



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE POS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**JOSÉ REGES DA SILVA LOBÃO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO, ESTABILIDADE E CONFIABILIDADE DE  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ E PROPOSTA DE USO  
DE MICROALGAS PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DE SEUS EFLUENTES.**

**FORTALEZA**

**2014**

JOSÉ REGES DA SILVA LOBÃO

ANÁLISE DO DESEMPENHO, ESTABILIDADE E CONFIABILIDADE DE ESTAÇÕES  
DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ E PROPOSTA DE USO DE  
MICROALGAS PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DE SEUS EFLUENTES.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marisete Dantas de Aquino.

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

- 
- L776a Lobão, José Reges da Silva.  
Análise do desempenho, estabilidade e confiabilidade de estações de tratamento de esgoto no Ceará e proposta de uso de microalgas para a melhoria da qualidade de seus efluentes / José Reges da Silva Lobão. – 2014.  
240 p. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2014.  
Área de Concentração: Saneamento Ambiental.  
Orientação: Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino.

1. Saneamento. 2. Confiabilidade - Análise. 3. Teoria da estabilidade. I. Título.

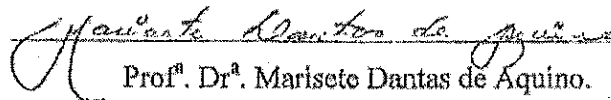
JOSÉ REGES DA SILVA LOBÃO

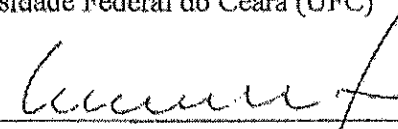
ANÁLISE DO DESEMPENHO, ESTABILIDADE E CONFIABILIDADE DE ESTAÇÕES  
DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ E PROPOSTA DE USO DE  
MICROALGAS PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DE SEUS EFLUENTES.


Tese apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil do  
Departamento de Engenharia Hidráulica e  
Ambiental da Universidade Federal do Ceará,  
como parte dos requisitos para obtenção do  
Título de Doutor em Engenharia Civil.

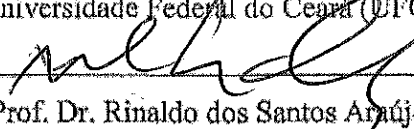
Aprovada em: 08/12/2014

BANCA EXAMINADORA

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mariseto Dantas de Aquino.  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
Prof. Dr. Raimundo Oliveira de Souza  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

A Deus, nosso Pai, a Cristo e aos meus pais,  
Francisco Joventino Lobão e Gleide Maria  
Monteiro da Silva, pelo amor, dedicação e  
confiança, aos meus amigos e a minha esposa  
Maria Célia da Silva Alves.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha Orientadora Marisete Dantas de Aquino.

Ao Professor Raimundo Oliveira Sousa.

aos Professores Francisco Suetônio Bastos Mota, Francisco Chagas da Silva Filho e Horst Frischkorn.

a minha família.

aos amigos Anderson Alan Coelho, Renato Teixeira Moreira e Rosiel Ferreira Leme,  
a UFC (Universidade Federal do Ceará).

ao DEHA (Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental),

a Cagece (Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará).

Vocês me chamam de Mestre e de Senhor e têm razão, pois sou mesmo. Se Eu, sou o Senhor e Mestre, lavei os pés de vocês, então vocês devem lavar os pés uns dos outros, pois eu dei o exemplo para que vocês façam o que eu fiz.

**Jesus Cristo (João 13, 13-15).**

## RESUMO

Na presente pesquisa foi elaborada uma metodologia investigativa inerente aos efluentes de estações de tratamento de esgotos no estado do Ceará. Para esse estudo foram considerados padrões DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), SST (Sólidos Suspensos Totais), CF (Coliformes Fecais), Temperatura, Compostos Nitrogenados (Amônia, Fósforo, Nitrato) e pH, como os parâmetros mais representativos, por serem usuais no monitoramento de ETE's, conforme os patamares estabelecidos pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e por legislações estaduais SEMACE (Superintendência do Meio Ambiente do Estado do Ceará). O principal objetivo foi elaborar uma metodologia investigativa à qualidade do tratamento de esgotos, bem como analisar a variabilidade das amostras efluentes, a confiabilidade, a estabilidade das estações, classificar os efluentes quanto às normas do Programa de Poluição de Bacias Hidrográfica (PRODES) e analisar o impacto do polimento de efluentes utilizando microalgas do tipo *Spirulina platensis*. A metodologia foi a abordagem e a experimentação, qualitativa e quantitativa de parâmetros, compreendendo avaliação da eficiência, confiabilidade e estabilidade, que contribuíram para a aproximação das sistemáticas de projeto com alterações das variáveis referentes às ETE's. A avaliação às normas mostrou que as ETEs estudadas atingiram desempenhos irregulares, considerando os padrões de eficiência e níveis de confiança rigorosos. Também, foi verificado que, o máximo padrão atingido pelas Estações cearenses se mostrou ser o nível F, considerado de patamar mediano. Constatou-se ainda que, o polimento com microalgas promoveu um abatimento de 51,5%, 39,4% e 38,7% da carga de DQO, DBO e SST, respectivamente, com relação ao efluente do esgoto tratado convencionalmente.

**Palavras-chave:** análises de confiabilidade, estabilidade de ETEs, *Spirulina platensis*.



## ABSTRACT

In the present research was an elaborate investigative methodology inherent in effluent from sewage treatment plants in the State of Ceará. For this study were considered patterns BOD (biochemical oxygen demand), COD (chemical oxygen demand), TSS (Total suspended solids), CF (faecal coliforms), temperature, Nitrogen Compounds (Ammonia, phosphorus, nitrate) and pH, as the most representative parameters, as usual in the monitoring of ETE's, as the levels established by CONAMA (National Environment Council) and by State laws SEMACE (supervision of the Environment of the State of Ceará). The main objective is to elaborate a methodology research to quality of sewage treatment, as well as analyze the variability of the effluent samples, reliability, stability, sort the waste stations as Pollution program standards of Hydrographic Basins (PRODES) and analyze the impact of effluent polishing using microalgae like *Spirulina platensis*. The methodology was the approach and experimentation, qualitative and quantitative information, including evaluation of the efficiency, reliability and stability, which contributed to the rapprochement of systematic project with changes of variables concerning ETE ' s. The evaluation showed that the standards ETEs studied reached irregular performances, considering the standards of efficiency and strict confidence levels. Also, it was verified that the default maximum hit from Ceará Stations turned out to be the level F, considered median level. It was noted further that the polishing with microalgae promoted a reduction of 51.5%, 39.4% and 38.7% of the load of cod, BOD and TSS, respectively, with respect to the conventionally treated sewage effluent.

Keywords: reliability, stability analyses of ETEs, *Spirulina platensis*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Pluviometria da região metropolitana de fortaleza.....	28
Figura 2	- Esquema de estação de tratamento de esgoto tipo compacta.....	39
Figura 3	- Fluxograma de uma ete compacta.....	40
Figura 4	- Mapa de esgotamento sanitário de fortaleza evidenciando as bacias.....	44
Figura 5	- Calha parshall, reator uasb da ete Itaperi.....	72
Figura 6	- (a) ponto coleta na entrada da ete e (b) reator uasb.....	72
Figura 7	- Reatores uasb e ponto de cloração da ete riacho doce.....	73
Figura 8	- Reatores UASB, leitos de secagem e entrada afluyente da ETE Novo Barroso.....	73
Figura 9	- Calha Parshall e reatores UASB da ETE Lago Azul.....	74
Figura 10	- Reatores UASB da ETE Zeza Tijolo.....	74
Figura 11	- Reator e ponto de coleta da ETE Novo Mondubim.....	75
Figura 12	- Calha Parshall, reatores e leitos de secagem da ETE Aracapé.....	75
Figura 13	- Calha Parshall, reatores e leitos de secagem da ETE Pindorama.....	76
Figura 14	- Entrada e reatores da ETE Lagoa da Zeza.....	76
Figura 15	- Calha Parshall e lagoa facultativa da ETE João Paulo II.....	77
Figura 16	- Calha Parshall e lagoa facultativa da ETE Lagamar.....	77
Figura 17	- Entrada e lagoa facultativa da ETE Conjunto Esperança.....	78
Figura 18	- Entrada, lagoa de estabilização e lagoa facultativa da ETE Parque Fluminense.....	78
Figura 19	- Efluente da ETE, Calha Parshall, lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação da ETE São Cristóvão.....	79
Figura 20	- Calha Parshall, lagoa facultativa aerada e lagoa de maturação da ETE Tupamirim.....	79
Figura 21	- ETE Sumaré.....	80
Figura 22	- Calha Parshall e reator UASB da ETE Sítio Santana.....	80
Figura 23	- Ponto de entrada afluyente e reatores UASB da ETE Curió.....	81
Figura 24	- Calha Parshall e reatores UASB da ETE Por do Sol.....	81
Figura 25	- Calha Parshall, módulo I e módulo II da ETE Pajuçara.....	83
Figura 26	- Reator UASB, filtro anaeróbio e Calha Parshall da ETE Rosa Luxemburgo	83
Figura 27	- Sistema decanto – digestor da ETE Nova Vida.....	84
Figura 28	- Afluente, lagoa anaeróbia, efluente anaeróbio, lagoa facultativa, lagoa de	

	maturação, efluente da lagoa de maturação, lagoa de maturação III.....	84
Figura 29	- Entrada, lagoa facultativa, lagoa de maturação, saída da lagoa de maturação da ETE José Walter.....	85
Figura 30	- Calha Parshall, lagoa anaeróbia, lagoa facultativa I, lagoa facultativa II e lagoa de maturação I, ponto de lançamento do efluente no corpo receptor da ETE Marechal Rondon.....	85
Figura 31	- Calha Parshall, lagoa anaeróbia e lagoa facultativa da ETE Conjunto Palmeiras.....	86
Figura 32	- Entrada do afluente e lagoa anaeróbia de ETE Jangurussú.....	86
Figura 33	- Calha Parshall e lagoa facultativa da ETE Jereissate III.....	87
Figura 34	- Calha Parshall e lagoa facultativa da ETE Nova Metrópole.....	87
Figura 35	- Calha Parshall, lagoa facultativa I, lagoa facultativa II da ETE Araturi.....	88
Figura 36	- Lagoa facultativa I, lagoa facultativa II e lagoa facultativa III da ETE Conjunto Ceará.....	88
Figura 37	- Calha Parshall coberta por afluente e módulos da ETE Almirante Tamandaré.....	89
Figura 38	- Fluxograma com probabilidade pré-determinada.....	91
Figura 39	- Fluxograma sem probabilidade pré-determinada.....	91
Figura 40	- Fluxograma da logística de avalia�o dos dados.....	97
Figura 41	- Fluxograma de cáculo da média trimestral em fun�o do padrão E.....	102
Figura 42	- Fluxograma de cáculo da média trimestral em fun�o do padrão F.....	103
Figura 43	- Fluxograma de cáculo da média trimestral em fun�o do padrão D.....	104
Figura 44	- Fluxograma de cáculo da média trimestral em fun�o do padrão C.....	104
Figura 45	- Fluxograma de cáculo da média trimestral em fun�o do padrão B.....	105
Figura 46	- Fluxograma de cáculo da média trimestral em fun�o do padrão A.....	105
Figura 47	- Logística de tarefas executadas em laboratório utilizando microalgas.....	109
Figura 48	- Logística de tarefas executadas em laboratório utilizando microalgas.....	111
Figura 49	- Avalia�o de atendimento por tipologia de tratamento (Legisla�o Ceará).	122
Figura 50	- Avalia�o de atendimento por tipologia de tratamento.....	122
Figura 51	- Avalia�o de atendimento por tipologia de tratamento.....	123
Figura 52	- Avalia�o de atendimento por tipologia de tratamento quanto � eficiência operacional.....	124
Figura 53	- Análise de CDC em fun�o do coeficiente de varia�o – DQO.....	138

