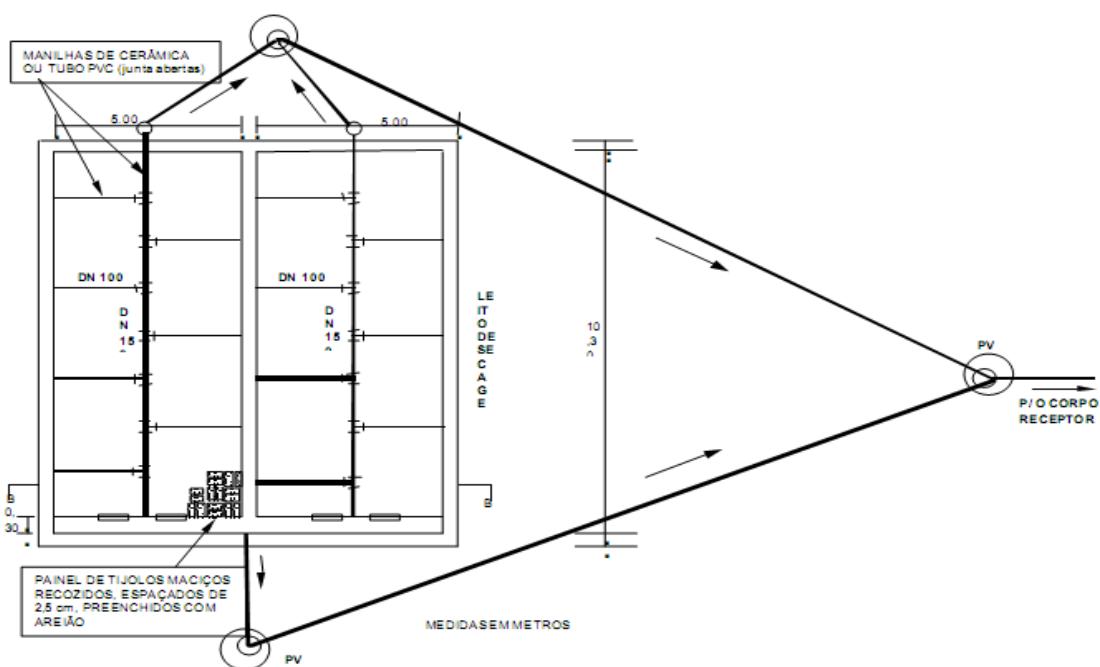


Figura 3 - Fluxograma de Sistema de Desidratação ETE Compacta

2.20.3. Caixa de Admissão

O uso do “by-pass” geral da depuradora, somente deverá ser utilizado em último caso, em situações praticamente inevitáveis, como uma grande pane geral. No nosso caso, com a construção de dois módulos de tratamento, com a instalação de equipamentos eletromecânicos, sempre em duplicata, associado a existência de um gerador de energia elétrica de emergência, a possibilidade do uso desses desvios é extremamente remota. A caixa de admissão deverá ser lavada com jatos de mangueira pelo menos uma vez ao dia, e todas as vezes que haja acumulação de detritos fora das canaletas de esgotos.

2.20.4. Grade

Em condições normais, deve ser batida com intervalos de uma hora. Porém a retirada do material gradeado, para patamar drenante, deve ser feita apenas a intervalos de três horas. Na tarde de cada dia, esse material deve ser incinerado, enterrado ou encaminhado como lixo para aterros sanitários.

Em condições normais, por exemplo, se ocorrer em dado momento, a chegada de grande quantidade de material gradeável, deve-se fazer a limpeza mesmo fora da hora marcada. Esta unidade e seus arredores deverão ser esguichados, com jatos de mangueira, sempre que houver necessidade. A grade objetiva a retenção de sólidos grosseiros, com espaçamento suficiente mente liberal que permita a passagem de matéria fecal. É fixada em plano inclinado no interior do canal a jusante da caixa de areia.

As especificações da grade são as seguintes:

- Largura da grade é de 0,30m; dimensões das barras são de 1.1/2"x1/4";
- O espaçamento entre as barras de 25 mm;
- Inclinação grade de 45º-75º com a horizontal e a quantidade do material gradeado de 22-33l/dia.

2.20.5. Caixa de Areia

Em intervalos de duas horas o líquido deve estar nesta unidade, ser revolvido com golpes de rastelo ou pá, de baixo para cima e em sentido contrário ao curso dos esgotos. Com isso, se atenuará a deposição de matéria orgânica na Caixa de Areia; o que além de ocupar desnecessariamente um grande espaço, dá a tendência aos esgotos de um estado séptico indesejável. O mesmo expediente faz ainda diminuir o número de retiradas de areia, que poderá processar-se apenas semanalmente. Deve-se enterrar a areia retirada ou encaminhá-la juntamente com o lixo para aterros sanitários. As bordas da caixa não submersa devem ser esguichadas com mangueira, e até raspadas com escovas de piaçaba, sempre que for necessário. A medida da vazão deve ser feita e registrada de hora em hora. A efetuação do monitoramento é feita através do uso de gráficos, que indicam a quantidade de areia acumulada na caixa de areia, onde o planejamento de manutenções corretivas é feito com base em prioridades.

A caixa de areia objetiva a retenção de sólidos inertes pesados, sobretudo a própria areia, que tende com o passar do tempo, caso não seja adequadamente removida, a acumular-se nos digestores reduzindo o volume útil e, consequentemente a eficiência do tratamento. A caixa de areia, basicamente, é um compartimento dimensionado para manter uma velocidade capaz de promover a precipitação da areia até 0,1mm (0,14mm p/Qmáx.), deixando fluir o material particulado de menor densidade. A remoção da areia precipitada no compartimento deverá ser feita pelo operador todas as vezes que o nível de areia estiver próximo à soleira da grade ou, ao menos, duas vezes por semana, como operação de rotina.

2.20.6. Bombas de Influente

Além da lubrificação se houver, pelo menos uma vez ao dia, seus rotores deverão ser limpos com escovas de piaçaba ou rastelo – sempre de cabo longo, para se evitar, o quanto possível a aproximação manual. Materiais renitentes, que não se destaquem com essa operação, devem ser retirados com ganchos. Os escovamentos dos motores deverão ser acompanhados de esguichos de mangueira.

Para o tipo de rotor fechado, com trituradores, as limpezas podem ser semanais, e/ou também ocorrer um imprevisto.

2.21. Legislação ambiental associada ao tema.

A fim de esclarecer em que parâmetros as companhias de saneamento do Brasil devem seguir, abaixo será detalhado o que a legislação ambiental vigente regulamenta através das resoluções dispostas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

A resolução nº 357 de 17 de março de 2005, que trata sobre classificação dos corpos d 'água. De extrema importância para as empresas brasileiras o documento dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, que veio a revogar a resolução CONAMA N º 20 de 18 de junho de 1986, em seu artigo 34, regulamenta que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, diretos ou indiretamente nos corpos d 'água, desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

§ 1º O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 2º Os critérios de toxicidade previstos no § 1º devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

§ 3º Nos corpos de água em que as condições e padrões de qualidade previstos nesta Resolução não incluem restrições de toxicidade a organismos aquáticos, não se aplicam os parágrafos anteriores.

§ 4º Condições de lançamento de efluentes:

- I - pH entre 5 a 9;
- II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura;
- III - materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- IV - regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- V - óleos e graxas:
 - 1 - óleos minerais: até 20mg/L;
 - 2- óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/L;
- VI - ausência de materiais flutuantes.

§ 5º Padrões de lançamento de efluentes, conforme a Tabela 2 (compilada):

Tabela 2: Lançamento de efluentes - padrões.

PARÂMETROS INORGÂNICOS	Valor máximo
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo total	0,5 mg/L Cr
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	Valor máximo
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno	1,0 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem). com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Tetracloreto de Carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L

FONTE: CONAMA

A Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE é o órgão ambiental do Ceará responsável pelo controle da poluição hídrica. Assim, considerando a necessidade de se estabelecer padrões de lançamento para os efluentes das indústrias instaladas nos Distritos Industriais dotados de Sistema Público de Esgoto provido de Estação de Tratamento; os padrões de lançamento nos corpos receptores, para os efluentes industriais e de outras fontes de poluição hídrica, que se encontram instaladas em áreas desprovidas de um sistema de esgotamento sanitário; os efluentes industriais e outras fontes de poluição hídrica que utilizam a Rede Pública de Esgoto com disposição final no oceano através do Emissário Submarino; considerando que a saúde e o bem estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático não devem ser afetados em consequência da deterioração da qualidade das águas e que o regime de intermitênciam dos corpos receptores dos efluentes líquidos industriais e domésticos e a escassez das reservas de água do Estado; de acordo com a Portaria nº 154/2002, resolve dispor sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras.

Em seu artigo 4º dispõe que as indústrias ou qualquer fonte poluidora localizada em áreas não dotadas de Rede Pública de Esgoto provida de Sistema de Tratamento deverão possuir Estação de Tratamento Própria, de maneira a atender aos padrões de qualidade dos cursos de água estabelecidos em função de sua classe, segundo seus usos preponderantes, bem como a enquadrar seus despejos líquidos aos seguintes padrões:

I - pH entre 5,0 a 9,0;

II - temperatura inferior a 40°C, sendo que a elevação da temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C;

III - materiais sedimentáveis : até 1,0 ml/L em teste de 1 hora em Cone Imhoff;

IV - regimes de lançamento com vazão máxima de até 1,5 (uma e meia) vezes a vazão média do período da atividade diária do empreendimento;

V - substâncias solúveis em hexano, da seguinte forma:

a) óleos minerais até 20 mg/L;

b) óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L;

VI - ausência de materiais flutuantes;

VII - valores máximos admissíveis das substâncias constantes do Anexo III.

VIII- Demanda Química de Oxigênio (DQO): 200 mg/L;

IX- Sólidos em suspensão totais, da seguinte forma

a) para efluentes industriais: 100 mg/L

b) para efluentes predominantemente domésticos: 50 mg/L;

X - NMP de coliformes fecais: 5.000 CF/100 mL;

XI - Tratamento especial se provierem de hospitais e outros estabelecimentos, nos quais hajam despejos infectados por microrganismos patogênicos;

XII - Além de obedecerem aos padrões de emissão deste artigo, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com a classe do mesmo;

§ 1º Para outras substâncias potencialmente prejudiciais, não constantes do Anexo III, serão fixadas concentrações máximas de lançamento por esta entidade ambiental.

§ 2º Devido às características específicas, os efluentes provenientes de sistemas de lagoas de estabilização deverão obedecer aos mesmos padrões estabelecidos para o Art. 4º, com exceção dos seguintes:

I - pH: entre 7,5 à 10,0;

II - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) da amostra filtrada em filtro de fibra de vidro e poro com diâmetro (\varnothing) entre 0,7 à 1,0 μm : 60 mg/L;

III - Demanda Química de Oxigênio (DQO) da amostra filtrada em filtro de fibra de vidro e poro com diâmetro (\varnothing) entre 0,7 à 1,0 μm : 200 mg/L;

IV - Sólidos em suspensão: 150 mg/L;

V - Oxigênio dissolvido > 3,0 mg/L.

Já em seu artigo 7º, dispondo sobre as estações de tratamento de esgotos existentes (ETE's), deverão adequar-se para atender ao disposto no Artigo 4º, detalhado anteriormente. Nos casos onde houver limitações de ordem técnica ou física, a(s) instituição(ões) responsável(eis) pela(s) ETE(s), deverá(ão) apresentar à esta entidade ambiental estudo técnico justificando a não possibilidade de alteração da(s) unidade(s) de tratamento de efluentes.

§ 1º As empresas terão prazo de 06 (seis) meses para apresentação de projeto técnico de adequação de suas ETE's a esta Portaria.

§ 2º No caso das instituições prestadoras de serviços públicos de esgotamento sanitário, os prazos serão de 12 (doze) meses para apresentação de projetos.

§ 3º Depois de licenciado, o prazo máximo de implementação do projeto junto à entidade ambiental será de 12 (doze) meses.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi baseada nos objetivos específicos, compreendendo seqüencialmente as etapas do estudo efetuado e proposições na pesquisa, que são:

- A obtenção de dados de Projetos, que foi executada para a aquisição de parâmetros, dentre eles: a população de projeto; contribuição *per capita*; carga orgânica *per capita*; vazão média; vazão máxima; vazão mínima; DQO afluente; DQO efluente; Sólidos Suspensos Totais (SST) afluente, Sólidos Suspensos Totais (SST) efluente, DBO afluente, DBO efluente Condutividade Elétrica, Potencial Hidrogeniônico (Ph), Temperatura e Turbidez.
- Estudo de caso realizado nas Estações Aracapé, São Cristóvão e Almirante Tamandaré, através de análises químicas e físicas, como também de visitas técnicas;
- A identificação dos componentes das Estações, que implicou na determinação de suas tipologias, onde inicialmente foi identificada a ETE Aracapé, cujo, tratamento dos despejos sanitários do Conjunto Residencial Aracapé III é realizado por meio de unidades pré-fabricadas em fibra de vidro, do tipo Bio-Contactor (digestores anaeróbios de fluxo ascendente), dimensionados para proporcionar eficiência de até 80% na remoção de carga orgânica total. Constatou-se também, que a ETE é composta de unidade de pré-tratamento (caixa de areia e grade), estação elevatória, unidade de tratamento anaeróbio (Reator UASB), unidade de desinfecção do efluente e unidade de desidratação de lodo digerido (leito de secagem).
- Posteriormente, foi identificada e definida a tipologia da ETE Almirante Tamandaré, onde o tratamento dos despejos sanitários é realizado por meio do sistema composto por decanto - digestores seguidos de filtro anaeróbios, dimensionados para proporcionar eficiência de até 90% na remoção de carga orgânica total. Constatou-se que a Estação de Tratamento de Esgotos do Conjunto Almirante Tamandaré é composta de um tratamento preliminar,

contendo gradeamento, caixa de areia e Calha Parshall de 3", poço de sucção com bombas submersíveis, 2 módulos de decanto-digestor em paralelo seguidos de 4 filtros anaeróbios em paralelo, sendo cada par para um decanto - digestor, e desinfecção final utilizando hipoclorito de cálcio.

- Por fim, foi analisada e definida a tipologia da ETE São Cristóvão, onde o tratamento dos despejos sanitários é realizado por meio de um sistema de lagoas de estabilização, dimensionadas para proporcionar eficiência entre 90 e 99% na remoção de carga orgânica total. Constatou-se que a Estação de Tratamento de Esgotos do Conjunto São Cristóvão é composta de um tratamento preliminar contendo gradeamento, caixa de areia e Calha Parshall de 5", poço de sucção com bombas de poço seco, e lagoas, cujo sistema está disposto em: Lagoa Anaeróbia, Lagoa Facultativa e duas Lagoas de Maturação em série.
- Na descrição, funcionamento e operação das ETE's foi exposta, através do detalhamento de cada setor das estações, a definição de seus funcionamentos e procedimentos feitos pelos operadores. Os diversos setores são: Unidade de Pré-tratamento (Caixa de Areia, Gradeamento); Estação Elevatória; Reatores (Dimensão e Parâmetros de Funcionamento, Partida dos Reatores, Leito de Secagem e Unidade de Desinfecção). A operação das ETE's comprehende a nomenclatura de válvulas; registros principais do reator; coleta de amostras (Elevação do fundo do reator); Carregamento do tanque de hipoclorito de cálcio e operações normais.
- Subseqüentemente, foi feita uma avaliação do desempenho operacional das Estações relativas aos parâmetros já mencionados, investigando através de análises laboratoriais e visitas técnicas, entre os anos de 2006 e 2007. Foi estabelecido um comparativo de eficiência operacional das mesmas com a legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- Com isso, foi alçada a verificação da variabilidade das amostras dos efluentes ao tratamento de esgotos, segundo os parâmetros DBO, DQO e SST, e avaliação da estabilidade e confiabilidade das ETE's estudadas quanto ao

cumprimento à legislação do CONAMA, através do uso de um modelo proposto por METCALF; EDDY (1991) e NIKU *et al.* (1979), onde inicialmente foram determinados os parâmetros estatísticos por meio de um estudo descritivo dos dados observados, e finalmente obtendo-se a confiabilidade que é, então, calculada em função da média, do desvio padrão e do coeficiente de variabilidade.

- Finalizando, foi feita uma avaliação, compreendendo conclusões e proposições, bem como a estruturação da bibliografia.

3.1. Fundamentação Metodológica

A presente dissertação foi desenvolvida preliminarmente, como um dos critérios de avaliação de desempenho adotados no modelo proposto, onde se promoveram análises de confiabilidade. Na aplicação deste modelo, foi contemplada a bibliografia relativa ao contexto, extraíndo definições e conceitos metódicos, que foram utilizados para designação e análise da confiabilidade sendo usados no exercício, implicando em fácil utilização e resultando em informações precisas. A metodologia analisada foi à proposta por METCALF e EDDY (1991).

METCALF e EDDY (1991) definem a confiabilidade (C_f) como sendo uma função da probabilidade de falhas (P), que pode ser expressa pela Equação 3.1:

$$C_f = 1 - P(\text{falha}) \quad (3.1)$$

Em que:

$$1 - P(\text{falha}) = 1 - P(\text{Concentração.efluente} > \text{Concentração.requerida}) \quad (3.2)$$

A confiabilidade pode ser determinada, a partir da função de distribuição log-normal da concentração do efluente. A mesma pode ser utilizada em duas fases: uma durante a elaboração do projeto e a outra no momento de operação. Considerando o primeiro caso, com a adoção padrão de confiabilidade requerido

para a estação de tratamento de esgotos, determina-se um valor médio para cada constituinte, garantindo, desta forma, que a variação de concentração esperada só ultrapasse os valores permitidos em um número de vezes igual ao previsto pelo valor da confiabilidade adotada. A fração média de concentração do efluente a ser utilizada no projeto, é obtida em função de um coeficiente de confiabilidade (CDC).

A caracterização das distribuições de probabilidade dos indicadores mostrou que a distribuição lognormal pode ser adotada para descrever o comportamento da maioria dos dados disponibilizados pelas ETEs.

Torna-se necessário, aqui, a introdução de alguns conceitos relativos à distribuição lognormal para o entendimento da metodologia adotada.

A distribuição lognormal pode ser definida como a distribuição de uma variável aleatória cujo logaritmo apresenta distribuição normal. Ou seja, uma variável aleatória e positiva x é dita seguir um modelo distributivo lognormal, com média μ_x e desvio padrão σ_x , se a variável $y = \ln(x)$ for normalmente distribuída com média μ_y e desvio padrão σ_y .

A função densidade de probabilidade $f(x)$ da distribuição lognormal é dada por (CROW e SHIMIZU, 1988):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{\frac{-(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad x > 0 \quad (3.3)$$

$$f(x) = 0 \quad (3.4)$$

Esta distribuição é assimétrica, com uma longa cauda à direita da média. Usando a relação $y = \ln(x)$, quando μ_x e σ_x são conhecidos para x , a média e variância correspondentes para y podem ser determinadas como a seguir (BROADBENT, 1956, CROW e SHIMIZU, 1988, LIMPERT et al, 2001, THOMOPOUIOS e JOHNSON, 2003):

$$\mu y = \ln \left(\frac{\mu^2 x}{\sqrt{\mu^2 x + \mu^2 y}} \right) \quad (3.5)$$

$$\sigma^2 y = \ln \left(1 + \frac{\sigma^2 x}{\mu^2 x} \right) \quad (3.6)$$

As equações (3.4) e (3.5) foram utilizadas para desenvolver a equação de confiabilidade apresentada por NIKU *et al* (1979). O coeficiente de confiabilidade (CDC), desenvolvido pelos autores, pode ser utilizado para estimar a confiabilidade das estações de tratamento, ou seja, a fração de tempo que a concentração efluente não excede certo valor padrão de referência previamente fixado. Para isto, foram utilizados os coeficientes de variação (desvio padrão / média aritmética) calculados para as ETEs estudadas.

Este coeficiente de confiabilidade relaciona valores das concentrações médias (valores de projeto) ao padrão a ser alcançado em uma base probabilística. Se, por exemplo, um padrão de 60 mg/L deve ser cumprido em 90% do tempo, onde o processo deve ser projetado e operado para alcançar uma concentração média efluente tal que, mesmo com a variabilidade presente, este percentual seja alcançado. O valor médio do constituinte, m_x , poderá ser obtido a partir da equação:

$$m_x = (\text{CDC}) * X_s \quad (3.7)$$

m_x = concentração média do constituinte;

X_s = meta de qualidade ou padrão fixado por alguma legislação ou norma;

CDC= coeficiente de confiabilidade.

Supondo que, para uma determinada probabilidade de falha α entre 0 e 1, mais perto de 0, deseja-se projetar um processo para cada variável lognormal x observada, com a propriedade:

$$P(x \leq X_s) = 1 - \alpha \quad (3.8)$$

Assim, $(1 - \alpha)$ é a probabilidade que a variável x não exceda o padrão X_s . Para o desenvolvimento da equação relativa ao coeficiente de confiabilidade, NIKU et al.(1979) utilizaram algumas propriedades da distribuição lognormal padronizada, que é obtida quando a média da distribuição normal equivalente é zero ($\mu_y = 0$) e a variância é igual a um ($\sigma^2_y = 1$). Desta forma, as tabelas elaboradas para a distribuição normal central reduzida podem ser utilizadas, após a transformação dos parâmetros, ou seja:

$$P = \left(Z \leq \frac{\ln X_s - \mu_y}{\sigma_y} \right) = 1 - \alpha \quad (3.9)$$

Onde Z é uma variável normal padronizada e o termo da equação (3.8), $\left(\frac{\ln X_s - \mu_y}{\sigma_y} \right)$, corresponde ao valor padrão normal variado e será chamado aqui de $(Z_{1-\alpha})$, de tal modo que $P(Z \leq Z_{1-\alpha}) = 1 - \alpha$ (3.10)

O objetivo foi desenvolver uma expressão para o coeficiente de confiabilidade, a partir do qual possa ser computado o valor médio necessário para que o processo garanta um nível de confiabilidade $(1-\alpha)$, dado um conhecido padrão X_s e um conhecido coeficiente de variação,

$$\left(CV = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \right) \quad (3.11)$$

Os valores da média e da variância da distribuição lognormal (equações 3.4 e 3.5) foram rearranjadas, para serem incorporadas a uma equação, na obtenção do coeficiente de confiabilidade, ou seja:

$$\mu y = \ln\left(\frac{\mu^2 x}{\sqrt{\mu^2 x + \mu^2 y}}\right) = \ln(\mu^2 x) - \ln(\sqrt{\mu^2 x + \mu^2 y}) = 2(\ln \mu x) - \frac{1}{2} \ln \mu^2 x + \sigma^2 x \cdot \frac{\mu^2 x}{\mu^2 x}$$

$$2(\ln \mu x) - \frac{1}{2} \ln \left[\left(1 + \frac{\sigma^2 x}{\mu^2 x} \right) \mu^2 x \right] = 2(\ln \mu x) - \frac{1}{2} \sigma^2 y - \frac{1}{2} \ln \mu^2 x = 2(\ln \mu x) - \frac{1}{2} \sigma^2 y - \ln \mu x \Rightarrow$$

$$\mu y = \ln(\mu x) - \frac{1}{2} \sigma^2 y \quad (3.12)$$

$$\sigma^2 y = \ln\left(1 + \frac{\sigma^2 x}{\mu^2 x}\right) = \ln(1 + CV^2 x) \quad (3.13)$$

Desta forma, substituindo-se as equações (3.11) e (3.12) na expressão 3.8, chegou-se à seguinte equação:

$$Z_{1-\alpha} = \ln X_s - \left[\ln \mu x - \frac{1}{2} \ln(1 + CV^2 x) \right] * \frac{1}{\sqrt{\ln(V_x + 1)}} \Rightarrow \quad (3.14)$$

$$Z_{1-\alpha} = \left[\frac{-\ln\left(\frac{mx}{X}\right)x\left(\frac{1}{\sqrt{V_x + 1}}\right)}{\sqrt{\ln(V_x + 1)}} \right] \quad (3.15)$$

Tais parâmetros são definidos de acordo com as Equações acima:

$$mx = (CDC).X_s$$

$$(CDC) = (Vx^2 + 1)^{1/2} \cdot e^{(-Z_{1-\alpha} \cdot (\ln(Vx^2 + 1))^{1/2})} \quad (3.16)$$

em que:

mx - média da concentração do constituinte

X_s - concentração padrão requerida

Vx – Coeficiente de Variação (CV) definido como o desvio padrão dividido pela média

$Z_{1-\alpha}$ - número de desvios-padrão a partir da média da distribuição normal, sendo a

variável normal central reduzida correspondente à probabilidade de não excedência ($1-\alpha$).

O CDC (equação 3.15) relaciona o valor médio do constituinte, μ_x , ao padrão X_s para um nível de confiabilidade de $1 - \alpha$. Ressalta-se que o CDC é expresso com base nas propriedades dos dados originais e não dos logaritmos dos dados.

Foram calculados os valores dos coeficientes de confiabilidade (CDC) para todas as ETEs analisadas e, com os resultados obtidos, foi possível a determinação das concentrações de projeto que seriam necessárias para o alcance de vários padrões ou metas especificados.

O coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa definida como a razão entre o desvio padrão e a média. A partir do coeficiente de variação pode-se avaliar a homogeneidade do conjunto de dados e, consequentemente, se a média é uma boa medida para representar estes dados. É utilizado, também, para comparar conjuntos com unidades de medidas distintas.

Uma desvantagem do coeficiente de variação é que ele deixa de ser útil quando a média está próxima de zero. Uma média muito próxima de zero pode inflacionar o CV.

Um coeficiente de variação superior a 50% sugere alta dispersão o que indica heterogeneidade dos dados. Quanto maior for este valor, menos representativa será a média. Neste caso, opta-se pela mediana ou moda, não existindo uma regra prática para a escolha de uma destas medidas. O pesquisador, com sua experiência, é que deverá decidir por uma ou outra. Por outro lado, quanto mais próximo de zero, mais homogêneo é o conjunto de dados e mais representativa será sua média.

Considerou-se que a concentração de projeto de um efluente, concentração que garante uma confiabilidade durante um determinado período de tempo, é dada pelo produto entre a média aritmética dos dados observados e o coeficiente de confiabilidade.

$$CP = (CDC) * X_s \quad (3.17)$$

Sendo X_s o valor limite fixado pela legislação.

Para estações em operação onde a flutuação das concentrações efluentes influencia na análise do desempenho, uma nova concentração pode ser calculada.

$$CP = (CDC) / X_s \quad (3.18)$$

Para equalização da variação dos dados num projeto, os parâmetros são majorados. Já para o controle de estações onde o projeto não considerou as variações, os parâmetros de atendimento são inferiores aos limites presentes na legislação.

Além das concentrações de projeto e de operação, as estações foram classificadas quanto à estabilidade de acordo a proposição de NIKU (1982), que considera a estação estável se o desvio padrão de suas concentrações efluentes forem inferiores a 10 mg/l. Caso contrário, as estações são consideradas instáveis.

Na segunda fase do processo pode ser útil a determinação da confiabilidade de uma Estação de Tratamento de Esgoto, ocorrendo quando ela está em situação de operação. Sabendo-se a média da concentração efluente estudada ao longo do período de observação das ETEs, o desvio padrão calculado segundo estudo estatístico descritivo e a concentração padrão estabelecida por norma ambiental para lançamento, obtém-se a confiabilidade da estação utilizando-se a distribuição normal padronizada, de acordo com a tabela de resultados e os percentis associados à probabilidade acumulada (METCALF e EDDY, 1991).

Em acordo com os procedimentos descritos para determinação da confiabilidade do processo de tratamento, verificou-se que o mais viável de ser adotado no modelo foi o proposto por METCALF e EDDY, (1991) e NIKU (1982).

A confiabilidade é, então, calculada em função da média e do desvio padrão,

conforme apresentado nas Equações acima. O resultado representa a confiabilidade decorrente de todos os fatores intervenientes.

O processo metodológico utilizado foi obtido a partir do modelo de análise de eficiência de ETEs, proposto por METCALF e EDDY, (1991) e NIKU (1982), como um dos critérios de avaliação. O modelo propõe que seja avaliada a confiabilidade do processo de tratamento para atender ao padrão estabelecido para a concentração de DBO e para a concentração de mais um constituinte, podendo ser DQO, SSt e etc. A extração dos componentes a serem analisados deve ser de acordo com os padrões de qualidade do corpo receptor, instituídos por órgãos competentes.

A determinação da confiabilidade das estações de tratamento de esgotos, de acordo com a metodologia adotada, propõe a necessidade de obter-se uma amostra representativa, com isso, foi determinado o número mínimo de componentes estimando um padrão de confiança de 90%.

Considerando os processos de tratamento que utilizam lagoas de estabilização, reator UASB seguido por desinfecção e o sistema decanto – digestor seguido por filtro anaeróbio foram extraídas as informações de dois anos (janeiro a dezembro/ 2006 e 2007).

Com relação à obtenção dos parâmetros estatísticos, foram adotadas medidas referentes ao desvio padrão e a variância, pois enquanto não há nada conceitualmente errado em se considerar o desvio médio, segundo SHIMIZU, (1988), esta medida não tem certas propriedades importantes e não é muito utilizada. O mais comum é considerar o quadrado dos desvios em relação à média e então calcular a média. Obtém-se, assim a variância que é definida por:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2 \frac{1}{N} \quad (3.19)$$

$$S^2 = \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \frac{1}{n-1} \quad (3.20)$$

Entretanto, ao calcular a variância observa-se que o resultado será dado em unidades quadráticas, o que dificulta a sua interpretação. O problema é resolvido extraindo-se a raiz quadrada da variância, definindo-se, assim, o desvio padrão:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2 \frac{1}{N}} \quad (3.21)$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \frac{1}{n-1}} \quad (3.22)$$

É importante destacar que se duas populações apresentam a mesma média, mas os desvios padrão não são iguais, isto não significa que as populações têm o mesmo comportamento.

A obtenção dos dados de concentração de efluentes estabelecidos como meta foi definida de acordo com órgãos responsáveis pelas ETEs, no caso a GETES (Gerência de Macro Coleta e Tratamento de Esgotos) da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará), segundo ofício emitido pelo DEHA (Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental). Primeiramente, foram observadas as seguintes ETEs: Aracapé, São Cristóvão e Almirante Tamandaré, através de visitas técnicas e aquisição de dados, e posteriormente, foi executada a manipulação dos dados segundo metodologias da estatística descritiva para a obtenção dos resultados.

3.2. Fluxogramas metodológicos

Estes fluxogramas têm como objetivo facilitar o entendimento dos procedimentos metodológicos da pesquisa, a fim de mostrar os passos paulatinos que estruturaram os resultados.

3.2.1. Fluxograma com probabilidade pré-determinada

A determinação das concentrações médias a serem adotadas em projeto ou alcançadas na operação, seguiu os passos descritos no fluxograma apresentado abaixo, no qual a probabilidade foi pré-determinada.

Foram calculados os coeficientes de confiabilidade e as concentrações de projeto para todas as ETEs que possuíam dados suficientes para análise e um número de unidades que permitisse a avaliação da tecnologia de tratamento. Para cada modalidade foram gerados resultados, como serão exemplificados no capítulo V.

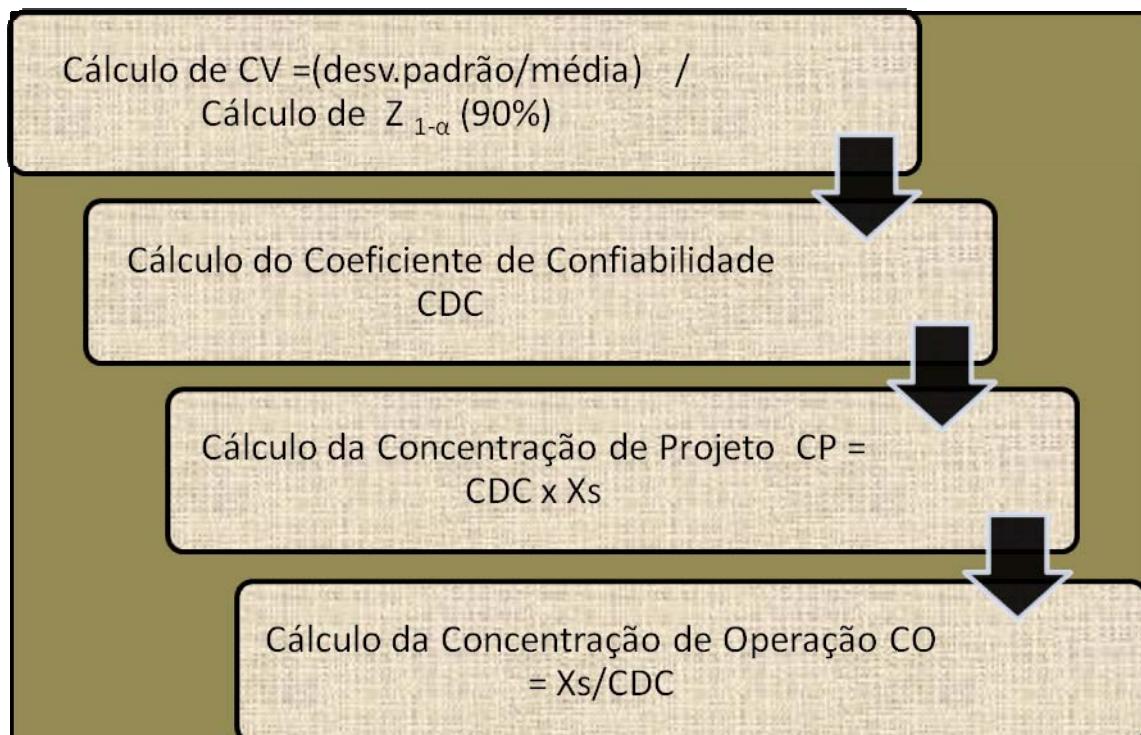


Figura 4 - Fluxograma com probabilidade pré-determinada

3.2.2. Fluxograma sem probabilidade pré-determinada

A determinação do coeficiente de confiabilidade a ser calculado foi efetuada de acordo com o coeficiente de variação, em função da média e do desvio padrão dos dados obtidos, de onde através da equação 3.14, pôde-se obter o $Z_{1-\alpha}$ (números de desvios padrão).

Posteriormente, foram calculados os coeficientes de confiabilidade, onde foi utilizada a tabela dos percentis de probabilidades de não excedência, Distribuição Normal. Os resultados foram gerados para cada estação, e serão exemplificados no capítulo V.

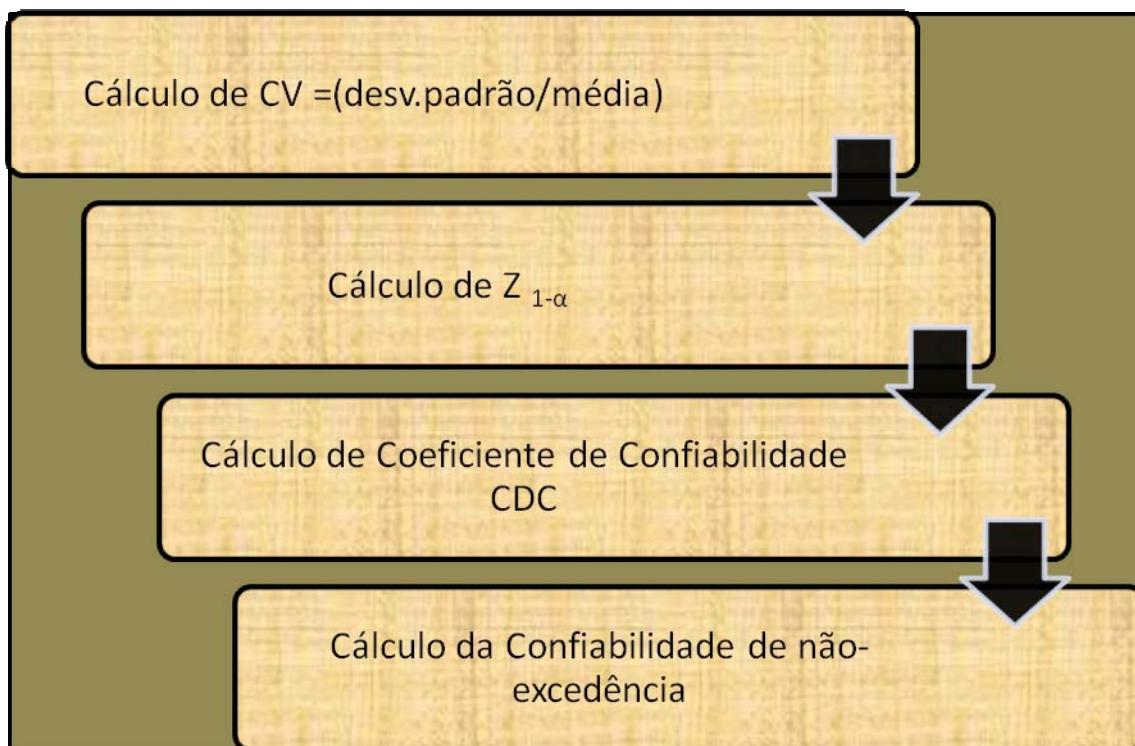


Figura 5 - Fluxograma sem probabilidade pré-determinada

4. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de atendimento aos padrões de lançamento estão apresentados através de gráficos comparativos, onde foram feitas análises de parâmetros relativos aos afluentes e efluentes. Primeiramente foram feitas as análises em relação aos parâmetros em estudo: DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), SST (Sólidos Suspensos Totais), Turbidez, Temperatura, Condutividade Elétrica e pH.

Posteriormente, foi realizado um diagnóstico quanto ao atendimento ao padrão de lançamento das ETEs considerando-se as médias aritméticas das concentrações efluentes, análises de estabilidade e confiabilidade das estações e das eficiências de remoção. O atendimento à legislação pressupõe o enquadramento da estação de tratamento nas deliberações normativas CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de acordo com a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, obedecendo simultaneamente os padrões impostos para DBO, DQO e SST, principalmente para se determinar a confiabilidade e estabilidade.

Os dados utilizados neste trabalho representam parte do banco de dados levantados no âmbito da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará), estudo feito durante o período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007. Foram consideradas três estações de tratamento de esgoto em operação no estado do Ceará através da CAGECE. Esses dados representam, em sua maioria, períodos de monitoramento entre os anos 2006 e 2007, sendo a freqüência de coleta fixa, ou seja, feita mensalmente pelo laboratório da CAGECE. Algumas modalidades de tratamento foram deixadas de fora dessa avaliação por não disporem de dados suficientes para análise.

Para a discussão dos resultados foram considerados os padrões fixados pela legislação vigente no estado do Ceará. A referência é a norma do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de acordo com a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. A análise contemplou apenas três dos vários parâmetros listados na legislação cearense – que se apresenta como um complemento da legislação federal, CONAMA 20/86. Isso se deu pelo fato dos dados coletados durante a

operação das ETE's não serem suficientes para um estudo mais abrangente – mesmo com relação aos parâmetros analisados, a variabilidade na freqüência de coleta ou total ausência de alguns dados foi extremamente prejudicial a uma visão comparativa entre o funcionamento das estações e padrão de lançamento. Os parâmetros avaliados e os respectivos limites considerados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 - Padrões de lançamento

PADRÕES DE LANÇAMENTO		
Parâmetro	Unidade	Padrão de Lançamento
DBO ₅	mg/L	60
DQO	mg/L	200
SST	mg/L	150

FONTE: CONAMA 2005

De acordo com a alteração estabelecida pela DN COPAM 46/01, os limites para DBO₅ e DQO poderão ser ultrapassados, em situações onde estudos de autodepuração de corpos d'água receptores, comprovarem que os padrões de qualidade serão resguardados e o sistema de tratamento reduzir a carga poluidora dos efluentes, em termos de DBO₅ e DQO em, no mínimo, 60%, especificamente para esgotos domésticos e chorumes de aterros sanitários. As análises de autodepuração não serão consideradas neste trabalho.