Figura 54	- Análise de CDC em função do coeficiente de variação – DBO.....	139
Figura 55	- Análise de CDC em função do coeficiente de variação – SST.....	140
Figura 56	- Investigação da Concentração de Projeto em função do CV para a DQO....	141
Figura 57	- Investigação da Concentração de Projeto em função do CV para a DBO.....	142
Figura 58	- Investigação da Concentração de Projeto em função do CV para os SST.....	143
Figura 59	- Investigação da Concentração de Operação em função do CV para a DQO.	144
Figura 60	- Investigação da Concentração de Operação em função do CV para a DBO.	145
Figura 61	- Investigação da Concentração de Operação em função do CV para os SST.	146
Figura 62	- Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (DBO grupo 1) .....	147
Figura 63	- Análise de CDC em função das linhas de tendência média móvel (DBO grupo 1) .....	148
Figura 64	- Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (DBO grupo 2) .....	149
Figura 65	- Análise de CDC em função das linhas de tendência média movel (DBO grupo 2) .....	150
Figura 66	- Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (DQO grupo 1) .....	151
Figura 67	- Análise de CDC em função das linhas de tendência média movel (DQO grupo 1) .....	151
Figura 68	- Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (DQO grupo 2) .....	152
Figura 69	- Análise de CDC em função das linhas de tendência média movel (DQO grupo 2) .....	153
Figura 70	- Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (SST grupo 1) .....	154
Figura 71	- Análise de CDC em função das linhas de tendência média móvel (SST grupo 1) .....	155
Figura 72	- Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (SST grupo 2) .....	156
Figura 73	- Análise de CDC em função das linhas de tendência média móvel (SST grupo 2) .....	156
Figura 74	- Investigação do tempo de falha para a DQO .....	158

Figura 75	- Investigação do tempo de falha para a DBO .....	159
Figura 76	- Investigação do tempo de falha para os SST .....	160
Figura 77	- Investigação individual dos padrões A e B no trimestre 01.....	162
Figura 78	- Investigação individual dos padrões C e D no trimestre 01.....	162
Figura 79	- Investigação individual dos padrões E e F no trimestre 01 .....	163
Figura 80	- Investigação individual dos padrões A e B no trimestre 02 .....	163
Figura 81	- Investigação individual dos padrões C e D no trimestre 02 .....	164
Figura 82	- Investigação individual dos padrões E e F no trimestre 02 .....	164
Figura 83	- Investigação individual dos padrões A e B no trimestre 03 .....	165
Figura 84	- Investigação individual dos padrões C e D no trimestre 03 .....	165
Figura 85	- Investigação individual dos padrões E e F no trimestre 03 .....	166
Figura 86	- Investigação individual dos padrões A e B no trimestre 04 .....	167
Figura 87	- Investigação individual dos padrões C e D no trimestre 04 .....	167
Figura 88	- Investigação individual dos padrões E e F no trimestre 04 .....	168
Figura 89	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 01 nos trimestres 01 e 02.....	169
Figura 90	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 01 nos trimestres 03 e 04.....	169
Figura 91	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 02 nos trimestres 01 e 02.....	170
Figura 92	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 02 nos trimestres 03 e 04.....	171
Figura 93	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 03 nos trimestres 01 e 02.....	172
Figura 94	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 03 nos trimestres 03 e 04.....	172
Figura 95	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 04 nos trimestres 01 e 02.....	173
Figura 96	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 04 nos trimestres 03 e 04.....	174
Figura 97	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 05 nos trimestres 01 e 02.....	174
Figura 98	- Investigação de atendimento aos padrões da ANA Gurpo 05 nos trimestres	

	03 e 04.....	175
Figura 99	- Investigação do crescimento da população atendida pelas ETEs pesquisadas.....	176
Figura 100	- Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade Trimestre 01.....	177
Figura 101	- Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade Trimestre 02.....	177
Figura 102	- Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade Trimestre 03.....	178
Figura 103	- Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade Trimestre 04.....	178
Figura 104	- Investigação da arrecadação total em função da produtividade Trimestre 01	179
Figura 105	- Investigação da arrecadação total em função da produtividade Trimestre 02	179
Figura 106	- Investigação da arrecadação total em função da produtividade Trimestre 03	180
Figura 107	- Investigação da arrecadação total em função da produtividade Trimestre 04	180
Figura 108	- Investigação da arrecadação total absoluta em função da produtividade anual.....	181
Figura 109	- Investigação da arrecadação total restrita em função da produtividade anual.....	182
Figura 110	- Taxa de remoção de fósforo reativo e da amônia total nos efluentes, doméstico e piscícola utilizados como meio de cultivo para <i>S. Platensis</i> .....	184
Figura 111	- Relação entre a absorbância e concentração no afluente – Períodos 01 e 02	184
Figura 112	- Relação entre a absorbância e concentração no afluente – Períodos 03 e 04	185
Figura 113	- Relação da concentração das microalgas e o tempo – afluente (períodos 01 e 02) .....	186
Figura 114	- Relação da concentração das microalgas e o tempo – afluente (períodos 03 e 04) .....	186
Figura 115	- Relação entre transmitância e absorbância no afluente (períodos 01 e 02) .....	187
Figura 116	- Relação entre transmitância e absorbância no afluente (períodos 01 e 02) .....	187
Figura 117	- Relação entre a absorbância e concentração no efluente – Períodos 01 e 02	188

Figura 118	- Relação entre a absorbância e concentração no efluente – Períodos 03 e 04	188
Figura 119	- Relação entre transmitância e absorbância no efluente (período setembro e outubro) .....	189
Figura 120	- Relação entre transmitância e absorbância no efluente (períodos novembro e dezembro) .....	189
Figura 121	- Relação da concentração microalgas x tempo – efluente (períodos 01 e 02).	190
Figura 122	- Relação da concentração microalgas x tempo – efluente (períodos 01 e 02	190
Figura 123	- Desenvolvimento das microalgas segundo dia – efluente tratado.....	191
Figura 124	- Desenvolvimento das microalgas sétimo dia – efluente tratado.....	192
Figura 125	- Desenvolvimento das microalgas primeiro dia – efluente não tratado.....	192
Figura 126	- Desenvolvimento das microalgas terceiro dia – efluente não tratado.....	193
Figura 127	- Biomassa algal sétimo dia – afluente e efluente.....	193
Figura 128	- Retirada de biomassa algal morta para a produção de betacaroteno.....	194

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1	- Distribuição de serviços de água e esgotos no Brasil, por região – comparação entre 1989 e 2000.....	31
Tabela 2	- Eficiência de remoção dos constituintes por tipo de tratamento.....	45
Tabela 3	- Lançamento de efluentes – padrões.....	49
Tabela 4	- Valores de referência da ANA.....	92
Tabela 5	- Amostragem para análise laboratorial.....	94
Tabela 6	- Eficiência de remoção das cargas poluidoras afluentes necessárias para o atendimento aos diversos padrões da ANA.....	99
Tabela 7	- Padrões de eficiência e concentração adotados.....	107
Tabela 8	- Escalas de concentração e eficiência de remoção programada pelas legislações estaduais brasileiras e Comunidade Européia.....	108
Tabela 9	- Avaliação de teste estatístico das ETEs – Demanda Química de Oxigênio.	114
Tabela 10	- Avaliação de teste estatístico das ETEs – Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	115
Tabela 11	- Avaliação de teste estatístico das ETEs – Sólidos Suspensos Totais.....	116
Tabela 12	- Avaliação de teste estatístico das ETEs – Demanda Química de Oxigênio.	118
Tabela 13	- Avaliação de teste estatístico das ETEs – Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	119
Tabela 14	- Avaliação de teste estatístico das ETEs – Sólidos Suspensos Totais.....	120
Tabela 15	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 01 (2011) .....	129
Tabela 16	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 01 em 2011.....	132
Tabela 17	- Estimativa nas simulações de confiabilidade e previsões operacionais das Etes do Ceará – Grupo 01 (2011) .....	136
Tabela 18	- Média das concentrações iniciais e finais de parâmetros importantes no tratamento de efluentes, doméstico e piscícola utilizados como meio de cultivo para a <i>S. platensis</i> .....	183
Tabela 19	- Efluente convencional versus o polido da ETE investigada em 2013.....	195
Tabela 20	- Estimativa de impacto na eficiência da ETE investigada em 2013.....	195



Tabela 21	- Estimativa de impacto no índice de confiabilidade da ETE investigada em 2013.....	196
Tabela 22	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 02 (2011) .....	208
Tabela 23	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 03 (2011) .....	209
Tabela 24	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 04 (2011) .....	210
Tabela 25	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 05 (2011) .....	211
Tabela 26	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 06 (2011) .....	212
Tabela 27	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 07 (2011) .....	213
Tabela 28	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 08 (2011) .....	214
Tabela 29	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 09 (2011) .....	215
Tabela 30	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 10 (2011) .....	216
Tabela 31	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 11 (2011) .....	217
Tabela 32	- Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 12 (2011) .....	218
Tabela 33	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 02 (2011) .....	219
Tabela 34	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 03 (2011) .....	220
Tabela 35	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 04 (2011) .....	221
Tabela 36	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 05 (2011) .....	222
Tabela 37	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 06 (2011) .....	223
Tabela 38	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 07 (2011) .....	224
Tabela 39	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 08 (2011) .....	225
Tabela 40	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 09 (2011) .....	226

Tabela 41	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 10 (2011) .....	227
Tabela 42	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 11 (2011) .....	228
Tabela 43	- Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 12 (2011) .....	229
Tabela 44	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 02 (2011)	
	.....	230
Tabela 45	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 03 (2011)	
	.....	231
Tabela 46	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 04 (2011)	
	.....	232
Tabela 47	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 05 (2011)	
	.....	233
Tabela 48	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 06 (2011)	
	.....	234
Tabela 49	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 07 (2011)	
	.....	235
Tabela 50	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 08 (2011)	
	.....	236
Tabela 51	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 09 (2011)	
	.....	237
Tabela 52	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 10 (2011) .....	238
Tabela 53	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará	
	– Grupo 11 (2011) .....	239

Tabela 54	- Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 12 (2011) .....	240
Quadro 1	Parâmetros e métodos de ensaio	65
Quadro 2	Valores críticos para a estatística do teste de Komolgorov- Smirnov (Dn).	68
Quadro 3	Valores críticos para a estatística do teste de Anderson Darling (A)	71
Quadro 4	Atendimento cumulativo aos padrões da ANA	100
Quadro 5	Padrões de lançamento adotados	121

### **LISTA DE ABREVIATURAS**

ANA – Agência Nacional de Águas

CAGECE – Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará

CF – Coliformes Fecais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAFA – Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETEs – Estações de Tratamento de Esgotos

pH – Potencial Hidrogeniônico

PRODES – Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas

SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará

SST – Sólidos Suspensos Totais

UE – União Européia

RMF – Região Metropolitana de Fortaleza

TS-FAN- Tanque Séptico + Filtro Anaeróbio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>1.1 Justificativa .....</b>	<b>25</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>26</b>
1.2.1 <i>Objetivos Gerais</i> .....	26
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	26
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 Caracterização fisiográfica regional, saúde e saneamento ambiental .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 As condições atuais do saneamento básico no Brasil .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3 Tipos de tratamento de esgoto.....</b>	<b>32</b>
2.3.1. <i>Tratamento anaeróbio</i> .....	32
2.3.1.1. <i>Concepções tecnológicas sanitárias</i> .....	32
2.3.1.2. <i>Concepção anaeróbia de tratamento</i> .....	33
2.3.1.3. <i>Tratamento envolvendo processos anaeróbios</i> .....	35
2.3.1.4. <i>Utilização de tecnologia UASB no tratamento de esgotos domésticos.</i> .....	37
2.3.1.5. <i>Mecanismo de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios</i> .....	38
2.3.2. <i>Tratamento de esgotos sanitários por processos aeróbios</i> .....	40
2.3.3 <i>As condições sanitárias em Fortaleza</i> .....	41
<b>2.4 Legislação Ambiental .....</b>	<b>45</b>
<b>2.5 Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES) .....</b>	<b>51</b>
<b>2.6 Microalga <i>Spirulina platensis</i>.....</b>	<b>52</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
<b>3.1 Estatística descritiva e caracterização geral dos dados.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2. Fundamentação metodológica .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3 Obtenção e sistematização dos dados.....</b>	<b>63</b>
3.3.1 <i>Diagnóstico e validação dos dados obtidos</i> .....	65
3.3.1.1 <i>Teste de Kolmogorov-Smirnov</i> .....	65

3.3.1.2 <i>Teste de Anderson-Darling</i> .....	69
3.3.2 <i>Caracterização e reconhecimento das tipologias das ETEs</i> .....	71
<b>3.3 Obtenção das vazões</b> .....	<b>89</b>
<b>3.4 Logísticas metodológicas</b> .....	<b>90</b>
3.4.1 <i>Logística sem probabilidade pré-determinada</i> .....	90
3.4.2 <i>Logística com probabilidade pré-determinada</i> .....	91
<b>3.5 Técnica qualitativa inerente à valoração dos níveis de eficiência para tratamento de águas residuárias (em níveis mínimos de redução das cargas poluidoras afluentes)</b> .....	<b>91</b>
<b>3.6 Logística metodológica aplicada no atendimento à legislação</b> .....	<b>106</b>
<b>3.7 Legislações normativas aplicadas na investigação das metas</b> .....	<b>107</b>
<b>3.8 Técnica de cultivo de microalgas e aplicação no polimento de efluentes tratados</b> ...	<b>109</b>
3.8.1 <i>Preparação do meio de cultivo</i> .....	109
3.8.2 <i>Condicionamento de meio de cultivo e peculiaridades do biorreator</i> .....	110
3.8.3 <i>Quantificação das análises</i> .....	110
3.8.3.1. <i>Quantificação geral de parâmetros</i> .....	110
3.8.3.2. <i>Quantificação da concentração celular</i> .....	111
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>112</b>
<b>4.1. Análise dos Testes de Normalidade e aderência à Distribuição Lognormal</b> .....	<b>112</b>
4.1.1. <i>Testes – Kolmogorov - Smirnov</i> .....	112
4.1.2. <i>Testes – Anderson - Darling</i> .....	117
<b>4.2. Análise de atendimento e eficiência operacional das estações</b> .....	<b>121</b>
<b>4.3 Análise de Confiabilidade das Estações</b> .....	<b>124</b>
4.3.1 <i>Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Logística 01</i> .....	125
4.3.1.1 <i>Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Legislação Européia</i> . .....	125
4.3.1.2 <i>Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Legislação Cearense</i> .....	126
4.3.1.3 <i>Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Legislação Brasileira</i> .....	127
4.3.1.4 <i>Análise de confiabilidade atual das estações em 2011 – Logística 01</i> . .....	130
4.3.2. <i>Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Logística 02</i> .....	133
<b>4.4 Análise e discussão dos valores de CDC em função dos coeficientes de variação considerando diferentes níveis de confiabilidades</b> .....	<b>137</b>

<b>4.5</b>	<b>Investigação dos valores de concentração de projeto e operação de DBO, DQO e SST em função dos coeficientes de variação para diferentes níveis de confiabilidade.....</b>	<b>140</b>
<b>4.6</b>	<b>Investigação da confiabilidade em função dos valores de CDC e dos coeficientes de variação considerando diferentes níveis de confiabilidades .....</b>	<b>146</b>
<b>4.7</b>	<b>Análise do tempo de falha operacional das estações .....</b>	<b>157</b>
<b>4.8</b>	<b>Análise descritiva e de estabilidade das estações .....</b>	<b>160</b>
<b>4.9.</b>	<b>Investigação e análise da produtividade operacional das ETES .....</b>	<b>160</b>
4.9.1	<i>Investigação e análise individual das ETES .....</i>	161
4.9.2	<i>Investigação de autoanálise das ETES .....</i>	168
<b>4.10</b>	<b>Investigação da valoração da produtividade do tratamento de esgotos e perspectiva financeira inerente à produção de efluentes pelas ETES .....</b>	<b>175</b>
<b>4.11</b>	<b>Proposta de polimento de efluentes tratados utilizando microalgas do tipo Spirulina Platensis cultivadas em soluções orgânicas .....</b>	<b>182</b>
4.11.1	<i>Medição de parâmetros e quantificação do crescimento das microalgas .....</i>	182
4.11.1.1	<i>Relatório fotográfico do crescimento algal nos cenários efluente e afluente .....</i>	191
4.11.2	<i>Estimativa de impacto da prática do polimento usando microalgas na confiabilidade e na eficiência operacional .....</i>	194
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>197</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>200</b>
	<b>ANEXOS A: TABELA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL .....</b>	<b>207</b>
	<b>ANEXOS B: ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DAS ETES EM 2011– LOGÍSTICA 01 .....</b>	<b>208</b>
	<b>ANEXOS C: ANÁLISE DE CONFIABILIDADE REAL DAS ETES EM 2011– LOGÍSTICA 01 .....</b>	<b>219</b>
	<b>ANEXOS D: ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DAS ETES EM 2011– LOGÍSTICA 02 .....</b>	<b>230</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em termos comparativos aos demais recursos naturais importantes para o homem, a água pode ser identificada como a mais relevante, sendo perceptível sua inevitável escassez do planeta, em decorrência tanto do uso inadequado como da ocorrência de eventos naturais, como secas e enchentes. Por isto, dentre os fatores que possibilitam a falta d'água, pode ser citada a acelerada contaminação dos corpos hídricos por meio de esgotos.

As mudanças no meio ambiente, diretas e indiretas, relativas à emissão de efluentes de unidades de tratamento nos corpos d'água justificam a concretização das orientações sensoriais sobre a insegurança ambiental para a maioria dos países. Diversas legislações ambientais, os limites de controle e as políticas públicas têm por finalidade promover o controle das condições afluentes e efluentes, como também dos níveis de tratamento exigidos, a fim de garantir que sejam minimizados os impactos ambientais ocasionados pela disposição destas emissões e que sejam enquadradas às normas pertinentes.

No Brasil, em torno de 3% da demanda total de eletricidade é consumida pelo setor de tratamento de esgoto e abastecimento de água, sendo que 90% desse consumo está destinado ao uso de motores, bombas e equipamentos, que em alguns momentos não trabalham em condições ótimas, encarecendo as taxas de água, esgoto e energia (CHERNICHARO, 2007). De acordo com o Banco Mundial, aportar às demandas de infraestrutura dos recursos básicos é uma questão de sustentabilidade global, onde é imprescindível propor alternativas tecnológicas alinhadas ao desenvolvimento sócio-econômico e à preservação dos recursos hídricos.

Segundo a pesquisa realizada pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, em 2012, os índices brasileiros de atendimento urbano quanto à coleta e ao tratamento de esgoto gerado são de 69,4% e 56,1%, respectivamente. Tal estudo esclareceu as múltiplas condições das cidades e regiões brasileiras caracterizadas pela grande produção quantitativa de águas residuárias – lançando estas sem nenhuma concepção de tratamento nos corpos receptores. Diante desta situação, torna-se inevitável a ocorrência da poluição e da contaminação das águas próximas às pequenas e grandes cidades, promovendo o encarecimento deste recurso natural tão limitado e precioso.

A introdução de uma ETE, mesmo visando à remoção dos principais poluentes presentes nos esgotos, possibilitando a sua reutilização em determinadas finalidades específicas ou seu retorno ao corpo hídrico, sem alterar os níveis padronizados da classe em

que este está enquadrado, não deve ficar restrita somente à satisfação da população, deve, portanto, inserir o serviço qualitativo de tratamento como ferramenta de proteção do meio ambiente e também de saúde pública.

Os atendimentos sanitários insuficientes podem gerar dificuldades e obstáculos nas comunidades e cidades, que vão desde maus odores a possíveis epidemias. Neste sentido, pode ser justificado o monitoramento avaliativo e rotineiro do comportamento das unidades de tratamento, a fim de possibilitar a redução de possíveis falhas de desempenho operacional e garantir que a sua descarga efluente esteja alinhada à legislação.

Embora ocorra a obediência aos níveis padronizados de emissão, tal informação consta não ser suficiente para a consideração de um veredicto positivo, relativo à eficiência de uma unidade de tratamento, ou seja, quando os resultados obtidos, relativos aos dados observados numa ETE obedecerem aos níveis padronizados determinados pela legislação, essa estação pode estar operando fora desses patamares programados em tempo considerável. Em troca, uma ETE que apresenta valores médios desobedientes aos níveis padronizados de emissão, pode atender à legislação em grande parte do tempo.

Na estruturação de um determinado projeto de uma ETE, a variação temporal das concentrações das cargas efluentes deve ser abordada. A investigação da confiabilidade tem como finalidade a tomada de um valor de projeto inerente a variação das condições de operação de uma ETE. Tal finalidade insere a idéia de que os efluentes sejam considerados como uma probabilidade de ocorrerem.

A logística sistematizada aplicada para a avaliação da obediência aos critérios exigidos e adotados pela Agência Nacional de Águas, através do Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2013) foi utilizada na presente pesquisa. Tal sistemática tem como finalidade incentivar e aportar à implantação e operação de unidades de tratamento, em função de ressarcimento financeiro pelo efluente tratado às empresas concessionárias que prestam o serviço de saneamento à população.

Com o objetivo de promover suporte e dar sustentação ao preenchimento desta lacuna, o trabalho foi elaborado, inserindo a avaliação e o desempenho de diversas modalidades de tratamento de esgotos em operação no estado do Ceará, em diversos bairros de Fortaleza, com níveis sociais e econômicos diferentes, para verificar a situação real existente e o enquadramento esperado aos padrões de eficiência para tratamento de esgotos estabelecidos pela ANA. Os padrões de eficiência fixam as metas de abatimento das cargas poluidoras a serem pactuadas no contrato e os valores de referência servem de base para o cálculo do valor da contribuição financeira prevista nesta sistemática.



Nestes termos, a presente tese consta ser inédita bem como de proporcional importância para a engenharia civil e sanitária, especialmente concentrada no tratamento de esgotos, já que desenvolve de forma individual e integrada avaliação do desempenho de ETEs em escala operativa no Ceará, aplicando tratamento estatístico para a avaliação da confiabilidade de cada concepção de tratamento, comparando parâmetros de projeto, verificando os resultados já estudados e normativos, investigando o desempenho operacional, subsidiando a quantificação e a qualificação de dados operacionais realistas e inerentes à produtividade das diversas modalidades de tratamento, valorando a qualidade do efluente produzido bem como o alcance relativo à eficiência dos processos de remoção de poluentes. Propõe ainda um estudo de introdução do polimento biológico de efluentes utilizando microalgas e o conceito de confiabilidade na metodologia avaliativa da ANA.

### **1.1 Justificativa**

Em circunstâncias atuais, é inevitável a necessidade da implantação de sistemas de proteção e controle progressivo, que possam minimizar ou até mesmo barrar a proliferação dos agentes transmissores de doenças infecciosas, já que a relação de contato direto do homem com a água residuária é provável, tendo as tecnologias de tratamento e a desinfecção de esgoto como as formas mais seguras e de menor custo para utilização.

Em função da existência de deficiências no processo de tratamento de efluentes no Ceará, bem como da insuficiente atenção ao planejamento produtivo operacional, sendo comum não ocorrer desinfecção dos efluentes e não havendo uma prática operacional eficiente estabelecida pelos responsáveis por estas ETEs, em Fortaleza, são insuficientes as informações sobre o real status de desinfecção destes efluentes. Também existe a necessidade do estabelecimento de incentivo inerente à produção de efluentes tratados aos responsáveis pelos monitoramentos das ETE's, com a inserção do conhecimento de programas federais de estímulo técnico à implantação e melhoramento operacional de ETEs.

A fim de adequar os efluentes tratados às normas exigidas, foi proposto o polimento de esgotos com o auxílio de microalgas do tipo *Spirulina platensis*. Tal proposição pode ser justificada pela precisão de tratamento eficiente e econômico para remoção de poluentes com resultado no desenvolvimento de tecnologias como bioissorção, baseada na utilização de materiais de origem natural ou biomassas microbianas como as algas (BAIRD, 2002).

Os microrganismos fotossintéticos produzidos, como microalgas e cianobactérias, têm sido estudados intensamente na biotecnologia, pois detêm de um mecanismo biológico bastante eficiente para o uso da energia solar e para a composição de compostos orgânicos (VONSHAK, 1983).

Algumas empresas estrangeiras focaram na produção de *Spirulina*, visando atender o mercado consumidor. Já, os centros de pesquisa em todo o mundo começam a estudá-la, sob os diversos aspectos, tais como perfil bromatológico em células cultivadas em diferentes condições físicas e químicas, diversificação das fontes de nutrientes visando o cultivo e utilização da biomassa na biopurificação de efluentes. As algas são bioindicadores naturais de ambientes contaminados, ou seja, são bioacumuladores. Além de acumularem substâncias minerais, acumulam também metais tóxicos.

As algas do gênero *Spirulina* possuem lipídeos, que estão relacionados com a qualidade ambiental, já que em se tratando de poluição, acumulam lipóides, além de acumularem também metais tóxicos (NUNES *et al.*, 2003).

Do ponto de vista operacional, a avaliação de ETEs antes e depois das melhorias é importante, pois identifica as falhas de projeto, de processo ou controle de operações e facilita as intervenções de melhorias (BASTOS *et al.*, 2006).