Os dados foram avaliados por estatística descritiva, sendo a média aritmética o alicerce empregado para as comparações dos parâmetros de monitoramento e das tipologias de tratamento. Para uma melhor avaliação do desempenho das estações foram estruturados gráficos de análises de eficiência de tratamento aos padrões de lançamento, além de um estudo comparativo entre as eficiências encontradas nas ETEs e os valores tradicionalmente esperados para cada tecnologia obtidos segundo VON SPERLING, (1996).

As análises dos dados obtidos foram realizadas sem contemplar as condições variáveis de operação das ETEs, tal como os diferentes períodos e freqüências em

susas coletas. Algumas dificuldades encontradas no estudo foram: a ausência de dados e a grande variabilidade das amostras.

4.1. Avaliação de Eficiência Individual

De posse dos parâmetros calculados, buscou-se efetuar uma comparação gráfica com os valores estabelecidos pelos órgãos fiscalizadores, que são encontrados também na literatura. O ideal para descrever esta relação foi a utilização de modelos estatísticos, manipulando dados, onde inicialmente se fez uma análise de eficiência do elenco de estações. Os gráficos obtidos para as diversas análises dos parâmetros mostram os resultados do desempenho operacional das estações e permite executar uma comparação entre os dados de eficiência obtidos e os exigidos por órgãos fiscalizadores, sendo feitos separadamente, para cada modalidade de tratamento.

4.1.1. Desempenho da ETE Aracapé nos anos de 2006 e 2007

Os resultados da análise de desempenho, eficiência e atendimento aos padrões de lançamento estão apresentados através de gráficos comparativos, primeiramente de forma individual e posteriormente comparando o desempenho das estações, onde foram feitas análises de parâmetros relativos aos afluentes e efluentes. Os parâmetros analisados são: DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), SST (Sólidos Suspensos Totais), pH (Potencial Hidrogeniônico), Temperatura, Turbidez e Condutividade Elétrica.

As influências das características físicas e químicas do meio ambiente permitem modificações no crescimento microbiano. Fatores físicos em geral atuam como agentes seletivos, enquanto que os fatores químicos podem ou não ser seletivos. Alguns elementos como carbono e nitrogênio, que são usualmente requeridos em quantidades relativamente grandes, podem ser muito importantes na seleção das espécies de microorganismos dentro do reator. Já os micronutrientes, os quais são requeridos em quantidades muito menores, geralmente exercem pouca

ou nenhuma influência seletiva.

A digestão anaeróbia é particularmente suscetível a um controle rigoroso das condições ambientais, uma vez que o processo requer uma interação entre as bactérias fermentativas e metanogênicas. Dessa forma, o sucesso do processo depende de um balanço delicado do sistema ecológico. Atenção especial deve ser dispensada às bactérias metanogênicas, consideradas as mais vulneráveis às mudanças das condições ambientais.

As figuras 6 e 7 mostram o desempenho da ETE Aracapé, em relação ao parâmetro DQO, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída.

Foi observado que a variação da Demanda Química de Oxigênio - DQO apresentou-se normal, sem pontos de pico no ano de 2006, o que certamente justifica que neste período esta estação não operava com uma vazão excedente, que pudesse vir a prejudicar o tratamento. Com relação aos resultados dos efluentes, foi verificado que permaneceu linear. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato.

No ano de 2007, foi verificado que ocorreram dois picos de vazão afluente e consequentemente um acréscimo de carga orgânica na estação. O primeiro pico pode ter sido devido ao período de chuvas, que certamente possibilita uma sobrecarga de vazão no sistema. O segundo pode ter ocorrido devido a problemas de manutenção da estação, provavelmente, de acordo com registros de problemas desta estação, ocorrera uma obstrução na tubulação de entrada, provocando extravazamento e consequentemente pode ter acumulado carga orgânica no sistema. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. O que se pode afirmar é que neste período os valores de vazão afluente foram mais representativos com relação à quantidade, alcançando uma maior atenção ao monitoramento desta estação.

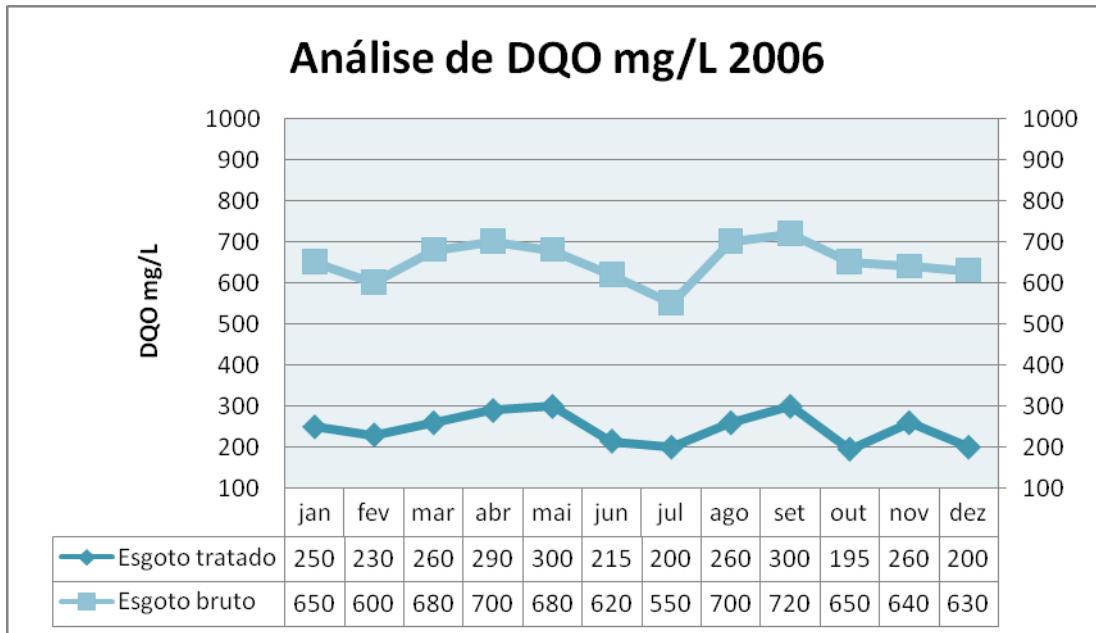


Figura 6 – Análise de DQO 2006

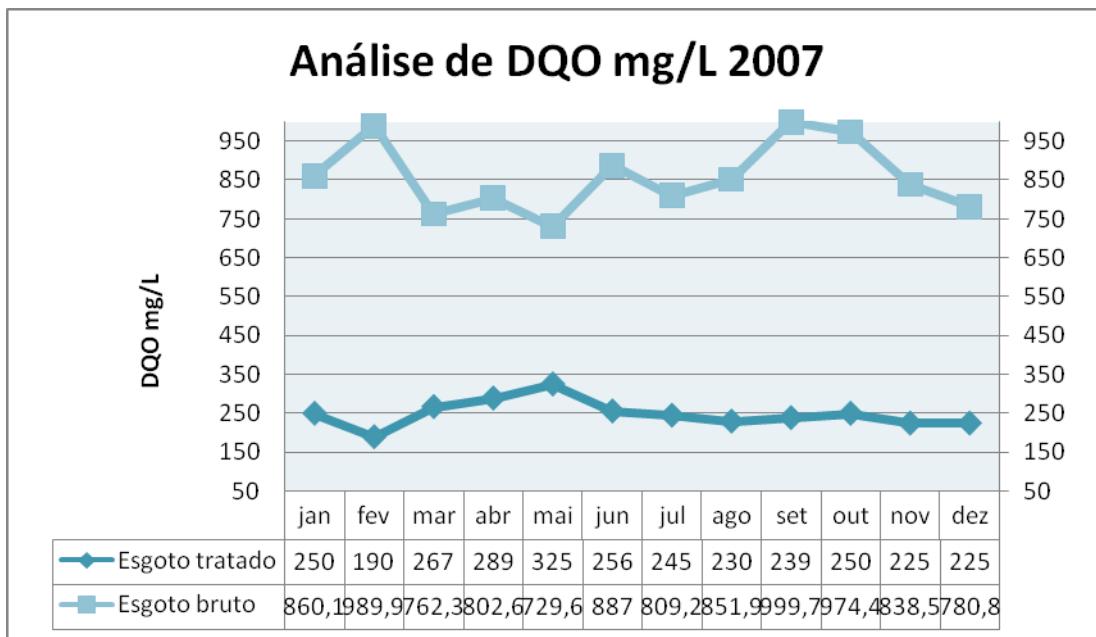


Figura 7 – Análise de DQO 2007

As figuras 8 e 9 mostram o desempenho da ETE Aracapé, em relação ao parâmetro pH, onde são especificados os valores dos dados de afluentes e os valores de efluentes.

O efeito do pH no sistema, reflete-se em duas formas principais: diretamente, afetando por exemplo a atividade das enzimas, como é o caso de suas estruturas

protéicas, que pode ocorrer de maneira drástica como resultado de mudanças no pH (queda brusca no pH) e a outra forma é indiretamente, afetando a toxicidade de um número de compostos, ou seja, alguns compostos químicos podem se tornar mais tóxicos quando submetidos a um valor de pH baixo ou vice-versa.

De forma geral, segundo CHERNICHARO, o valor ideal que o pH deve variar é entre 6,0 e 8,3, isso porque constituem em limites para o crescimento e desenvolvimento das bactérias formadoras de metano.

A figura 8 mostra as variações dos parâmetros analisados ao longo do ano de 2006. O pH apresentou acentuado decréscimo durante o período de chuvas, entre fevereiro e março, voltando a cair entre agosto e setembro, possivelmente devido a um possível desequilíbrio, como por exemplo o azedamento dos reatores, devido a um monitoramento inadequado. Pode estar associado também à característica de funcionamento da própria ETE. Com relação à estabilidade do processo, o fato das bactérias produtoras de ácidos serem muito menos sensíveis aos valores de pH, que é particularmente importante, uma vez que as bactérias acidogênicas ainda podem se mostrar bem ativas, mesmo para valores de pH de 4,5. Na prática isso significa que a produção de ácidos em um reator pode continuar livremente, apesar da produção de metano ter sido praticamente interrompida devido aos baixos valores de pH. Isto pode explicar de forma sucinta o que seria o processo que levaria ao azedamento do reator.

Deve ficar bem claro, que esta estação, neste período teve uma série de problemas, principalmente devido às constantes obstruções, tanto nas tubulações de entrada da mesma, como nas descargas de escumas, areia e lodo de fundo podendo, portanto, justificar valores de “pH” inferiores em relação aos valores apropriados. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato.

No ano de 2007, se verificou que os valores estavam condizentes com o esperado, apresentando valores próximos ao ideal, para que seja equilibrado o tratamento e a convivência de microorganismos dentro do reator.

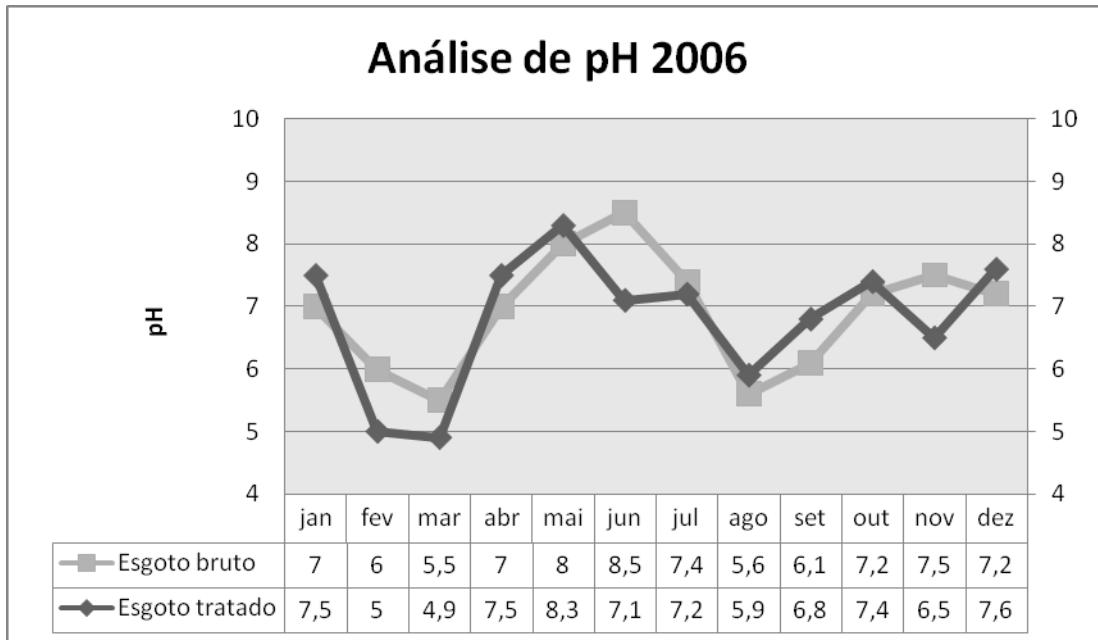


Figura 8 – Análise de pH 2006

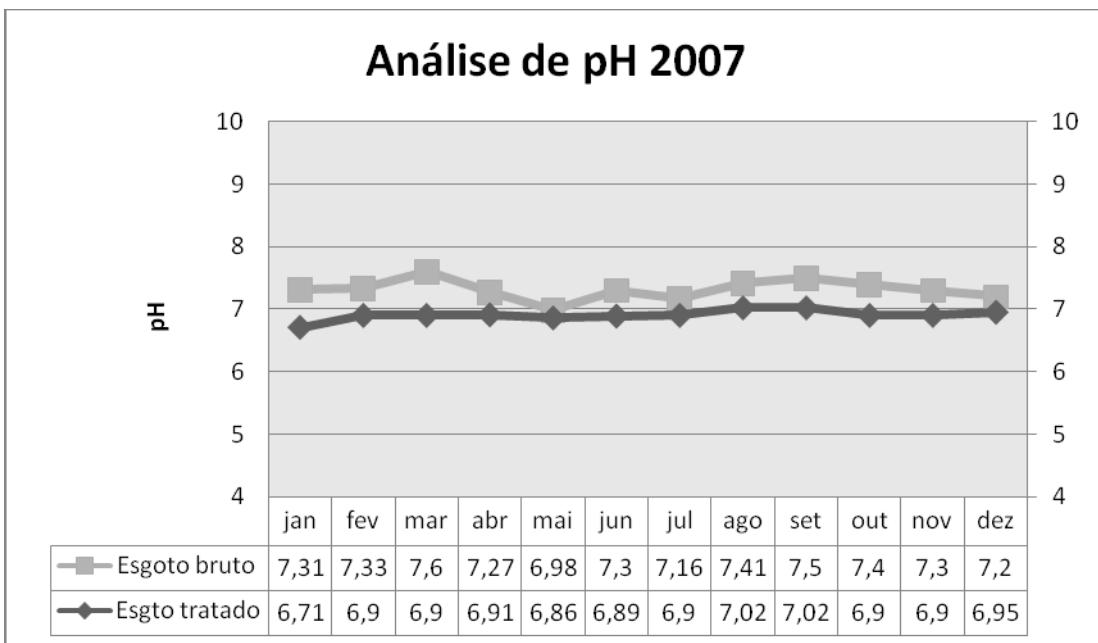


Figura 9 – Análise de pH 2007

As figuras 10 e 11 mostram o desempenho da ETE Aracapé, em relação ao parâmetro Temperatura, onde são especificados os valores dos dados de afluentes e os valores de efluentes.

A temperatura afeta os processos biológicos de duas formas: influenciando as taxas de reações enzimáticas e influenciando as taxas de difusão do substrato, onde

o primeiro fator é mais importante.

Os efeitos da temperatura externa ambiente são extremamente importantes para as células dos micoorganismos existentes no sistema. O grau de dissociação de diversos compostos depende fortemente da temperatura, como é o caso específico da amônia. Também a termodinâmica de várias reações químicas depende da temperatura, como é o caso da dependência da pressão de hidrogênio em digestores anaeróbios onde a fermentação esteja ocorrendo de maneira apropriada.

A importância dos dados quantitativos sobre os efeitos da temperatura na população microbiana é que se pode conseguir uma considerável redução no volume do reator, se este for operado próximo à temperatura ótima, uma vez que a taxa de crescimento específica máxima de população microbiana cresce com o aumento da temperatura, mas é importante mencionar que mesmo com o crescimento da temperatura, o processo anaeróbio é considerado sensível ao mesmo podendo provocar um desbalanceamento do sistema e consequente falha do processo.

As Figuras 10 e 11 mostram as variações dos parâmetros analisados ao longo do ano de 2006 e 2007. A temperatura apresentou linearidade durante os anos, possivelmente devido às boas condições do sistema dos reatores.

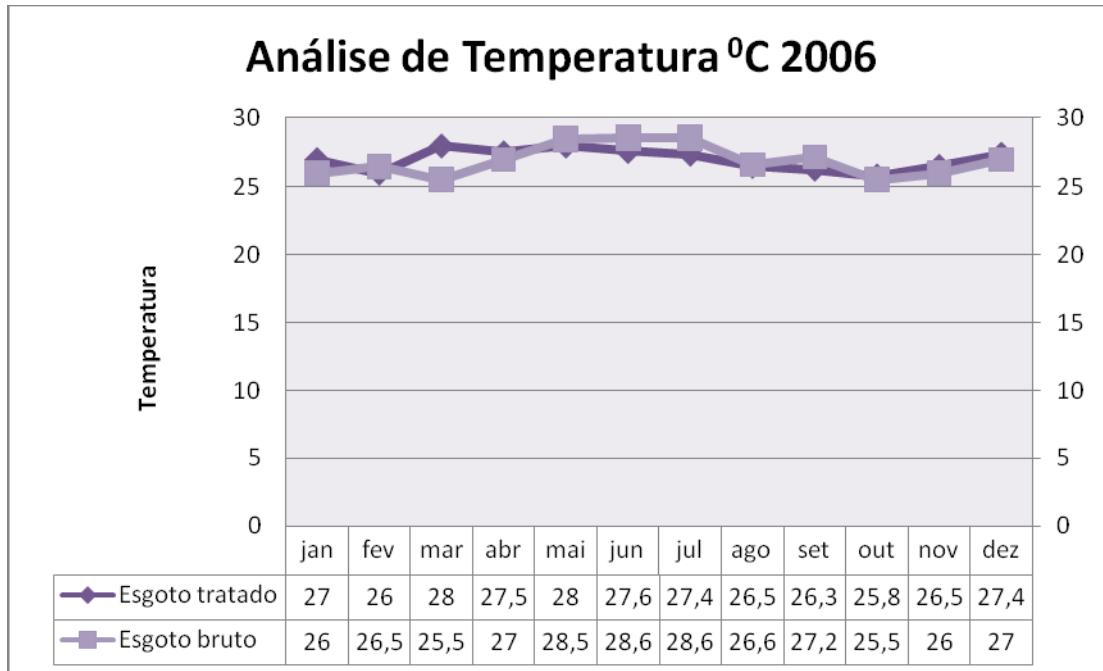


Figura 10 – Análise de Temperatura 2006

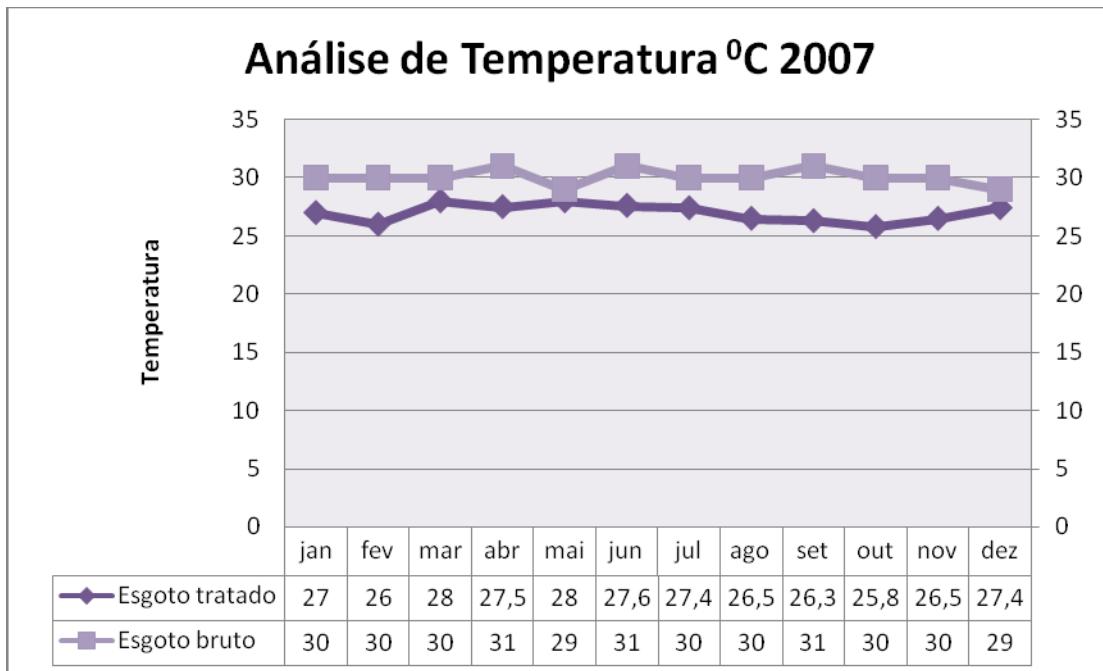


Figura 11 – Análise de Temperatura 2007

As figuras 12 e 13 mostram o desempenho da ETE Aracapé, em relação ao parâmetro Turbidez, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída. Foi observado que a variação da Turbidez apresentou-se anormal, com pontos de pico, na ETE Aracapé no mês de junho de

2006, janeiro e setembro de 2007. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência não linear de valores durante os dois anos, possivelmente devido à falta de manutenção relativa às limpezas de tubulações de entrada da estação, período de chuvas e descargas mensais nos reatores proporcionadas pelo monitoramento, que ocorreram no ano de 2006 e 2007.

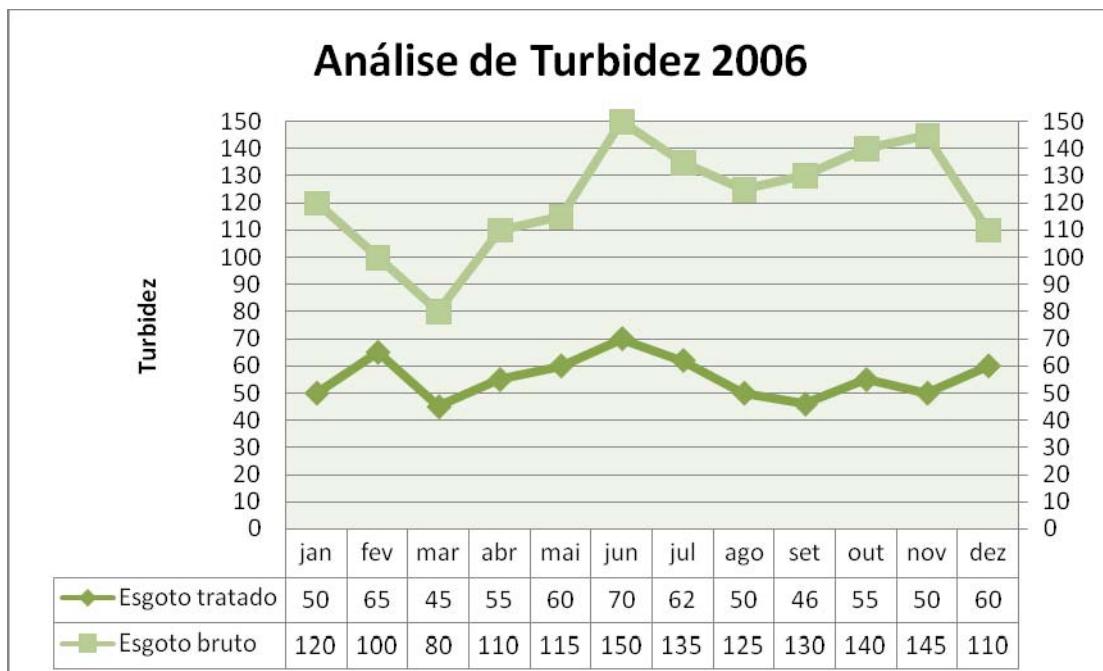


Figura 12 – Análise de Turbidez 2006

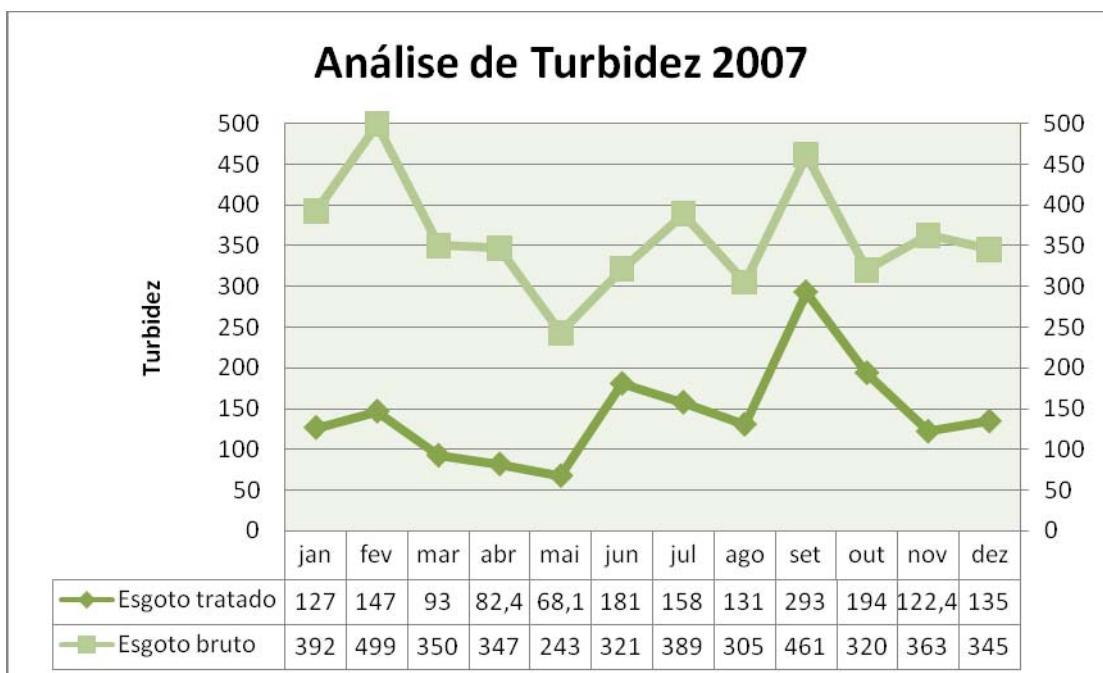


Figura 13 – Análise de Turbidez 2007

As figuras 14 e 15 mostram o desempenho da ETE Aracapé, em relação ao parâmetro SST, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída. Para o parâmetro, Sólidos Sedimentáveis, observou-se na ETE Aracapé, um pico no mês de janeiro 2006 e fevereiro de 2007. A exata ETE é do tipo RALF e mesmo com operação e manutenção eficientes pode ocorrer liberação de lodo junto com o efluente. Provavelmente, pode também ser devido ao aumento de chuvas, possibilitando um acréscimo de vazão afluente e consequentemente elevação de SST no sistema, causado por sobrecarga de vazão, aumentando a velocidade superficial, elevadas concentrações de sólidos suspensos no afluente e excesso de sólidos no reator.

Nos reatores anaeróbios, a acumulação de sólidos biológicos se dá em alguns meses quando em operação contínua. A taxa de acumulação de sólidos depende do tipo de efluente que está sendo tratado, sendo maior quando o esgoto afluente apresenta elevada concentração de sólidos suspensos, especialmente sólidos não biodegradáveis. A acumulação de sólidos deve-se ainda à presença de carbonato de cálcio ou de outros precipitados minerais, além da produção da biomassa.

Foi observado que a variação de SST apresentou-se normal com relação aos dados dos efluentes, sem pontos de pico. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência não linear com relação aos valores afluentes durante os dois anos, possivelmente devido ao aumento e diminuição das vazões de entrada ou possíveis problemas de limpezas e descargas mensais proporcionadas pelo monitoramento.

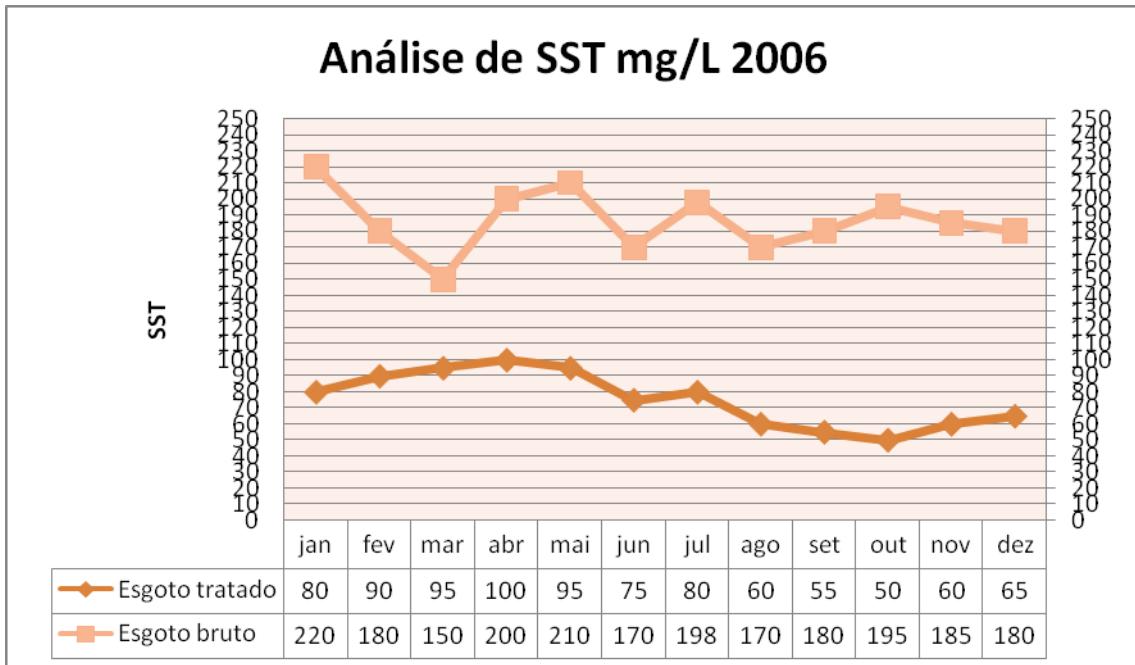


Figura 14 – Análise de SST 2006

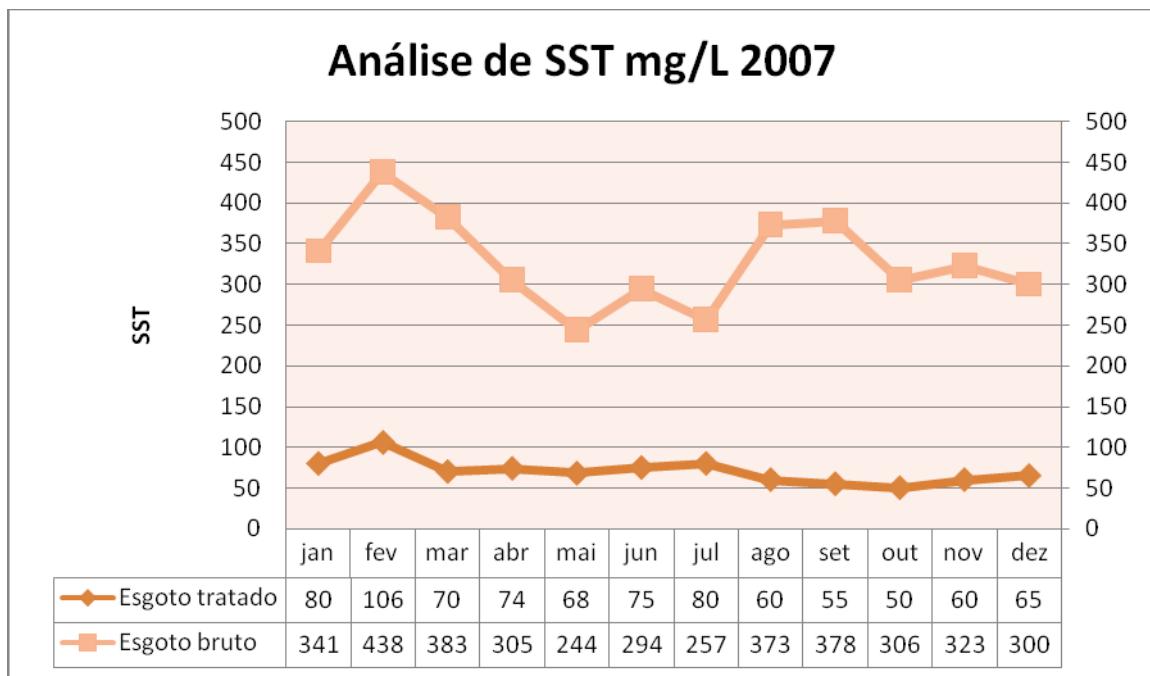


Figura 15 – Análise de SST 2006

As figuras 16 e 17 mostram o desempenho da ETE Aracapé, em relação ao parâmetro Condutividade Elétrica, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída.

Para o parâmetro, condutividade elétrica, observou-se na ETE Aracapé, um pico no mês de julho em 2006. Provavelmente, pode também ser devido à diminuição das chuvas, possibilitando um decréscimo de vazão afluente e consequentemente elevando o teor de sais no sistema, aumentando a condutividade elétrica.

A toxicidade por sais é normalmente associada ao cátion, e não ao ânion dos sais. A indicação da Condutividade Elétrica pode sinalizar a presença elevada ou não de sais, bem como a toxicidade do esgoto tratado.

Foi observado que a variação da condutividade elétrica apresentou-se normal. Como já era de se esperar, no segundo semestre ocorreu um aumento, com pontos de pico, diferentemente do primeiro semestre, provavelmente devido ao período de chuva. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Por outro lado, como esta ETE possui reator anaeróbio, sendo comum a invariabilidade em relação ao clima, é justificável um mau funcionamento. Houve tendência não linear de valores durante o ano de 2006. Em 2007 os valores tiveram tendência linear.

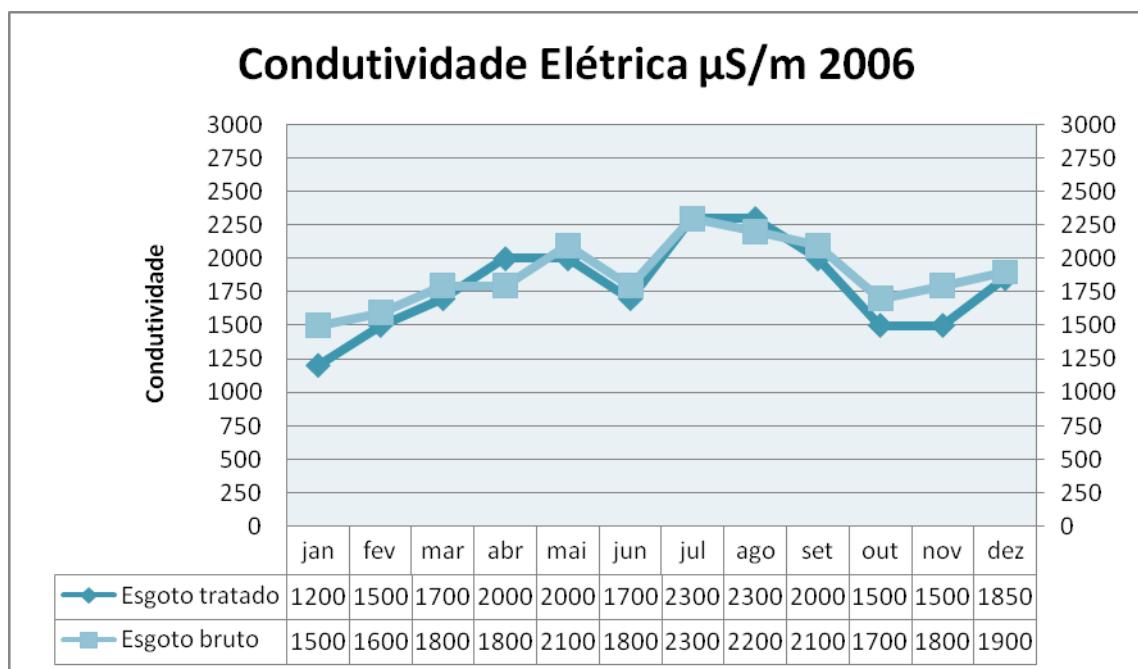


Figura 16 – Análise de Condutividade Elétrica 2006

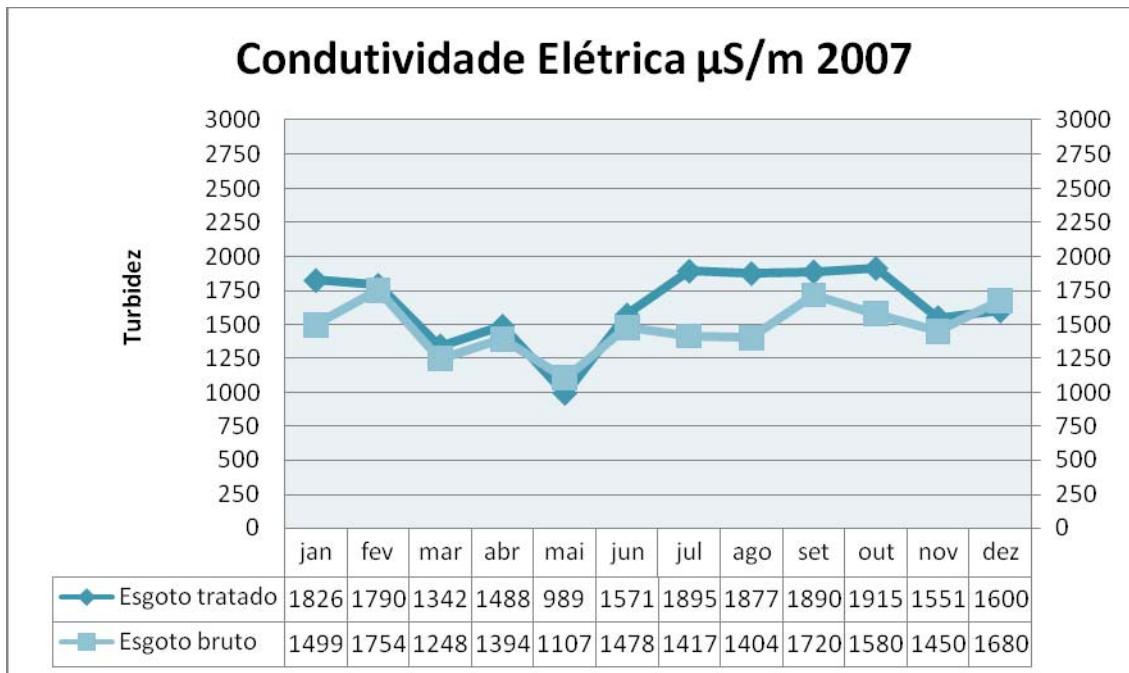


Figura 17 – Análise de Condutividade Elétrica 2007

As figuras 18 e 19 mostram o desempenho da ETE Aracapé, em relação ao parâmetro DBO, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída.