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivos Gerais***

O principal objetivo deste trabalho foi elaborar uma metodologia investigativa relativa à qualidade do tratamento de esgotos e propor melhorias inerentes ao comportamento operacional das unidades de tratamento de diferentes concepções de ETEs no Estado do Ceará.

### ***1.2.2 Objetivos Específicos***

- Analisar a qualidade dos afluentes e efluentes das ETE's;
- Avaliar a aderência dos dados efluentes à distribuição lognormal;
- Comparar as ETEs aos padrões do CONAMA, da SEMACE, da UE e da ANA;
- Simular análises de estabilidade, desempenho e confiabilidade das ETEs estudadas;
- Executar projeção financeira inerente ao enquadramento aos padrões da ANA;

- Determinar o tempo de falhas das ETEs para os parâmetros de DQO, DBO e SST;
- Obter resultados do comportamento das microalgas *Spirulina platensis* para eficiência na remoção de poluentes e de seu desenvolvimento em esgotos domésticos;
- Aplicar o conceito de confiabilidade na fiscalização da ANA e na gestão de concessionárias inserindo a proposta de polimento utilizando microalgas para o atendimento normativo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Caracterização fisiográfica regional, saúde e saneamento ambiental**

As peculiaridades climáticas da cidade de Fortaleza podem ser caracterizadas pela sazonalidade da precipitação e por elevadas temperaturas o ano todo. O seu posicionamento territorial e latitudinal próximo ao Equador (paralelos de 3° a 4° Sul), permite favorecer uma forte radiação solar e integral durante o ano todo, promovendo a ocorrência de altas temperaturas com baixíssimas variações térmicas (climas tropicais quentes), e a influência de diversos sistemas atmosféricos, que determinam a sazonalidade da precipitação. Em complemento a mesma se encontra próximo ao oceano, sob a influência direta do oceano atlântico, apresentando temperaturas mais amenas do que outras regiões do interior do Estado. Diante destas constatações, o posicionamento geográfico de Fortaleza pode ser influenciado pelas massas de ar equatoriais e tropicais, que alinhado à geografia, altitude e a disposição do relevo, maritimidade e continentalidade, podem definir o clima da região como tropical equatorial com até seis meses secos, segundo Mendonça e Oliveira (2007) que especificaram e classificaram como cinco, os principais tipos climáticos do país.

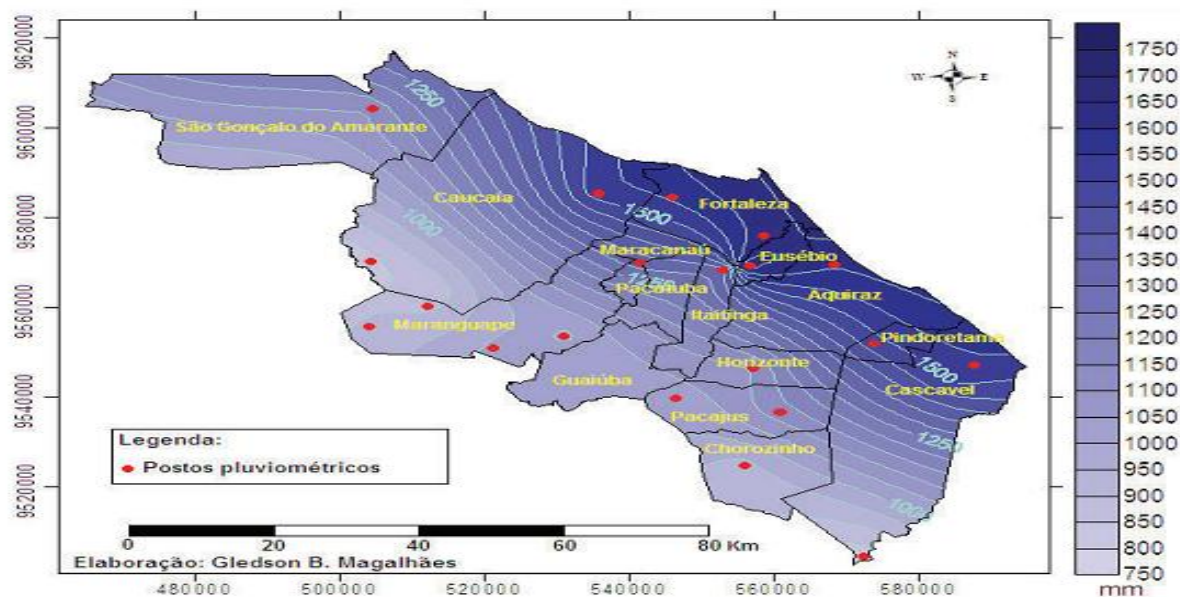
Segundo Mendonça e Oliveira (2007), para a cidade de Fortaleza, o montante anual médio correspondente à precipitação é de cerca de 1500 mm. Considerando a média sazonal, a precipitação concentra-se no trimestre de março a maio, quando ocorre mais de 50% do total anual, e a estação seca estende-se de agosto a novembro. Já, a distribuição da altitude do relevo e a latitude da cidade, integram as duas principais peculiaridades geográficas (estáticas) da especificação climática desta região. A densidade populacional, a estrutura urbana, a distribuição de terras, as águas e a vegetação da superfície associam-se a estes fatores na definição climática desta região.

De acordo com Mendonça e Oliveira (2007), as intervenções humanas, principalmente a partir do século XX, proporcionaram intensas alterações no paisagismo da

região metropolitana, em função do desmatamento, agricultura, urbanização e industrialização, que influenciaram diretamente na instabilidade climática em escala local. Segundo Xavier (2001), foi quantificado um aumento da temperatura do ar em Fortaleza desde a década de 70. O estudo de Moura (2006) identificou ilhas de calor em Fortaleza com valores superiores a 5°C, em setores urbanos, onde foi constatado um maior adensamento urbano e intenso fluxo de pessoas e veículos.

De acordo com Brandão (1998), a temperatura média anual nas áreas litorâneas se enquadra entre 26° C e 27° C, com máximas situando-se entre 31° C e 32° C. Ainda, segundo Brandão (1998), o montante máximo de precipitação também é alterado pela presença dos fenômenos El Niño e La Niña, assim como pela temperatura da superfície do mar do oceano Atlântico Tropical norte sul (Dipolos do Atlântico Tropical). Em relação à média climatológica, foi exposta na figura 1, a média climatológica estruturada de forma crescente para cada posto pluviométrico de Fortaleza. A variabilidade espacial é marcada com valores oscilando entre 1673,2 mm no posto Eusébio – Eusébio e 787,7 mm no posto Maranguape - Comunidade Lemos, tendo uma variação espacial de 885,5mm para os extremos (CAGECE, 2010).

Figura 1 - Pluviometria da Região Metropolitana de Fortaleza



Fonte: CAGECE (2010).

Pode ser constatado que existe uma área com concentração de precipitação localizada a sudeste do Município de Fortaleza e ao sul de Eusébio. O período chuvoso representa 74,68% das precipitações para o período em estudo o que evidencia a concentração

de chuvas nesses quatro meses, cujo mês de abril apresentou o total pluviométrico mais elevado para toda a série e o mês de outubro o menor. A peculiaridade da precipitação na RMF entre os anos de 2001 a 2009 refere-se ao ritmo sazonal de chuva caracterizado por período seco no inverno e concentração de chuva no verão/outono resultado dos mecanismos de circulação atmosférica geradores de chuva no Nordeste. Geralmente, nestes períodos chuvosos são desencadeadas e proliferadas as doenças, principalmente as de veiculação hídrica.

Segundo Sperling e Fattal (2001), de acordo com a Organização Mundial de Saúde, a epidemia 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.

Ainda, de acordo com Sperling e Fattal (2001), segundo a Organização Mundial de Saúde, a reincidência de cólera, de proporção epidêmica, foi em virtude das práticas nômades, inerente à ocorrência de um período em que houve um aumento considerável desses procedimentos arcaicos bem como da presença de grandes alterações sociais e econômicas, que ocorreram no leste Europeu, em termos de implantações pouco expressivas, relativas à infraestrutura de saneamento e saúde pública. De encontro a estas práticas, tomam-se atitudes, como o combate ostensivo às epidemias, que inativam ou minimizam em grandes proporções o seu desenvolvimento, principalmente em termos preventivos, obtendo saúde pública de boa qualidade, trazendo melhores condições de vida e universalizando políticas de saneamento.

Em face do aperfeiçoamento do tratamento de esgotos, pode-se esperar a execução de ações, que possam permitir a reutilização do efluente tratado, principalmente na aplicação de atividades de cultivo de culturas e procedimentos de limpeza, acarretando redução de custos e preservando o uso de água potável. Tal atividade, quando inerente ao solo, promove um aumento da fertilidade, melhorando suas propriedades físicas e químicas. Esse uso é identificado com a utilização de sistemas de irrigação (MOTA, 2012). Outro fator importante é o reuso de esgoto tratado para efetuação de limpeza em estações de tratamento.

## 2.2 As condições atuais do saneamento básico no Brasil

A Organização das Nações Unidas ressalta a necessidade do fornecimento de água potável e saneamento satisfatórios às 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 acelerada, em que a ausência de tratamento adequado dos resíduos constitui ser a principal causa de degradação ambiental. A poluição das águas nessas áreas também limita os usos múltiplos dos recursos hídricos – abastecimentos de água, irrigação, lazer, quando a água encontra-se poluída, repercutindo assim negativamente na economia das regiões afetadas”* (ABICALIL, 2002, p.115).

Embora exista uma grande quantidade de recursos naturais, as atividades de degradação ambiental no Brasil são crescentes, prejudicando com isto, a manutenção de um ambiente saudável e o direito ao acesso e ao uso da qualidade da água, desequilibrando os costumes e ações de prevenção, bem como da contemplação da sustentabilidade da vida, ou seja, num futuro próximo, a quantidade de recursos naturais não serão mais compatíveis em termos de suficiência às demandas atuais e futuras. Em termos avaliativos, a estrutura de atendimento de água tratada no Brasil é bem superior em comparação com a malha de tratamento de esgoto. Um exemplo é a região Nordeste, que se enquadra dentro da média nacional para abastecimento d'água, mas, tal ocorrência não se repete com relação ao esgotamento sanitário, de acordo com os principais indicadores nacionais de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

De acordo com Mota (2012), 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 de décadas, este foi inferior ao crescimento populacional. O índice de atendimento por esgotos ainda é baixo, requerendo investimento mais consistente e em escalas mais abrangentes.

Em pesquisa do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, entre 2003 e 2012, o acesso aos serviços de saneamento para os 40% mais pobres do Brasil aumentou

25%, passando de 38,5% para 48,3%. Em território brasileiro, deverão ser estruturados e concretizados diversos planos a fim de garantir o acesso da população aos serviços de água e esgoto. De forma idêntica como ocorre em relação a outros indicadores sociais, a distribuição regional é desigual (VERAS, 1998), principalmente em relação ao sistema de esgotos.

Na Tabela 01, foram expostas as porcentagens de atendimento inerentes ao abastecimento de água e coleta de esgoto nas diversas regiões brasileiras, a fim de fundamentar a necessidade de implantar novas estações de tratamento.

Tabela 1 Distribuição de serviços de água e esgotos no Brasil, por região no ano 2012.

Região	% de municípios com abastecimento	% de municípios com esgotamento
	de água	sanitário
	2012	2012
Norte	68,6	85,1
Nordeste	89,5	81,2
Centro-Oeste	96,5	90,0
Sudeste	97,0	63,6
Sul	97,2	79,7
BRASIL	93,2	69,4

Fonte: SNIS (2012).

Em termos da logística do saneamento, dentre os principais componentes dos sistemas de saneamento urbano no Brasil, o abastecimento de água está consistentemente estruturado, e tem se aproximado do conceito de universalização. No entanto, há demandas complementares, relativa às outras frações, onde em termos de infraestrutura urbana, deverão ser programadas, executadas e aplicadas medidas estruturantes, que servirão de aporte a tais componentes. O sistema de esgotamento requer mais atenção no contexto presente. A coleta de esgotos foi expandida nos últimos anos, porém, o tratamento adequado ainda é um grande desafio. As pressões e consequências ao meio ambiente, geradas pelo não tratamento de efluentes, estão estritamente alinhadas à propagação de enfermidades de veiculação hídrica. Em face à minimização deste efeito sobre a saúde pública, há incompatibilidades relativas à aplicação de diferentes tecnologias e de sua sustentabilidade.

## 2.3 Tipos de tratamento de esgoto

### 2.3.1. Tratamento anaeróbio

É científico deter a informação de que o nosso planeta, inicialmente, começou a ser ocupado e habitado por bactérias anaeróbias, onde tais espécies de microorganismos anaeróbios apareceram no nosso planeta há milhares de anos atrás. Sabe-se também que os mesmos sofreram alterações, ou seja, ocorreram processos de seleções naturais, onde evoluíram posteriormente. Através de tal processo, foram constatados que desenvolveram os mecanismos microbianos, estruturando etapas de fermentação, inclusive produzindo metano, ácido láctico e outros ácidos graxos (VAN HAANDEL, 1999).

Segundo Van Haandel (1999), as décadas de vinte e trinta, já haviam estudos especificados por pesquisadores, induzindo a um melhor uso do processo de digestão anaeróbia, onde foi destacado: o controle do pH, a inoculação dos digestores, a temperatura sobre a velocidade de digestão, facilitando com isso, o uso prático de sistemas aquecidos.

No Brasil, foi pacificada e utilizada desde a década de 30 a tecnologia do tanque séptico (processo anaeróbio), onde pôde ser estimado que, 37,68% da população urbana, aproximadamente 68 milhões de habitantes e 63,72% da população rural cerca de 12 milhões de habitantes, tenham seus esgotos tratados por fossas ou tanques sépticos (BEZERRA, 2004).

A concepção sistemática da fossa empregada no Brasil é a técnica absorvente, ou poço absorvente. Neste sistema encontram-se desde estruturas rudimentares com apenas aberturas no solo a até construções sustentadas com paredes em alvenaria e cobertas com laje de concreto, sem tamponamento do fundo, permitindo a livre infiltração do esgoto no solo. Outra técnica é a fossa estanque de estrutura de concreto, integralmente impermeável, onde o esgoto é armazenado para futuramente ser retirado (CHERNICHARO, 2007).

#### 2.3.1.1. Concepções tecnológicas sanitárias

É fato que existem diversos tipos de tratamento de despejos de águas residuárias, se alinhando na obtenção dos níveis padronizados de qualidade exigidos, de acordo com as normas e leis governamentais, sendo também especificado o tipo de corpo receptor, onde será



lançado o esgoto tratado. Foi verificado em Van Haandel (1999) que as concepções tecnológicas, que envolvem tratamentos biológicos, mesmo desempenhando tarefas de remover sólidos coloidais não sedimentáveis, têm como finalidade preponderante promover a decomposição de matéria orgânica através do mecanismo celular dos microorganismos.

As emissões sanitárias são tratadas com efetivos abatimentos e 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, 2005).

Já em meados do fim do século XIX, foram preconizadas, idealizadas, projetadas e construídas algumas das concepções sistemáticas de tratamento de esgotos do tipo comunitárias, em que se esperava remoção de sólidos sedimentáveis, fatia que representava, com maior evidência, a parte mais grosseira do esgoto. Tal concepção era representada pelo processo da sedimentação simples, que ainda hoje é empregado nas unidades de tratamento, constando ser uma das etapas iniciais, mas de grande importância para a obtenção da eficiência do tratamento de esgotos. Porém, foram percebidos que tais resultados ainda seriam insuficientes, na obtenção do alcance das normas, caracterizados pela insistente existência de matéria orgânica nos esgotos, após a sedimentação (VON SPERLING, 2005).

Os sistemas anaeróbios envolvendo lagoas anaeróbias e fossas sépticas são técnicas de tratamento que vêm sendo utilizadas durante muito tempo. Entretanto, tais técnicas de tratamento não dispõem de formas de retenção de biomassa, necessitando, portanto, de elevados volumes para ter um bom desempenho. Em função desta constatação, o professor Lettinga e sua equipe projetaram o conhecido UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blankment (reator anaeróbio de fluxo ascendente), segundo Jordão e Pessoa (2005). 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, 2005).

### *2.3.1.2. Concepção anaeróbia de tratamento*

Os níveis paramétricos programados, relativos aos sistemas anaeróbios, em determinada escala, promovem um obstáculo à quantificação matemática dos mesmos, devido à complexidade dos substratos.

A ação de controle desses parâmetros é tida como um foco a ser alçado, principalmente por se tratar da possibilidade da formação de produtos que podem ser extremamente prejudiciais aos próprios operadores das estações e às pessoas que têm residência próxima a estas ETEs. Tais tecnologias de tratamento integram o processo

biológico anaeróbico, que consiste na degradação de matéria orgânica e produção de biogás (metano e dióxido de carbono).

Esse mecanismo de tratamento ocorre na ausência de oxigênio, sendo quatro as etapas de degradação da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005):

- . 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 acético, hidrogênio e dióxido de carbono.

- . Metanogênese: formação de metano a partir do ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio, (VON SPERLING, 2005).

- . O tipo de catabolismo que ocorre no processo anaeróbico, segundo Von Sperling (2005), é o fermentativo, pelo fato de ocorrer na presença de um oxidante. Estes 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, percebe-se a liberação de energia em grande parte da matéria orgânica, que é convertida em metano, dióxido de carbono e água.

Segundo Chernicharo (1997) existe a necessidade de implantação de concepções tecnológicas, que permitam a união de setores, nas ações de proteção ambiental, onde o tratamento de esgotos esteja vinculado à recuperação e reúso de seus produtos obtidos.

Em nações subdesenvolvidas, constata-se a ocorrência dos caminhos inversos, onde se identifica a insuficiência de políticas eficazes, no combate à degradação ambiental, escassez de recursos e energia. Nos processos anaeróbios, o lodo produzido tem volume pequeno e de melhor qualidade. Em termos comparativos, com relação às tecnologias aeróbias, identifica-se que o volume de lodo produzido é substancialmente maior e de menor estabilidade. Tal ocorrência 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, 2005).

A fração sólida das águas residuárias é denominada de esgoto, onde se pode incluir a parte orgânica em uma quantidade maior e a inorgânica em menor. A digestão anaeróbia é comparada a uma 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, amônia e novas células bacterianas (CHERNICHARO, 2007).

### 2.3.1.3. Tratamento envolvendo processos anaeróbios

Segundo Chernicharo (2007), em muitas décadas a aplicação de tecnologias anaeróbias no tratamento de esgotos era tida como cara e de controle operacional complexo.

Com o aumento de estudos e entendimentos sanitários, as pesquisas na área de tratamento anaeróbio foram concebidas como uma evolução da estruturação e desenvolvimento desses mecanismos. Como exemplo, temos o filtro anaeróbio, que foi o primeiro mecanismo tecnológico de tratamento anaeróbio que demonstrou viabilidade técnica de se aplicar cargas elevadas a unidades anaeróbias de tratamento (VON SPERLING, 2005).

As concepções tecnológicas que envolvem os filtros anaeróbios são caracterizadas pela presença de 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 agregar na forma de grânulos e flocos. Tais mecanismos podem ser utilizados tanto para tratamento de esgotos concentrados como de baixa carga orgânica. Mesmo assim, são mais indicados para esgotos diluídos ou para polimento, porque os riscos de entupimento do meio filtrante aumentam com a concentração de sólidos suspensos.

Nestes moldes, somente os filtros anaeróbios de fluxo ascendente têm sido significativamente aplicados e pesquisados para tratamento de esgotos sanitários.

Os sistemas Decanto-digestor seguido de filtros anaeróbios compõem uma metodologia que pode ser muito vantajosa para o 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 em prazo longo (VON SPERLING, 2005).

A concepção tecnológica caracterizada pelo tanque séptico foi criada por volta de 1982, na França. Esta invenção teve como objetivo a retenção de matéria sólida contidas nos esgotos domésticos, impossibilitando com isso, a obstrução da fossa absorvente bem como a colmatação ou impermeabilização de suas paredes, criando obstáculos à infiltração dos líquidos. Em funçõdas descobertas de Louis Pasteur, Mouras entendeu que a minimização verificada no montante volumétrico da matéria sujeita à sedimentação do esgoto pudesse ser em função da produção bacteriana, que promovesse a produção da liquefação e gaseificação

dos sólidos orgânicos, em ambiente anaeróbio, através do processo de fermentação. Daí o termo “séptico”, adotado para o tanque (ANDRADE NETO, 1997).

Segundo Andrade Neto (1997), no Brasil, existe uma grande quantidade de tanques sépticos, que ficaram distribuídos, em qualquer lugar habitado que se vá.

Em termos comparativos, entre 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 que, 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 (VON SPERLING, 2005).

Seu mecanismo de funcionamento é fundamentado na retenção de esgoto por um período que pode variar entre 12 e 24 horas. Simultaneamente à ocorrência da retenção, processa-se a sedimentação de 55 a 65% dos sólidos em suspensão contidos no afluente, por conseguinte à formação do lodo. Parte dos sólidos não sedimentados como óleos, graxas, gorduras e outros materiais formará uma espuma no interior do tanque. O lodo e a espuma são digeridos principalmente pela ação de microorganismos anaeróbios, removendo parte dos poluentes no esgoto bruto. Devido à hidrólise dos sólidos voláteis há uma considerável redução do volume, gerando gases e líquidos, os quais possuem características estáveis e menos nocivas ao meio ambiente do que o esgoto in natura (VON SPERLING, 2005).

Na Cidade de Fortaleza, segundo relatório enviado pela Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará em 2010, a eficiência do sistema decanto–digestor, seguido do filtro anaeróbio, implantado em 15 conjuntos habitacionais foi, em média, de 67,2% na remoção de DBO e 90,2% na remoção de SS. Dentre as principais vantagens da utilização do sistema anaeróbio sobre o aeróbio é o fato de ser mais compacto, não consumir energia elétrica, produção de menor quantidade de sólidos e requerer menores cuidados operacionais.

Com relação a algumas vantagens dos filtros anaeróbios, podem ser citadas: 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, como para as unidades com fluxo ascendente (ANDRADE NETO, 1997).

#### *2.3.1.4. Utilização de tecnologia UASB no tratamento de esgotos domésticos.*

O reator UASB consiste de um tanque de fluxo ascendente no qual os microorganismos presentes no manto de lodo do reator na forma de flocos ou grânulos retêm os sólidos e convertem a DBO (biogás + água). Na sua parte superior há um separador trifásico (sólido-líquido-gás), onde ocorre a remoção do gás produzido, assim como a sedimentação e retorno automático do lodo à câmara de digestão (VON SPERLING, 2005).

Para a adequação à realidade existente, é necessário operar por sistemas simplificados de tratamento dos esgotos (VON SPERLING, 2005).

Estes sistemas devem conjugar os seguintes requisitos principais: baixo custo de implantação; elevada sustentabilidade, relacionada a pouca dependência de fornecimento de energia, de peças e equipamentos de recomposição; simplicidade operacional, de manutenção e de controle; baixos custos operacionais; adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos); pouco problema com a disposição do lodo gerado na ETE; baixos requisitos de área; existência de flexibilidade em relação às expansões futuras e ao aumento de eficiência; possibilidade de aplicação em pequena escala (descentralização), com pouca dependência da existência de grandes interceptores; tratamento simplificado; ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha; reúso de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas e praticidade (VON SPERLING, 2005).

Nos mecanismos anaeróbios, grande parte do material orgânico biodegradável, 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 orgânica é convertida em biomassa microbiana, em média de 5 a 15%, formada junto ao lodo excedente, onde além de obter pequenas taxas bacterianas, apresenta-se mais concentrado e com maiores vestígios 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% (VON SPERLING, 2005).

Esse mecanismo de retenção possibilita manter uma alta concentração de lodo no interior do reator, como também desmembrar o tempo de retenção celular (idade do lodo) do TDH. Com isso, o reator mantém uma alta idade do lodo e um reduzido TDH, demandando áreas menores para o tratamento (CHERNICHARO, 2007).

### 2.3.1.5. Mecanismo de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios

É pouco provável que os reatores anaeróbios produzam efluentes que atendam aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira, tornando-se preponderante, portanto, o pós-tratamento dos efluentes destes, como uma forma de adequar o efluente tratado aos quesitos da legislação e propiciar a proteção dos corpos receptores (CHERNICHARO, 2007).

A principal finalidade do pós-tratamento é a de promover a complementação da retirada da matéria orgânica, como também de permitir a remoção de frações pouco alteradas no tratamento anaeróbio, como nutrientes do tipo nitrogênio e fósforo, onde a sua emissão nos recursos hídricos provoca a redução das quantidades de oxigênio e o crescimento da biomassa de algas criada no corpo receptor, decorrente do processo de eutrofização, e os organismos patogênicos, como, vírus, bactérias, protozoários e helmintos (CHERNICHARO, 2007).