Para o parâmetro DBO, observou-se uma linearidade na ETE Aracapé, sem apresentar picos durante o ano. Provavelmente, pode também ser devido ao bom funcionamento do sistema.

Foi observado que a variação da DBO apresentou-se normal em 2006, o que era de se esperar, devido à ausência de pontos de pico, provavelmente devido à escassez das chuvas. Em 2007, ocorreram picos em fevereiro e decréscimos em março, provavelmente pelo intenso volume de chuvas no referido mês em 2007. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Por outro lado, como esta ETE possui reator anaeróbio, sendo comum a invariabilidade em relação ao clima, é justificável um mau funcionamento, mas ressalta-se que o aumento da vazão pode alterar os valores efluentes do sistema, ou seja, o rendimento da estação pode cair. Houve tendência linear de valores durante o ano de 2006.

É importante mencionar que nos meses de agosto, setembro e novembro, cujos valores afluentes foram considerados altos, podem ser justificados, possivelmente, pela ocorrência de obstruções nas tubulações de entrada, que podem provocar sobrecarga no sistema, ou mesmo por monitoramento de descargas do reator inadequadas, prejudicando a qualidade do tratamento.

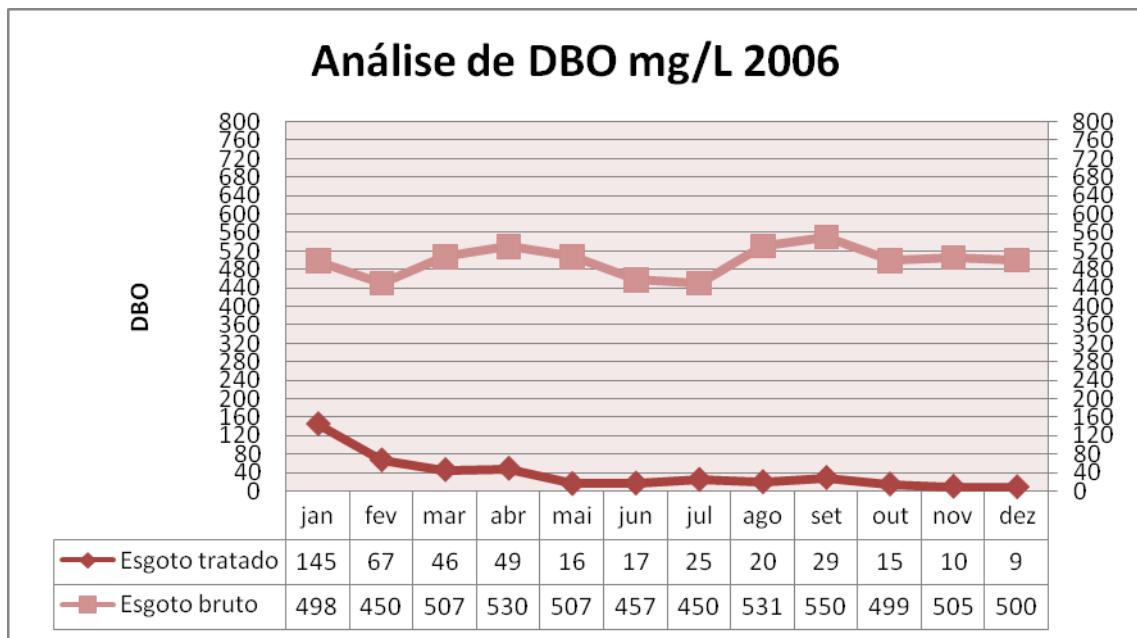


Figura 18 – Análise de DBO 2006

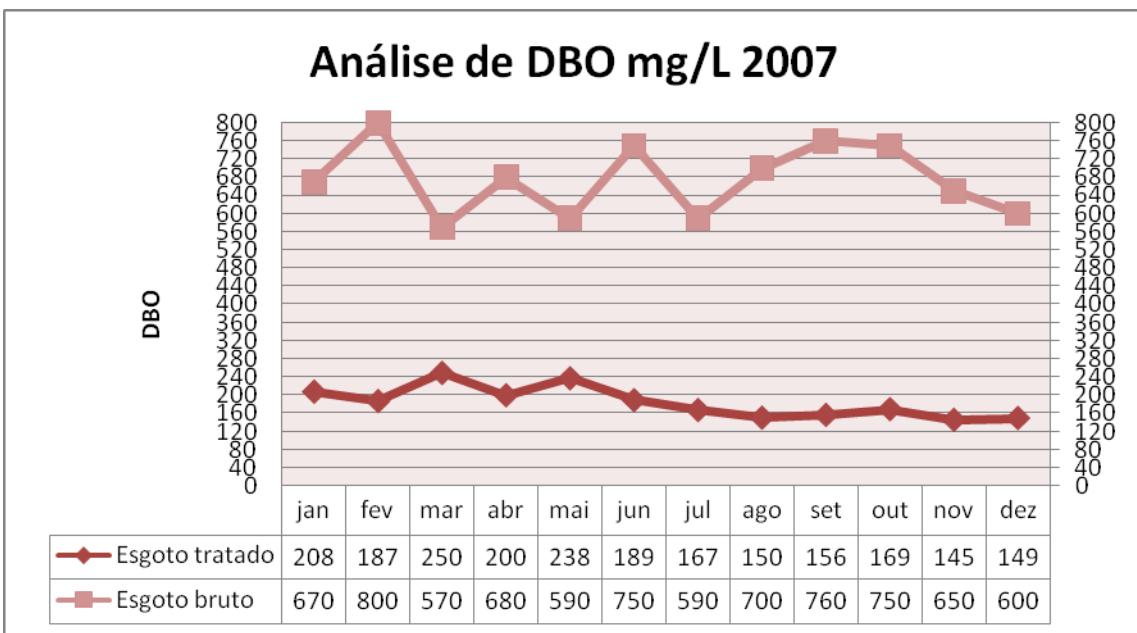


Figura 19 – Análise de DBO 2007

As figuras 20, 21, 22, 23, 24 e 25 mostram os dados de eficiência da ETE Aracapé, com relação aos parâmetros de DBO, SST e DQO.

Nos gráficos de desempenho na remoção de DQO, observou-se no primeiro trimestre, uma linearidade, com valores abaixo do normal, o que era de se esperar, ou seja, com o aumento das chuvas, cresce a vazão e consequentemente diminui a eficiência de remoção de matéria orgânica, devido à sobrecarga no sistema. Mas também pode estar relacionado com o mau funcionamento da estação e inexistência de monitoramento adequado, onde podemos ter como exemplo a execução de descargas mensais insuficientes, causando obstrução do sistema de descarte. Já no segundo semestre, com a diminuição das chuvas e redução da vazão, pôde-se observar um melhor desempenho.

No ano de 2007, se verificou que ocorreu uma linearidade, apresentando valores condizentes com o esperado. Somente no mês de maio, que houve um decréscimo, provavelmente devido ao monitoramento inadequado, principalmente devido ao não cumprimento de efetuação de descargas dos reatores.

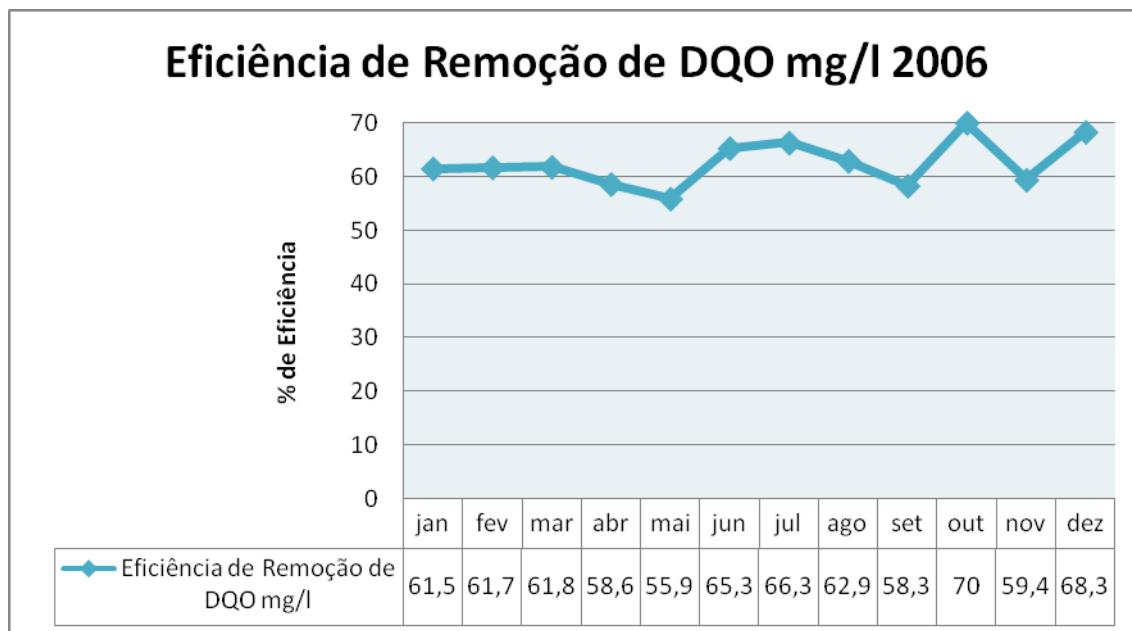


Figura 20 – Análise de Eficiência DQO 2006

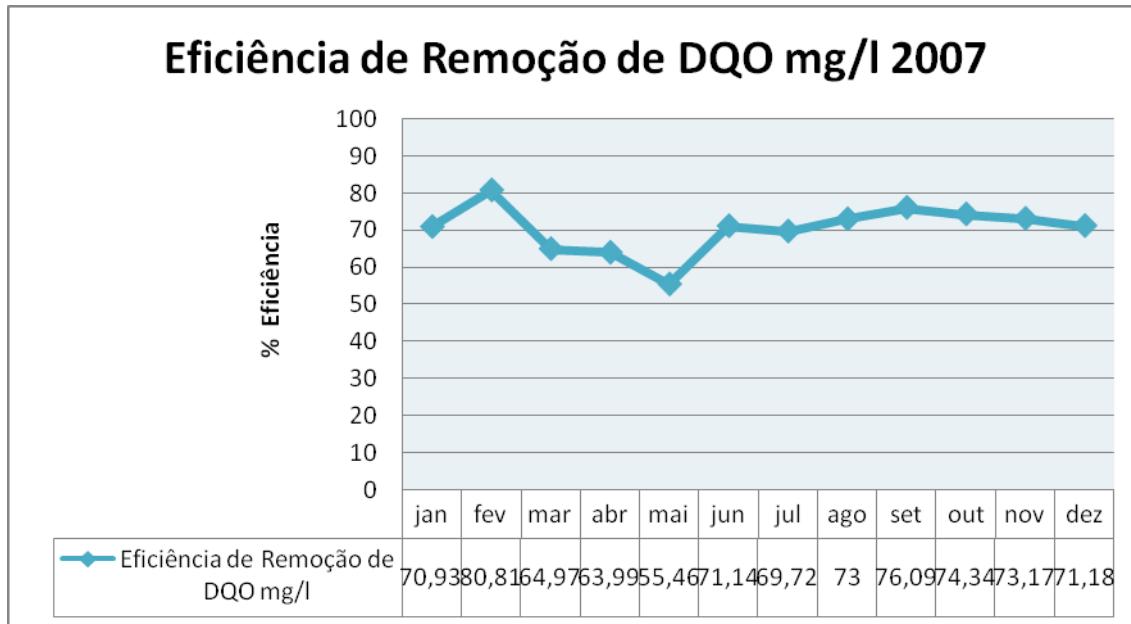


Figura 21 – Análise de Eficiência DQO 2007

Nos gráficos de desempenho na remoção de SST, foi visto que a eficiência de remoção de SST foi menor no período das chuvas, provavelmente devido à falta de monitoramento adequado, principalmente com relação à freqüência de descargas mensais, além do aumento da vazão de chegada na estação, que possibilita um aumento no acúmulo de sólidos no sistema. No ano de 2007, a estação operou de forma satisfatória.

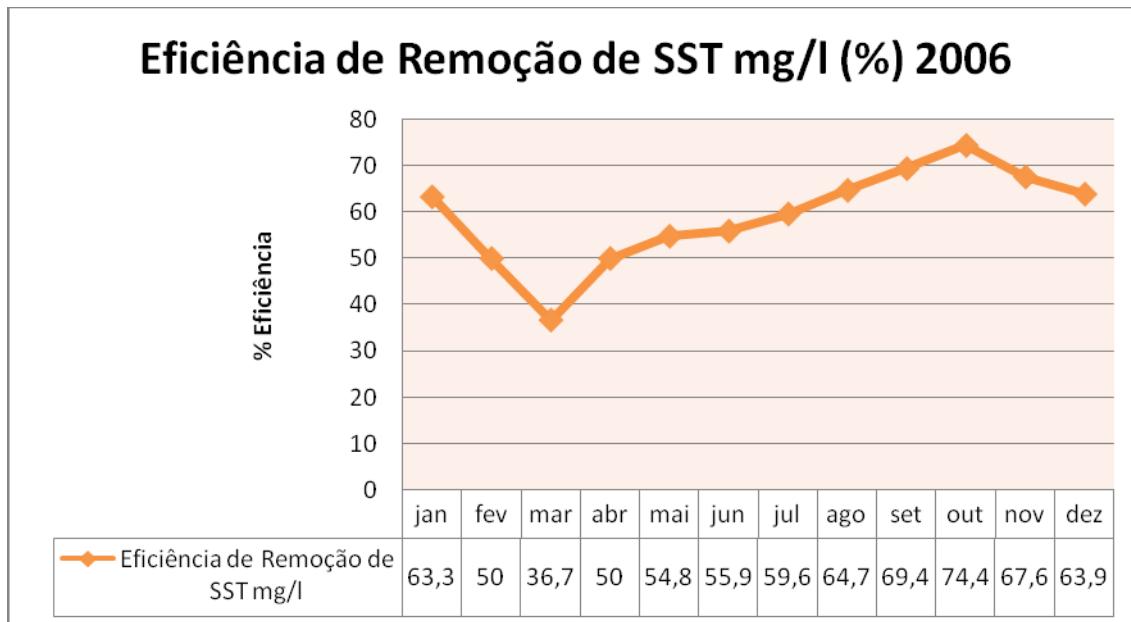


Figura 22 – Análise de Eficiência SST 2006

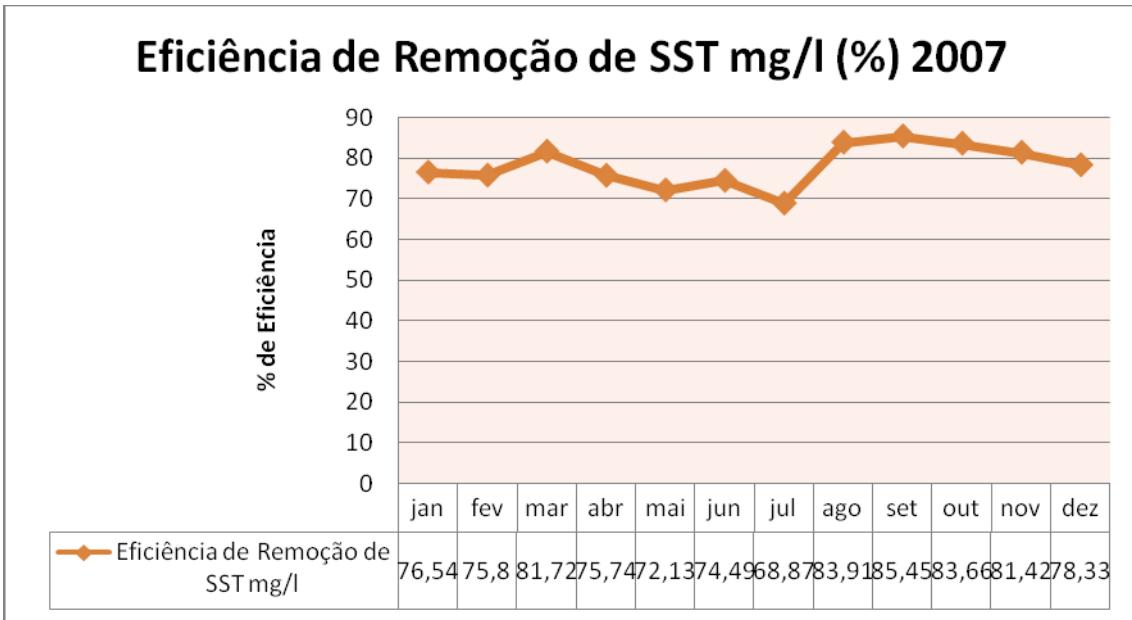


Figura 23 – Análise de Eficiência SST 2007

Nos gráficos de desempenho na remoção de DBO, observou-se no primeiro trimestre, um aumento gradativo na eficiência no ano de 2006, com um valor abaixo do normal no mês de janeiro, o que era de se esperar, ou seja, com o aumento das chuvas, cresce a vazão e consequentemente diminui a eficiência de remoção de matéria orgânica. Mas também pode estar relacionado com o mau funcionamento da estação e inexistência de monitoramento adequado, onde podemos ter como exemplo a execução de descargas mensais insuficientes, causando obstrução do sistema de descarte. Já no segundo semestre, com a diminuição das chuvas e redução da vazão, pôde-se observar um melhor desempenho.

No ano de 2007, pode-se observar que o mesmo seguiu a tendência de 2006, apresentando valores mais adequados com a redução das chuvas. Um fator de extrema importância pode ser entendido, ou seja, o monitoramento inadequado pode ser justificado. A ETE Aracapé foi construída próxima a um riacho, fato este justificado por força de projeto, mas ressalta-se que com o período de chuvas, sobe o nível freático na região, havendo transbordamento na própria estação, principalmente dentro dos leitos de secagem, impossibilitando a retirada de material, que deveria ser retirado quinzenalmente. Este problema refere-se a uma falha de projeto, onde não é objetivo deste trabalho promover críticas aos projetos das

estações estudadas.

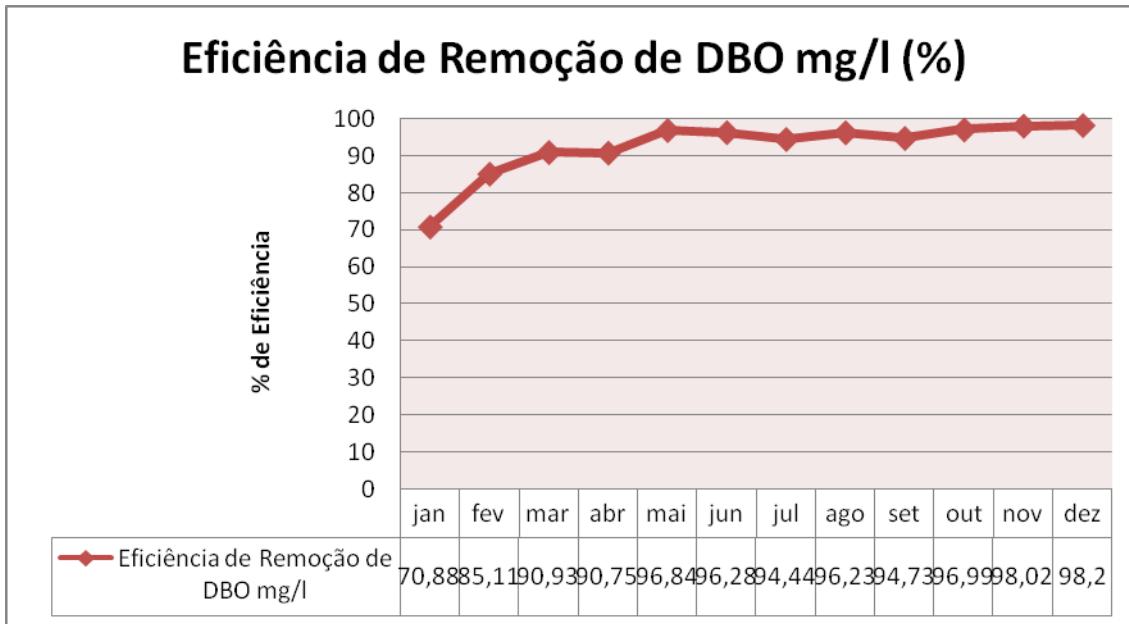


Figura 24 – Análise de Eficiência DBO 2006

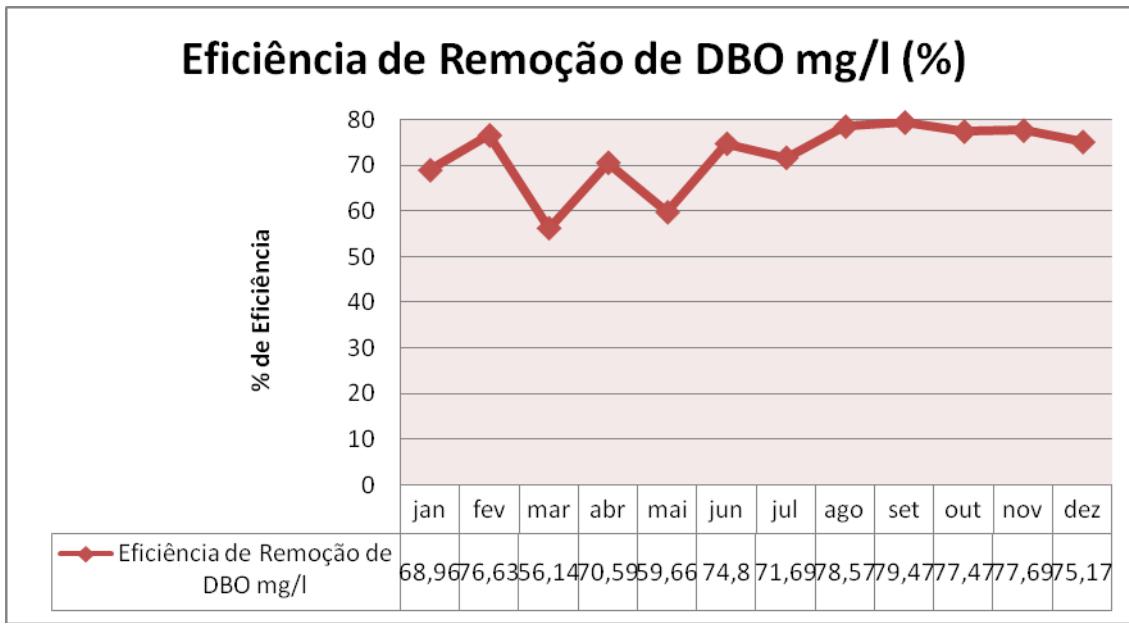


Figura 25 – Análise de Eficiência DBO 2007

A queda na eficiência do sistema pode também ser explicada pela sobrecarga de vazão, que diminui o tempo de detenção hidráulica, elevadas concentrações de ácidos voláteis no reator, alcalinidade reduzida e queda de pH; perda excessiva de

sólidos no sistema, com redução do leito e manta de lodo; presença de substâncias tóxicas no sistema e queda brusca na temperatura.

4.1.2. Desempenho da ETE São Cristóvão nos anos de 2006 e 2007

No sistema de lagoas de estabilização, o esgoto afluente entra numa extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo deste percurso, que demora vários dias, uma série de mecanismos contribuiu para a purificação dos esgotos, onde os mesmos ocorrem basicamente entre três zonas: zona aeróbia, zona anaeróbia e zona facultativa.

A matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo (zona anaeróbia). Este lodo sofre o processo de decomposição por microorganismos anaeróbios sendo convertido lentamente em gás carbônico, água, metano e outros. Após certo período de tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo. O gás sulfídrico gerado não causa problemas de mau cheiro, pelo fato de ser oxidado, por processos químicos e bioquímicos, na camada aeróbia superior.

A matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO particulada) não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. Na camada mais superficial, tem-se a zona anaeróbia. Nesta zona, a matéria orgânica é oxidada por meio da respiração aeróbia. Há necessidade da presença de oxigênio, o qual é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. Para a ocorrência da fotossíntese é necessária uma fonte de energia luminosa, que neste caso é representada pelo sol. Por esta razão, locais com elevada radiação solar e baixa nebulosidade são bastante propícios à implantação de lagoas facultativas.

A fotossíntese, por depender da energia solar, é mais elevada próximo à superfície da lagoa. À medida que se aprofunda a lagoa, a penetração da luz é menor, o que ocasiona a predominância do consumo de oxigênio (respiração) sobre a produção (fotossíntese), com a eventual ausência de oxigênio dissolvido a partir

de certa profundidade.

As figura 26 e 27 mostram o desempenho da ETE São Cristóvão, em relação ao parâmetro DQO (mg/L), onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída, esgoto tratado.

Foi observado que a variação da Demanda Química de Oxigênio - DQO apresentou-se normal, sem pontos de pico no primeiro semestre de 2006, o que certamente justifica que neste período esta estação não operava com uma vazão excedente, que pudesse vir a prejudicar o tratamento. Já no segundo semestre foi verificado que ocorreram dois picos, um no mês de agosto e o outro em novembro, provavelmente devido às obstruções ocorridas no sistema, de acordo com registros. Com relação aos resultados dos efluentes, foi verificado que permaneceu linear. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência linear de valores afluentes durante o ano todo, possivelmente devido ao bom funcionamento proporcionado pelo sistema, o que já era esperado, com base em dados da literatura, onde o sistema de lagoas de estabilização apresenta-se extremamente eficiente, quando submetido às boas condições de operação.

O clima do Estado do Ceará permite que o sistema de lagoas de estabilização seja certamente um dos mais eficientes. No ano de 2007, foi verificado que ocorreram dois picos de vazão afluente e consequentemente um acréscimo de carga orgânica na estação. O primeiro pico pode ter sido devido a problemas hidráulicos, como obstruções, por exemplo, que certamente possibilita uma sobrecarga de vazão no sistema. O segundo pode ter ocorrido devido a problemas de manutenção da estação, provavelmente, de acordo com registros de problemas desta estação, foi detectada uma obstrução na tubulação de entrada, provocando extravazamento e consequentemente acúmulo de carga orgânica no sistema. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato.

O que se pode afirmar é que neste período os valores de vazão afluente foram não lineares, alçando uma maior atenção ao monitoramento desta estação. Com relação aos valores efluentes, foi entendido que a ETE São Cristóvão apresentou valores condizentes com o esperado, ou seja, mostrando um

desempenho excelente. No ano de 2007, o sistema teve um desempenho ainda melhor.

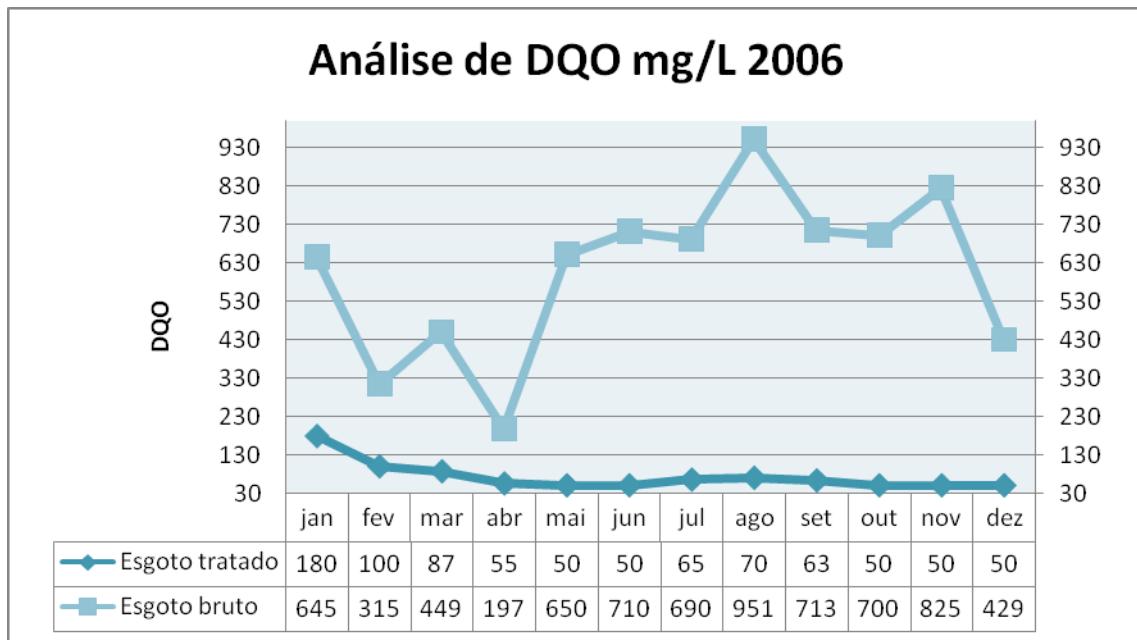


Figura 26 – Análise de DQO 2006

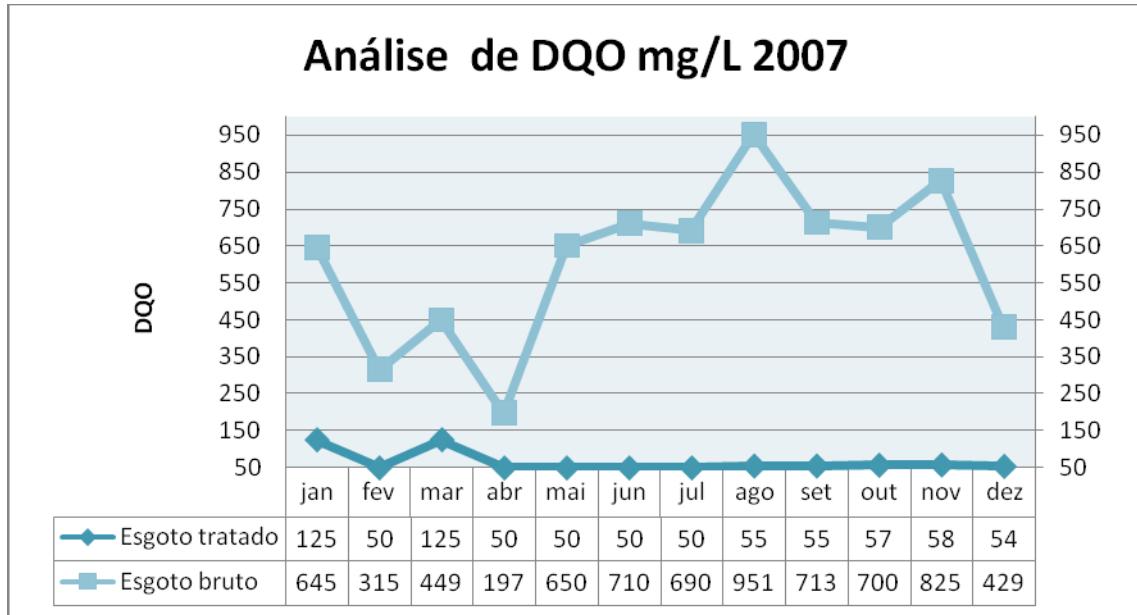


Figura 27 – Análise DQO 2007

A figura 28 e 29 mostram o desempenho da ETE São Cristóvão, em relação ao parâmetro pH, onde são especificados os valores dos dados de afluentes e os valores de efluentes.

O primeiro gráfico mostra as variações dos parâmetros analisados ao longo do ano de 2006. O pH apresentou-se normal, permanecendo em equilíbrio o ano todo e apresentando valores ideais, o que seria esperado de acordo com a literatura. Pode estar associado também à característica de funcionamento da própria ETE.

Convém lembrar, que esta estação, neste período teve condições operacionais muito boas, principalmente devido às constantes limpezas devido à obstrução, principalmente nas tubulações de entrada da mesma, justificando valores de "pH" apropriados. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. A tendência progressiva de queda do pH, com mortandade das algas verdes, pode estar relacionada com a sobrecarga no sistema, longos períodos com condições atmosféricas adversas e organismos se alimentando das algas, provocando também um queda da concentração de oxigênio dissolvido, mudança na cor do efluente de verde para verde – amarelado (predominância de rotíferos e crustáceos, que se alimentam das algas), aparecimento de zonas cinzentas junto ao afluente e maus odores.

No ano de 2007, se verificou que os valores estavam condizentes com o esperado, apresentando valores próximos ao ideal.

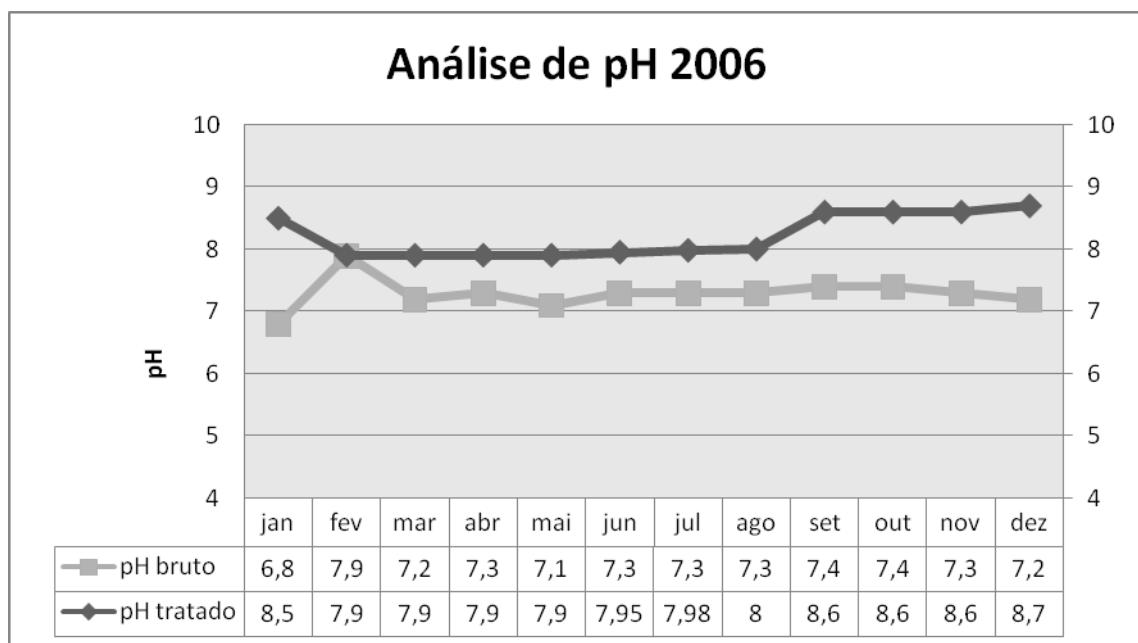


Figura 28 – Análise de pH 2006

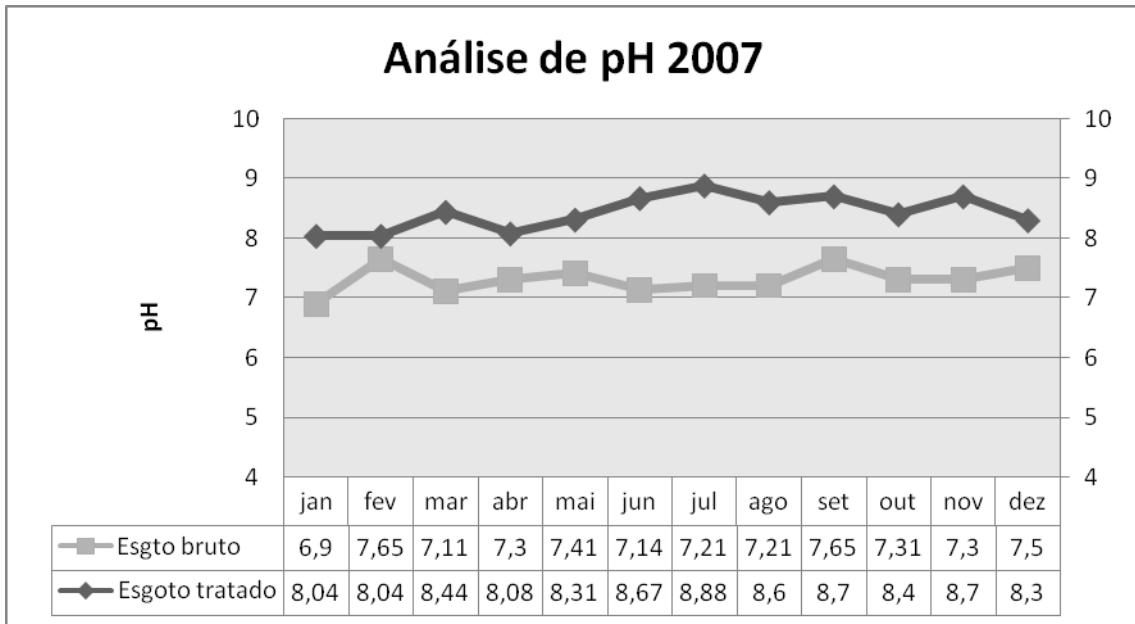


Figura 29 – Análise pH 2007

As figuras 30 e 31 mostram o desempenho da ETE São Cristóvão, em relação ao parâmetro Temperatura, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída.

A temperatura influencia em alguns fatores operacionais, tais como: velocidade de fotossíntese, taxa de decomposição bacteriana, solubilidade e transferência de gases e condições de mistura. Quanto maior a intensidade luminosa, maior será a temperatura e consequentemente aumentará o processo de fotossíntese, já que as algas estarão sendo influenciadas pela presença da luz solar, e maior será a decomposição das bactérias e como também será o processo de transferência de gases e condições de mistura, onde é essencial a mistura numa lagoa de estabilização, pois permite que: minimize da ocorrência de curto - circuitos hidráulicos, minimização de zonas estagnadas, homogeneização da distribuição no sentido vertical da DBO, algas e oxigênio, transporte para a zona fótica superficial das algas não motoras que tendem a sedimentar e transporte para as camadas mais profundas do oxigênio produzido pela zona fótica no processo de fotossíntese.

Foi observado que a variação da Temperatura apresentou-se normal, sem pontos de pico, nos anos de 2006 e 2007. Coleta ou análise incorreta pode justificar

tal fato. Houve tendência linear de valores durante os dois anos, possivelmente devido ao bom desempenho relativo às limpezas de tubulações de entrada da estação, período de chuvas, que ocorreram no ano de 2006 e 2007.

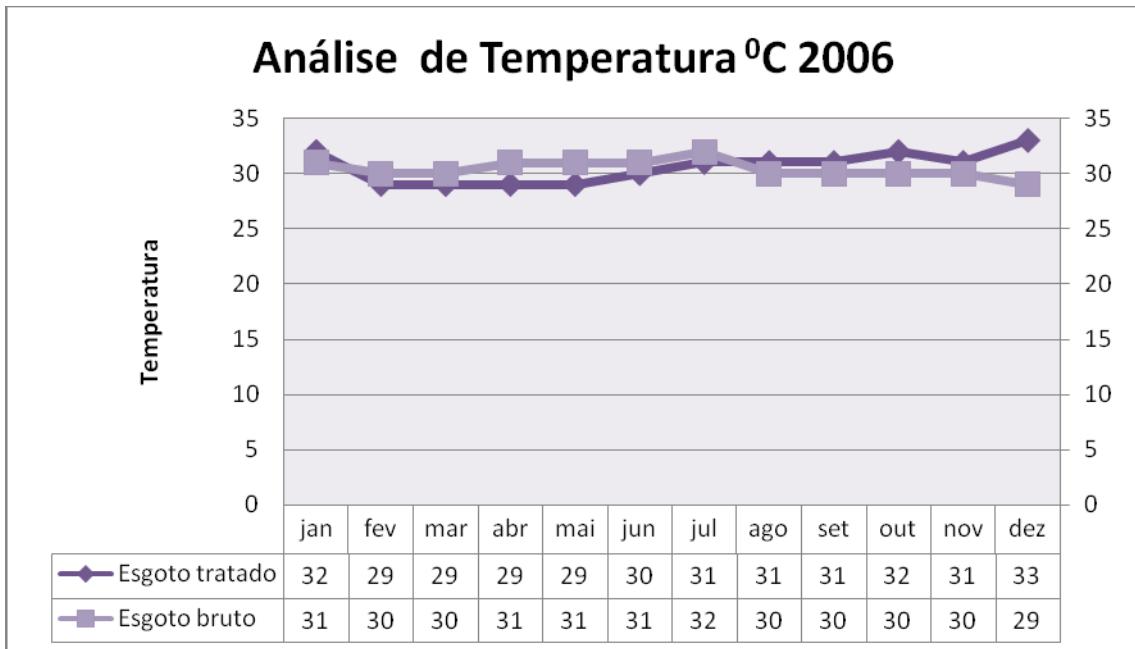


Figura 30 – Análise de Temperatura 2006

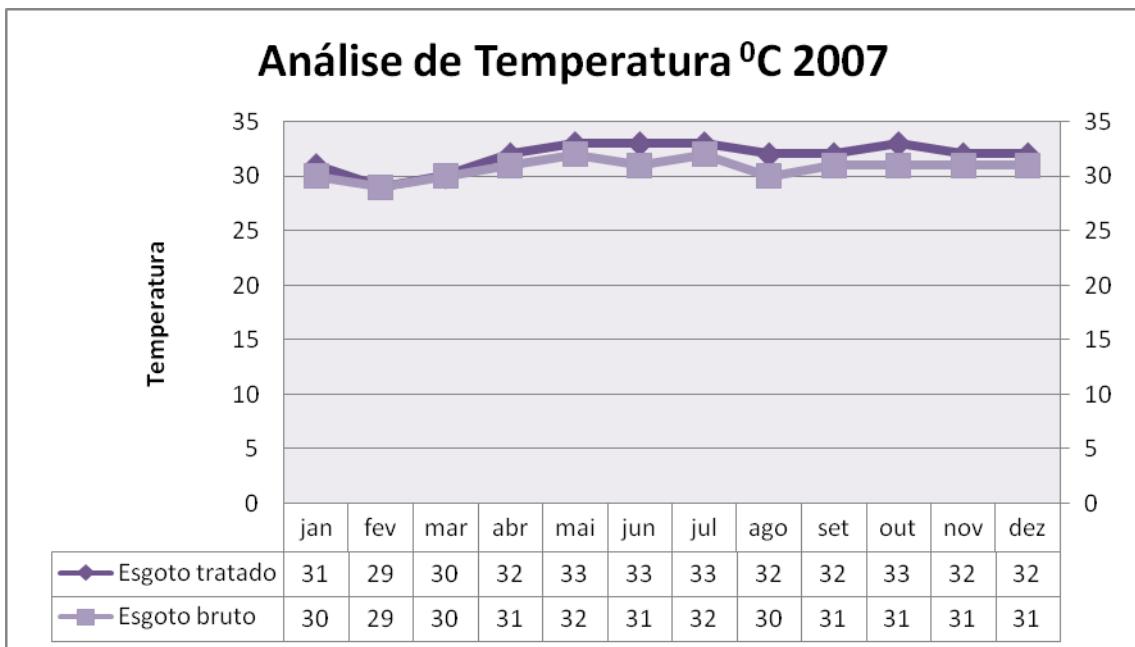


Figura 31 – Análise de Temperatura 2007

As figuras 32 e 33 mostram o desempenho da ETE São Cristóvão, em relação

ao parâmetro Turbidez, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída. Algumas causas que podem gerar turbidez excedente no sistema são: superfloração de algas formando uma nata esverdeada, lançamento de material estranho como lixo, placas de lodo desprendidas do fundo, pouca situação e atuação do vento.

Foi observado que a variação da Turbidez apresentou-se anormal, com pontos de pico na ETE São Cristóvão no mês de agosto de 2006 e setembro de 2007. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência não linear de valores durante os dois anos, possivelmente devido à sobrecarga no sistema devido à necessidade de manutenção, cujas atividades geralmente param o sistema por algumas horas, onde foram fatos que ocorreram no ano de 2006 e 2007.

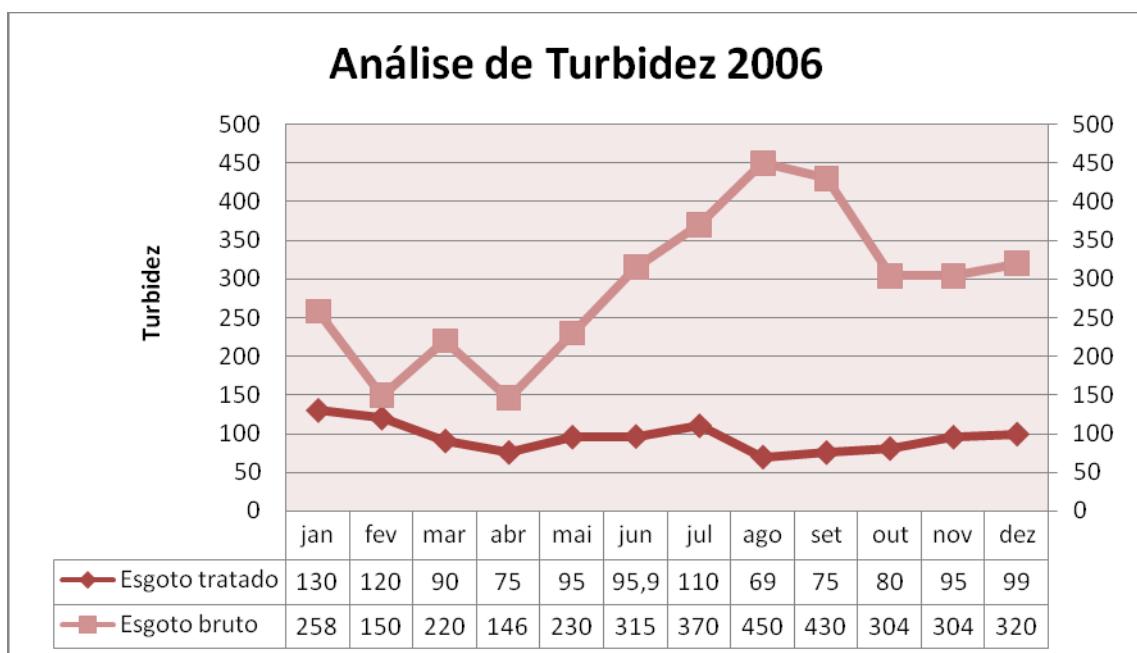


Figura 32 – Análise de Turbidez 2006

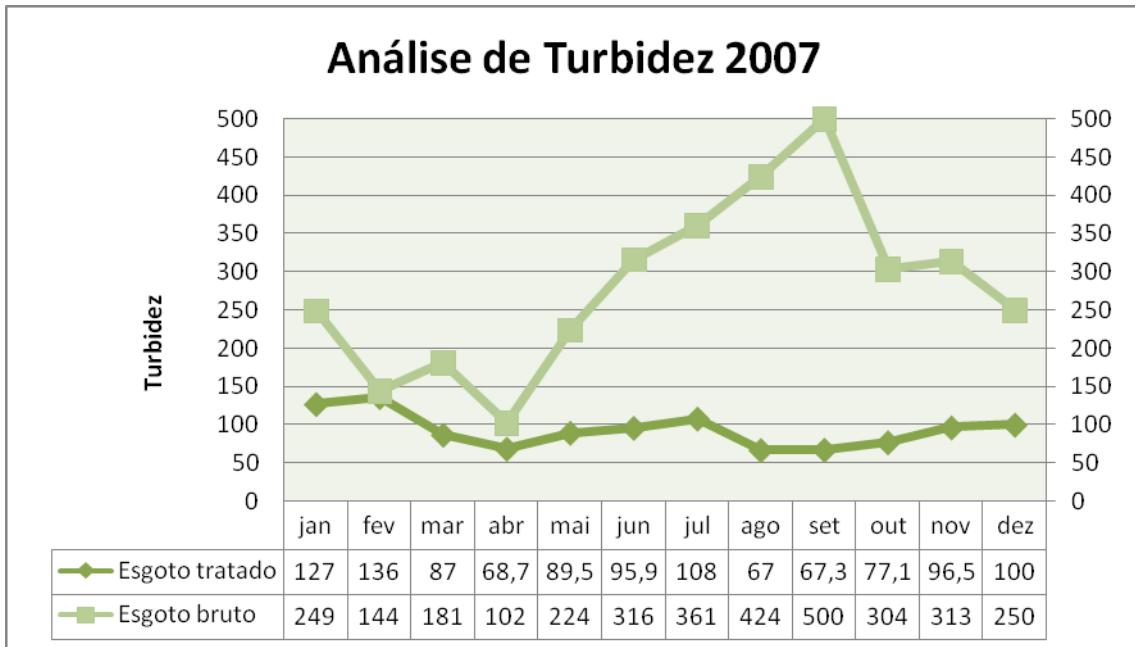


Figura 33 – Análise de Turbidez 2007

As figuras 34 e 35 mostram o desempenho da ETE São Cristóvão, em relação ao parâmetro SST, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída.

Para o parâmetro, Sólidos Sedimentáveis, observou-se na ETE São Cristóvão, um pico no mês de setembro de 2006 e 2007. Provavelmente, pode também ser devido ao aumento de chuvas, possibilitando um acréscimo de vazão afluente e conseqüentemente elevação de sólidos no sistema. Algumas condições atmosféricas podem permitir o favorecimento ao crescimento de certas populações de algas. Foi observado que a variação de SST apresentou-se normal com relação aos dados dos efluentes, sem pontos de pico. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência não linear com relação aos valores afluentes durante os dois anos, possivelmente devido ao aumento e diminuição das vazões de entrada.

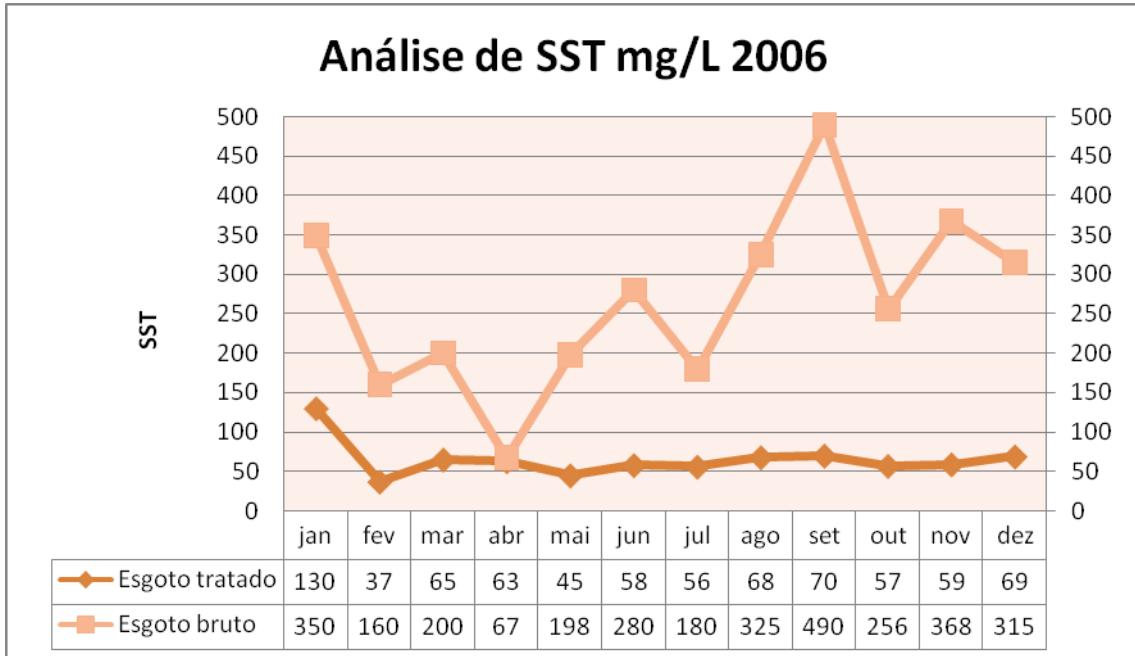


Figura 34 – Análise de SST 2006

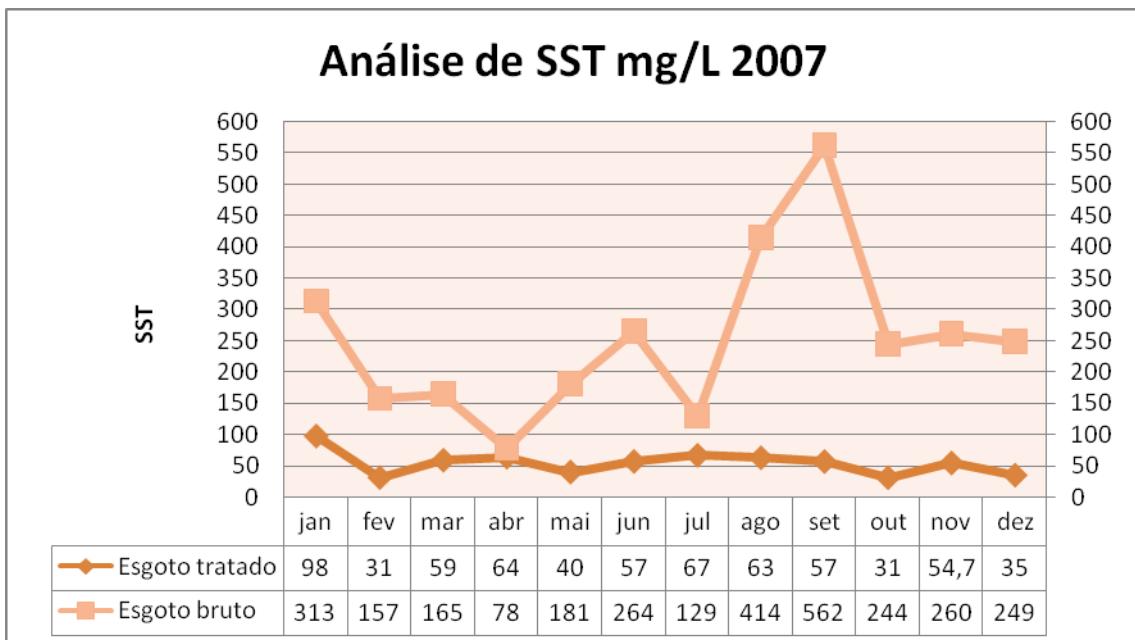


Figura 35 – Análise de SST 2007

As figuras 36 e 37 mostram o desempenho da ETE São Cristóvão, em relação ao parâmetro Condutividade Elétrica, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída.

Para o parâmetro, Condutividade Elétrica, observou-se na ETE São Cristóvão, ocorreu um decréscimo acentuado no mês de fevereiro em 2006 e 2007. Provavelmente, pode também ser devido ao aumento das chuvas, possibilitando um aumento na vazão afluente e consequentemente diminuindo o teor de sais no sistema, reduzindo a condutividade elétrica. Foi observado que a variação da condutividade elétrica apresentou-se normal. Como já era de se esperar, no segundo semestre ocorreu um aumento, com pontos de pico, diferentemente do primeiro semestre, provavelmente devido ao período das chuvas, que é menos intenso. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato.

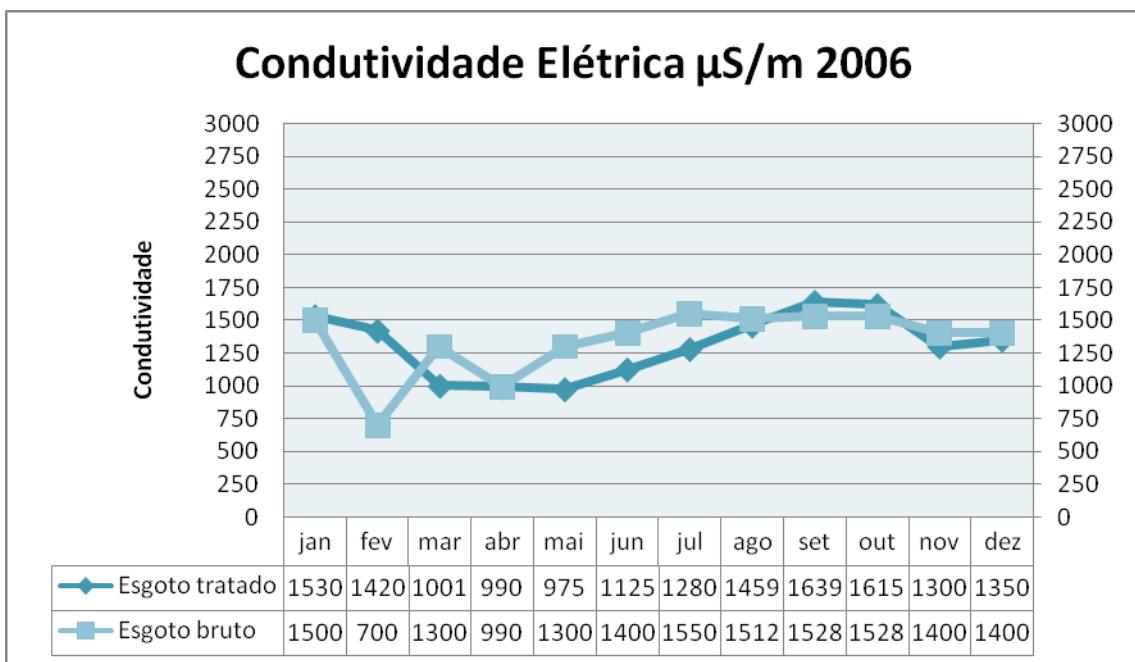


Figura 36 – Análise de Condutividade Elétrica 2006

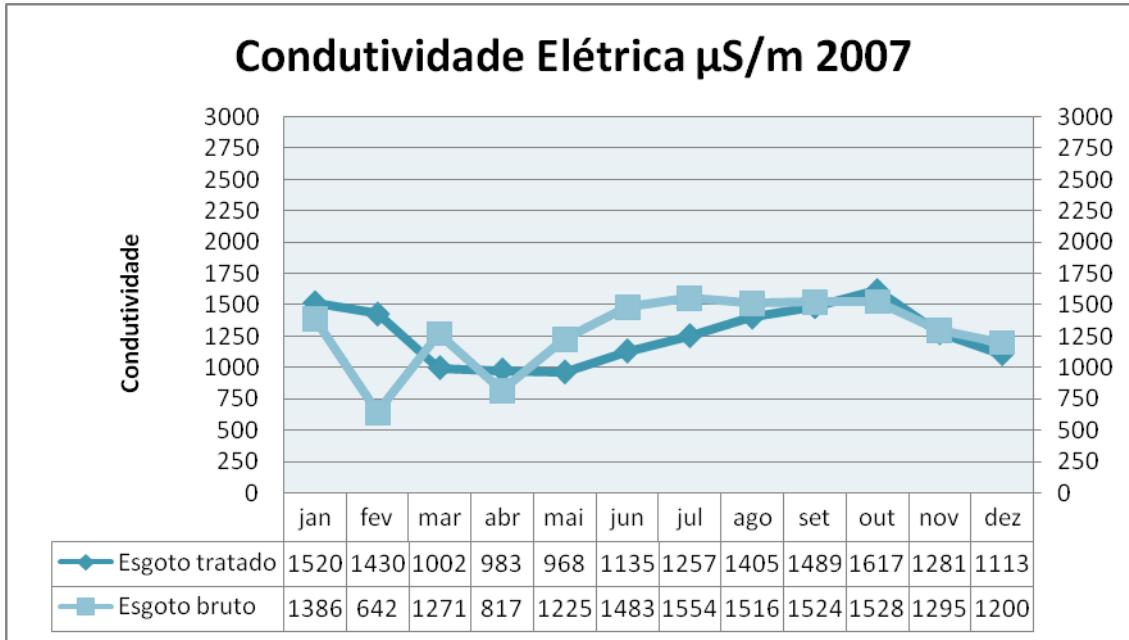


Figura 37 – Análise de Conduvidade Elétrica 2007

As figuras 38 e 39 mostram o desempenho da ETE São Cristóvão, em relação ao parâmetro DBO, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída.

Para o parâmetro DBO, observou-se uma não linearidade nos dados dos afluentes na ETE São Cristóvão, apresentando picos durante o ano de 2006 e 2007, onde se observou uma medição idêntica, nos dois anos, fato que pode ser explicado por coletas erradas. Provavelmente, pode também ser devido ao bom funcionamento do sistema. Foi observado que a variação da DBO efluente apresentou-se normal em 2006 e 2007, o que era de se esperar, devido à ausência de pontos de pico, provavelmente devido ao bom funcionamento do sistema. Em 2006 e 2007, ocorreram picos em agosto. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência linear de valores durante o ano de 2006.

É importante mencionar que nos meses de agosto, setembro e novembro, cujos valores afluentes foram considerados altos, podem ser justificados, possivelmente, pela ocorrência de obstruções nas tubulações de entrada, que podem provocar sobrecarga no sistema, ou mesmo por monitoramento prejudicando a qualidade do tratamento. Pode existir uma justificativa, para um aumento da DBO

em agosto, durante os anos de 2006 e 2007, onde possivelmente a explicação pode estar direcionada a um aumento da vazão afluente devido o período de férias em Fortaleza, onde a quantidade de pessoas que circulam na cidade é maior.

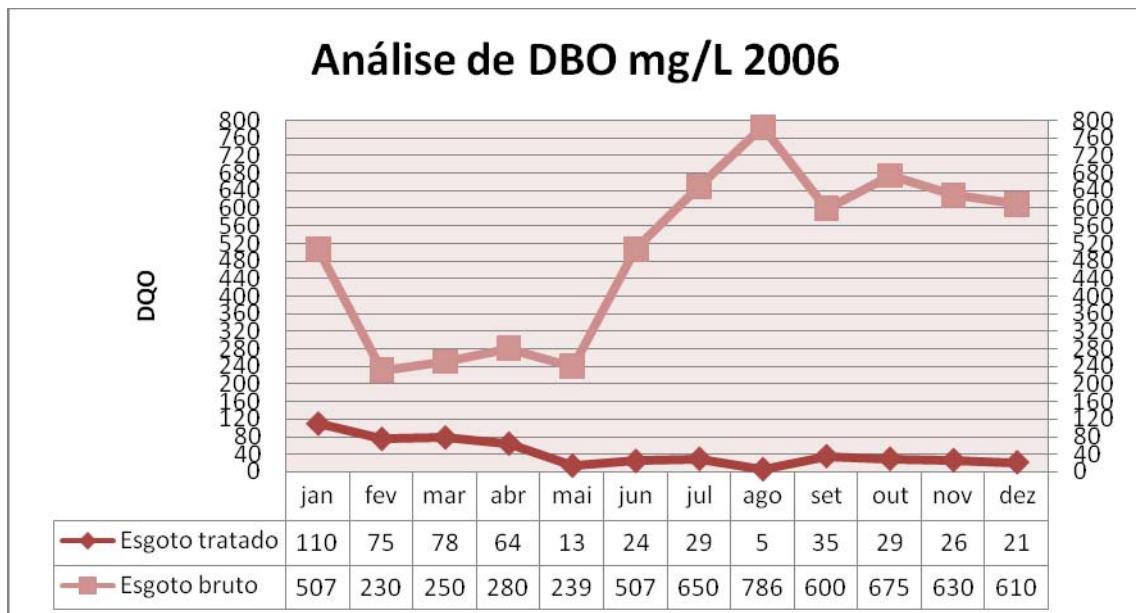


Figura 38 – Análise de DBO 2006

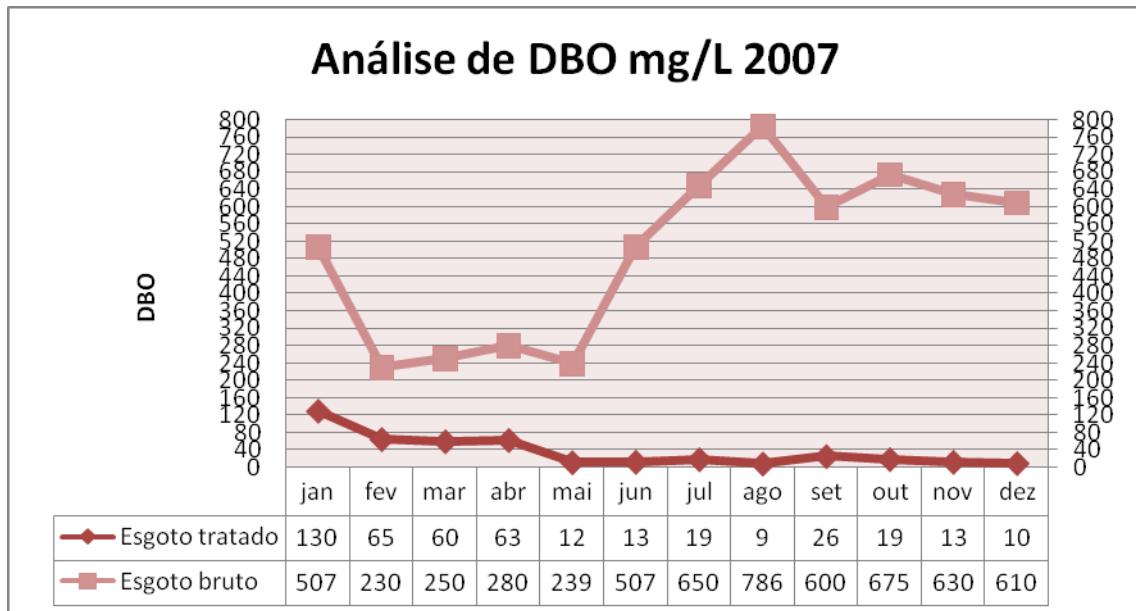


Figura 39 – Análise de DBO 2007

As figuras 40, 41, 42, 43, 44 e 45 mostram os dados de eficiência da ETE São

Cristóvão, com relação aos parâmetros de DBO, SST e DQO.

Nos gráficos de desempenho na remoção de DQO, observou-se no primeiro trimestre, uma não linearidade, com valores abaixo do normal, o que era de se esperar, ou seja, com o aumento das chuvas, cresce a vazão e consequentemente diminui a eficiência de remoção de matéria orgânica, devido à sobrecarga no sistema, diminuição da incidência da luz do sol e provavelmente um decréscimo de oxigênio. Mas também pode estar relacionado com o mau funcionamento da estação e inexistência de monitoramento adequado, onde podemos ter como exemplo a não desobstrução do sistema, principalmente na tubulação de entrada. Já no segundo semestre, com a diminuição das chuvas e redução da vazão, pôde-se observar um melhor desempenho.

No ano de 2007, verificou-se que ocorreu uma linearidade no segundo semestre seguindo a mesma tendência de 2006, apresentando valores condizentes com o esperado.

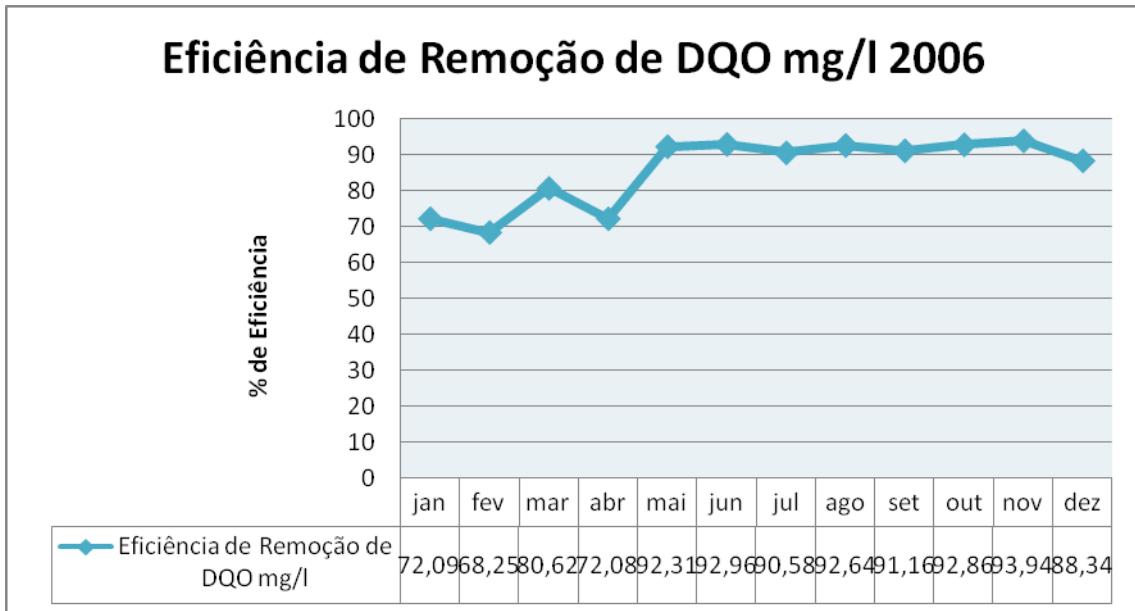


Figura 40 – Análise de Eficiência DBO 2006

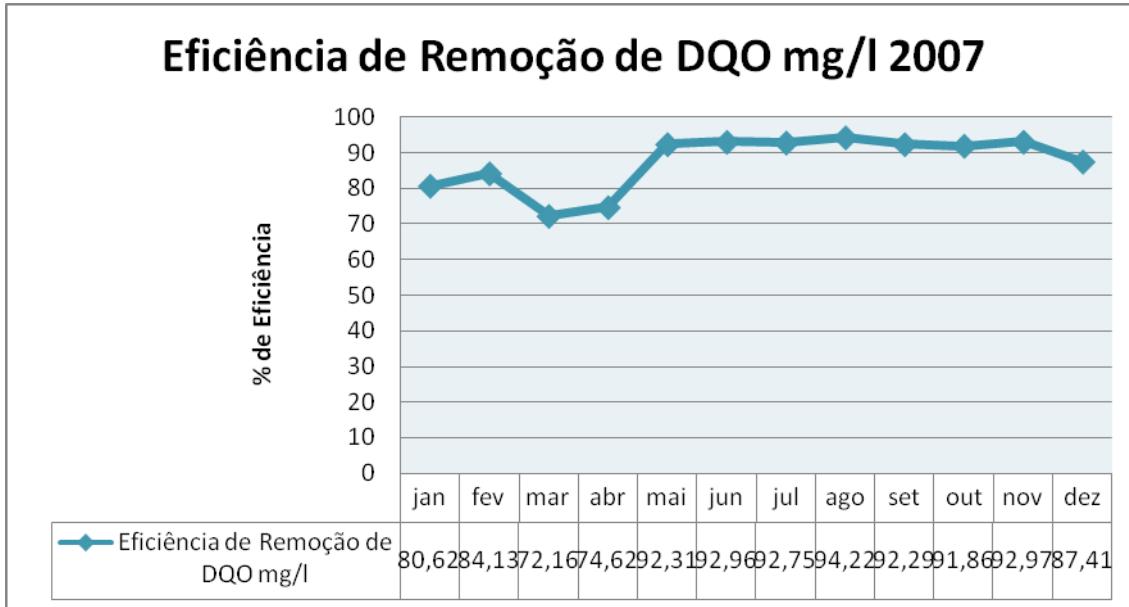


Figura 41 – Análise de Eficiência DBO 2007

Nos gráficos de desempenho de remoção de SST, foi visto que a eficiência de remoção de SST foi menor no período das chuvas especificamente no mês de abril provavelmente devido a problemas de obstrução na tubulação de entrada.

Pela brusca diminuição na eficiência do sistema em abril de 2006 e 2007, pode-se concluir que certamente, deve ter havido um problema atípico.

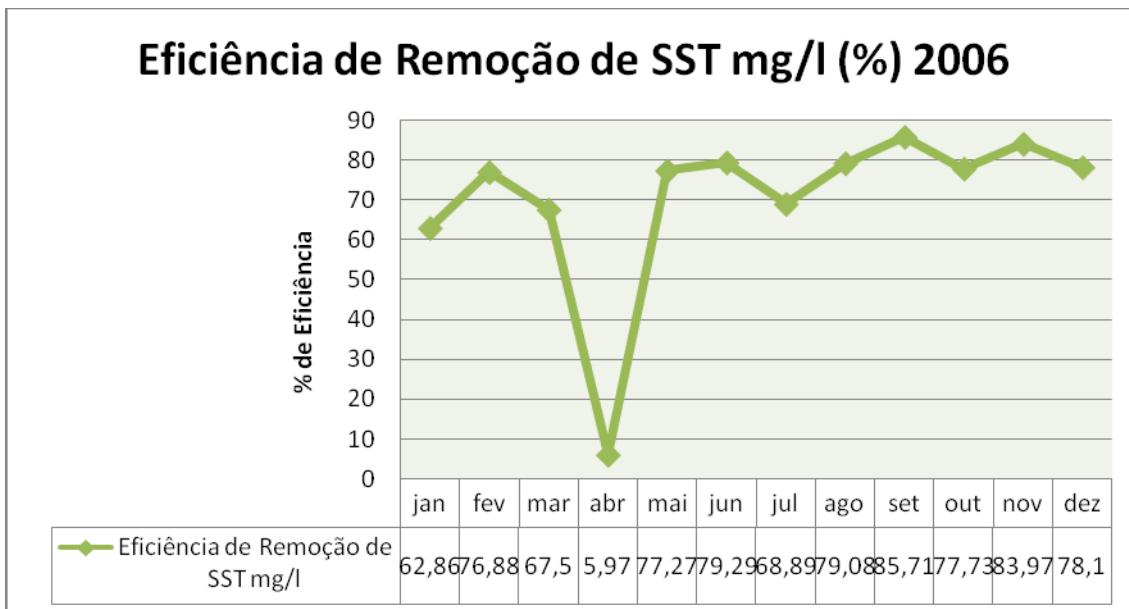


Figura 42 – Análise de Eficiência SST 2006

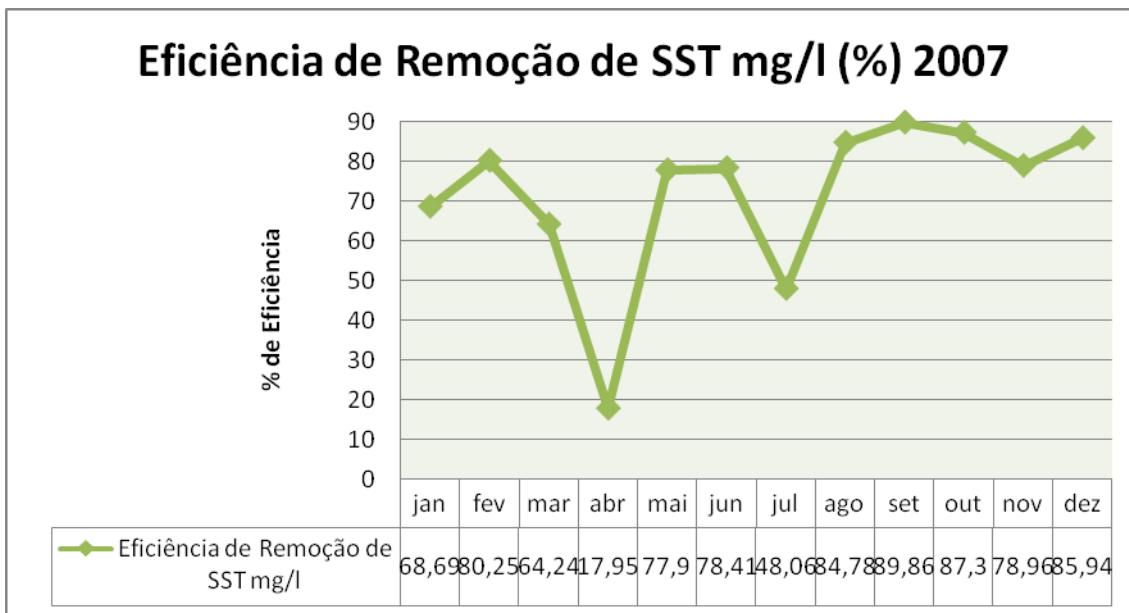


Figura 43 – Análise de Eficiência SST 2007

Nos gráficos de desempenho na remoção de DBO, observou-se no primeiro trimestre, uma diminuição gradativa na eficiência no ano de 2006 e 2007, com um valor abaixo do normal entre os meses de janeiro e abril, o que era de se esperar, ou seja, com o aumento das chuvas, cresce a vazão e consequentemente diminui a eficiência de remoção de matéria orgânica. Este fato também pode estar relacionado com o mau funcionamento da estação e inexistência de monitoramento adequado. Outro fator responsável pode ser a diminuição da radiação solar, já que o mesmo proporciona a diminuição do processo fotossintético no sistema. Já no segundo semestre, com a diminuição das chuvas e redução da vazão, pôde-se observar um melhor desempenho.

No ano de 2007, pode-se observar que o mesmo seguiu a tendência de 2006, apresentando valores mais adequados com a redução das chuvas. O monitoramento inadequado pode ser justificado.

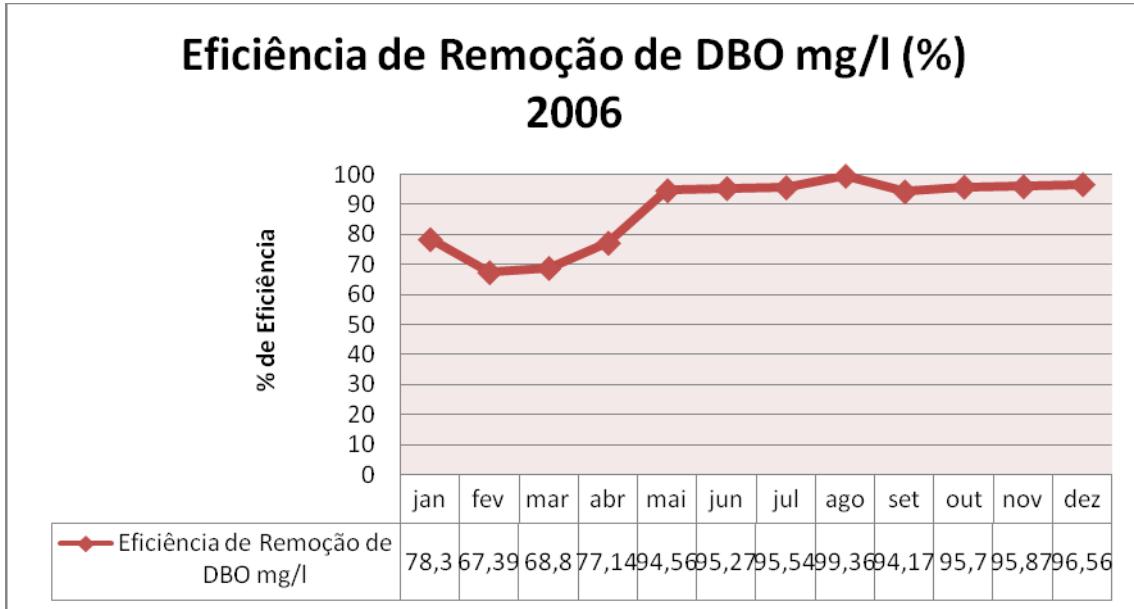


Figura 44 – Análise de Eficiência DBO 2006

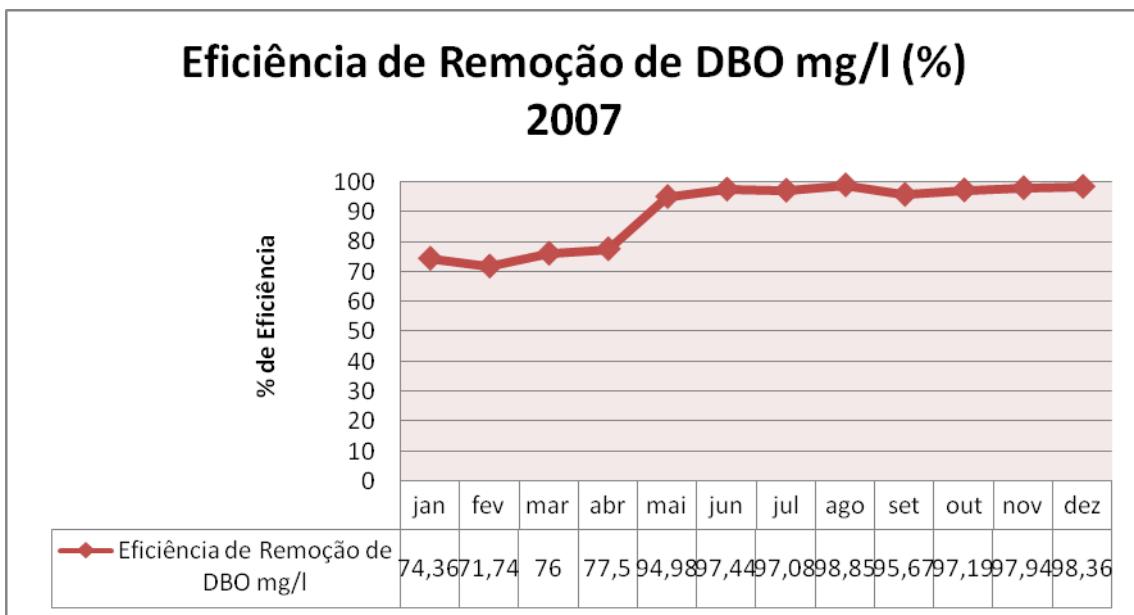


Figura 45 – Análise de Eficiência DBO 2007

4.1.3. Desempenho da ETE Almirante Tamandaré nos anos de 2006 e 2007

As figura 46 e 47 mostram o desempenho da ETE Almirante Tamandaré, em relação ao parâmetro DQO (mg/L), onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída, esgoto tratado.