Tais indicadores são considerados 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 microorganismos, como 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%, sendo insuficiente para produzir efluentes que possam ser utilizados na irrigação (VON SPERLING, 2005).

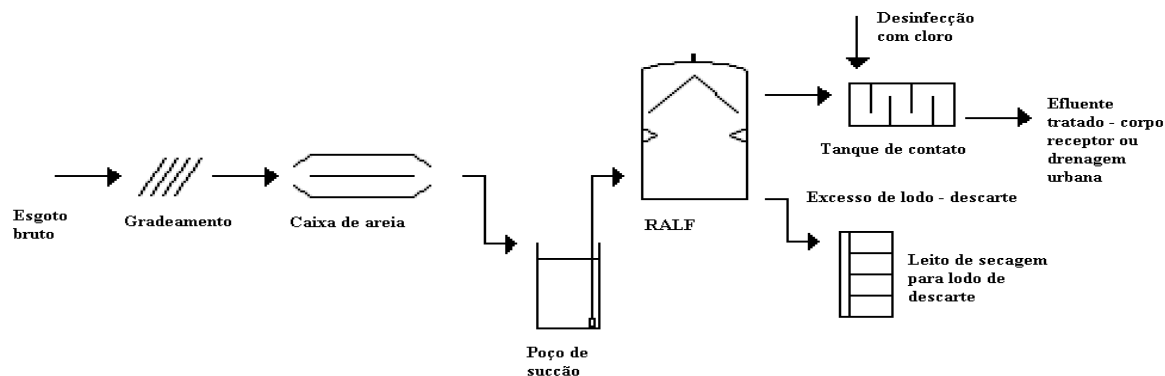
O pós-tratamento é a etapa que também tem como finalidade o polimento da qualidade microbiológica dos efluentes, levando em consideração os riscos à saúde pública e das limitações impostas à utilização dos esgotos tratados na agricultura. Atua na qualidade da matéria orgânica e dos nutrientes, em função dos danos ambientais provocados pelas descargas remanescentes destes constituintes nos corpos receptores. Levando em consideração o sistema de tratamento com reatores anaeróbios, o pós-tratamento vem se constituindo na principal alternativa de tratamento de esgoto no país.

Nas diversas ETEs, espaço de estudo da pesquisa, foram investigadas múltiplas concepções de tratamento de efluentes, mas, em termos gerais, constatou-se o uso de reator anaeróbio, com posterior desinfecção da água residuária, sistemas mistos envolvendo associação de decanto - digestores com filtros anaeróbios, sistemas de lagoas de estabilização com disposições variadas e os sistemas de lodos ativados.

Uma forma de pós-tratamento é a desinfecção (figura 2 e 3), que se refere 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, 2005).

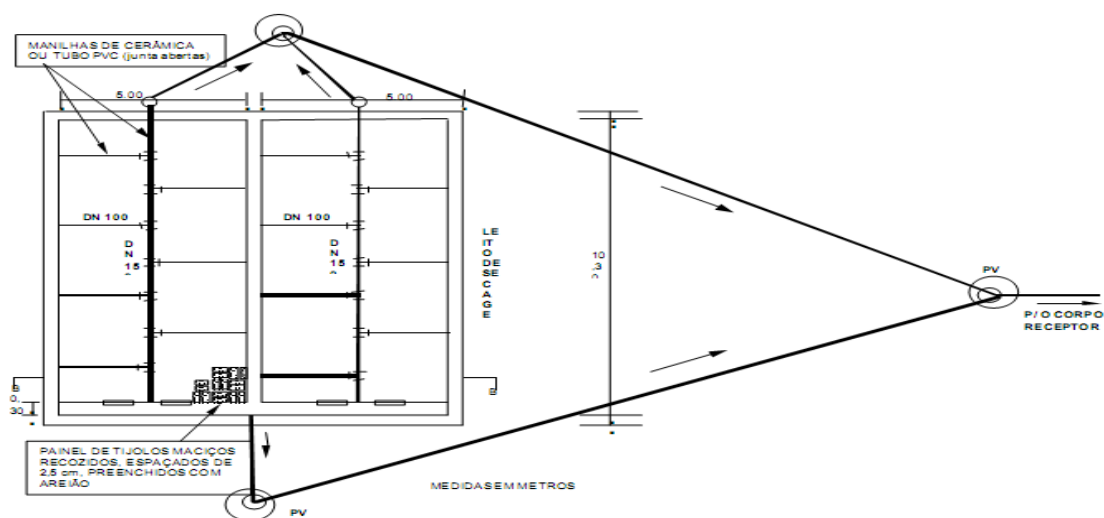
Figura 2 – Esquema de Estação de Tratamento de Esgoto do Tipo Compacta



Fonte: Elaboração do Autor (2014).

O lodo séptico retirado desse tratamento mostra imenso potencial poluidor devido às suas peculiaridades variadas, como volume de matéria orgânica, patogenicidade e atração de vetores. Para tanto, aconselha-se o tratamento do lodo gerado de forma a minimizar os seus efeitos. Este tratamento pode ocorrer isoladamente: como o uso de biodigestores anaeróbicos, lagoas, wetlands, estabilização alcalina (calagem), Lodo de fossa séptica secagem com calor e valas de infiltração e, por fim, a destinação em aterros; ou de forma combinada a outro sistema de tratamento de águas residuárias domésticas (KLINGEL et al., 2002; EPA, 1995).

Figura 3 - Fluxograma de fluxo de uma ETE Compacta



Fonte: Elaboração do Autor, (2014)

### ***2.3.2. Tratamento de esgotos sanitários por processos aeróbios***

Os sistemas de lagoas de estabilização são unidades especialmente construídas para promover o tratamento de esgotos. Entretanto, a construção é simples, baseando-se em movimento de terra de escavação e preparação de taludes (VON SPERLING, 2005).

Os sistemas de 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 varia de 3,0 a 4,5 m e o tempo de detenção hidráulico nunca é inferior a três dias (DOS SANTOS, 2007).

A tecnologia que envolve os mecanismos das lagoas de estabilização sem aeração consiste 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 (MARA, 2003).

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 e insetos, no caso das anaeróbias (VON SPERLING, 2005).

Considerando os sistemas de lagoas de estabilização, a lagoa facultativa é o mais simples, dependendo de fenômenos puramente naturais. O esgoto afluente entra em uma extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo do percurso, que demora vários dias, uma série de eventos contribui para a purificação dos esgotos (VON SPERLING, 2005).

O parâmetro inerente à matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo. Tal lodo sofre decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, água, metano e outros. Apenas a fração inerte permanece na camada de fundo. (VON SPERLING, 2005).

Segundo Von Sperling (2005), 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.

Ainda, de acordo com Von Sperling (2005), 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 e funcionamento do mecanismo 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.

O processo de fotossíntese, por depender da energia solar, é mais intenso 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. Assim, a fotossíntese só ocorre durante o dia, fazendo com que durante a noite possa prevalecer a ausência de oxigênio. Com isto, 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 Von Sperling (2005), o mecanismo das lagoas facultativas é essencialmente natural, ou seja, não detém de nenhum equipamento para um bom funcionamento. Em face de tal motivo, a estabilização da matéria orgânica se processa em taxas lentas, implicando na necessidade de um elevado período de detenção na lagoa (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 em nosso meio.

A finalidade principal da lagoa de maturação é a remoção de patogênicos. Nestas, predominam condições ambientais adversas aos patogênicos, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado oxigênio dissolvido, 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. VON SPERLING (2005).

### ***2.3.3 As condições sanitárias em Fortaleza***

Em Fortaleza, capital cearense, Nordeste do Brasil, o cenário do saneamento

descrito anteriormente não difere do restante do país. A infraestrutura 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, para o agravamento dos problemas sócio-ambientais do município (BEZERRA, 2004).

No início dos anos 80, Fortaleza buscou soluções alternativas para compatibilizar o uso e a ocupação do solo com a falta de infraestrutura 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.

Em alguns estudos executados sobre a operação e manutenção de TS-FAN, para posterior disposição em corpos hídricos superficiais de Fortaleza, ainda exigem estudos complementares, e segundo Chernicharo (2007), 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, atuando em pelo menos 150 municípios, de um total de 184, como mostrado na figura 4.

A cidade de Fortaleza faz parte do rol desses municípios, cujo serviço de saneamento básico está sob o regime de concessão, segundo 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% estavam 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 (BEZERRA, 2004).

Além disto, devido à ausência de orientações e de alternativas técnicas e gerenciais confiáveis, por parte da iniciativa privada, bem como pelo setor público, a gestão do lodo proveniente das fossas sépticas é, em geral, realizada de forma indevida. Em algumas regiões, tal lodo é lançado nas próprias ETEs, se existentes, que aceitam este tipo de resíduo. A maioria do lodo produzido, no entanto, é disposta sem qualquer critério técnico – no solo,

em rios e até mesmo como adubo na agricultura – colocando em risco a saúde da população e a qualidade ambiental (ANDREOLI *et al.*, 2007).

Dados da CAGECE revelam que, para Fortaleza, o índice de cobertura abastecimento de água de 98,52%, correspondendo a uma população superior a 2.175.818 habitantes, e o índice de cobertura de esgotamento sanitário de 57% representando uma população de 1.211.757 habitantes (CAGECE, 2010).

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 (CAGECE, 2010).

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 submarino.

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, 2010).



Tabela 2 Eficiência de remoção dos constituintes por tipo de tratamento.

Eficiência de Remoção por tipo de Tratamento			
Modalidade de Tratamento	DQO (%)	SST (%)	CTT(%)
Decanto Digestor – DD	51,90	31,60	99,86
Lagoa Facultativa (LF)	87,60	45,40	95,36
Lagoa Facultativa (LF) + Lagoa de Maturação (LM)	88,40	63,90	98,35
Lagoa Anaeróbia (LA)+ Lagoa Facultativa (LF) + Lagoa de Maturação (LM)	91,40	81,00	99,65
UASB	66,40	50,00	99,66

Fonte: Monteiro (2009).

## 2.4 Legislação Ambiental

No âmbito dos sistemas legais, federal e estadual, os corpos hídricos foram classificados através da importância de suas utilizações e designam os níveis aceitáveis de qualidade a serem atendidos em função das classes da água. Tais níveis de atendimento são aplicados em conformidade com os patamares de proteção qualitativa dos corpos hídricos, a fim de promover o equilíbrio inerente às suas aplicações previstas.

Alguns patamares de lançamento de efluentes em corpos hídricos foram determinados em função do controle de agentes poluidores, bem como da complexidade e dos focos de poluição.

Geralmente, são utilizadas duas maneiras para a aplicação dos níveis paramétricos na produção de esgotos tratados. Uma delas interage com a aplicação de níveis padronizados inerentes ao risco ambiental, alçado pela produção de efluentes. A outra concebe a junção dos níveis padronizados, tendo como base o melhor cenário em termos tecnológicos disponíveis, em função dos processos de remoção dos parâmetros mais convencionais, tais como DBO e SST.

Na primeira abordagem, os níveis padronizados são condicionados a serem mais flexíveis, com restrições planejadas e menos exigentes, porém impõe um processo avaliativo individual em cada cenário e maior conhecimento em experimentação, bem como dos órgãos fiscalizadores no atendimento aos padrões normativos.

Já no segundo cenário, ocorre o alinhamento com os diferentes tipos concepções de tratamento, que causam níveis de impactos diversos, e, mesmo com a facilidade administrativa, impõe uma situação econômica confortável às nações, para que tenham competência no custeamento da implantação de estruturas modernas inerentes as melhores

tecnologias disponíveis, de forma a possibilitar uma qualidade do corpo receptor (Canadian Council of Minister of the Environment, 2005).

Tais entendimentos remetem que, dos fatores positivos e negativos de ambos os cenários, é prudente a combinação destas abordagens, onde em diversas nações já utilizam este conceito. Esta aplicação pôde ser difundida nos Estados Unidos, que já em 1977, por meio da Seção 301 do “U. S. Clean Water Act”, que promoveram exigências no atendimento aos níveis padronizados da produção de esgotos tratados, tendo como base o tratamento secundário de esgotos, em função do entendimento de que é inadmissível poluir quando da existência de concepções tecnológicas de tratamento disponíveis.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente n° 357 de 2005, atualizada pela Resolução CONAMA n° 430 de 2011, foi estruturada, no Brasil, tendo por finalidade as suas utilizações importantes e planejadas em relação aos corpos hídricos e direcionar o controle dos esgotos tratados líquidos.