Um sistema constituído de um decanto-digestor de duas câmaras em série com um pequeno filtro de pedras de fluxo ascendente, acoplado à segunda câmara em comunicação direta, e seguido de filtros anaeróbios de fluxo ascendente, vem sendo aplicado e desenvolvido tecnologicamente. Este trabalho apresenta dados de pesquisa que comprovam a eficiência deste modelo de sistema, em escala real de operação.

Nos decanto-digestores de câmaras em série, a primeira câmara acumula a maior quantidade de lodo porque tem maior volume e recebe sólidos de mais fácil decantação, e, apesar da eficiência na sedimentação ser prejudicada por bolhas de gases ascendentes e por mistura natural, promove também significativa remoção da matéria orgânica dissolvida nos esgotos, justamente devido à maior concentração de lodo ativo e à mistura. A segunda câmara, contendo pouco lodo, permite uma sedimentação mais tranquila e mais eficiente na remoção de sólidos suspensos, devido à menor interferência das bolhas de gases resultantes da digestão do lodo, propiciando eficiência global bem maior do que uma única câmara de igual volume.

O efluente de um decanto-digestor contém ainda grande concentração de sólidos, matéria orgânica solúvel, e nutrientes inorgânicos. Dependendo do destino ou da capacidade de autodepuração do corpo receptor, pode ser necessário um pós-tratamento para atender aos requisitos de qualidade do efluente. Atualmente, é comum a associação de decanto-digestor com filtros biológicos anaeróbios, constituindo-se num exemplo clássico de combinação de reatores anaeróbios.

Os filtros anaeróbios são reatores que dispõem de uma camada de material suporte (“leito”), em cuja superfície ocorre a fixação de microrganismos e o desenvolvimento de biofilmes. O fluxo hidráulico, ascendente, horizontal ou descendente, ocorre nos interstícios do leito formado pelo material suporte, onde também proliferam microrganismos que podem se agrregar na forma de grânulos e flocos.

Tanto podem ser aplicados para tratamento de esgotos concentrados como de baixa carga orgânica. Contudo, são mais indicados para esgotos diluídos, porque os riscos de entupimentos do meio filtrante aumentam com a concentração de

sólidos suspensos. Portanto, embora possam ser utilizados como unidade principal do tratamento dos esgotos, são mais adequados para pós-tratamento (polimento). Certamente estarão mais bem associados quando precedidos de um reator que retenha sólidos decantáveis, como o decanto-digestor, promovendo depuração complementar.

Apenas os filtros anaeróbios de fluxo ascendente têm sido significativamente aplicados e pesquisados, para tratamento de esgotos sanitários. Sobre os filtros de fluxo descendente, praticamente não se tem realizado estudos e pesquisas. Sobretudo, pouco se conhece sobre filtros de fluxo descendente com leito afogado. Para um sistema anaeróbio simples como este, é bastante elevada à eficiência na remoção da DQO, sobretudo na remoção da DQO solúvel, devida a depuração complementar propiciada pelos filtros, e também é notável a eficiência na remoção de sólidos suspensos.

Foi observado que a variação da Demanda Química de Oxigênio - DQO apresentou-se normal, sem pontos de pico a partir de abril até o fim de 2006, o que certamente justifica que neste período esta estação não operava com uma vazão excedente, que pudesse vir a prejudicar o tratamento. Já de janeiro a março foi verificado o aumento nas vazões afluentes, provavelmente devido às obstruções ocorridas no sistema, de acordo com registros, como também devido ao período de chuvas, fazendo com que a vazão de entrada seja maior. Com relação aos resultados dos efluentes, foi verificado que permaneceu linear. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência linear de valores afluentes durante o ano todo, possivelmente devido ao bom funcionamento proporcionado pelo sistema, o que já era esperado, com base em dados da literatura, onde o sistema decanto digestor, seguido por filtro anaeróbio apresenta-se bem eficiente no tratamento de esgotos domésticos, quando submetido às boas condições de operação.

No ano de 2007, foi verificado que ocorreram dois picos de vazão afluente e consequentemente um acréscimo de carga orgânica na estação. O primeiro pico pode ter sido devido ao período de chuvas e aumento de pessoas na cidade de Fortaleza, já que coincide com este período a alta estação no Estado do Ceará, que

certamente possibilitou uma sobrecarga de vazão no sistema. O segundo pode ter ocorrido devido a problemas hidráulicos ou problemas de manutenção da estação, provavelmente, de acordo com registros de problemas desta estação, uma obstrução na tubulação de entrada, provocando extravazamento e consequentemente ter acumulado carga orgânica no sistema. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato.

O que se pode afirmar é que neste período os valores de vazão afluente foram não lineares, alcancando uma maior atenção ao monitoramento desta estação.

Com relação aos valores efluentes, foi entendido que a ETE Almirante Tamandaré apresentou valores condizentes com o esperado, ou seja, mostrando um desempenho excelente. No ano de 2007, o sistema teve um desempenho ainda melhor, de acordo com as vazões de entrada ou afluentes.

Nas figuras se verifica que a evolução das concentrações da DQO total ao longo do tempo e dos reatores. Percebe-se a menor amplitude de variação nas saídas dos reatores, comparadas com as entradas.

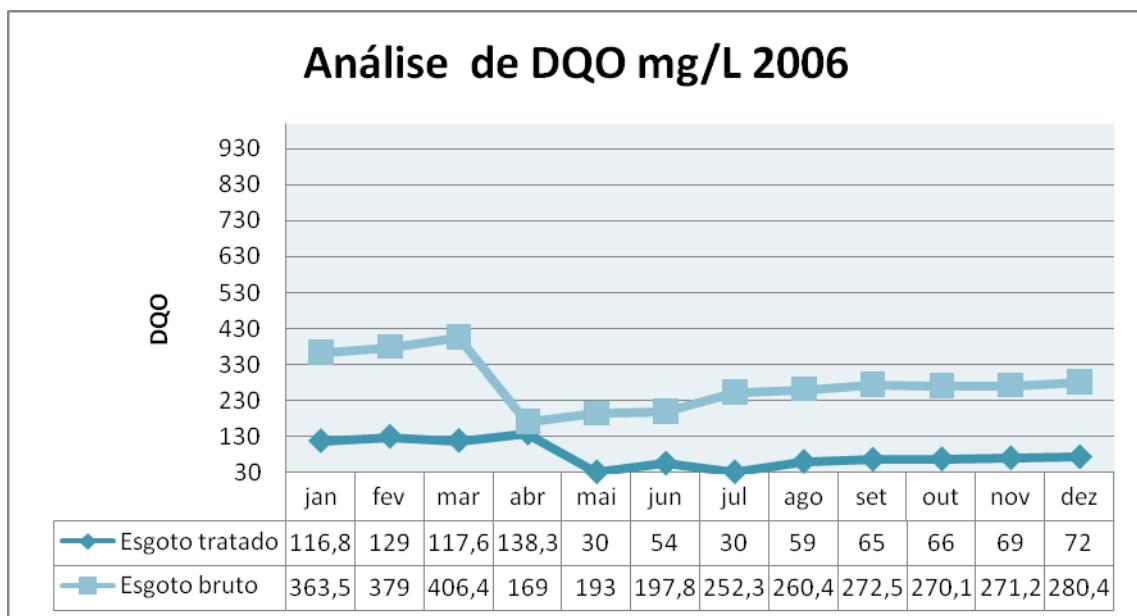


Figura 46 – Análise de DBO 2006

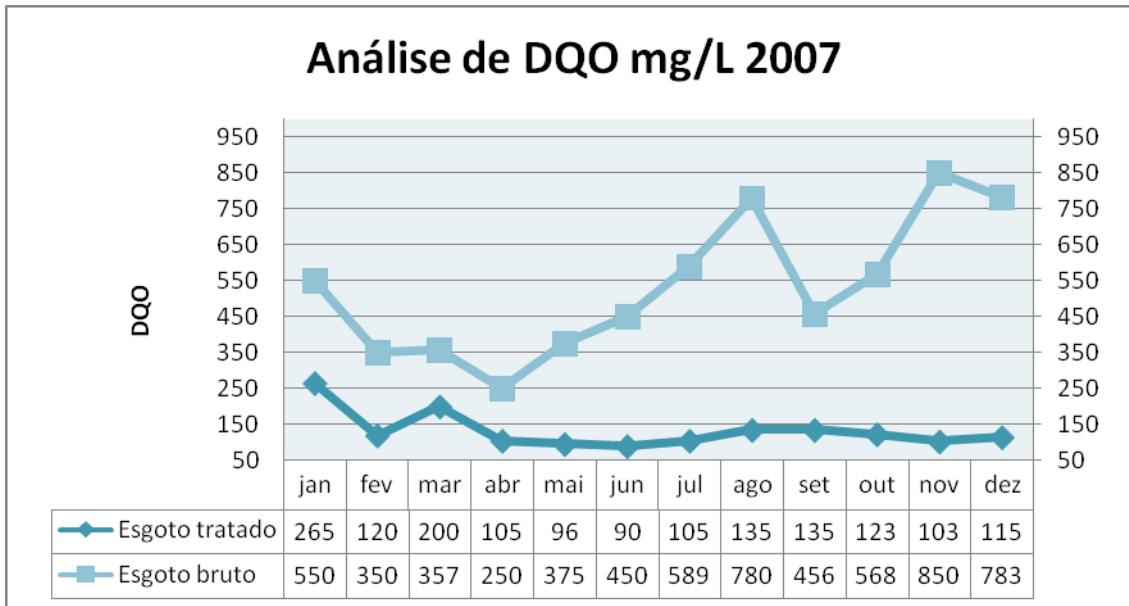


Figura 47 – Análise de DBO 2007

A figura 48 e 49 mostram o desempenho da ETE Almirante Tamandaré, em relação ao parâmetro pH, onde são especificados os valores dos dados de afluentes e os valores de efluentes. O primeiro gráfico mostra as variações dos parâmetros analisados ao longo do ano de 2006. O pH apresentou-se normal, permanecendo em equilíbrio o ano todo e apresentando valores ideais, o que seria esperado de acordo com a literatura. Pode estar associado também à característica de funcionamento da própria ETE. Somente no mês de março ocorreu uma queda no valor do pH, possivelmente devido a fatores operacionais, pois a queda se deu com o esgoto tratado. Deve ficar bem claro, que esta estação, neste período teve condições operacionais muito boas, principalmente devido às constantes limpezas devido à obstrução, principalmente nas tubulações de entrada da mesma, justificando valores de “pH” apropriados. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato.

No ano de 2007, se verificou que os valores estavam condizentes com o esperado, apresentando valores próximos ao ideal. Note que o valor médio do pH eleva-se moderadamente nos reatores e a amplitude de variação diminui sensivelmente, demonstrando boa estabilidade no sistema. A alcalinidade de bicarbonato constituiu um fator preponderante para impedir quedas bruscas de pH.

A relação de alcalinidade (alcalinidade de bicarbonato/alcalinidade total) manteve valor médio de 0,7 em todo os reatores do sistema nas duas etapas do estudo, constituindo um indicativo de que o sistema admite receber incremento de carga orgânica.

A redução de ácidos graxos voláteis ao longo da seqüência de reatores nos leva a crer que as populações de bactérias acidogênicas e metanogênicas interagem em equilíbrio neste sistema. O sistema decanto-digestor seguido de filtro ascendente apresentou maior capacidade em remover os ácidos voláteis na 1^a etapa, enquanto na 2^a etapa os filtros descendentes foram mais eficientes. A análise do parâmetro pH nos permite concluir que o sistema apresentou boa capacidade de tamponamento e o incremento de vazão não afetou a estabilidade do processo. Apesar de tudo, parece que a eficiência do filtro não sofre grandes prejuízos e o esgotamento é suficiente para restabelecer condições normais de funcionamento.

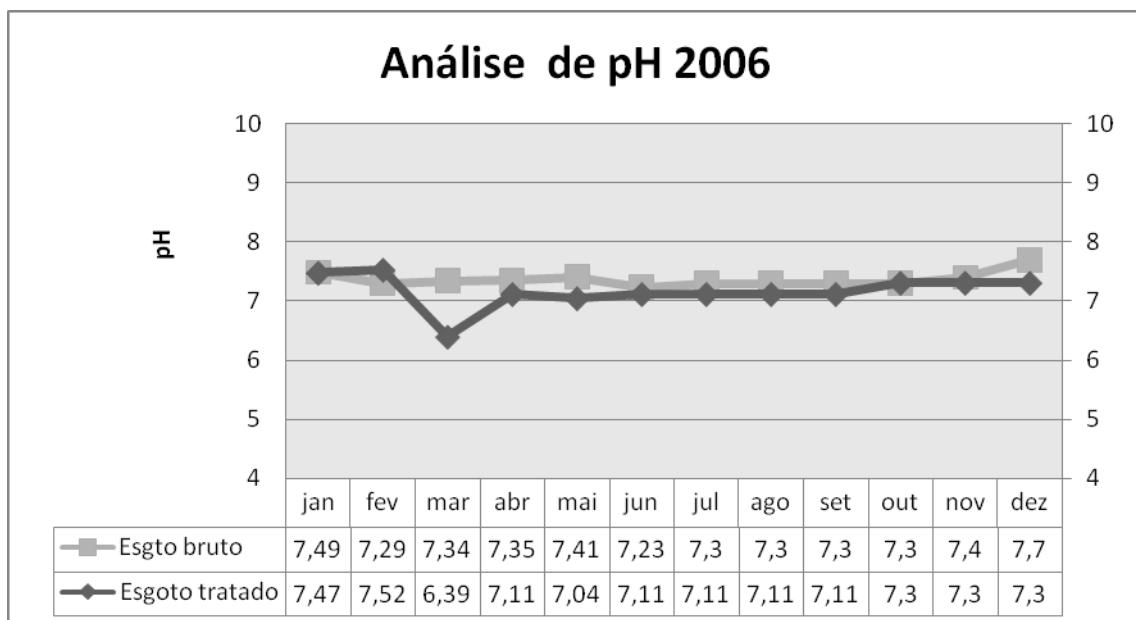


Figura 48 – Análise de pH 2006

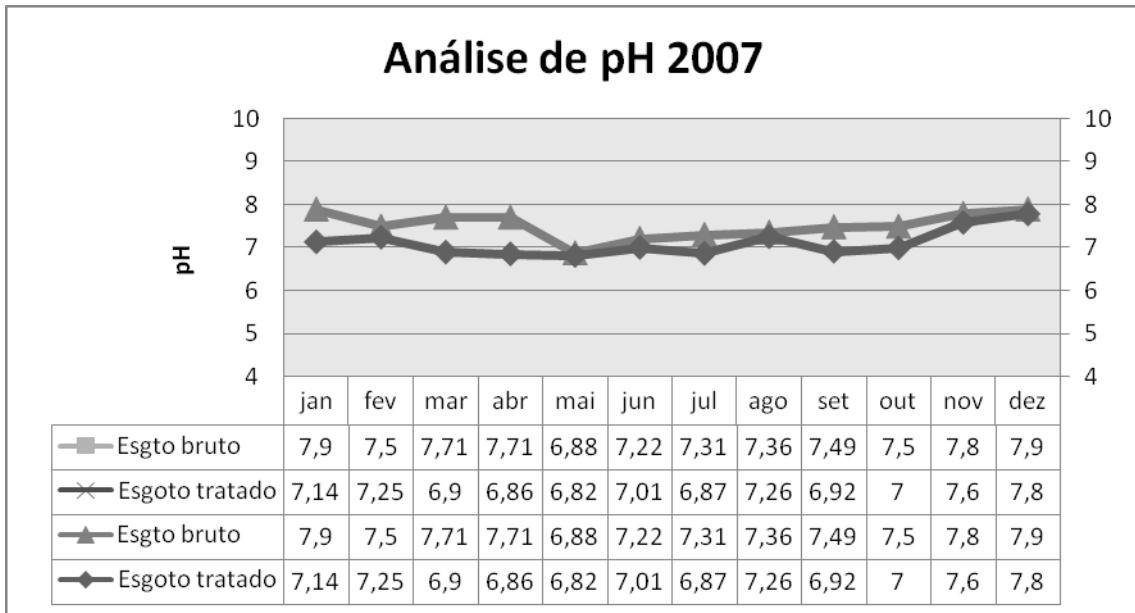


Figura 49 – Análise de pH 2007

As figuras 50 e 51 mostram o desempenho da ETE Almirante Tamandaré, em relação ao parâmetro Temperatura, onde são especificados os valores dos dados de afluentes e os valores de efluentes. As Figuras mostram as variações dos parâmetros analisados ao longo do ano de 2006 e 2007. A temperatura apresentou linearidade durante os anos, possivelmente devido às boas condições do sistema.

Em todo o período da pesquisa a temperatura do ar situou-se entre a mínima de 23,5°C e a máxima de 33°C, com média de 29°C, e o afluente do reator manteve-se na faixa favorável ao crescimento microbiano, apresentando, na hora das coletas de amostras, temperatura média de 29°C, com mínima de 26°C e máxima de 32,5°C, indicando estreita correlação com a temperatura ambiente, que em cerca de 80 % das leituras manteve-se na faixa de 27 a 31°C, na hora das coletas de amostra.

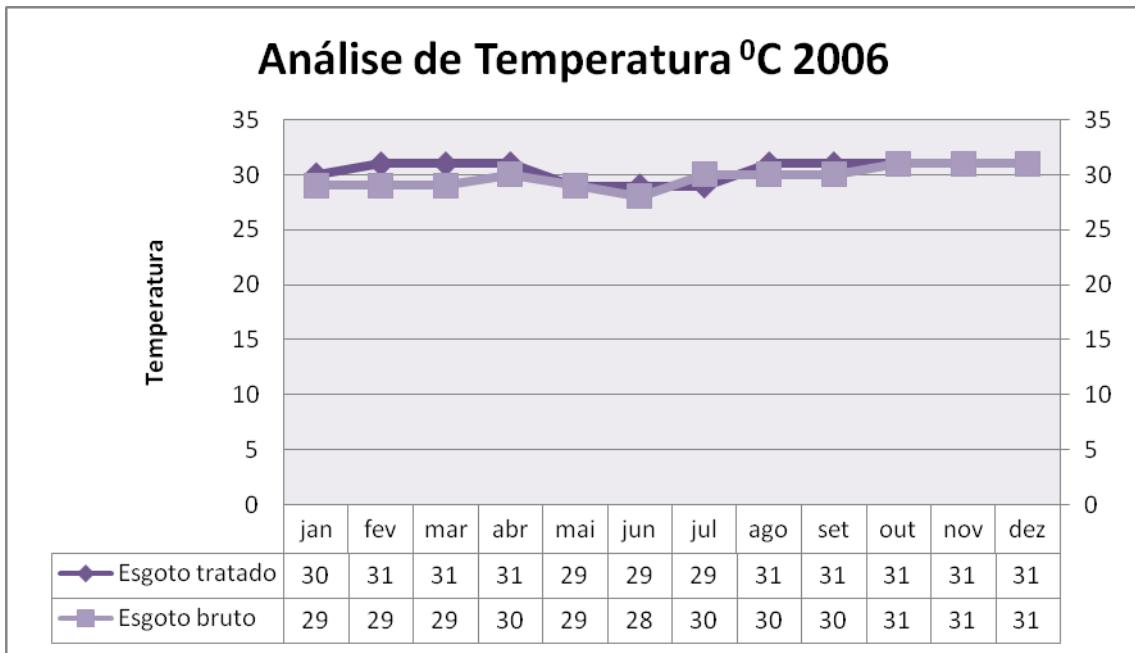


Figura 50 – Análise de Temperatura 2006

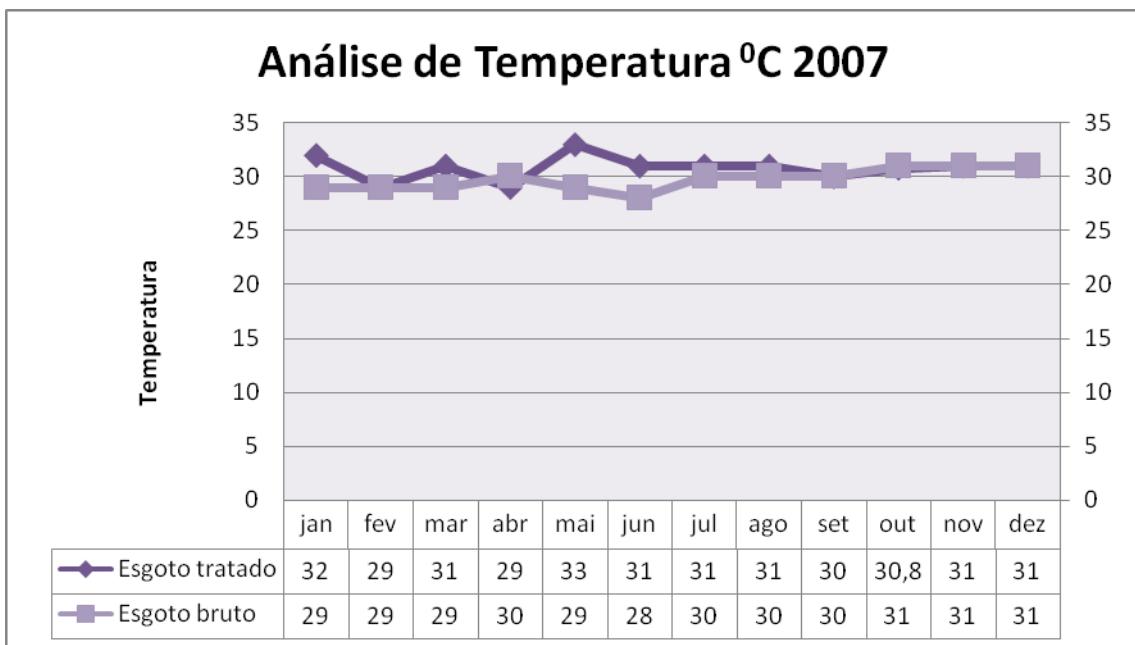


Figura 51 – Análise de Temperatura 2007

As figuras 52 e 53 mostram o desempenho da ETE Almirante Tamandaré, em relação ao parâmetro Turbidez, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída. Foi observado que a variação da Turbidez apresentou-se anormal, com pontos de pico na ETE Almirante Tamandaré nos meses de janeiro e fevereiro de 2006 e 2007. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência não linear de valores durante os dois anos,

possivelmente devido à sobrecarga no sistema, de acordo com a necessidade de manutenção, cujas atividades geralmente param o mesmo por algumas horas, sendo fatos que ocorreram no ano de 2006 e 2007.

Os valores dos afluentes nos dois anos tiveram um desempenho bem parecido, o que mostra um bom funcionamento do sistema. Foi verificado que no mês de abril, dos dois anos, ocorreu uma eficiência nula da estação, isso se deve a necessidade que se teve de efetuação de limpeza na estação, parando o sistema. Geralmente, no processo de limpeza são desprendidos lodos que ficam acumulados nos filtros anaeróbios, o que possibilita uma carga excedente na saída do efluente.

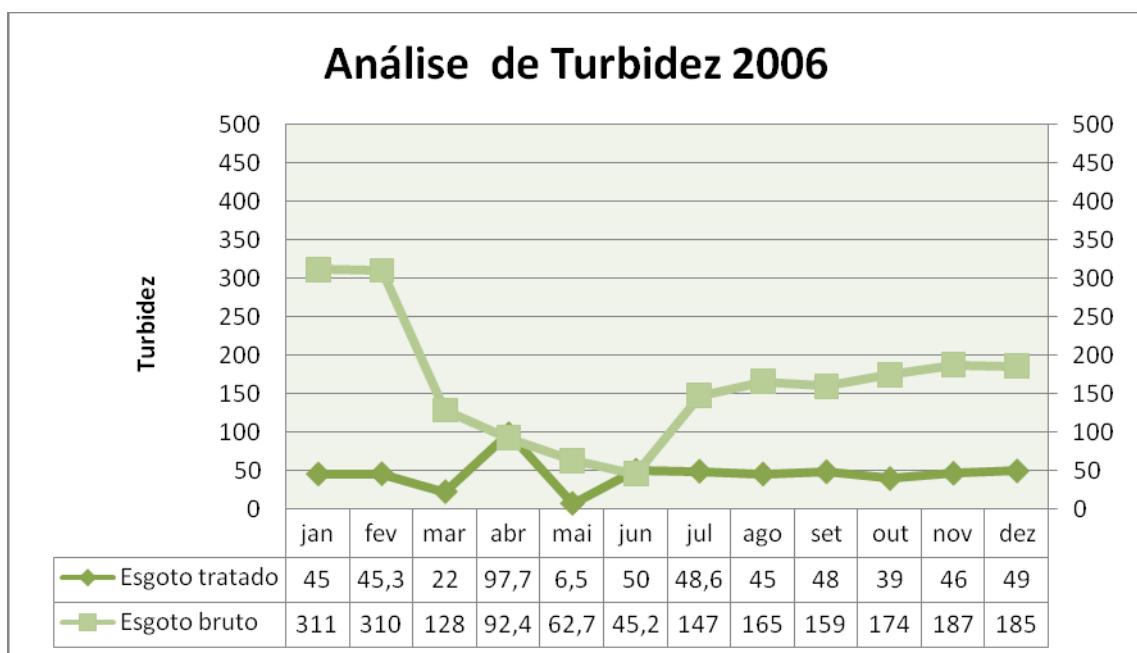


Figura 52 – Análise de Turbidez 2006

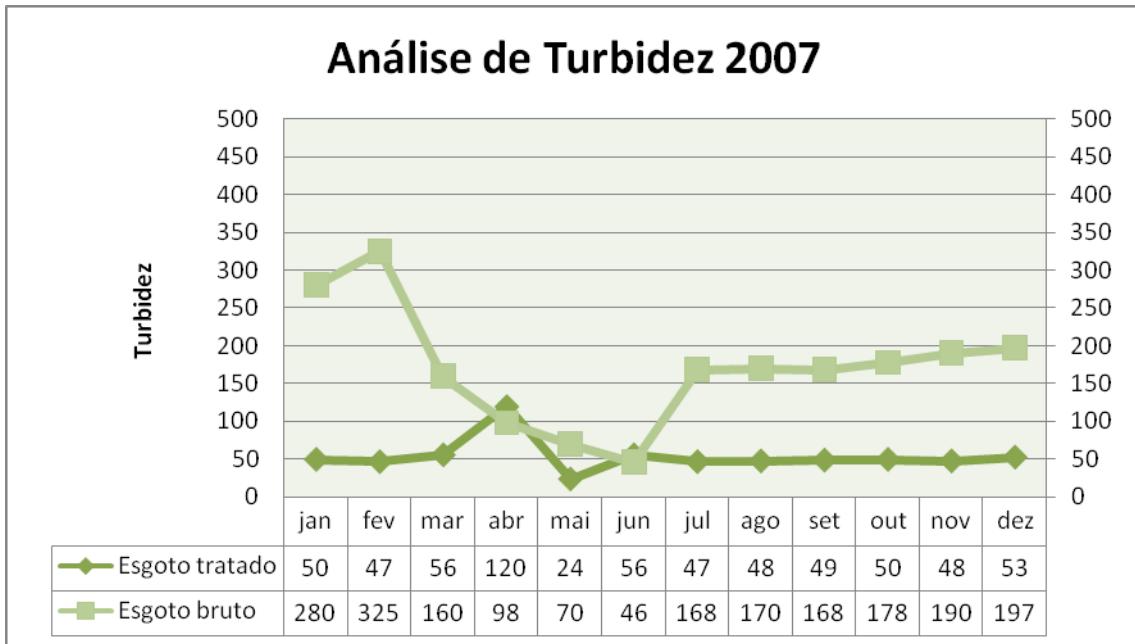


Figura 53 – Análise de Turbidez 2007

As figuras 54 e 55 mostram o desempenho da ETE Almirante Tamandaré, em relação ao parâmetro SST, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída. Para o parâmetro, Sólidos Sedimentáveis, observou-se na ETE Almirante Tamandaré, um pico entre os meses de janeiro e fevereiro em 2006, e setembro em 2007. Provavelmente, pode também ser devido ao aumento de chuvas, possibilitando um acréscimo de vazão afluente e consequentemente elevação de sólidos no sistema. Foi observado que a variação de SST apresentou-se normal com relação aos dados dos efluentes, sem pontos de pico. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência não linear com relação aos valores afluentes durante os dois anos, possivelmente devido ao aumento e diminuição das vazões de entrada.

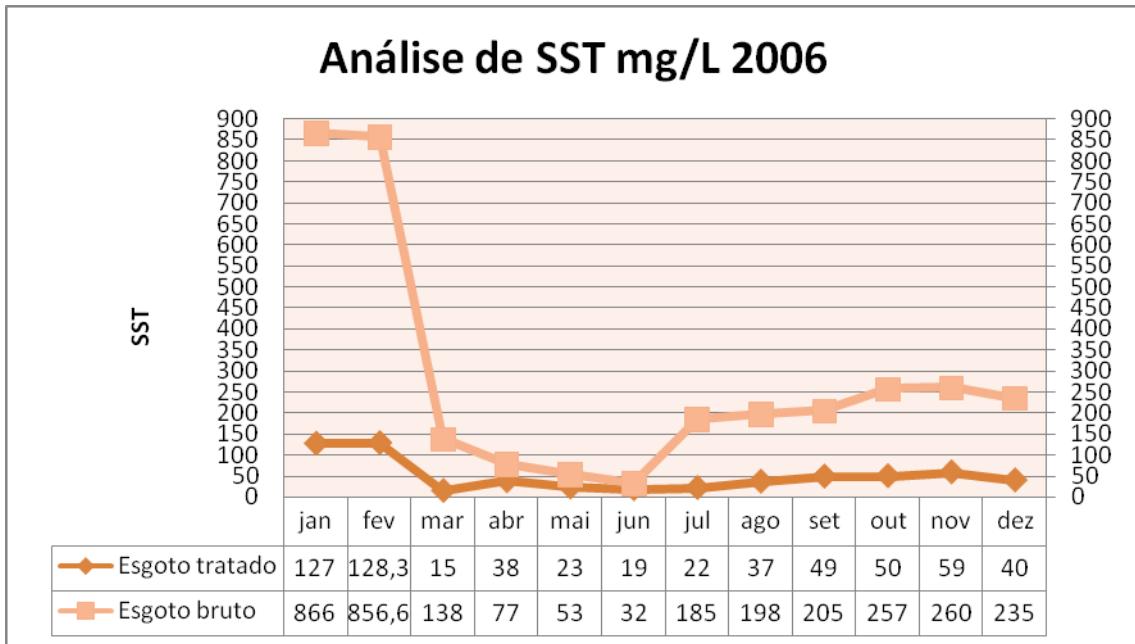


Figura 54 – Análise de SST 2006

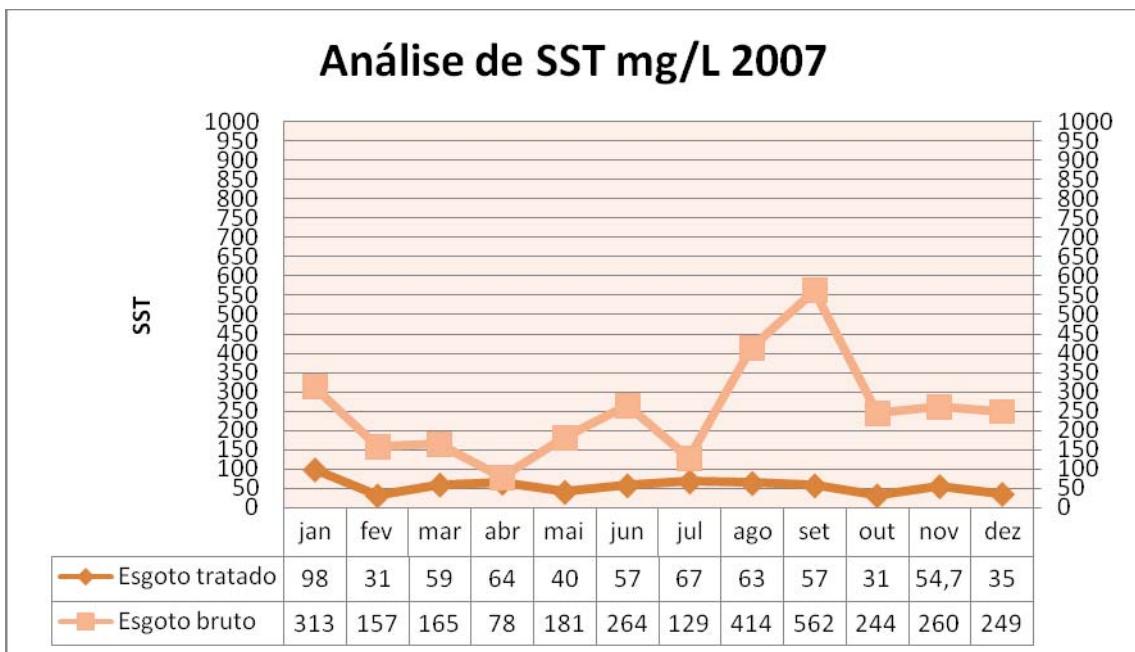


Figura 55 – Análise de SST 2007

As figuras 56 e 57 mostram o desempenho da ETE São Cristóvão, em relação ao parâmetro Condutividade Elétrica, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída. Para o parâmetro, Condutividade Elétrica, observou-se na ETE Almirante Tamandaré, ocorreu uma linearidade durante os anos de 2006 e 2007. Provavelmente, pode também ser devido ao bom

funcionamento do sistema, possibilitando baixos valores nas vazões afluentes e consequentemente mantendo contínuo o teor de sais no sistema, e consequentemente a condutividade elétrica. Foi observado que a variação da condutividade elétrica apresentou-se normal. Era de se esperar, que no segundo semestre ocorresse um aumento, com pontos de pico, diferentemente do primeiro semestre, provavelmente devido ao período das chuvas, que é menos intenso. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato.

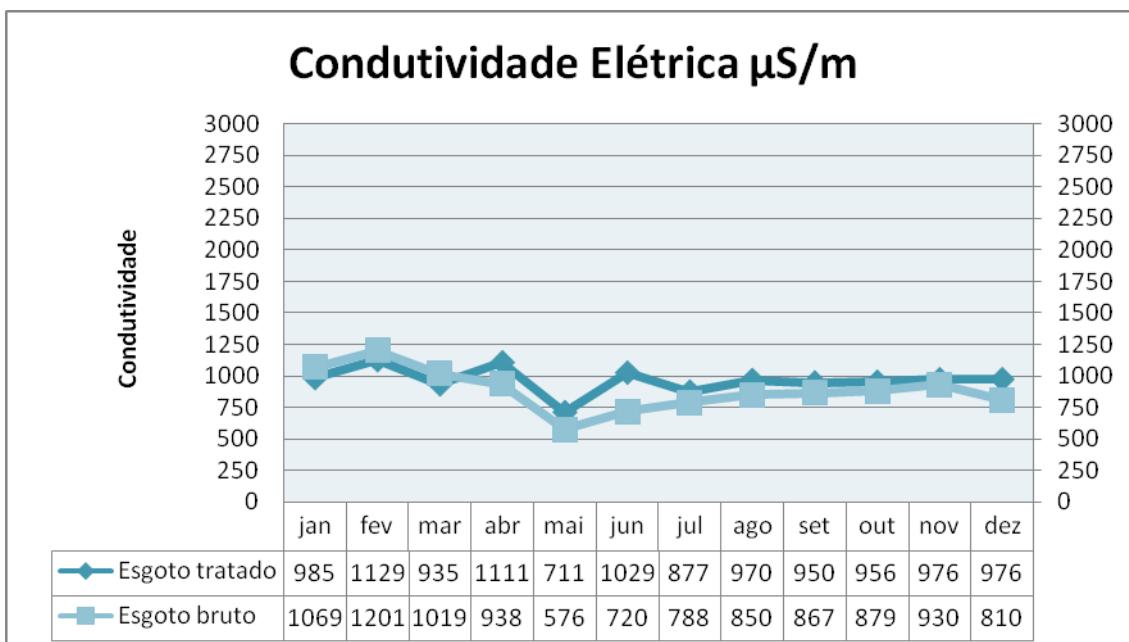


Figura 56 – Análise de Condutividade Elétrica 2006

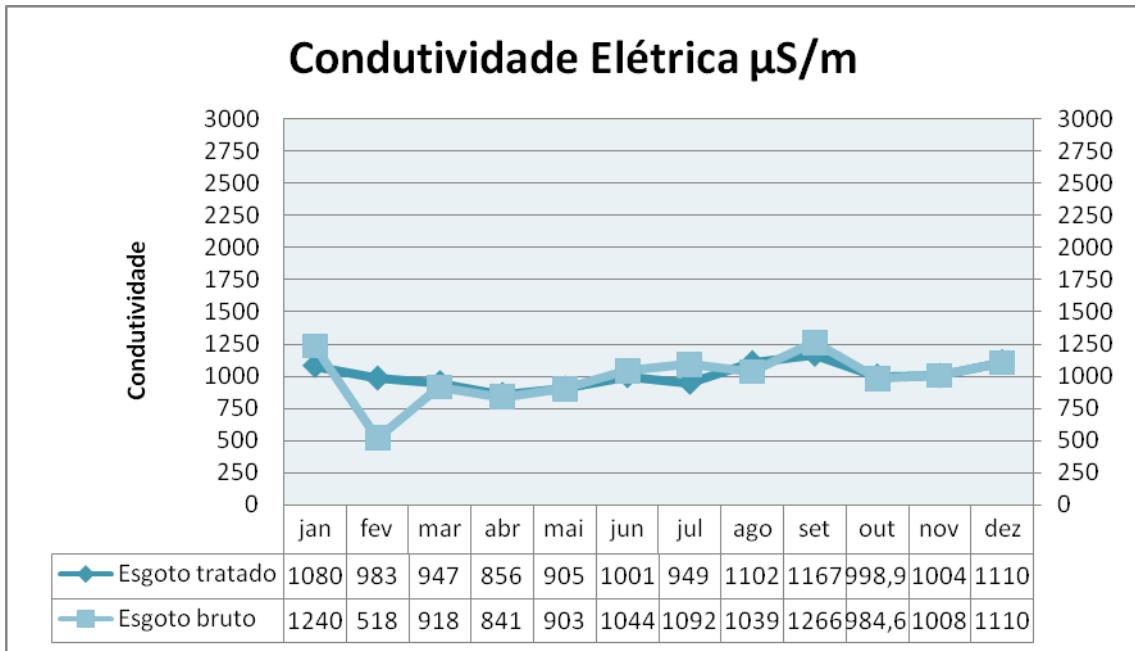


Figura 57 – Análise de Conduvidade Elétrica 2007

As figuras 58 e 59 mostram o desempenho da ETE Almirante Tamandaré, em relação ao parâmetro DBO, onde são especificados os valores dos dados de concentração afluentes e os valores de saída. Para o parâmetro DBO, observou-se uma não linearidade nos dados dos afluentes na ETE Almirante Tamandaré, apresentando picos durante o ano de 2006 e 2007, onde se observou que em 2006 no mês de março, ocorreu uma maior quantidade de matéria orgânica no sistema, provavelmente devido ao período de chuvas, possibilitando uma vazão de entrada maior no sistema. Em 2007, o maior pico se deu em setembro, provavelmente devido a problemas de manutenção, ou seja, quando o sistema tem que ser parado para desobstrução, ou também pelo aumento da vazão. Foi observado que a variação da DBO efluente apresentou-se normal em 2006 e 2007, o que era de se esperar, devido à ausência de pontos de pico, provavelmente devido ao bom funcionamento do sistema. Coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato. Houve tendência linear de valores durante o ano de 2006.