O setor ambiental estadual, costumeiramente, fundamenta-se nos padrões desta resolução, promovendo suporte e complementações ou injetando uma maior restrição aos níveis padronizados normativos.

No âmbito mundial, pode ser percebida uma tendência das diversas nações no desenvolvimento da captação dos níveis padronizados de qualidade utilizados pelos países ricos, que se modulam em um estágio muito diferenciado quanto aos problemas ambientais.

Alguns dos países desenvolvidos já conseguiram alçar superação inerente às dificuldades básicas de poluição de corpos hídricos e permitem-se estar em estágio de aprimoramento, quanto ao controle de micro poluentes ou aos danos por tipos poluidores no meio ambiente.

De acordo com Von Sperling (2005), existe um direcionamento executivo prático a fim de promover a viabilização, num atendimento gradativo, aos níveis padronizados ambientais, que, no caso, seria a aplicação de ação escalonada, referente à qualidade do efluente, visando evitar o inadimplemento costumeiro dos agentes produtores de afluentes. Tal procedimento, inerente a um planejamento bem adequado e fundamentado na participação de órgãos de fiscalização e deliberação ambiental, e, integral comprometimento do agente produtor de poluentes, certamente, seria mais proativo à ação de somente promover atendimento aos níveis padronizados, num só estágio.

Segundo Metcalf e Eddy (2003), os níveis máximos permitidos e exigentes para lançamento de DBO, SST e Trihalometanos (THMs), foram divulgados na publicação de 2001 do NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System - EPA), e deverão ser

adotados até o ano 2006 no estado da Califórnia. Como exemplo, os padrões de lançamento médios mensais para DBO e SST, considerando amostragem diária composta, deverão ser de 10 e 15 mg/L, respectivamente.

Já os THMs, cujo limite para água potável em 2001 era de 100 mg/L, terão os seus valores médios mensais de lançamento fixados em 0,41 mg/L, para Dibromoclorometano, em 5,7 mg/L para clorofórmio e em 0,56 mg/L para Bromodichlorometano, considerando amostras mensais simples.

Diversas pesquisas foram estruturadas em função do projeto e operação de unidades de tratamento, integrando operações físicas unitárias bem como de processos químicos e biológicos unitários.

Mesmo com grande preponderância do referido assunto, investigações direcionadas à avaliação de desempenho de ETEs mostraram que, de certa forma, tornaram-se mais exigentes e frequentes, igualmente ou mais importantes na ação de planejamento e projeto de concepções modais de tratamento, uma vez que o conceito de bom comportamento indaga o atendimento aos níveis padronizados de lançamento.

Em trabalho desenvolvido por Von Sperling e Chernicharo (2005) foram investigados 32 processos de tratamento mais comumente utilizados em todo o mundo e concluíram que a maioria deles é capaz de atingir valores razoáveis de qualidade de efluente, considerando DBO, DQO e, algumas vezes, SST, compatíveis com a maioria de padrões de lançamento existentes para efluentes.

No entanto, para a amônia, o nitrogênio, os coliformes termotolerantes e especialmente o fósforo, somente uma faixa limitada de tecnologias de tratamento consegue gerar um efluente compatível com eventuais níveis padronizados (VON SPERLING, 2005).

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, substituída pela resolução nº 430 de 2011 que trata sobre classificação dos corpos d'água, consta ser o padrão a ser alcançado pelas empresas brasileiras, no atendimento aos padrões normativos, que dispõe da classificação dos corpos de água bem como das diretrizes ambientais para o seu enquadramento e o estabelecimento das condições e padrões de lançamento de efluentes, determinando que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, diretos ou indiretamente nos corpos d'água, desde que obedeçam as condições previstas 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 incluam 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 3 (compilada):

Todos estes parâmetros devem estar enquadrados às exigências normativas, porém, no caso das lagoas de estabilização, é na lagoa de maturação que os microorganismos patogênicos são removidos, pela influência dos altos valores de oxigênio dissolvido, de pH e da concentração de raios ultravioleta (NUNES 2010; BRITTO 2004).



Tabela 3 Lançamento de efluentes - padrões.

<b>PARÂMETROS INORGÂNICOS</b>	<b>Valor máximo</b>
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
Mercurio 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
<b>PARÂMETROS ORGÂNICOS</b>	<b>Valor máximo</b>
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem). com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L

FONTE: CONAMA (2011).

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 ETE; 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 intermitência 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 ( $\emptyset$ ) entre 0,7 à 1,0  $\mu\text{m}$ : 60 mg/L;

III - Demanda Química de Oxigênio (DQO) da amostra filtrada em filtro de fibra de vidro e poro com diâmetro ( $\emptyset$ ) entre 0,7 à 1,0  $\mu\text{m}$ : 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(is) 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.

## **2.5 Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES)**

A Agência Nacional de Águas criou, em 2001, o PRODES (Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas), visando aportar à estruturação de unidades de tratamento em todo o Brasil, com o objetivo de minimizar os patamares de poluição hídrica no país, e, simultaneamente, consolidando a constituição da sistemática de gestão de recursos hídricos, mediante a organização dos Comitês de Bacia e a ratificação da cobrança pelo direito de uso da água.

Tal programa federal não apenas custeia obras ou equipamentos, mas financia os

resultados obtidos, ou seja, pelo esgoto tratado em termos efetivos. O contrato de financiamento pelo esgoto tratado é firmado pelo Governo Federal, por intermédio da Agência Nacional de Águas, diretamente com o concessionário prestador do serviço de saneamento - entidade pública ou privada. O pagamento se dá ao concessionário, até 50% do valor do investimento estimado para implantação da ETE (ANA, 2013).

Estes recursos são liberados quando inicia a operação da ETE, em função do atendimento da eficiência de tratamento e da carga poluidora afluente abatida. Condiciona, ainda, valores per capita de referência, em função da população equivalente assistida.

Além da necessidade de viabilizar o tratamento de esgotos, experiências desenvolvidas em todo o mundo, inclusive as realizadas há alguns anos pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (*Prosab*), indicam que o uso de esgoto doméstico tratado contribui para a redução da utilização de fertilizantes artificiais na irrigação e hidroponia, e na economia de ração na piscicultura. Os nutrientes presentes nos efluentes de ETEs são aproveitados pelas plantas e animais, alcançando-se, muitas vezes, bons desenvolvimentos das culturas e dos peixes, mesmo sem o fornecimento de fertilizantes artificiais ou rações comerciais (BASTOS, 2006; FLORENCIO *et al.*, 2006).

## **2.6 Microalga *Spirulina platensis***

As microalgas se apresentam como os únicos seres vivos por mais de 3 milhões de anos, mas o estudo científico dos mesmos começou somente em 1980 (VONSHAK, 1983). A microalga *Spirulina* contém bilhões de anos de sabedoria evolutiva no seu DNA e é o fruto da primeira forma de vida fotossintética da Terra (BECKER, 2004).

Esta microalga foi “reestudada” nos anos 60. O cientista Jean Léonard, botânico presente em uma expedição franco-belga à África, descreveu um bolo azul-esverdeado, encontrado no mercado de Fort Lamy, em Chad. Investigações posteriores descobriram que tal bolo, chamado localmente de dihé, continha uma alga azul-esverdeada identificada como *Spirulina*. Essa alga era consumida pela tribo Kanembu, que vivia às margens dos lagos Chad e Niger. Os integrantes desta tribo apresentavam constituição física diferenciada, pois cerca de 70% dos alimentos consumidos eram algas (DERNER *et al.*, 2006).

Enquanto Léonard investigava a *Spirulina* na África, o Instituto Francês do Petróleo recebia um pedido da Companhia Sosa Texcoco, situada próxima à cidade do México: a pesquisa de uma alga que vivia nos lagos de produção de carbonato de sódio e

aparecia com a evaporação da água. Como resultado, o primeiro estudo detalhado dos requerimentos nutricionais e da fisiologia da *Spirulina* foi realizado. Nesta pesquisa, parte da tese de pós-doutorado de Zarrouk, foi o desenvolvimento da base para o estabelecimento da produção de *Spirulina* em larga escala (DERNER *et al.*, 2006).

A *Spirulina* surgiu, como forma de alimento, em períodos diferentes da história humana. Constitui ser o alimento dos Astecas do México e tem sido a alimentação do povo Kanembu, da África Central durante séculos. Foi usada em partes do Sudeste da Ásia, há mais de mil anos atrás, em sopas (DERNER *et al.*, 2006). Uma pesquisa revela que 25 amostras separadas de alga de água fresca foram recolhidas e ingeridas em 15 países diferentes, portanto está bem testada e é confiada por várias culturas diferentes (DERNER *et al.*, 2006).

A *Spirulina* é a microalga mais difundida e conhecida no Brasil. Quando processada e transformada em biomassa, é uma riquíssima fonte de vitaminas e sais minerais, além de conter proteínas de ótima qualidade. Entre plantas e animais é o organismo que mais tem vitamina B12, cuja principal função no ser humano é aumentar a absorção de proteínas. O uso da *Spirulina* é uma das alternativas mais claras para a solução dos problemas de nutrição da sociedade do futuro (COLLA, 2004).

A microalga *Spirulina platensis* tem muitas aplicações biotecnológicas, uma destas aplicações tem sido na aquicultura, para a alimentação direta ou indireta de algumas espécies de peixes, moluscos, crustáceos e de diversos organismos forrageiros de interesse econômico (DERNER *et al.*, 2006). Diversas pesquisas são difundidas nas diversas áreas, tais como, no tratamento de esgotos de processos industriais, para a detoxificação biológica e remoção de metais tóxicos; como bioindicadores, na detecção de nutrientes (microalgas) e substâncias tóxicas (detergentes, efluentes industriais, herbicidas). Na agricultura, a biomassa pode ser empregada como biofertilizante do solo (DERNER *et al.*, 2006).

As microalgas produzem moléculas bioativas (betacaroteno), com propriedades antibióticas, anticâncer, antiinflamatórias, antivirais, redutoras de colesterol, enzimáticas e com outras atividades farmacológicas (DERNER *et al.*, 2006). Além disso, simultaneamente, podem ser utilizadas na redução do efeito estufa pela assimilação do CO<sub>2</sub>. Ainda, possibilitam produção de bicomustíveis (biodiesel, por exemplo) (DERNER *et al.*, 2006).

Nas condições naturais, muitas microalgas se desenvolvem em comunidades mistas, incluindo várias espécies e gêneros. Quando o objetivo é estudar ou cultivar espécies individuais, um meio que possibilite condições seletivas é indispensável para o cultivo. Os principais requerimentos incluem carbono, fósforo, nitrogênio, enxofre, potássio e magnésio. Íons ferro e manganês são requeridos em pequenas quantidades. Outros, como cobalto, zinco,

boro, cobre e molibdênio são essenciais (BECKER, 2004).

Em ambiente saudável, a *Spirulina* consta ser uma das muitas espécies presentes em águas naturais, porém na elevação da salinidade e da alcalinidade, o ambiente se torna impróprio para outras formas de vida e a *Spirulina* se transforma na única espécie existente. Uma curiosidade integrada à *Spirulina* é o seu ambiente de cultura, podendo ser constituído por esgotos rurais e urbanos ricos em nitrogênio e fósforo. Assim, a partir do cultivo retém-se quase que a integralidade destes nutrientes, evitando a proliferação de algas indesejáveis e produzindo biomassa para consumo humano e animal (LIMA *et al.*, 1999). São vários os fatores que podem alterar o crescimento da *Spirulina platensis*, tais como: pH, salinidade, luminosidade, presença de contaminantes, temperatura, acúmulo de oxigênio e presença de íons bicarbonato, fonte de nitrogênio, tipo de biorreator, densidade da população.

Tais microalgas são vistas como seres procaríotos (parede celular, ribossomos e ácidos nucléicos), imóveis, não esporulados e pertencem ao grupo das bactérias, de procariota, com pigmentos ficobiliprotéicos e a sua produção de oxigênio via fotossintética, as diferencia das algas eucariotas e bactérias fotossintéticas (LIMA *et al.*, 1999).

As cianobactérias, ainda que se enquadrem aos seres procaríotes, são muito mais complexas que as bactérias, pois possuem uma molécula de DNA, membrana tilacóide e várias inclusões ou estruturas citoplasmáticas e parede celular típica (DERNER *et al.*, 2006).