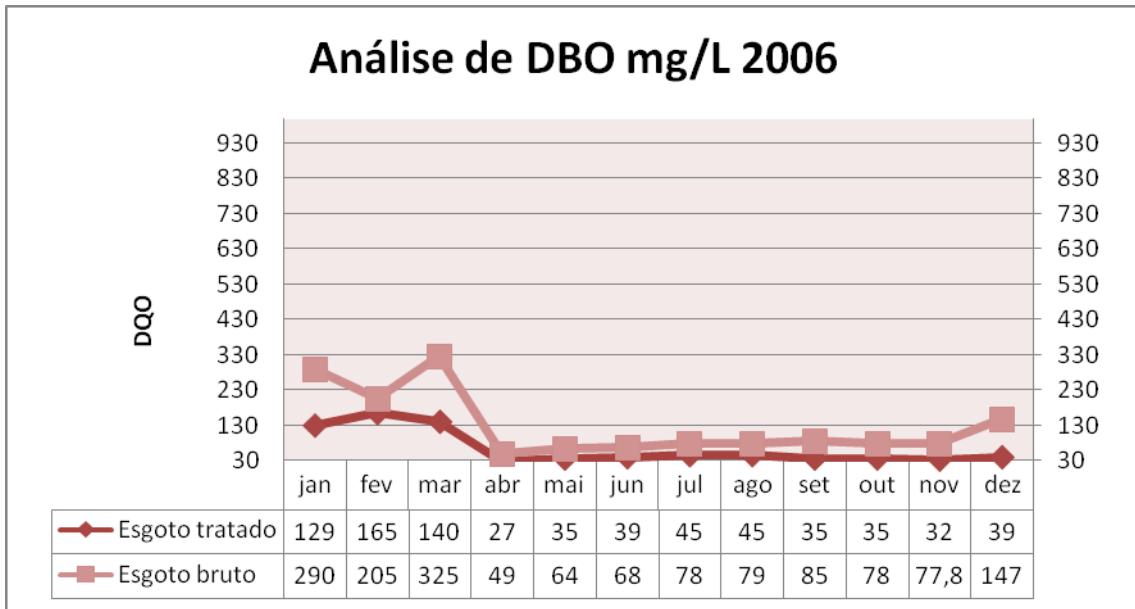


Figura 58 – Análise de DBO 2006

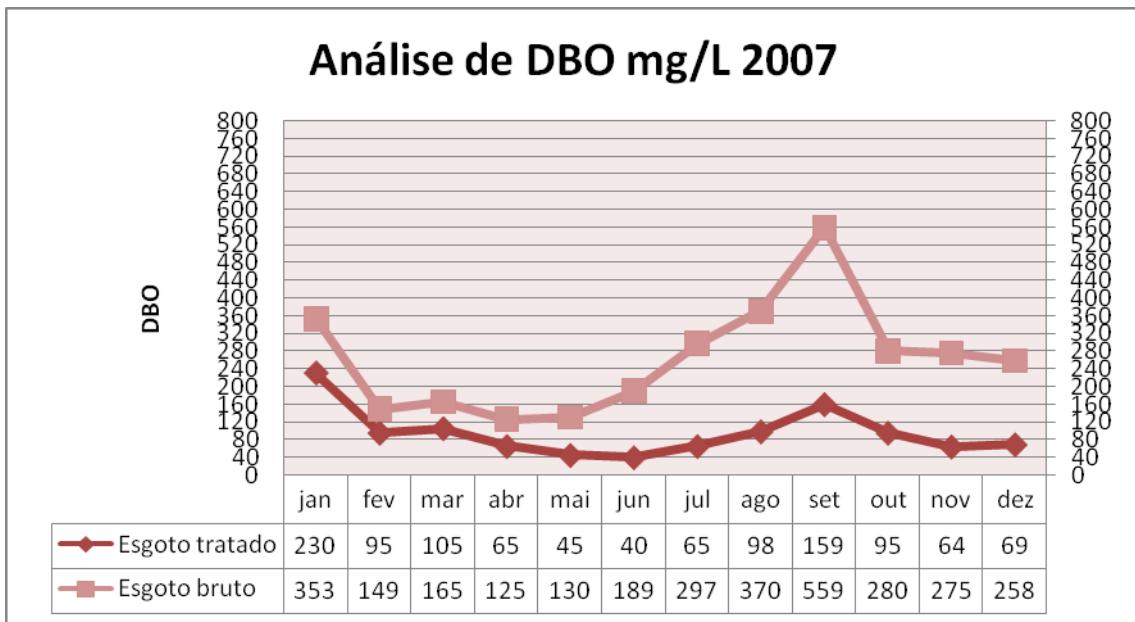


Figura 59 – Análise de DBO 2006

As figuras 60, 61, 62, 63, 64 e 65 mostram os dados de eficiência da ETE Almirante Tamandaré, com relação aos parâmetros de DBO, SST e DQO. Nos gráficos de desempenho na remoção de DQO, observou-se no primeiro semestre, uma não linearidade, com valores abaixo do normal, o que era de se esperar, ou seja, com o aumento das chuvas, cresce a vazão e consequentemente diminui a eficiência de remoção de matéria orgânica, devido à sobrecarga no sistema, mas

ressalta-se que nos meses de abril e maio, ocorreram problemas atípicos, pois a eficiência está muito abaixo do normal. Mas também pode estar relacionado com o mau funcionamento da estação e inexistência de monitoramento adequado, onde podemos ter como exemplo a execução de freqüência de limpezas dos filtros anaeróbios insuficientes, causando obstrução do sistema. Já no segundo semestre, com a diminuição das chuvas e redução da vazão, pôde-se observar um melhor desempenho.

No ano de 2007, se verificou que ocorreu uma não linearidade menos acentuada, apresentando valores condizentes com o esperado. Somente no mês de março, que houve um decréscimo, provavelmente devido ao período de chuvas que sobrecarrega o sistema.

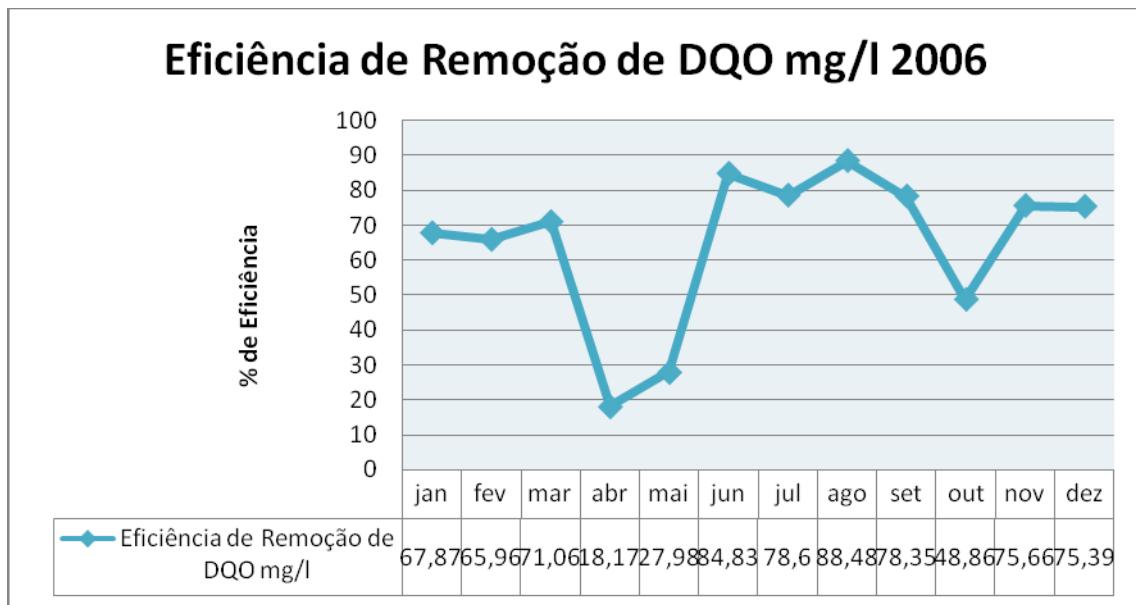


Figura 60 – Análise de Eficiência DQO 2006

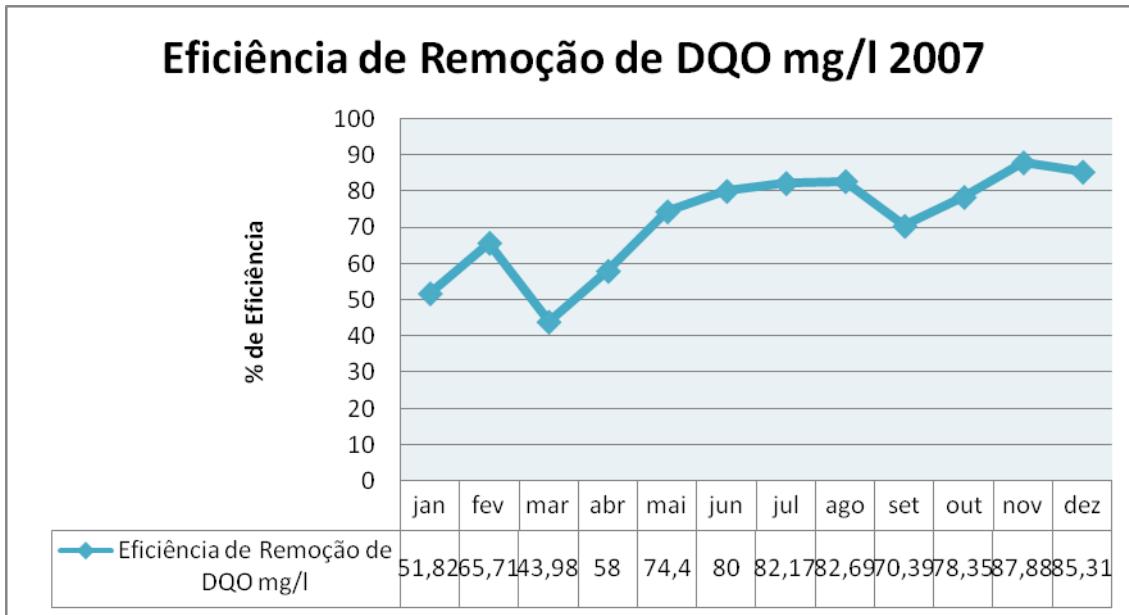


Figura 61 – Análise de Eficiência DQO 2007

Nos gráficos de desempenho na remoção de SST, foi visto que a eficiência de remoção deste parâmetro foi menor no período das chuvas, principalmente entre abril e junho provavelmente devido a problemas de obstrução na tubulação de entrada e aumento de vazão afluente. Pela busca diminuição na eficiência do sistema entre abril e junho de 2006 e 2007, pode-se concluir que certamente, deve ter havido um problema atípico, como obstrução no sistema.

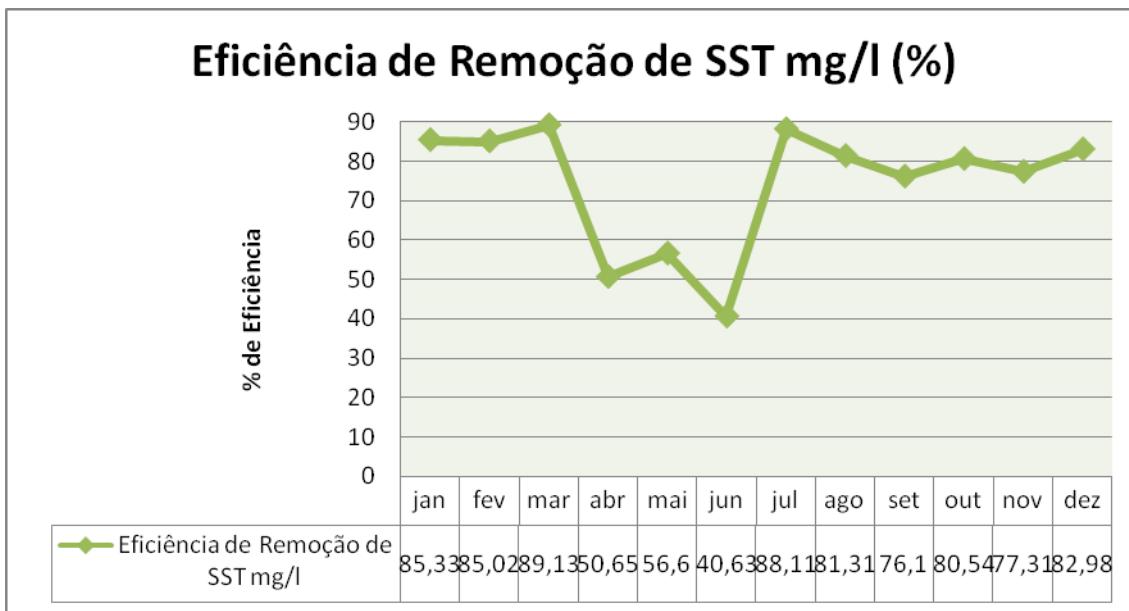


Figura 62 – Análise de Eficiência SST 2006

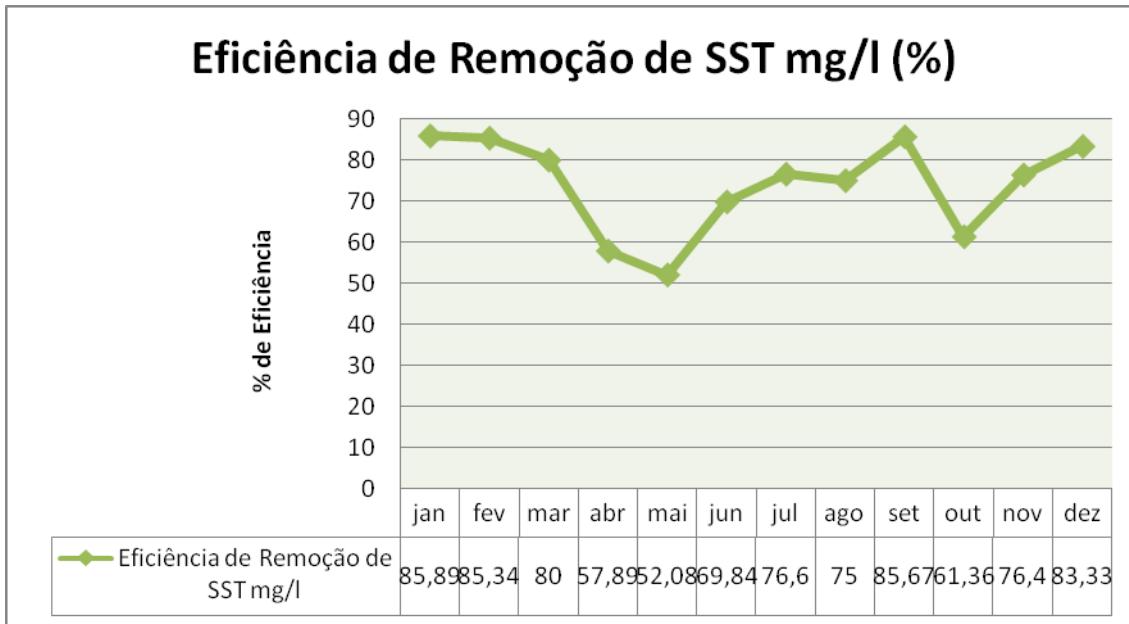


Figura 63 – Análise de Eficiência DBO 2007

No gráfico de desempenho na remoção de DBO, observou-se no primeiro trimestre, uma diminuição na eficiência no ano de 2006, com um valor abaixo do normal no mês de fevereiro, o que era de se esperar, ou seja, com o aumento das chuvas, cresce a vazão e consequentemente diminui a eficiência de remoção de matéria orgânica, mas como o valor está bem abaixo do normal, pode estar relacionado com parada na estação para manutenção, como também pode ser devido ao mau funcionamento da estação e inexistência de monitoramento adequado. Já no segundo semestre, com a diminuição das chuvas e redução da vazão, pôde-se observar um melhor desempenho. Foi verificado que apesar dos problemas de obstrução desta estação, ela proporcionou um bom desempenho na remoção de DBO, mantendo uma linearidade a partir do mês de abril, mostrando assim que quando em boas condições operacionais este sistema pode obter satisfatórios resultados no tratamento de esgotos domésticos.

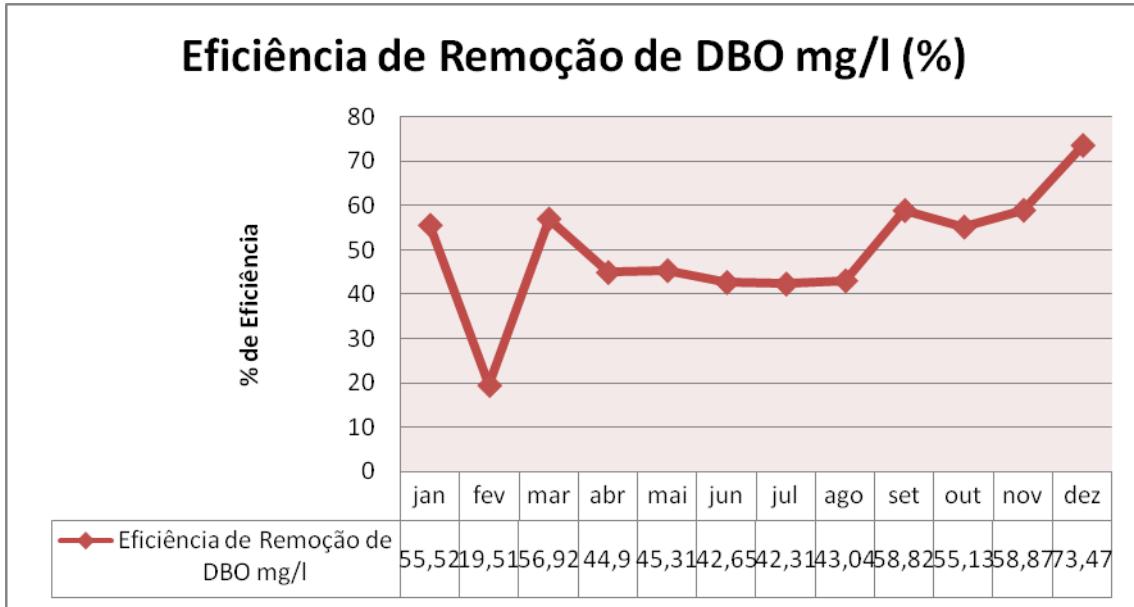


Figura 64 – Análise de Eficiência DBO 2006

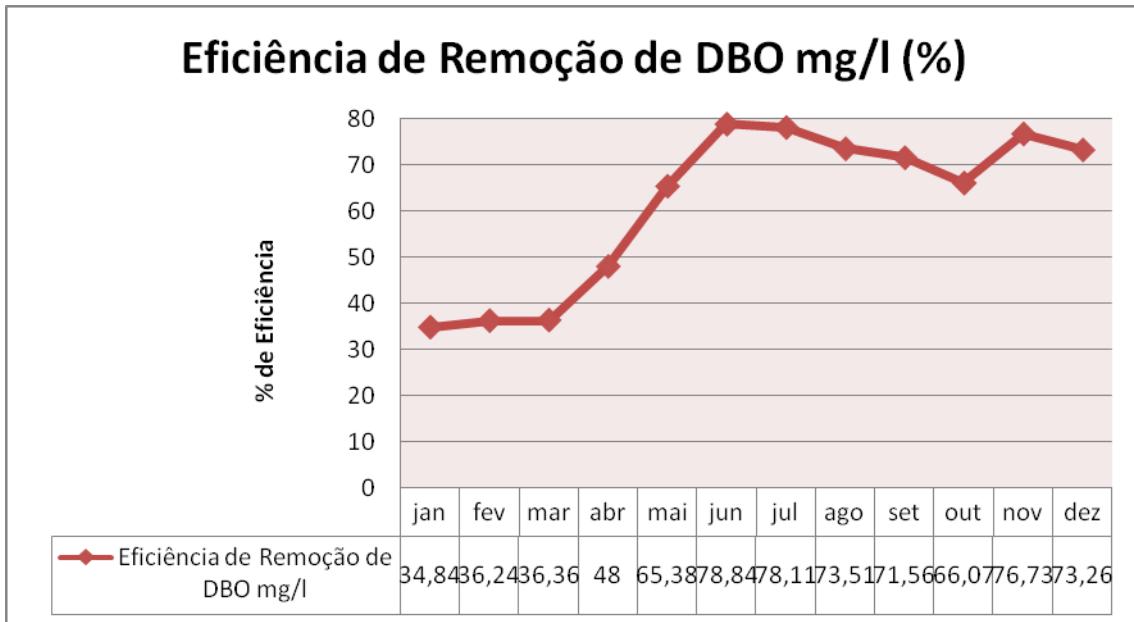


Figura 65 – Análise de Eficiência DBO 2007

4.2. Avaliação Comparativa de Eficiência

4.2.1. Eficiência na remoção de DQO

Pode-se verificar que no ano de 2006, como era de se esperar a ETE São Cristóvão teve um desempenho superior com relação às outras estações. Apenas

nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, mesmo tendo um melhor desempenho que as outras estações, a ETE São Cristóvão mostrou-se com a performance inferior de acordo com a literatura, já que a percentagem de remoção deveria estar entre 90 e 99%.

Certamente, a eficiência deste sistema se deve às boas condições climáticas em que está submetida. Nos quatro primeiros meses, pode ser observado que ocorrerá uma queda no padrão de desempenho, certamente devido ao período de chuvas, que proporciona queda de eficiência neste tipo de sistema.

O desempenho da ETE Almirante Tamandaré apresentou-se em nível intermediário com relação às outras estações, onde nos meses de abril e outubro se verificou uma queda de eficiência considerável, e nos restante dos meses, apresentou-se mais eficiente, mesmo assim ficou abaixo dos valores recomendados por cinco meses. Especificamente nos meses de abril e maio, foram preocupantes os índices de desempenho, ficando entre 20 e 29%, bem abaixo do valor recomendado.

A eficiência da ETE Aracapé foi à menor entre as estações, mas teve uma maior estabilidade, pois os valores de desempenho se mostraram satisfatórios com relação ao padrão DQO, que na literatura fica em torno de 70 a 90%. Mesmo com as adversidades, a ETE Aracapé teve um bom desempenho, pois manteve sempre valores próximos do ideal.

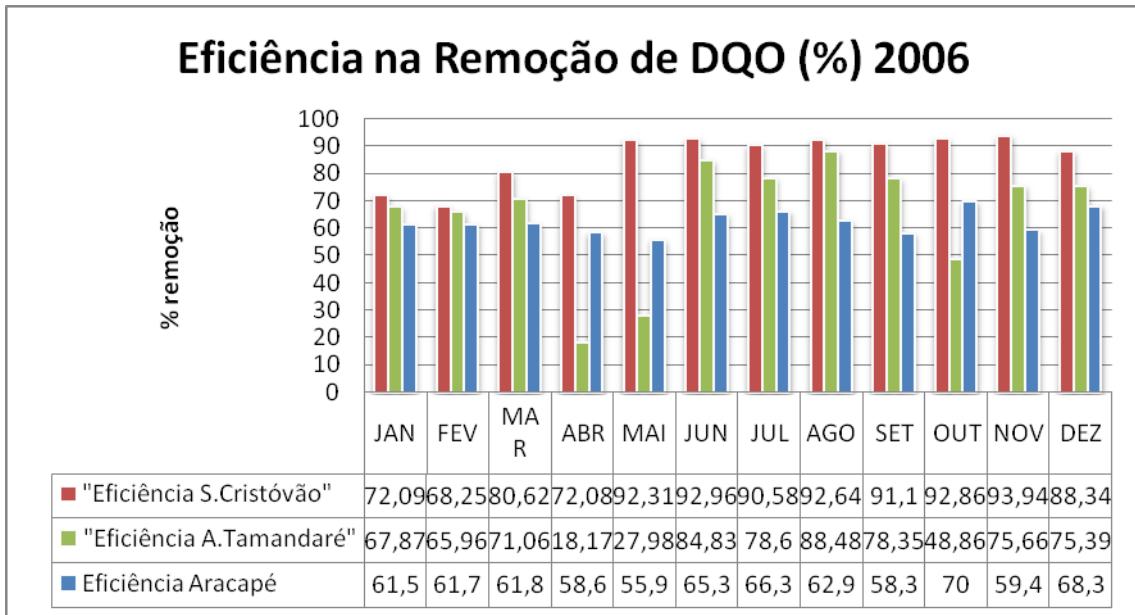


Figura 66 – Comparação DBO 2006

Pode-se verificar que no ano de 2007, como era de se esperar a ETE São Cristóvão teve um desempenho superior com relação às outras estações. Apenas nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril mesmo tendo um melhor desempenho que as outras estações, a ETE São Cristóvão mostrou-se com performance inferior de acordo com a literatura, já que a percentagem de remoção deveria ser entre 90 e 99%.

O desempenho da ETE Almirante Tamandaré mostrou-se em nível intermediário com relação às outras estações, onde nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril se verificou uma queda de eficiência razoável, e nos restante dos meses, apresentou-se mais eficiente, ficando condizente com valores recomendados por oito meses. Especificamente no mês de março, foi preocupante o índice de desempenho, compreendendo um valor de 45%, bem abaixo do valor recomendado.

A eficiência da ETE Aracapé foi à menor entre as estações, mas teve uma maior estabilidade, pois os valores de desempenho se mostraram satisfatórios com relação ao padrão DQO, que na literatura fica em torno de 70 a 90%. Somente nos meses de janeiro e março, apresentou valores abaixo do recomendado, ficando entre 45 e 50%. Mesmo com as adversidades, a ETE Aracapé teve um bom

desempenho, pois manteve sempre valores próximos do ideal, apresentando uma estabilidade ao longo dos meses de 2007.

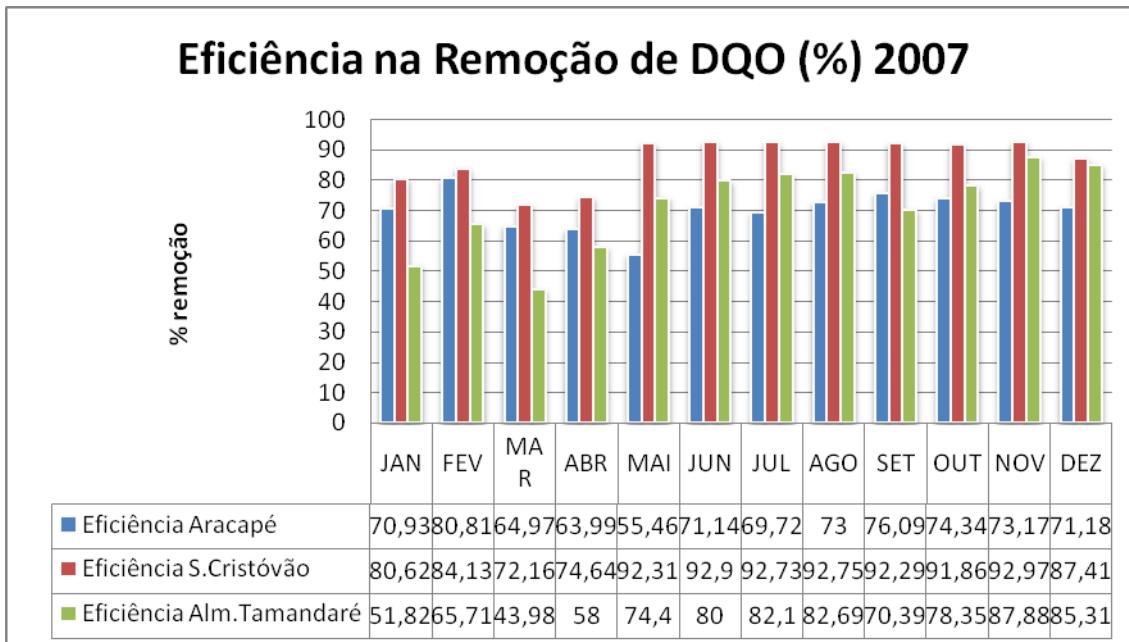


Figura 67 – Comparaçāo DBO 2007

Pode-se verificar que no ano de 2006, ocorreu um maior equilíbrio nos desempenhos das estações, onde a ETE Almirante Tamandaré aparece com maior estabilidade, tendo uma eficiência superior às demais estações. Somente em abril, maio e junho, mostrou valores abaixo do normal, mesmo assim, acompanhando o ritmo das outras estações, ficando entre 40 e 50% de rendimento. O desempenho da ETE São Cristóvão teve um nível intermediário com relação às outras estações, onde no mês de abril se verificou uma queda de eficiência extrema, e nos restante dos meses, apresentou-se mais eficiente, ficando condizente com valores recomendados por oito meses. Especificamente no mês de abril, foi preocupante o índice de desempenho, compreendendo um valor de 5%, bem abaixo do valor recomendado.

A eficiência da ETE Aracapé foi à menor entre as estações, mas teve uma maior estabilidade, pois os valores de desempenho se mostraram satisfatórios com relação ao padrão SST. Somente nos meses de fevereiro, março e abril apresentou

valores abaixo do recomendado, ficando entre 38 e 50%. Mesmo com as adversidades, a ETE Aracapé teve um bom desempenho, pois manteve sempre valores próximos do ideal, apresentando uma estabilidade ao longo dos meses de 2006.

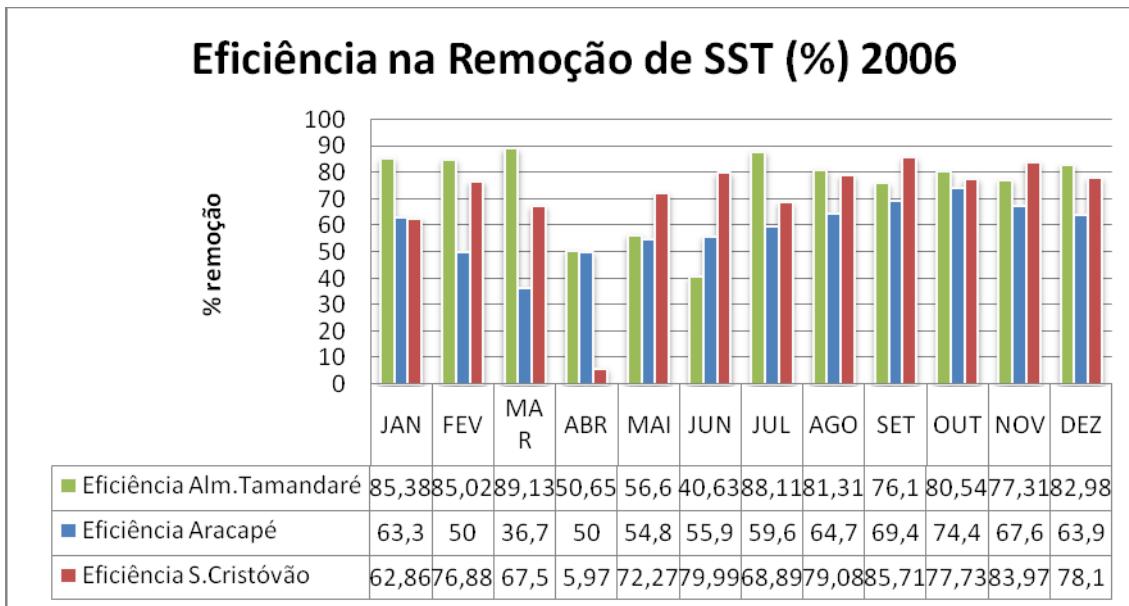


Figura 68 – Comparaçāo SST 2006

Pode-se verificar que no ano de 2007, um maior equilíbrio nos desempenhos das estações, onde a ETE São Cristóvão apareceu com maior eficiência ao longo do ano, tendo uma eficiência superior às demais estações. Somente em março, abril e junho, mostrou valores abaixo do normal, mesmo assim, acompanhando o ritmo das outras estações, ficando entre 20 e 65% de rendimento. Especificamente no mês de abril, foi preocupante o índice de desempenho, compreendendo um valor de 20%, bem abaixo do valor recomendado.

O desempenho da ETE Aracapé teve um nível intermediário com relação às outras estações, onde em todos os meses se verificou que permanecera estável, ficando condizente com valores recomendados.

A eficiência da ETE Almirante Tamandaré foi intermediária entre as estações,

mas teve uma maior estabilidade, pois os valores de desempenho se mostraram satisfatórios com relação ao padrão SST. Somente nos meses de abril e maio apresentou valores abaixo do recomendado, ficando entre 52 e 58%.

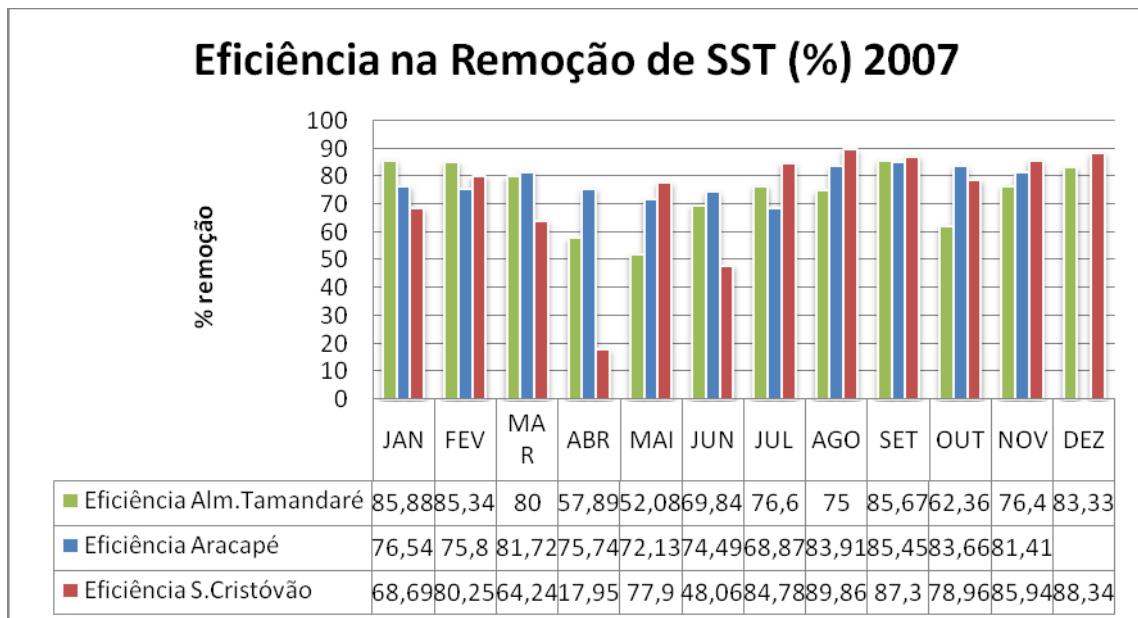


Figura 69 – Comparação SST 2007

Pode-se verificar que no ano de 2006, um maior desequilíbrio nos desempenhos das estações, onde a ETE Aracapé aparece com maior estabilidade, tendo uma eficiência superior às demais estações. O bom desempenho da estação reflete uma eficiência situada entre 79 e 98%. Coleta erradas podem proporcionarem tais resultados. O desempenho da ETE São Cristóvão teve nível intermediário com relação às outras estações, onde em todos os meses se verificou que permanecera com valores ideais, proporcionando uma estabilidade no sistema. Somente nos quatro primeiros meses se mostrou abaixo do desempenho ideal, onde sua eficiência ficou entre 68 e 78%, onde o ideal está entre 90 e 99%.

A eficiência da ETE Almirante Tamandaré foi à menor entre as estações, tendo pouca estabilidade, pois os valores de desempenho se mostraram insatisfatórios com relação ao padrão DBO. Coleta ou análise errada pode justificar tal fato. A maior eficiência alcançada por este sistema foi de 58%, inferior ao que

seria necessário.

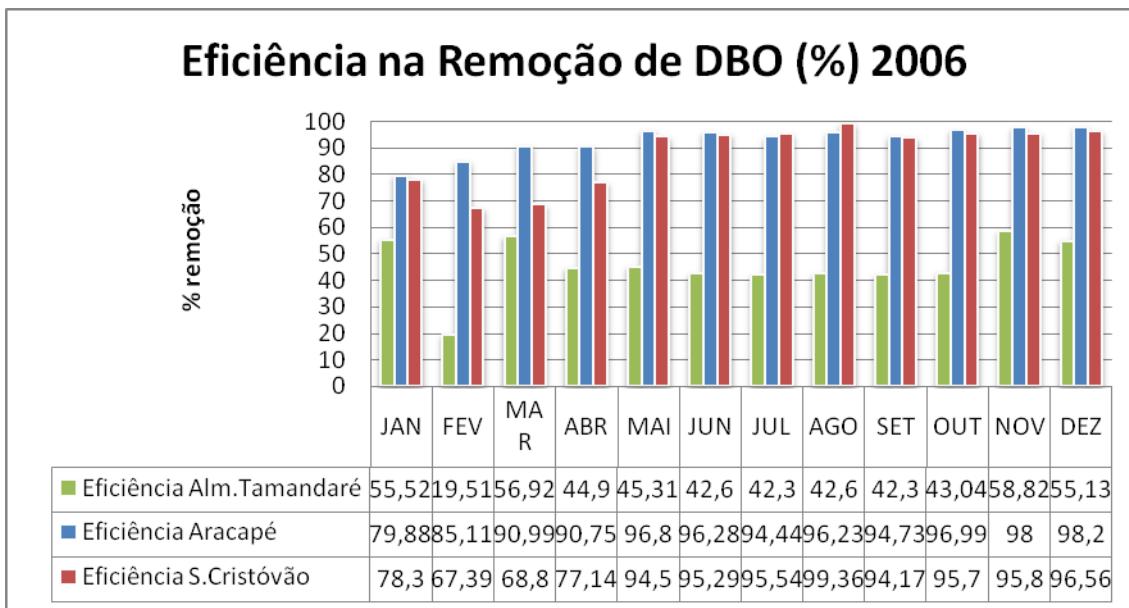


Figura 70 – Comparaçāo DBO 2006

Pode-se verificar que no ano de 2007, um maior equilíbrio nos desempenhos das estações, onde a ETE Almirante Tamandaré operou com maior eficiência ao longo do ano, tendo uma desempenho superior às demais estações. Em todos os meses verificados seus desempenhos se mostraram bem satisfatórios, fato este curioso, já que no ano de 2006, esta estação esteve bem abaixo dos valores de eficiência apropriados. Ressalta-se que coleta ou análise incorreta pode justificar tal fato, mas é importante mencionar que limpezas constantes nas tubulações de entrada foram efetuadas na estação. De acordo com registros esta estação em 2006, era constantemente parada, para serem efetuadas limpezas, o que foi executado definitivamente em 2007, oferecendo assim o desempenho bem superior no mesmo ano. Especificamente no mês de abril, foi preocupante o índice de desempenho, compreendendo um valor de 20%, bem abaixo do valor recomendado.

O desempenho da ETE São Cristóvão teve nível intermediário com relação às outras estações, onde em todos os meses se verificou que permanecera com valores ideais, proporcionando uma estabilidade no sistema. Somente nos quatro primeiros meses se mostrou abaixo do desempenho ideal, onde sua eficiência focou

entre 72 e 80%, onde o ideal está entre 90 e 99%, mas apresentou uma pequena recuperação em relação ao ano de 2006. A eficiência da ETE Almirante Tamandaré foi intermediária entre as estações, mas teve uma menor estabilidade, onde os valores de desempenho se mostraram satisfatórios com relação ao padrão SST. Somente nos meses de janeiro e março apresentaram valores abaixo do recomendado, ficando entre 44 e 51%, abaixo do recomendado que está entre 65 e 90%.

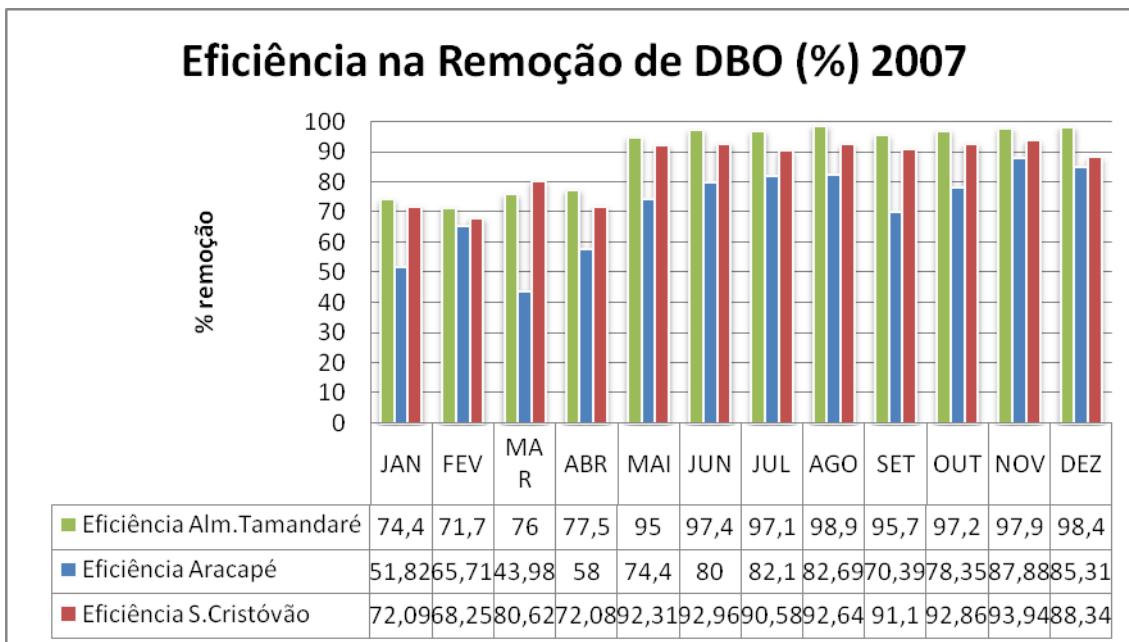


Figura 71 – Comparaçāo DBO 2007

4.3. Análise de Confiabilidade das Estações

A seguir serão mostrados os resultados das análises de estabilidade e confiabilidade das Estações de Tratamento de Esgoto estudadas, onde são definidos dois procedimentos, utilizando o Método CDC. O primeiro consiste na determinação de confiabilidade, de acordo com padrões de lançamento exigidos por Lei. O segundo é definido pela determinação da confiabilidade, de acordo com probabilidade pré-determinada, possibilitando uma avaliação das concentrações de projeto e concentrações de operação. Posteriormente, foram efetuadas curvas traçadas para diferentes níveis de confiabilidade, onde foi determinado o comportamento e alteração da curva, à medida que se elevam os graus de

confiabilidade desejados. Cabe enfatizar que quanto maior o nível de confiabilidade desejado, menores deverão ser os coeficientes de variação para a obtenção de elevados coeficientes de confiabilidade.

4.3.1. Análise de Confiabilidade nas Estações em 2006 – Procedimento 01.

A Tabela 4 apresenta os resultados da confiabilidade operacional para as três ETEs analisadas em 2006, assim como os dados básicos das ETEs, as metas de concentração e de eficiência estabelecidas, as concentrações médias dos efluentes e seus respectivos Desvios-Padrão e Coeficiente de Variação, e o número de componentes da amostra sugerido e utilizado. As ETEs foram dispostas seqüencialmente nesta tabela, considerando as similaridades entre os processos. De acordo com o que foi observado:

- Os valores de confiabilidade mostraram-se coerentes com as características operacionais das ETEs, considerando o alcance das metas estabelecidas e a variabilidade entre os valores da amostra;
- A ETE Aracapé apresentou de um modo geral, valores de confiabilidade operacional para remoção de DBO em torno de 84%, enquanto que as ETEs que empregam processos naturais atingiram uma confiabilidade média de 80% na remoção de DBO;
- Tal fato confirma que, embora a ETE Aracapé, dispondo de um sistema eficiente, que tenha apresentado falhas mecânicas onde por ventura ocorreram, não influenciou no desempenho dessa estação, em termos de tempo de alcance da eficiência do processo;
- Na remoção de DQO, todas as ETEs apresentaram elevados índices para a confiabilidade, em torno de 96,5%. Somente a ETE Aracapé apresentou um valor de 54%. Nesse aspecto, é recomendável verificar o critério para definição da meta de DQO.

- Em relação ao parâmetro SST, se verificou que todas as estações apresentaram desempenho consideravelmente bom, onde a confiabilidade esteve entre 96 e 97%.
- Observou-se que a ETE Aracapé que emprega processos artificiais, apresentou valores de confiabilidade operacional de DBO menor que as de processo natural, observando também que a variabilidade do processo foi maior, indicado que coeficiente de variação ficou em torno de 25% superior com relação às outras estações. Devido a tais características é importante que, durante a elaboração de projetos que empreguem processos mecanizados, seja considerada esta variabilidade para definição da meta de eficiência, de forma que ela possa ser alcançada em parte considerável do tempo de operação;
- O aspecto anterior pode indicar que as metas de eficiência para as ETEs que utilizam lagoas podem ser verificadas, uma vez que elas são bastante elevadas, com no mínimo 90% para remoção de DBO. É importante destacar que mesmo com essas elevadas eficiências de remoção as concentrações dos efluentes não são tão notáveis, devido às elevadas concentrações de DBO encontradas nos esgotos domésticos de determinadas localidades;
- Os resultados apresentados pelas ETEs podem ter sido influenciados por fatores externos, uma vez que essas unidades se encontravam em manutenção em parte do período de análise.
- Com relação à eficiência operacional, se verificou que a Estação que se destacou no processo de remoção de DBO foi a ETE São Cristóvão, com desempenho operacional de 96,5%. Já a estação que teve um melhor desempenho na remoção de SST, foi a ETE Almirante Tamandaré, tendo uma eficiência operacional de 74,5% e para a remoção de DQO, as estações mostraram uma baixa média de eficiência, onde a estação que teve um desempenho razoável foi a ETE São Cristóvão. Coletas ou análises incorretas podem justificar tal fato.

Tabela 4 – Análise de Confiabilidade 1 (2006)

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2006									
ETEs	Aracapé			São Cristóvão			Almirante Tamandaré		
Processo de Tratamento	Sistema UASB			Sistema de Lagoas de Estabilização			Sistema Decanto - Digestor + Filtro Anaeróbio		
Vazão média atual (L/s)	7,5			30,7			19,9		
População atendida	1800			20000			4000		
Vazão de projeto (L/s)	10			57			25		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/L)	498,6	651,66	171,5	446,16	596,75	265,75	136,4	276,3	290,9
Eficiência de remoção (%)	77,06	62,5	59,16	96,46	65,61	69,91	51,37	62,5	74,48
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	85	85	80	90	92	90	80	80	80
Meta de Conc. Adotada (mg/L)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Conc. Média Efluente (mg/L)	37,33	246,67	75	42,42	72,5	54,76	64,08	78,89	50,61
Desvio padrão (mg/L)	38,28	38,63	17,84	31,78	37,55	18,92	49,46	37,27	38,43
Coeficiente de variação (CV)	1,03	0,16	0,24	0,75	0,52	0,35	0,77	0,47	0,76
Valor Z _{1-a}	0,984	0,094	1,72	0,84	1,9	1,72	0,29	1,81	1,82
Confiabilidade de não excedência	83,75%	53,60%	95,73%	79,95%	97,13%	95,73%	61,41%	96,50%	96,56%

4.3.2. Análise de Confiabilidade nas Estações em 2006 – Procedimento 02.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos cálculos do coeficiente de confiabilidade operacional “CDC”, de acordo com o coeficiente de variação e probabilidade de excedência de 90%, para as três ETEs analisadas em 2006, assim como os dados básicos das ETEs, as metas de concentração e de eficiência estabelecidas, as concentrações médias dos efluentes, seus respectivos Desvios-Padrão e Coeficiente de Variação, o número de componentes da amostra sugerido e utilizado e a determinação das concentrações de projeto e operação. As ETEs foram dispostas seqüencialmente nesta tabela, considerando as similaridades entre os processos. De acordo com o que foi observado:

- Os valores de confiabilidade mostraram-se coerentes com as características operacionais das ETEs, considerando o alcance das metas estabelecidas e a variabilidade entre os valores da amostra, onde foi verificado que a ETE Aracapé apresentou um coeficiente de confiabilidade maior, para a remoção de DQO;
- A ETE Aracapé apresentou de um modo geral, coeficiente de confiabilidade operacional apropriado para remoção de SST em torno de 0,76, enquanto que as outras ETEs apresentaram coeficientes de 0,53, 0,60 e 0,69;
- Tal fato confirma que, embora a ETE Aracapé, dispondo de um sistema eficiente, que embora tenha apresentado falhas mecânicas que por ventura ocorreram, não influenciou no desempenho dessa estação, em termos de tempo de alcance da eficiência do processo;
- Porém na remoção de DBO, a ETE Aracapé apresentou o menor índice de confiabilidade, em torno de 0,42.
- Foi possível observar que nenhuma estação apresentou um aumento da concentração de projeto para o parâmetro DQO, DBO e para SST, onde todas as Concentrações de Projeto foram superiores às Concentrações de

Operação;

- As concentrações de operação para uma confiabilidade de 90% (Tabela 5) demonstram uma tendência de aumento dos valores limites de qualidade. Isso traduz a grande variabilidade dos dados das estações avaliadas neste processo.
- O aspecto anterior pode indicar que para os diversos parâmetros, DBO, DQO, e SST, a comparação entre Concentração de Projeto e Concentração de Operação, pode ser entendida pela relação entre o coeficiente de confiabilidade e o coeficiente de variação, ou seja, quanto maior o coeficiente de variação, menor será o coeficiente de confiabilidade e vice-versa, sendo valores inversamente proporcionais;
- Para o parâmetro DBO, a ETE São Cristóvão apresenta o valor superior com relação à eficiência, cerca de 96,5%, se destacando comparando-a com o desempenho das demais estações estudadas.
- Com relação ao parâmetro DQO, se verificou que a Estação São Cristóvão apresentou valores abaixo do esperado, mas dentre os demais sistema apresentou-se o mais eficiente, com uma eficiência estimada em 65,6%, estando abaixo de valores ideais;
- De acordo com análises feitas de SST, a ETE que se mostrou mais eficiente, foi a Almirante Tamandaré, com eficiência de 74,5%, estando de acordo com valores estipulados por órgãos especializados no processo de fiscalização.
- Foi observado que na remoção de DBO, a ETE Almirante Tamandaré, foi a menos eficiente, apresentando valor de 51,4% aproximadamente. Já para o processo de remoção de SST, a ETE Aracapé se mostrou a menos eficiente, apresentando valor de 59,2%.

Tabela 5 – Análise de Confiabilidade 2 (2006)

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2006									
ETEs	Aracapé			São Cristóvão			Almirante Tamandaré		
Processo de Tratamento	Sistema UASB			Sistema de Lagoas de Estabilização			Sistema Decanto - Digestor + Filtro Anaeróbio		
Vazão média atual (L/s)	7,5			30,7			19,9		
População atendida	1800			20000			4000		
Vazão de projeto (L/s)	10			57			25		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/L)	498,6	651,66	171,5	446,16	596,75	265,75	136,4	276,3	290,9
Eficiência de remoção (%)	77,06	62,5	59,16	96,46	65,61	69,91	51,37	62,5	74,48
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	85	85	80	90	92	90	80	80	80
Meta de Conc. Adotada (mg/L)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Conc. Média Efluente (mg/L)	37,33	246,67	75	42,42	72,5	54,76	64,08	78,89	50,61
Desvio padrão (mg/L)	38,28	38,63	17,84	31,78	37,55	18,92	49,46	37,27	38,43
Coeficiente de variação (CV)	1,03	0,16	0,24	0,75	0,52	0,35	0,77	0,47	0,76
1- α	90	90	90	90	90	90	90	90	90
A	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Z	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28
CDC	0,48	0,83	0,76	0,53	0,6	0,69	0,53	0,62	0,52
CONCENTRAÇÃO DE PROJETO (mg/L)	29	49	46	32	36	41	32	37	32
CONCENTRAÇÃO DE OPERAÇÃO (mg/L)	124	73	80	113	100	88	114	96	113

4.3.3. Análise de Confiabilidade nas Estações em 2007 – Procedimento 01.

A Tabela 6 apresenta os resultados da confiabilidade operacional para as três ETEs analisadas em 2007, assim como os dados básicos das ETEs, as metas de concentração e de eficiência estabelecidas, as concentrações médias dos efluentes e seus respectivos Desvios-Padrão e Coeficiente de Variação, e o número de componentes da amostra sugerido e utilizado. As ETEs foram dispostas seqüencialmente nesta tabela, considerando as similaridades entre os processos. De acordo com o que foi observado:

- Os valores de confiabilidade mostraram-se coerentes com as características operacionais das ETEs, considerando o alcance das metas estabelecidas e a variabilidade entre os valores da amostra, exceto para o parâmetro DBO, onde a ETE Aracapé apresentou uma confiabilidade baixíssima, de apenas 0,68%;
- As ETEs Aracapé e Almirante Tamandaré apresentaram de um modo geral, valores de confiabilidade operacional para remoção de DBO em torno de 0,68% e 37,7%, respectivamente, enquanto que a ETE São Cristóvão que emprega processos naturais, atingiu uma confiabilidade média de 86,43% na remoção de DBO, valor este bem acima dos valores conferidos nas outras estações.
- Tal fato confirma que, embora a ETE São Cristóvão, dispondo de um sistema natural e eficiente, que eventualmente tenha apresentado algumas falhas durante este ano, certamente não influenciaram no desempenho dessa estação, em termos alcance da eficiência do processo;
- Na remoção de DQO, todas as ETEs apresentaram elevados índices para a confiabilidade, entre 84,13 e 99,31%, exceto a ETE Aracapé, que apresentou uma confiabilidade de 33,72%. Nesse aspecto, é recomendável verificar o critério para definição da meta de DQO.

- Em relação ao parâmetro SST, se verificou que todas as estações apresentaram confiabilidades surpreendentes, onde os valores estiveram entre 94,41 e 96,41%.
- Observou-se que a ETE Aracapé que emprega processos artificiais apresentou valores de confiabilidade operacional de DBO menor que as de processo natural, observando também que a variabilidade do processo foi maior, indicado que coeficiente de variação esteve em torno de 60% inferior ao da ETE Almirante Tamandaré e 80% inferior ao da ETE São Cristóvão. Devido a tais características é importante que, durante a elaboração de projetos que empreguem processos mecanizados, seja considerada esta variabilidade para definição da meta de eficiência, de forma que ela possa ser alcançada em parte considerável do tempo de operação;
- O aspecto anterior pode indicar que as metas de eficiência para as ETEs que utilizam lagoas podem ser verificadas, uma vez que elas são bastante elevadas, com no mínimo 90% para remoção de DBO. É importante destacar que mesmo com essas elevadas eficiências de remoção as concentrações dos efluentes não são tão notáveis, devido às elevadas concentrações de DBO encontradas nos esgotos domésticos de determinadas localidades;
- Os resultados apresentados pelas ETEs podem ter sido influenciados por fatores externos, uma vez que essas unidades se encontravam em manutenção em parte do período de análise.
- Com relação à eficiência operacional, se verificou que a Estação que se destacou no processo de remoção de DBO foi a ETE São Cristóvão, com desempenho operacional de 89,76%. Esta estação teve também um melhor desempenho na remoção de SST, tendo uma eficiência operacional de 78,86%.
- Para a remoção de DBO, a ETE Aracapé teve uma boa eficiência, cerca de 72,23%, mesmo assim, para este parâmetro apresentou uma insignificante

confiabilidade. Isto pode ser explicado pela concentração afluente, que nesta estação chega a 652,5 mg/L, enquanto que a maior das outras estações chega a 497 mg/L, ou seja, mesmo a estação operando dentro da eficiência requerida, que seria de 60%, a mínima, ela não é confiável, pois sua concentração efluente chegou a 184 mg/L, bem superior a meta, que é de 60 mg/L.

Tabela 6 – Análise de Confiabilidade 1(2007)

DADOS BÁSICOS DAS ETEs – 2007									
ETEs	Aracapé			São Cristóvão			Almirante Tamandaré		
Processo de Tratamento	Sistema UASB			Sistema de Lagoas de Estabilização			Sistema Decanto - Digestor + Filtro Anaeróbio		
Vazão média atual (L/s)	7,5			30,7			19,9		
População atendida	1800			20000			4000		
Vazão de projeto (L/s)	10			57			25		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/L)	652,5	849,58	328,75	497	596,75	251	266,75	464,58	251,33
Eficiência de remoção (%)	72,23	81,49	78,15	89,76	94,99	78,86	61,57	71,72	74,37
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	85	85	80	90	92	90	80	80	80
Meta de Conc. Adotada (mg/L)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Conc. Média Efluente (mg/L)	184	249,25	70,25	36,58	54,92	64,75	94,17	132,67	56,38
Desvio padrão (mg/L)	34,82	34,19	14,74	34,82	28,22	14,74	53,41	50,63	17,47
Coeficiente de variação (CV)	0,19	0,14	0,41	1	0,43	0,35	0,57	0,38	0,76
Valor Z _{1-a}	-2,47	-0,42	1,59	1,1	2,46	1,8	-0,33	1	1,68
Confiabilidade de não excedência	0,68%	33,72%	94,41%	86,43%	99,31%	96,41%	37,07%	84,13%	95,35%

4.3.4. Análise de Confiabilidade nas Estações em 2007 – Procedimento 02.

- Os valores de confiabilidade mostraram-se coerentes com as características operacionais das ETEs, considerando o alcance das metas estabelecidas e a variabilidade entre os valores da amostra, onde foi verificado que a ETE Aracapé apresentou um coeficiente de confiabilidade maior, apresentando valor de 0,85, para a remoção de DQO, seguido pelas ETEs Almirante Tamandaré e São Cristóvão, com valores de 0,67 e 0,64, respectivamente.
- A ETE São Cristóvão apresentou de um modo geral, coeficiente de confiabilidade operacional apropriado para remoção de SST em torno de 0,69, enquanto que as ETEs que não empregam processos naturais apresentaram coeficientes de 0,65 e 0,53.
- Tal fato confirma que, embora as ETEs Aracapé e Almirante Tamandaré, dispondo de sistemas eficientes, que embora tenham ocorrido possíveis falhas mecânicas que, podem influenciar no desempenho dessas estações, em termos de tempo de alcance da eficiência do processo;
- Porém, na remoção de DBO, as ETEs Aracapé e Almirante Tamandaré apresentaram índices de confiabilidade superiores, em torno de 0,80 e 0,69, respectivamente, sendo superiores a ETE São Cristóvão, que foi de 0,49.
- Foi possível observar que nenhuma estação apresentou um aumento da concentração de projeto para o parâmetro DQO, DBO e para o parâmetro SST, onde todas as Concentrações de Projeto foram superiores às Concentrações de Operação;
- As concentrações de operação para uma confiabilidade de 90% (Tabela 7) demonstram uma tendência de aumento dos valores limites de qualidade. Isso traduz a grande variabilidade dos dados das estações avaliadas neste processo.

- O aspecto anterior pode indicar que para os diversos parâmetros, DBO, DQO, e SST, a comparação entre Concentração de Projeto e Concentração de Operação, pode ser entendida pela relação entre o coeficiente de confiabilidade e o coeficiente de variação, ou seja, quanto maior o coeficiente de variação, menor será o coeficiente de confiabilidade e vice-versa, sendo valores inversamente proporcionais;
- Para o parâmetro DBO, a ETE São Cristóvão apresenta o valor superior com relação à eficiência, apresentando valor de 89,76%, se destacando comparando-a com o desempenho das demais estações estudadas.
- Com relação ao parâmetro DQO, se verificou que a Estação São Cristóvão apresentou valor em acordo com o esperado, 95%, e dentre os demais sistemas, apresentou-se o mais eficiente.
- De acordo com análises feitas de SST, a ETE que se mostrou mais eficiente, foi a São Cristóvão, com eficiência de 79%, estando de acordo com valores estipulados por órgãos especializados no processo de fiscalização.
- Foi observado que na remoção de DBO, a ETE Almirante Tamandaré, foi a menos eficiente, apresentando valor de 61,57% aproximadamente. Já para o processo de remoção de SST, a mesma se mostrou também a menos eficiente, apresentando valor de 74,37%, valor este superior ao de 2006, que foi próximo a 55%.

Tabela 7 – Análise de Confiabilidade 2 (2007)

DADOS BÁSICOS DAS ETEs – 2007									
ETEs	Aracapé			São Cristóvão			Almirante Tamandaré		
Processo de Tratamento	Sistema UASB			Sistema de Lagoas de Estabilização			Sistema Decanto - Digestor + Filtro Anaeróbio		
Vazão média atual (L/s)	7,5			30,7			19,9		
População atendida	1800			20000			4000		
Vazão de projeto (L/s)	10			57			25		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/L)	652,5	849,58	328,75	497	596,75	251	266,75	464,58	251,33
Eficiência de remoção (%)	72,23	81,49	78,15	89,76	94,99	78,86	61,57	71,72	74,37
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE – CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	85	85	80	90	92	90	80	80	80
Meta de Conc. Adotada (mg/L)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Conc. Média Efluente (mg/L)	184	249,25	70,25	36,58	54,92	64,75	94,17	132,67	56,38
Desvio padrão (mg/L)	34,82	34,19	14,74	34,82	28,22	14,74	53,41	50,63	17,47
Coeficiente de variação (CV)	0,19	0,14	0,41	1	0,43	0,35	0,57	0,38	0,76
1- α	90	90	90	90	90	90	90	90	90
A	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Z	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28
CDC	0,8	0,85	0,65	0,49	0,64	0,69	0,58	0,67	0,53
CONCENTRAÇÃO DE PROJETO (mg/L)	48	51	39	29	39	41	35	40	32
CONCENTRAÇÃO DE OPERAÇÃO (mg/L)	75	71	100	123	93	88	103	90	113

4.4. Análise dos valores de CDC em função dos Coeficientes de Variação considerando diferentes Níveis de Confiabilidades

Pela verificação das curvas traçadas para diferentes níveis de confiabilidade, o comportamento se altera, à medida que se elevam os graus de confiabilidade desejados. Cabe enfatizar que quanto maior o nível de confiabilidade desejado, menores deverão ser os coeficientes de variação para a obtenção de elevados coeficientes de confiabilidade. Para se ter 90% de confiabilidade que uma ETE terá um CDC igual a 0,8, por exemplo, é necessário que a estação opere com um CV médio por volta de 0,19, na análise de DBO.

Para um nível de confiabilidade de apenas 80%, até valores elevados de CV são suficientes para a obtenção de altos valores de CDC. Considerando o mesmo exemplo, para um CV de 1,03, o valor do CDC será de 0,72.

Para o nível de confiança de 99% de uma ETE, observa-se que para um CV de 0,19, ela apresenta um CDC de 0,2, provando com isso, que quanto maior o nível de confiabilidade, menor será o CDC, mesmo se for mantido o mesmo Coeficiente de Variação. Isto implica que, apenas 1% das concentrações não excederá a concentração exigida por lei. Já para um nível de confiabilidade de 80%, os valores de CDC são mais altos, pois cerca de 20% das concentrações não excederão as concentrações padrões exigidas. Como exemplo, na análise de DBO para um coeficiente de variação de 1,03, para um nível de confiabilidade de 80%, obteve um CDC de 0,71. Para o mesmo coeficiente de variação, e nível de confiabilidade de 99%, apresentou um CDC de 0,2.

Nas figuras abaixo, foram adicionadas linhas de tendência com o objetivo de reforçar o que foi mencionado acima, onde se conclui que quanto maior o nível de confiabilidade, menores serão os valores de CDC e quanto maiores os coeficientes de variação, menores os valores de CDC, confirmado assim que o CDC é inversamente proporcional aos coeficientes de variação.

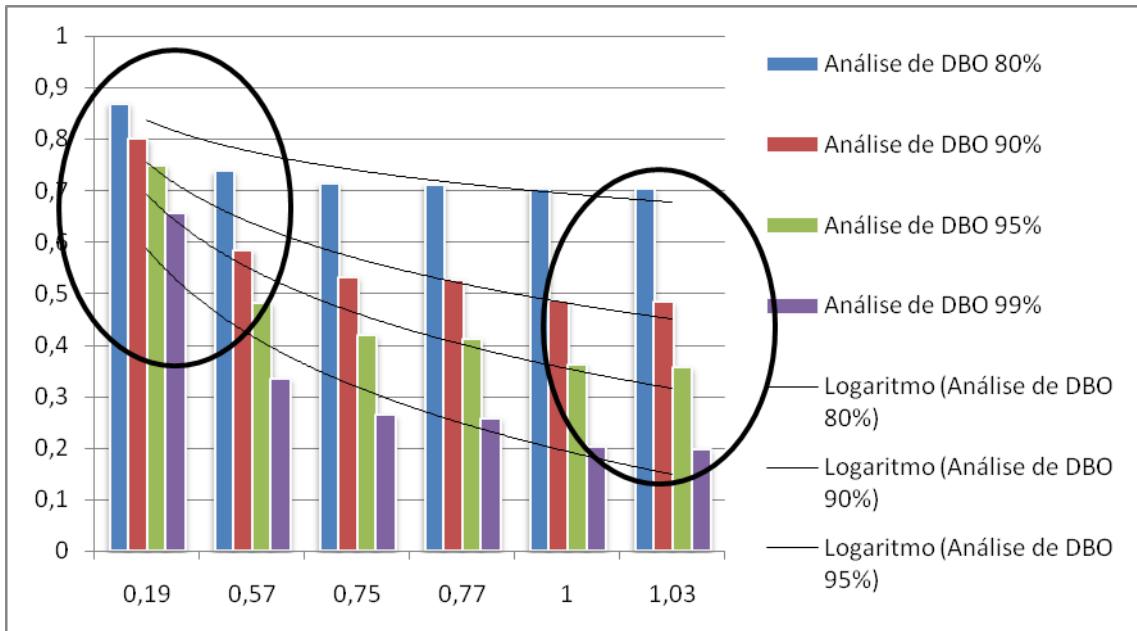


Figura 72 – Análise de CDC – DBO 2006

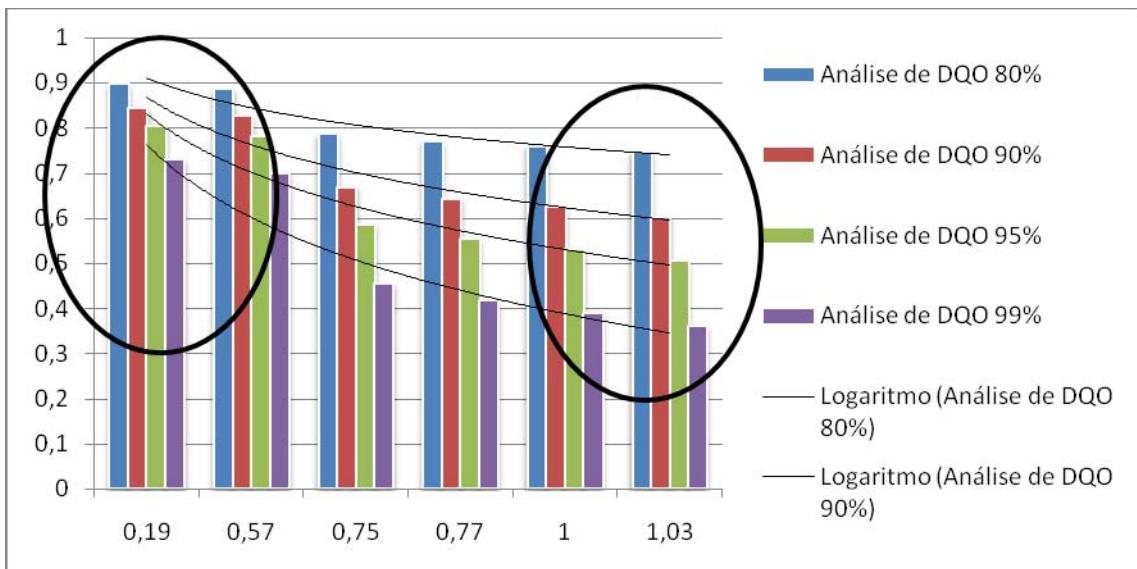


Figura 73 – Análise de CDC – DQO 2006

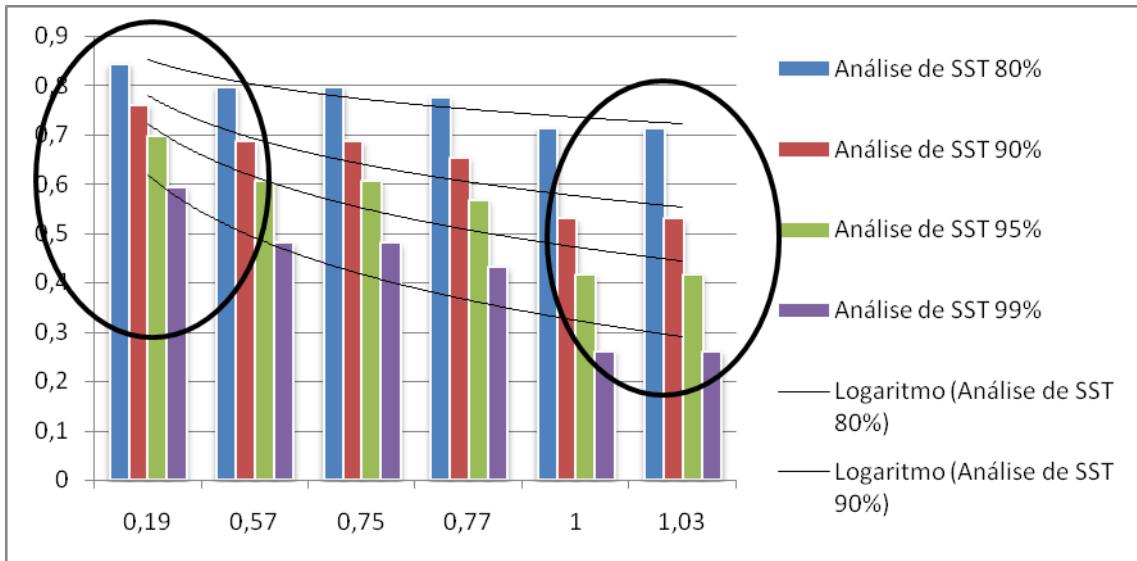


Figura 74 – Análise de CDC – SST 2006

Deve-se ressaltar que baixos valores de CV e, consequentemente, altos valores de CDC, não implicam em bons desempenhos, mas apenas uma condição mais estável de operação. Pequenos valores de coeficientes de confiabilidade implicam em menores valores de concentrações efluentes de projeto, necessárias para o cumprimento de padrões de lançamento. A seguir são mostrados tabela e gráfico de todos os parâmetros juntos. Foi constatado que a variação do CDC em função do CV é válida para qualquer parâmetro de concentração.

Tabela 8 - Valores de Coeficientes de Variação em função dos Níveis de Confiabilidade

Níveis	CV																	
	0,14	0,16	0,19	0,24	0,35	0,35	0,38	0,41	0,43	0,47	0,52	0,57	0,75	0,76	0,76	0,77	1	1,03
80%	0,9	0,88	0,87	0,84	0,8	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,71	0,71	0,71	0,7	0,7	
90%	0,84	0,82	0,80	0,76	0,68	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60	0,58	0,53	0,53	0,53	0,52	0,50	0,48
95%	0,8	0,78	0,74	0,7	0,6	0,6	0,58	0,56	0,55	0,53	0,5	0,48	0,41	0,41	0,41	0,4	0,35	
99%	0,73	0,7	0,65	0,59	0,5	0,5	0,45	0,43	0,41	0,39	0,36	0,33	0,26	0,26	0,26	0,25	0,2	0,19

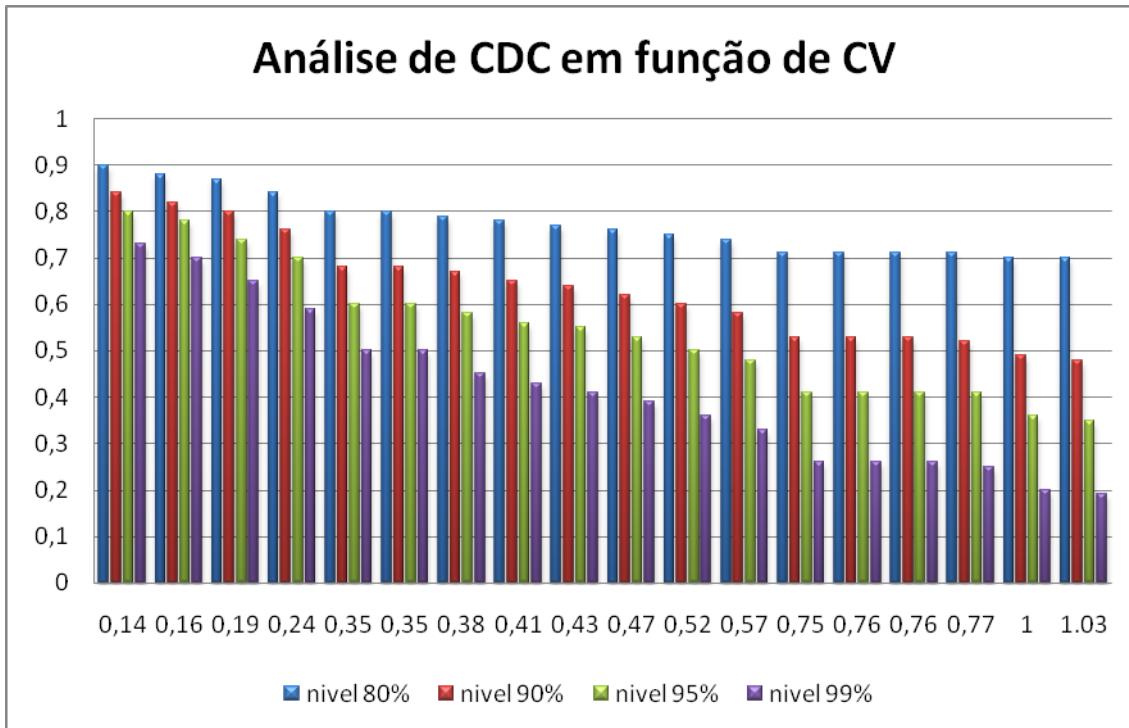


Figura 75 – Análise de CDC em CV

4.5. Análise dos valores de Concentração de DBO, DQO e SST em função dos Coeficientes de Variação considerando diferentes Níveis de Confiabilidade

Para generalizar o estudo efetuado, foram elaborados a Tabela os gráficos abaixo, que mostram as concentrações médias de projeto que seriam necessárias para atendimento à meta de lançamento de 60 mg/L de DBO, considerando a faixa real de coeficientes de variação (CV) observados para todas as tecnologias em estudo. Os valores foram calculados a partir dos coeficientes de confiabilidade, considerando várias opções de níveis de confiabilidade.

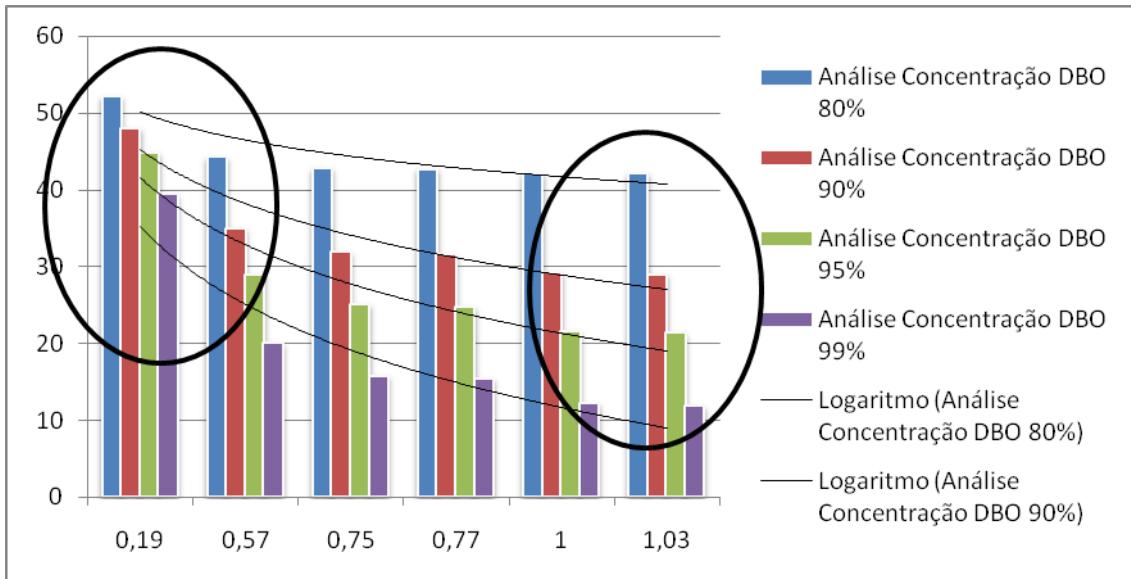


Figura 76 – Análise de CDC – DBO 2007

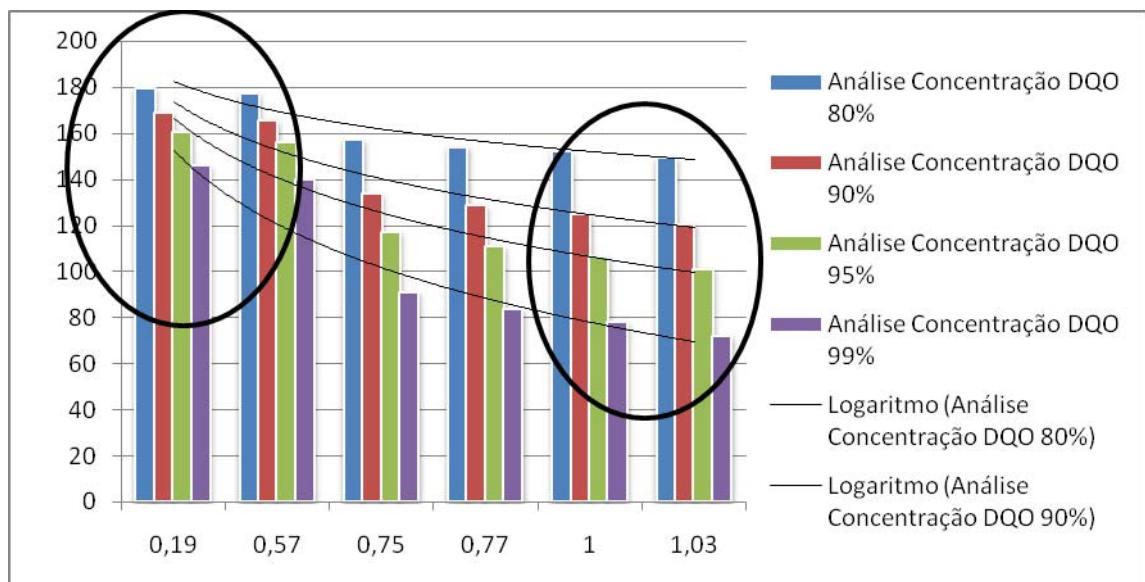


Figura 77 – Análise de CDC – DQO 2007

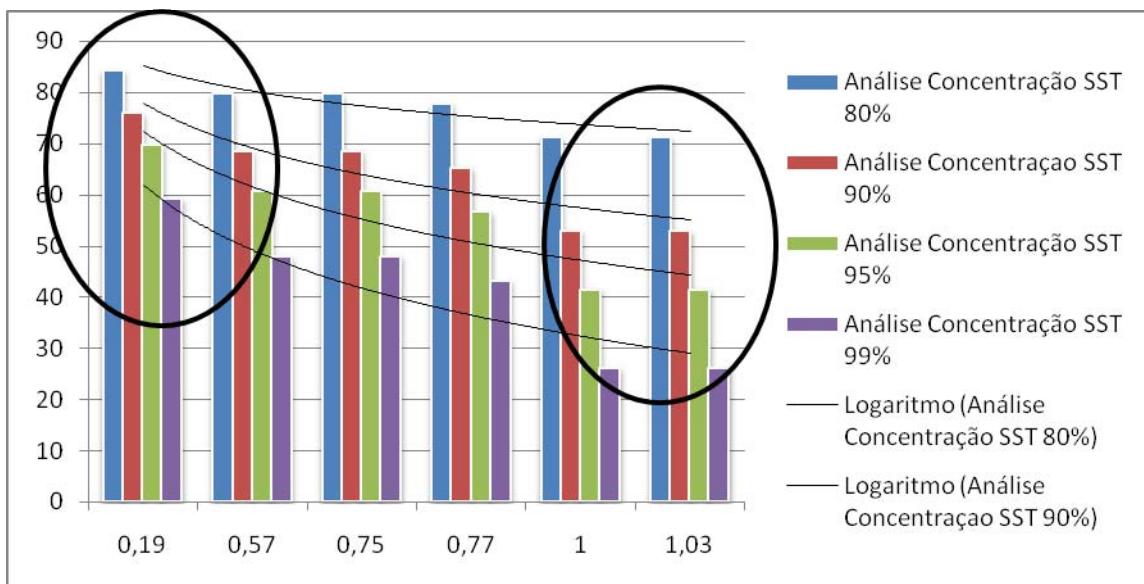


Figura 78 – Análise de CDC – SST 2007

Pela observação dos gráficos, nota-se que as concentrações de projeto são inversamente proporcionais aos valores de CV apresentados pelas ETEs, e do nível de confiabilidade escolhido. No entanto, em virtude dos dados seguirem uma distribuição lognormal, este comportamento é diferente para menores níveis de confiabilidade, como pode ser visto na análise feita nos gráficos com um círculo, onde as linhas de tendência diminuem sua inclinação tendendo a ficarem em posição linear. Como pode ser observado para a curva correspondente a 80% que, a partir do CV igual a 0,77, passa a ter as concentrações se elevando com maior expressão com relação ao aumento dos coeficientes de variação.

De acordo com a análise acima, para um melhor entendimento dos gráficos, tirou-se como exemplo os valores de CV iguais a 0,19 e 1,03. Para garantir que 95% dos resultados alcancem o atendimento ao padrão de lançamento de 100 mg/L, será necessário projetar a estação de tratamento para uma concentração efluente média de 70 mg/L, caso ela apresente um coeficiente de variação médio de 0,19. No entanto, caso o CV seja de 1,03 (com maiores desvios padrão em relação à média das concentrações), esta concentração de projeto deverá ser menor, chegando ao valor de 42 mg/L.

4.6. Análise Descritiva e de Estabilidade das Estações

Além das concentrações de projeto e de operação, as estações foram classificadas quanto à estabilidade de acordo a proposição de NIKU (1982), que considera a estação estável se o desvio padrão de suas concentrações efluentes forem inferiores a 10 mg/l. Caso contrário, as estações são consideradas instáveis. Verificou-se que nenhuma estação apresentou estabilidade, somente para o parâmetro SST, as ETEs Aracapé e São Cristóvão, alçaram valores próximos do ideal, 14,74, mas quase 50% acima do valor recomendado por NIKU, que é de 10mg/L.

Tabela 9 - Análise Descritiva 2006

ANÁLISE DESCRIPTIVA – 2006									
SISTEMA	Média	DBO D.Padrão(mg/l)	Variação	Média	DQO D.Padrão(mg/l)	Variação	Média	SST D.Padrão(mg/l)	Variação
ARACAPÉ	37,33	38,28	1,06	246,7	38,63	0,75	75	17,84	0,77
SÃO CRISTÓVÃO	42,42	31,78	0,16	72,5	37,55	0,52	64,08	18,92	0,47
ALMIRANTE TAMANDARÉ	64,08	49,76	0,24	78,89	37,27	0,35	50,61	38,43	0,76

Tabela 10 - Análise Descritiva 2007

ANÁLISE DESCRIPTIVA – 2007									
SISTEMA	Média	DBO D.Padrão(mg/l)	Variação	Média	DQO D.Padrão(mg/l)	Variação	Média	SST D.Padrão(mg/l)	Variação
ARACAPÉ	184	34,82	0,19	249,3	34,19	0,14	70,25	14,74	0,89
SÃO CRISTÓVÃO	36,58	34,82	1	54,92	28,22	0,43	64,75	14,74	1,06
ALMIRANTE TAMANDARÉ	94,17	53,41	0,57	132,7	50,63	0,38	56,38	17,47	1,13

A seguir são mostradas duas tabelas referentes à Análise de Confiabilidade das estações estudadas. Foi constatado que quanto maior for o índice de confiabilidade, menor será a diferença entre as Concentrações de Projeto e Concentrações de Operação. As concentrações de Operação, quando o CDC é inferior a um, normalmente são superiores às Concentrações de Projeto. Quando o CDC é superior a um, a situação se inverte. Isso ocorre porque a determinação das concentrações depende do valor estipulado pelos órgãos fiscalizadores, que varia entre os estados da Federação, e os valores de CDC. Como a Concentração de Projeto é diretamente proporcional ao CDC e o valor estipulado, quanto maior eles forem, maior será a Concentração de Projeto. Já para a Concentração de Operação o CDC é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior ele for, menor será a Concentração de Operação. Outro fator importante verificado foi que, quando o CDC se aproxima “um”, as Concentrações de Projeto e Operação tendem a se aproximarem, pois elas se aproximaram cada vez mais do valor que é estipulado pelos órgãos fiscalizadores.

Tabela 11 - Análise Confiabilidade X Concentrações 2006

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE: CONC. PROJETO E OPERAÇÃO – 2006									
Referência	DBO (mg/l)			DQO (mg/l)			SST (mg/l)		
	Confiabilidade	C. Projeto	C. Operação	Confiabilidade	C. Projeto	C. Operação	Confiabilidade	C. Projeto	C. Operação
ARACAPÉ	0,8375	50,3	71,6	0,166	33	1205	0,8023	80	124,6
SÃO CRISTÓVÃO	0,8	48	75	0,746	149	269	0,881	88	113,5
ALMIRANTE TAMANDARÉ	0,6141	36,8	97,7	0,6985	140	286	0,8997	90	111,2

Tabela 12 - Análise Confiabilidade X Concentrações 2007

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE: CONC. PROJETO E OPERAÇÃO - 2007									
Referência	DBO (mg/l)			DQO (mg/l)			SST (mg/l)		
	Confiabilidade	C. Projeto	C. Operação	Confiabilidade	C. Projeto	C. Operação	Confiabilidade	C. Projeto	C. Operação
ARACAPÉ	0,0068	0,41	8823,5	0,0043	0,86	46511	0,8133	81,3	123
SÃO CRISTÓVÃO	0,8643	51,9	69,42	0,8413	168	107	0,8554	85,5	117
ALMIRANTE TAMANDARÉ	0,3707	22,3	161,8	0,3446	69	580	0,8708	87,1	114,8

A avaliação do atendimento aos critérios adotados pela CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente mostrou que todas as ETEs em operação estudadas em alcançaram um desempenho satisfatório, considerando os padrões de eficiência de remoção estabelecidos. Cabe ressaltar, no entanto, que foram analisados outros fatores, que também são importantes, principalmente no monitoramento cotidiano das estações. Foi constatado que em relação à temperatura todas as estações

apresentaram valores próximos a 30°C, estando condizentes com as exigências feitas pelo CONAMA, que institui uma temperatura inferior a 40°C. Com relação ao pH, todas as estações mostraram valores situados na faixa exigida por lei, que está entre 5 e 9. A condutividade elétrica é o parâmetro que indica a presença de sais no esgoto, e foi constatado que nas estações a condutividade em períodos menos chuvosos foi maior. Esta constatação também foi observada para a remoção da turbidez, onde nos períodos chuvosos a mesma foi menos eficiente para todas as estações, certamente pela excessiva vazão de chegada das estações.

5. CONCLUSÃO

Foram detectadas algumas inconsistências nos dados disponibilizados pela CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará), tornando necessário o ato de exclusão daqueles de qualidade reconhecidamente duvidosa. Para grande parte dos dados, que foram analisados na presente pesquisa, não se podem dar garantia sobre sua integridade, e todas as análises, interpretações e conclusões foram baseadas nestes dados. Mas, essas complicações, praticamente existentes nos diversos trabalhos que utilizam dados terceiros, não impossibilitam a utilização da metodologia de avaliação aplicada, assim como em outros trabalhos sujeitos aos mesmos objetivos.

O monitoramento qualitativo em termos de desempenho e eficiência, com sua grande variabilidade, envolvendo vários parâmetros de lançamento, foi motivo de preocupação e inflamou discussões extras em relação a uma possível qualidade da operação e desempenho das ETEs, sendo considerada em todas as análises presentes no trabalho.

Foi verificada pequena diferença, com a presença de ETEs extremamente bem monitoradas, apresentando um nível de eficiência comparável ao da estação que é processada por sistema natural, e de sistemas simplificados sem monitoramento rigoroso. Este fato foi mostrado nas análises gráficas dos parâmetros operacionais. O período de monitoramento variou durante dois anos entre as ETEs estudadas, considerando os dados coletados e fornecidos pela CAGECE. Todas as estações estudadas praticavam uma freqüência definida de amostragem. O tamanho das estações também variou muito e as vazões declaradas pelas ETEs variaram de 10 L/s, tratada pelo Reator UASB, a 57 L/s, afluente a um sistema de Lagoas de Estabilização.

Foi feita uma varredura e caracterização dos esgotos brutos e tratados, onde se buscou comparar as concentrações entre as estações, de DBO, DQO, SST, e demais parâmetros, como Turbidez, Temperatura, Condutividade Elétrica e pH. Esses parâmetros foram analisados em relação ao próprio desempenho da estação, como também pela comparação com padrões de lançamento exigidos pelo

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), e principalmente observadas com os valores considerados típicos pela literatura especializada. Os resultados mostraram que os esgotos brutos apresentaram uma concentração mais elevada do que usualmente expresso na literatura para esgotos predominantemente domésticos, em termos dos constituintes DBO, DQO, SST. Muitos se mostraram atípicos, pois mesmo com uma vazão menor, período pós chuvas, ainda sim foram alcançados valores de concentração altos.

As exigências bem definidas adotadas para as amostragens, incluindo freqüências mínimas de coleta e tipos de amostragens do afluente e efluente, aliados a um programa rígido de monitoramento e fiscalização, acarretariam melhorias na qualidade de operação e manutenção das ETEs, o que seria, certamente, refletido em melhores desempenhos.

A influência de fatores de projeto no desempenho das estações de tratamento de esgotos foi pouco expressiva e dispersada em todos os processos, já para os de operação, foram determinantes, principalmente devido às ocorrências, como: obstrução de tubulações de entrada por monitoramento inadequado, efetuação errônea de descargas necessárias para descartes nos reatores anaeróbios causando obstruções e criando curto-circuitos dentro dos reatores, diminuindo a eficiência do sistema e etc. Não foi possível a identificação de uma única variável ou mesmo de um grupo de variáveis que justificasse os desempenhos diferenciados observados em todos os sistemas, por exemplo, a presença de variáveis climáticas. Diante dos resultados, foi evidenciado que o monitoramento das ETEs deve ser feito de forma individual, promovendo caracterização e diagnósticos para solucionar de forma específica cada ETE, através de uma avaliação ampla e integrada, onde aspectos diversos sejam considerados. É necessário entender que as cargas aplicadas ou vazões de entrada, as condições ambientais e os parâmetros operacionais são probabilísticos por natureza e estão sujeitos a alterações aleatórias na sua magnitude, composição e simultaneidade de ocorrência. As variáveis na sua totalidade promovem alterações no tratamento biológico de águas residuárias, refletindo em efeitos na eficiência do processo e na qualidade do esgoto tratado, sendo necessário que sanitários ou engenheiros projetistas de estações de tratamento e operadores insiram uma avaliação consistente da complexidade de

fatores envolvidos para a efetuação e escolhas de sistemas de tratamento de esgoto. A distribuição lognormal mostrou ser a mais adequada para representar o comportamento dos dados dos diversos constituintes, por apresentar um percentual maior de ajuste entre os conjuntos de dados disponibilizados pelas ETEs.

Foi executada, ainda, uma análise de atendimento a um coeficiente de variação de 10mg/L, considerado por NIKU (1982). Os resultados mostraram que todas as ETEs, de todas as modalidades, apresentaram condições instáveis de operação, o que implica na incapacidade de se assegurar o cumprimento aos padrões de lançamento de efluentes e em consequentes elevados percentuais de violação.

É extrema importância enfatizar que os resultados apresentados mostram a realidade existente, mas não a capacidade de cada um dos sistemas estudados, que podem atingir desempenhos superiores aos apresentados. Os resultados obtidos em todas as análises e avaliações efetuadas nesta dissertação definem esta constatação, já que resultados satisfatórios foram alcançados por estações em caráter individual com relação a todos os processos de tratamento, evidenciando problemas e obstáculos que certamente não devem ser direcionados aos sistemas, mas provavelmente, a possíveis problemas de projeto, operação e manutenção das unidades.

A obtenção dos resultados demonstra a importância da análise de confiabilidade no diagnóstico do desempenho de estações de tratamento de esgotos. Para assegurar a qualidade das ETE's, que pode ser abordada como a remoção dos poluentes dos esgotos, o conceito de confiabilidade deve ser incluído nas análises.

Constatou-se neste trabalho, a importância na determinação da confiabilidade dos sistemas de tratamento de esgotos, de acordo com a metodologia utilizada, é um procedimento bastante simples, facilmente inserido no monitoramento de ETEs, e que possibilita quantificar uma importante característica do processo de tratamento, que é o tempo de atendimento aos parâmetros de eficiência pré-estabelecidos. Com isso, o desempenho real da ETE, em termos de remoção de um

determinado constituinte (DBO, DQO, SST), pode ser expresso de com mais precisão.

Adicionalmente, observa-se que, com a análise de uma amostra representativa de valores de concentração do efluente e do afluente de uma ETE, é possível verificar se as metas estão bem definidas ou, se for o caso, utilizar a metodologia para definir metas de concentração do efluente final. Observou-se, ainda, que o maior índice de mecanização nos processos de tratamento não prejudica a confiabilidade que esses processos possuem para a remoção de DBO. Com base nos valores obtidos, é possível utilizar a confiabilidade operacional como indicador de desempenho dos processos de tratamento de esgotos, possibilitando a identificação de um benchmarking entre os processos e a comparação entre suas performances.

É importante mencionar que se deve considerar a influência da confiabilidade ou da variabilidade do processo (expressa por seu coeficiente de variação), quando da elaboração de projetos de ETEs. Usualmente, a definição da concentração desejável de determinado constituinte no efluente final, em projeto, é feita em termos de valores médios. Uma ETE projetada segundo esta consideração, levando-se em conta que possua uma variabilidade pequena, irá atingir uma confiabilidade operacional maior, portanto, parte considerável de seu tempo de operação ela irá atingir à meta pré-estabelecida, ou vice-versa. Este aspecto toma maior relevância quando o corpo receptor possui elevada restrição ambiental.

As estações em estudo apresentaram a existência de deficiências no processo operacional e de manutenção, acarretando problemas não só para a população, como também à empresa responsável pelo tratamento, no atendimento de normas exigidas pelos órgãos de fiscalização competentes. Mesmo assim pode-se observar que existe uma busca de melhorias junto à concessionária, no que diz respeito ao planejamento de atividades de manutenção e operação. Atualmente existe um plano em andamento e que certamente promoverá melhorias nos resultados dos efluentes. Certamente, o objetivo final de todo o estudo é oferecer uma melhor qualidade de vida à população cearense e de certa forma do Brasil.

6. RECOMENDAÇÕES

De posse desses resultados, são citadas algumas recomendações:

- Empregar as análises de Estabilidade, Confiabilidade e Desempenho que reúne amostras e componentes promovendo o dimensionamento de um conjunto de dados reunindo variáveis, para avaliação de desempenho das tecnologias de tratamento e da influência de fatores de projeto, ambientais e operação na qualidade do efluente gerado. Tais técnicas foram utilizadas no presente trabalho, para uma avaliação sistemática, devido à grande diversidade de número e qualidade dos dados disponibilizados pelas ETEs, e devem ser utilizadas em fase de projeto de estações semelhantes.
- Avaliar de acordo com as análises obtidas no presente estudo, determinando o impacto de lançamentos de efluentes em corpos d'água, quando padrões de lançamento são excedidos com freqüências e níveis variados, e fazer uso de Controle Estatístico para a avaliação de desempenho de estações de tratamento.

7. BIBLIOGRAFIA

ABICALIL, M.T. Uma Nova Agenda para o setor de saneamento. In: **O pensamento do setor do saneamento do Brasil: Perspectivas Futuras.** Brasília: SEDUR/PR-PMSS, 2002.(Série Modernização do Setor Saneamento). p.115-135. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/pul_modernização_.htm>. Acesso em: 9 de jan.2004. ABNT. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: NBR 7229. 15 p. Rio e Janeiro, 1993.

AISSE, M. M.; CORAUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C.O.; JÜRGENSEN, D.; LAPOLLI, F. R.; MELO, H. N. S.; PIVELI, R. P. e DE LUCCA, S. J. Cloração e descloração. In: **Desinfecção de efluentes sanitários.** pp. 111 – 168. Coordenador: Ricardo Franci Gonçalves. PROSAB 3 – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. ABES. RIMA. Rio de Janeiro.

AISSE, M.M. **Processos Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários.** Curitiba-PR, 1993. 165f. Dissertação apresentada à Pontifícia Católica Paraná, para concurso de promoção à classe de Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil.Curitiba-PR,1993

ALÉM SOBRINHO, P.; JORDÃO, E.P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios- uma análise crítica.In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.) **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios.** 1 .ed. Belo Horizonte: s.n.,2001.cap.9, p.491-513.

ALÉM SOBRINHO, P.; KATO, M, T. Análise Crítica do Uso do Processo Anaeróbio para Tratamento de Esgotos Sanitários. In: CAMPOS, J.R.(Coord.) Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. 1.ed.Rio de Janeiro:ABES, 1999.cap.12, p.301-320.

ANDRADE NETO, C.O. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários** –Experiência Brasileira. Rio de Janeiro: ABES, 1997.301p.

ANDRADE NETO, C.O.; CAMPOS, J.R. Introdução. In: CAMPOS, J.R. (Coord.) **Tratamento Anaeróbio de Esgotos por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. 1.ed.Rio de Janeiro:ABES, 1999.cap.1, p.1-27.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma para construção e instalação de fossas sépticas: **NB-41**.Rio de Janeiro, 1963.18p.

AZEVEDO NETO, J. M. de. **Tanques Sépticos: conhecimentos atuais**. Rev. Engenharia Sanitária, v.24:2, abr -jun. p. 222-229, 1985.

BEZERRA, MARIA ESTER ESMERALDO.; MOTA, SUETÔNIO; UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Cenário do tratamento de esgoto através de tanque séptico + filtro anaeróbio em Fortaleza**. Fortaleza, 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará.

BROADBENT, S. R. Lognormal Approximation to Products and Quotients. Biometrika, v. 43, n. 3/4, pp. 404-417., 1956.

BROSTEL, R.C. **Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs). Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH**. DM-56/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 278 p. 2002.

CAGECE. Companhia .../SEINFRA...**SANEAR II**. Programa de Infra Estrutura Básica do Estado do Ceará- Fortaleza: CSL Consultoria de Engenharia e Economia, 2002.6v.CAMPOS et al. (1999)

CAMPOS, J. R. **Alternativas para Tratamento de Esgotos Sanitários**. São Paulo: ÉDILE-Serviços Gráfico Ltda, 1991.65p.(Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari,n.2)

CAMPOS, J. R. **Uso de outros tipos de reatores anaeróbio para efluentes líquidos**. In: ENCONTRO DE ESPECIALISTAS EM DIGESTÃO ANAEROBIA, GTDA, 1985, São Paulo. **Anais...**São Paulo: DCET, 1987, p.143-163.

CEARÁ. Portaria SEMACE/CE 097 de 03 de abril de 1996. **Estabelece condições para lançamento dos efluentes líquidos gerados em qualquer fonte poluidora.** Ceará, Fortaleza, 30 abr.1996.

CEARÁ. Portaria SEMACE/CE 097 de 03 de abril de 1996. **Estabelece condições para lançamento dos efluentes líquidos gerados em qualquer fonte poluidora.** Ceará, Fortaleza, 30 abr.1996.

CEARÁ.Governo do Estado. Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará. Portaria nº 154 de 7 de agosto de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos geradores de fontes poluidoras. Disponível em:<http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/index_legistacao.asp>. Acesso em: 10 jan.2004

CHERNICHARO, C. A. L. et al. Controle operacional de reatores anaeróbios In: CAMPOS, J.R. (Coord.) **Tratamento Anaeróbio de Esgotos por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo.** 1.ed.Rio de Janeiro:ABES, 1999.cap.9, p.221-246.

CHERNICHARO, C. A. L. et al. Introdução In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.) **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios.** 1 .ed. Belo Horizonte: s.n.,2001.cap. 1, p.19-34.

CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. CNPq/Caixa Econômica/FINEP. 544 p. Belo Horizonte, 2001.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios.** 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG, 1997. v.5, 246p.
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 357 de 17 de março de 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resoluções do CONAMA 1984 a 1991.4ed.rev.e aum.Brasilia: IBAMA, 1992.245p.

CROW, E. L. & SHIMIZU, K. Lognormal distributions: **theory and applications**. Series: **Statistics, textbooks and monographs**, v. 88. New York: Marcel Dekker, Inc., 1988, 387p.

DHILLON, B.S. **Reliability engineering in systems design and operation**. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York. 1983.

DOBSON, S; CARY, RICHARD; WORLD HEALTH ORGANIZATION; INTERNATIONAL PROGRAM ON CHEMICAL SAFETY. **Chlorine dioxide (GAS)**. Geneva: WHO, 2002. 26p ISBN 9241530375

EISENBERG, D., SOLLER, J., SAKAJI, R. e OLIVIERI, A. **A methodology to evaluate water and wastewater treatment plant reliability**". WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. Vol.43, N° 10, 91-99. 2001.

GNÉDENKO, B. et al. **Méthodes Mathématiques em Théorie de la Fiabilité. Les Éditions Mir**; 1972.535p.

GONÇALVES, R. F et al. Pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbio por reatores com biofilme In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.) **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. 1 .ed. Belo Horizonte: s.n.,2001.cap.4, p.171-271.

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. CNPq/Caixa Econômica/FINEP. 422 p. Vitória-ES, 2003.

HELLER, L. et al. **Investigação Científica em Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**; 1996.

KAWAI, H et al. **Avaliação de Desempenho de Estações de Tratamento de Esgotos**.São Paulo: CETESB, 1991.38p.(Séries Manuais).LEGFOR, 2004

KELLNER, ERICH.; PIRES, EDUARDO CLETO.; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Lagoas de estabilização: projeto e operação.** Rio de Janeiro: ABES, 1998. 242 p. ISBN 8570221282 (broch.)

LIMPERT, E.; STAHEL, W. A.; ABBT, M. Log-normal Distributions across the Sciences: Keys and Clues. *Bioscience*, v. 51, n. 5, pages 341–352, 2001.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** Metcalf & Eddy, Inc.-3rd edição, revisada por George Tchobanaglous e Frank Burton. McGraw-Hill. USA. 1991.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 1.ed. Rio de Janeiro:ABES, 1977.292p.

NIKU, S., SCHROEDER, E.D., HAUGH, R.S. **Reliability and stability of trickling filter processes.** JOURNAL WPCF, Vol.54, No.2, pp.129-134. 1982.

NIKU, S., SCHROEDER, E.D., SAMANIEGO, F.J. **Performance of activated sludge processes and reliability - based design.** JOURNAL WPCF, Vol.51, No.12, pp.2841-2857. 1979.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE; ALLEYNE, George A. O. A quest for equity: selected speeches = **En busca de la equidad : seleccion de discursos**. Washington: PHAO, 2002. 683p ISBN 9275073899

PONTES, A.R et al. **Diagnóstico do comportamento do sistema tanque séptico / filtro anaeróbio, com desinfecção, implantados em Fortaleza.** 1993.25 f. Monografia (especialização em Saneamento e Controle Ambiental) – Universidade Federal do Ceará –UFC. Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará – SEMACE, Fortaleza, 1993.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Águas e Esgotos – 2002.** Brasília; 2004. 99 p.

THOMOPOULOS, N. AND JOHNSON, A., **Tables and Characteristics of the Standardized Lognormal Distribution.** Proceedings of the Decision Sciences Institute, n. 103:1-6, 2003.

VAN HAANDEL, Adrianus; MARAIS, Gerrit. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicacoes para projetos e operacao .** Campina Grande, PB: Universidade Federal da Paraiba, 1999. 472p

VERAS, B. **Projeto São Francisco: A Integração das águas do Semi-árido.** Brasília: Gabinete Senador Beni Veras, 1998. 63p.

VIEIRA, S. M. M.; ALÉM SOBRINHO, P. **Resultados de operação e recomendações para o projeto de sistema de decanto-digestor e filtro anaeróbio para tratamento de esgotos sanitários.** REVISTA DAE, n.135, 1983, p.51-57.

VON SPERLING, M. **Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 1, pp. 111-132, Jan/Mar 1998.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 2. ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 243.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2002. 196p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 3).

VON SPERLING, M., NASCIMENTO, L.V., **A Resolução CONAMA 20/86 e as legislações estaduais de classificação das águas e lançamento de efluentes.** In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999,** Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: [s.n.], p. 2413-2419, 1999.

ANEXOS

ANEXOS A: Tabela da Distribuição Normal

TABELA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL PADRÃO

$$P(Z \leq z) = \Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{s^2}{2}} ds$$

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3,0	0,0013	0,0010	0,0007	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
-2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019
-2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0126	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
-2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0238	0,0233
-1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0300	0,0294
-1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0570	0,0559
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0722	0,0708	0,0694	0,0681
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
-1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0,7	0,2420	0,2380	0,2358	0,2327	0,2297	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
-0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7703	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7853
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9278	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9430	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9648	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9700	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9762	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9874	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9990	0,9993	0,9995	0,9997	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	1,0000

ANEXOS B: Documentação Fotográfica**FIGURA 79 – Caixa de Areia****FIGURA 80 – Leito de Secagem**



FIGURA 81 – Leito de Secagem



FIGURA 82 – Sistema de Gradeamento



FIGURA 83 – Sistema de Reatores e Leitos de Secagem



FIGURA 84 – Sistema de Bombas e Poço de Succão



FIGURA 85 – Sistema Complexo de ETE Compacta

ANEXO C: Planilhas de Cálculos de Parâmetros Estatísticos

Parâmetros da ETE São Cristóvão

SÃO CRISTOVAO DQO 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
180	107,50	11556,25	1410,27
100	27,50	756,25	Desvio padrão (mg/l)
87	14,50	210,25	37,55
55	-17,50	306,25	Coef. Variação
50	-22,50	506,25	0,52
50	-22,50	506,25	
65	-7,50	56,25	
70	-2,50	6,25	
63	-9,50	90,25	
50	-22,50	506,25	
50	-22,50	506,25	
50	-22,50	506,25	
72,50	←MÉDIA	15513,00	←SOMATÓRIO

SÃO CRISTOVÃO DQO 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
125,00	60,08	3610,01	796,27
50,00	-14,92	222,51	Desvio padrão (mg/l)
125,00	60,08	3610,01	28,22
50,00	-14,92	222,51	Coef. Variação
50,00	-14,92	222,51	0,43
50,00	-14,92	222,51	
50,00	-14,92	222,51	
55,00	-9,92	98,34	
55,00	-9,92	98,34	
57,00	-7,92	62,67	
58,00	-6,92	47,84	
54,00	-10,92	119,17	
64,92	←MÉDIA	8758,92	←SOMATÓRIO

SÃO CRISTOVÃO DBO 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
110,00	67,58	4567,51	1009,90
75,00	32,58	1061,67	Desvio padrão (mg/l)
78,00	35,58	1266,17	31,78
64,00	21,58	465,84	Coef. Variação
13,00	-29,42	865,34	0,75
24,00	-18,42	339,17	
29,00	-13,42	180,01	
5,00	-37,42	1400,01	
35,00	-7,42	55,01	
29,00	-13,42	180,01	
26,00	-16,42	269,51	
21,00	-21,42	458,67	
42,42	←MÉDIA	11108,92	

SÃO CRISTOVÃO DBO 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
130,00	93,42	8726,67	1335,90
65,00	28,42	807,51	Desvio padrão (mg/l)
60,00	23,42	548,34	36,55
63,00	26,42	697,84	Coef. Variação
12,00	-24,58	604,34	1,00
13,00	-23,58	556,17	
19,00	-17,58	309,17	
9,00	-27,58	760,84	
26,00	-10,58	112,01	
19,00	-17,58	309,17	
13,00	-23,58	556,17	
10,00	-26,58	706,67	
36,58	←MÉDIA	14694,92	←SOMATÓRIO

SÃO CRISTOVÃO SST 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
98,00	43,28	1872,73	358,02
31,00	-23,73	562,88	Desvio padrão (mg/l)
59,00	4,28	18,28	18,92
64,00	9,28	86,03	Coef. Variação
40,00	-14,73	216,83	0,35
57,00	2,28	5,18	
67,00	12,28	150,68	
63,00	8,28	68,48	
57,00	2,28	5,18	
31,00	-23,73	562,88	
54,70	-0,02	0,00	
35,00	-19,73	389,08	
54,73	←MÉDIA	3938,18	←SOMATÓRIO

SÃO CRISTOVÃO SST 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
130,00	65,25	4257,56	517,48
37,00	-27,75	770,06	Desvio padrão (mg/l)
65,00	0,25	0,06	22,75
63,00	-1,75	3,06	Coef. Variação
45,00	-19,75	390,06	0,35
58,00	-6,75	45,56	
56,00	-8,75	76,56	
68,00	3,25	10,56	
70,00	5,25	27,56	
57,00	-7,75	60,06	
59,00	-5,75	33,06	
69,00	4,25	18,06	
64,75	←MÉDIA	5692,25	←SOMATÓRIO

Parâmetros da ETE Aracapé

ARACAPÉ DQO 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
250,00	3,33	11,11	1492,42
230,00	-16,67	277,78	Desvio padrão (mg/l)
260,00	13,33	177,78	38,63
290,00	43,33	1877,78	Coef. Variação
300,00	53,33	2844,44	0,16
215,00	-31,67	1002,78	
200,00	-46,67	2177,78	
260,00	13,33	177,78	
300,00	53,33	2844,44	
195,00	-51,67	2669,44	
260,00	13,33	177,78	
200,00	-46,67	2177,78	
246,67	←MÉDIA	16416,67	←SOMATÓRIO

ARACAPÉ DQO 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
250,00	0,75	0,56	1169,11
190,00	-59,25	3510,56	Desvio padrão (mg/l)
267,00	17,75	315,06	34,19
289,00	39,75	1580,06	Coef. Variação
325,00	75,75	5738,06	0,14
256,00	6,75	45,56	
245,00	-4,25	18,06	
230,00	-19,25	370,56	
239,00	-10,25	105,06	
250,00	0,75	0,56	
225,00	-24,25	588,06	
225,00	-24,25	588,06	
249,25	←MÉDIA	12860,25	←SOMATÓRIO

ARACAPÉ DBO 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
145,00	107,67	11592,11	1465,70
67,00	29,67	880,11	Desvio padrão (mg/l)
46,00	8,67	75,11	38,28
49,00	11,67	136,11	Coef. Variação
16,00	-21,33	455,11	1,03
17,00	-20,33	413,44	
25,00	-12,33	152,11	
20,00	-17,33	300,44	
29,00	-8,33	69,44	
15,00	-22,33	498,78	
10,00	-27,33	747,11	
9,00	-28,33	802,78	
37,33	←MÉDIA	16122,67	

ARACAPÉ DBO 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
208,00	24,00	576,00	1212,55
187,00	3,00	9,00	Desvio padrão (mg/l)
250,00	66,00	4356,00	34,82
200,00	16,00	256,00	Coef. Variação
238,00	54,00	2916,00	0,19
189,00	5,00	25,00	
167,00	-17,00	289,00	
150,00	-34,00	1156,00	
156,00	-28,00	784,00	
169,00	-15,00	225,00	
145,00	-39,00	1521,00	
149,00	-35,00	1225,00	
184,00	←MÉDIA	13338,00	←SOMATÓRIO

ARACAPÉ SST 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
80,00	5,00	25,00	318,18
90,00	15,00	225,00	Desvio padrão (mg/l)
95,00	20,00	400,00	17,84
100,00	25,00	625,00	Coef. Variação
95,00	20,00	400,00	0,24
75,00	0,00	0,00	
80,00	5,00	25,00	
60,00	-15,00	225,00	
50,00	-25,00	625,00	
50,00	-25,00	625,00	
60,00	-15,00	225,00	
65,00	-10,00	100,00	
75,00	←MÉDIA	3500,00	←SOMATÓRIO

ARACAPÉ SST 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
80,00	9,75	95,06	217,30
106,00	35,75	1278,06	Desvio padrão (mg/l)
70,00	-0,25	0,06	14,74
74,00	3,75	14,06	Coef. Variação
68,00	-2,25	5,06	0,21
75,00	4,75	22,56	
80,00	9,75	95,06	
60,00	-10,25	105,06	
55,00	-15,25	232,56	
50,00	-20,25	410,06	
60,00	-10,25	105,06	
65,00	-5,25	27,56	
70,25	←MÉDIA	2390,25	←SOMATÓRIO

Parâmetros da ETE Aracapé

ALM.TAMANDARÉ DQO 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
116,80	37,91	1437,04	1388,74
129,00	50,11	2510,85	Desvio padrão (mg/l)
117,60	38,71	1498,34	37,27
138,30	59,41	3529,35	Coef. Variação
30,00	-48,89	2390,40	0,47
54,00	-24,89	619,60	
30,00	-48,89	2390,40	
59,00	-19,89	395,68	
65,00	-13,89	192,98	
66,00	-12,89	166,20	
69,00	-9,89	97,85	
72,00	-6,89	47,50	
78,89	←MÉDIA	15276,15	←SOMATÓRIO

ALM.TAMANDARÉ DQO 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
265,00	132,33	17512,11	2563,52
120,00	-12,67	160,44	Desvio padrão (mg/l)
200,00	67,33	4533,78	50,63
105,00	-27,67	765,44	Coef. Variação
96,00	-36,67	1344,44	0,38
90,00	-42,67	1820,44	
105,00	-27,67	765,44	
135,00	2,33	5,44	
135,00	2,33	5,44	
123,00	-9,67	93,44	
103,00	-29,67	880,11	
115,00	-17,67	312,11	
132,67	←MÉDIA	28198,67	←SOMATÓRIO

ALM.TAMANDARÉ DBO 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
129,00	64,92	4214,17	2443,36
165,00	100,92	10184,17	Desvio padrão (mg/l)
140,00	75,92	5763,34	49,43
30,00	-34,08	1161,67	Coef. Variação
35,00	-29,08	845,84	0,77
39,00	-25,08	629,17	
45,00	-19,08	364,17	
45,00	-19,08	364,17	
35,00	-29,08	845,84	
35,00	-29,08	845,84	
32,00	-32,08	1029,34	
39,00	-25,08	629,17	
64,08	←MÉDIA	26876,92	←SOMATÓRIO

ALM.TAMANDARÉ DBO 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
230,00	135,83	18450,69	2853,06
95,00	0,83	0,69	Desvio padrão (mg/l)
105,00	10,83	117,36	53,41
65,00	-29,17	850,69	Coef. Variação
45,00	-49,17	2417,36	0,57
40,00	-54,17	2934,03	
65,00	-29,17	850,69	
98,00	3,83	14,69	
159,00	64,83	4203,36	
95,00	0,83	0,69	
64,00	-30,17	910,03	
69,00	-25,17	633,36	
94,17	←MÉDIA	31383,67	←SOMATÓRIO

ALM.TAMANDARÉ SST 2006			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
127,00	76,39	5835,69	1477,22
128,30	77,69	6036,00	Desvio padrão (mg/l)
15,00	-35,61	1267,95	38,43
38,00	-12,61	158,97	Coef. Variação
23,00	-27,61	762,22	0,76
19,00	-31,61	999,09	
22,00	-28,61	818,44	
37,00	-13,61	185,19	
49,00	-1,61	2,59	
50,00	-0,61	0,37	
59,00	8,39	70,42	
40,00	-10,61	112,54	
50,61	←MÉDIA	16249,45	←SOMATÓRIO

ALM.TAMANDARÉ SST 2007			
X	(X - Xm)	(X - Xm)²	Variância
98,00	41,63	1732,64	305,14
31,00	-25,38	643,89	Desvio padrão (mg/l)
59,00	2,63	6,89	17,47
64,00	7,63	58,14	Coef. Variação
40,00	-16,38	268,14	0,31
57,00	0,63	0,39	
67,00	10,63	112,89	
63,00	6,63	43,89	
57,00	0,63	0,39	
51,00	-5,38	28,89	
54,50	-1,88	3,52	
35,00	-21,38	456,89	
56,38	←MÉDIA	3356,56	←SOMATÓRIO