As microalgas do tipo *Spirulinas* sobrevivem em ambientes líquidos repletos em sais minerais compostos principalmente por bicarbonato e carbonato de sódio, com pH variando de 8 a 11. Os habitats favoráveis para a sua cultura são os tropicais e subtropicais, quentes e com alto índice de radiação solar. Podem ser aplicadas como fonte de alimento na dieta humana e ração animal, possuindo elevados teores protéicos e contendo todos os aminoácidos essenciais em proporções que satisfazem as recomendações da FAO (Food and Agriculture Organization). As *Spirulinas* são capazes de acumular germânio, que é importante devido à sua atividade hemolítica e indutora de interferon. Além disso, possuem efeito hipocolesterolêmico, ou seja, seu consumo pode reduzir os níveis de colesterol no sangue, conforme foi descrito em literatura (LIMA *et al.*, 1999).

O gênero *Spirulina* pertence ao reino Monera, classe *Cyanophyceae* e à família *Oscillatoriaceae* e compreende o grupo das cianobactérias filamentosas (microalgas verde-azuladas). É caracterizado por cadeias de células, constituindo um filamento na forma de espiral, denominado tricoma. Os tricomas são constituídos por células cilíndricas, curtas e largas, revestida por uma fina membrana. Seu diâmetro pode variar de 6 a 12  $\mu\text{m}$ , e as estruturas helicoidais formadas por este filamento podem apresentar diâmetro que variam de

30 a 70  $\mu\text{m}$ . As dimensões celulares, o grau de ondulação e o comprimento dos filamentos variam de espécie para espécie. Esta última característica também pode variar conforme as condições ambientais de crescimento (HENRIKSON, 1994).

A cultura das microalgas como parte da biotecnologia moderna tem recebido a atenção de pesquisadores em todas as partes do mundo. As condições de crescimento e os biorreatores para o cultivo têm sido exaustivamente estudados (COLLA, 2004). As fontes de energia classificadas nos seguintes grupos:

- a) Fontes de elementos principais (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio);
- b) Fontes dos elementos secundários (fósforo, enxofre, potássio e magnésio);
- c) Vitaminas e hormônios;
- d) Fontes de elementos “traços”, requerimento em quantidades mínimas para o crescimento microbiano (cálcio, ferro, zinco e cobre). Usado em concentrações da ordem de  $10^{-4}$  para concentrações de 30 gramas de células seca por litro.

Em algumas bibliografias autores sugerem que a formação do meio de cultivo seja inerente à composição celular, ao requerimento energético e a necessidade de substâncias específicas (WANG *et al.*, 1979). O meio para crescimento microbiano deve conter os elementos celulares dosados. As fontes de nitrogênio podem ser orgânicas ou inorgânicas e não podem faltar na composição do meio, pois sua ausência altera o crescimento das células.

Com relação à aplicação de *Spirulina platensis* para a remoção de metais, Viacelli (2007) aplicou concentrações iniciais de chumbo e cádmio de no máximo 0,2 mg/L obtendo remoções de 86% a 90%. Nesta pesquisa, a *Spirulina* apresentou boa eficiência na remoção de cromo, ratificando o poder desta microalga para a remoção de metais tóxicos por biossorção.

Já, Bueno (2007) avaliou o potencial de remoção dos metais Pb(II), Cr(III) e Cu(II) utilizando o microorganismo *R. opacus* como biossorvente. As concentrações iniciais foram de 20 mg/L para os três metais, no final do cultivo foi obtido resultados de 94% de remoção para o Pb(II), 54% de remoção para o Cr(III) e 43% de remoção para o Cu(II). Em tal pesquisa a microalga *Spirulina* desempenhou a remoção de Cr VI com maior eficiência, demonstrando sua capacidade de remoção de metais tóxicos.

Um tipo de componente a ser removido necessariamente pela *Spirulina* é a amônia, que assume formas tóxicas em função do pH do meio. Quando o pH for neutro a amônia estará na forma ionizada e sofrerá a influência sensível da temperatura (PIVELLI *et al.*, 2009).

Assim, quanto menos nitrogênio no meio menor será a probabilidade de serem formados componentes tóxicos no efluente.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi baseada nos objetivos específicos, compreendendo sequencialmente as etapas do estudo efetuado e proposições da pesquisa.

#### 3.1 Estatística descritiva e caracterização geral dos dados

Os dados experimentais de monitoramento das ETEs foram analisados por meio de estudos estatísticos preliminares visando o conhecimento e caracterização dos diversos sistemas inventariados. Para todos os constituintes de interesse, no caso a DBO, a DQO, os SST, a temperatura, o pH e os coliformes fecais, dos afluentes e efluentes, de todas as ETEs, foram calculadas as estatísticas básicas relativas ao número de dados, médias aritméticas, bem como as análises de estabilidade e confiabilidade. Nesta etapa do estudo foram quantificadas ainda, as eficiências de remoção das cargas poluidoras afluentes considerando os constituintes de DBO, DQO e SST.

#### 3.2. Fundamentação metodológica

A tese foi estruturada com a finalidade de promover a avaliação de desempenho e valoração operacional das ETEs, sendo analisadas a eficiência, a estabilidade e a confiabilidade. Na aplicação deste modelo foi contemplada a bibliografia relativa ao contexto, extraíndo definições e conceitos metódicos, que foram utilizados para tais investigações, implicando em fácil utilização e resultando em informações abrangentes e precisas. A metodologia utilizada foi a proposta por Metcalf e Eddy (1991).

Metcalf e Eddy (1991) definem a confiabilidade (Cf) como sendo uma função da probabilidade de falhas (P), que pode ser expressa pela equação 3.1:

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

Onde:

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



De maneira geral, a noção de confiabilidade está intuitivamente associada ao grau de certeza que se tem no bom funcionamento de um produto durante um longo período de tempo. Entretanto, definindo desta forma, o conceito apresenta uma dificuldade de ordem prática. Do ponto de vista da engenharia, por exemplo, seria importante poder garantir a confiabilidade de um produto ou a sua melhoria. Esta tarefa, contudo, só seria viável se este grau de certeza pudesse ser medido de alguma forma aceitável.

Com o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias, sobretudo na produção de sistemas militares complexos, foi aumentando a pressão para que essas questões de ordem prática fossem resolvidas. Os esforços nesse sentido resultaram no desenvolvimento de métodos probabilísticos e estatísticos para o tratamento prático das questões industriais relacionadas à confiabilidade, característica necessária às investigações do tratamento de esgotos, no atendimento às legislações.

A variável confiabilidade pode ser determinada, a partir da função de distribuição log-normal da concentração do efluente. Esta pode ser utilizada em duas fases: uma durante a elaboração do projeto e a outra no momento de operação. Na primeira situação, com a adoção padrão de confiabilidade requerido para a ETE, 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).

O mapeamento das distribuições de probabilidade dos indicadores, por meio dos testes estatísticos, mostrou que a distribuição lognormal pode ser adotada para descrever o comportamento da maioria dos dados disponibilizados pelas ETEs. Logo, foi necessário, neste contexto, o alinhamento de algumas definições relativas à distribuição lognormal para o conhecimento da metodologia empregada.

A função de distribuição lognormal pode ser conceituada como a distribuição de uma variável aleatória, cujo logaritmo a transforma numa distribuição normal. Ou seja, uma variável aleatória e positiva  $x$  se enquadra em uma distribuição lognormal, com média  $\mu_x$  e desvio padrão  $\sigma_x$ , caso a variável  $y = \ln(x)$  seja normalmente distribuída com média  $\mu_y$  e desvio padrão  $\sigma_y$ .

A seguir, são expostas as equações que fundamentam a função densidade de probabilidade  $f(x)$  da distribuição lognormal, que é dada por (CROW; SHIMIZU, 1988):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x \sigma y}} e^{-\frac{(\ln x - \mu y)^2}{2\sigma y}} \quad x > 0 \quad (3.3)$$

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

Tal distribuição consta ser assimétrica, com extensa cauda à direita da média. Tomando a proporção  $y = \ln(x)$ , quando  $\mu x$  e  $\sigma x$  são descritos para  $x$ , a média e variância correspondentes para  $y$  podem ser determinadas como a seguir (BROADBENT, 1956; CROW e SHIMIZU, 1988):

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

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

De acordo com Niku *et al* (1979), as equações (3.5) e (3.6) foram tomadas para estruturar a equação da confiabilidade. O coeficiente de confiabilidade (CDC), desenvolvido por Niku *et al* (1982), pode ser utilizado para estimar a confiabilidade das ETEs. Para tal procedimento, foram tomados os coeficientes de variação calculados para as ETEs estudadas. Este “CDC” relaciona os valores das concentrações médias de projeto ao padrão a ser alcançado em uma plataforma probabilística. O valor médio do constituinte,  $m_x$ , poderá ser obtido a partir da equação 3.7:

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

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

CDC= coeficiente de confiabilidade.

Admitindo que, para uma determinada probabilidade de falha  $\alpha$  entre 0 e 1, mais perto de 0, preconiza-se projetar um processo para cada variável lognormal ( $x$ ) analisada, e deve ser utilizada a condição dada pela equação abaixo:

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

Logo,  $(1 - \alpha)$  é a probabilidade que a variável  $x$  não supera o limite padronizado  $X_s$ . Para a estruturação da equação, inerente ao coeficiente de confiabilidade, Niku *et al* (1979) tomaram algumas condições inerentes à função de distribuição lognormal padronizada, que pode ser quantificada no cenário em que a média da distribuição normal resultante é nula ( $\mu_y = 0$ ) e a variância equivale a um ( $\sigma^2_y = 1$ ). Assim, as tabelas produzidas para a distribuição normal central reduzida podem ser utilizadas, após a transformação dos parâmetros, ou seja:

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

Em que,  $Z$  é uma variável normal padronizada e o termo da equação (3.9),  $\left( \frac{\ln X_s - \mu_y}{\sigma_y} \right)$ , equivale ao valor padrão normal variado, e será nomeado de  $(Z_{1-\alpha})$ , de forma que:

$$P(Z \leq Z_{1-\alpha}) = 1 - \alpha \quad (3.10)$$

A finalidade principal foi promover o desenvolvimento de uma expressão para o coeficiente de confiabilidade, do qual seja quantificado o valor médio necessário e essencial, no intuito de permitir que o processo de tratamento possa garantir um grau de confiabilidade desejado  $(1-\alpha)$ , em função de um conhecido padrão normativo  $X_s$  e uma dada variabilidade ou coeficiente de variação, dado pela equação 3.11:

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

A variabilidade ou coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa, definida como a relação entre o desvio padrão e a média. A partir do CV pode-se avaliar a homogeneidade do conjunto de dados e, conseqüentemente, se a média é uma boa medida para representar estes dados. O CV 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 tende a 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. De encontro ao exposto, quanto mais próximo de zero, mais homogêneo é o conjunto de dados e mais representativa será sua média.

Segundo Stephens (2009), as equações da média e da variância, da distribuição lognormal (3.5 e 3.6) foram reorganizadas para serem incorporadas a uma expressão, na obtenção do coeficiente de confiabilidade, ou seja:

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

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

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

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

Nesses termos, as equações (3.12) e (3.13) foram inseridas na expressão 3.8, onde foi obtida à equação referente à variável normal padronizada,  $Z_{1-\alpha}$ , na equação 3.14:

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

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

Em função da quantificação da variável normal padronizada, do coeficiente de

variação e do valor normativo, foi determinado o índice de confiabilidade CDC, sendo obtido de acordo com as equações abaixo:

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

Em que:

$Vx$  – Coeficiente de Variação (CV);

$Z_{1-\alpha}$  - 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, obtido da equação 3.16, relaciona o valor médio do constituinte,  $\mu_x$ , ao padrão  $X_s$  para um nível de confiabilidade  $1 - \alpha$ . No entanto, o CDC é calculado com base nas condições originais dos dados e não de seus logaritmos, pois, ao quantificar a variável normal padronizada, já fora executada a transformação das variáveis nativas.

Assim, foram quantificados os valores dos coeficientes de confiabilidade (CDC), para todas as ETEs investigadas, caracterizando a condição real das unidades em 2011, e, com simulações para diferentes níveis de confiabilidade, tomando a preconização de confiabilidade. Em função dos resultados, foi possível a determinação das concentrações de projeto, que seriam necessárias para o alcance de vários padrões ou metas especificadas.

Em termos de concentração de projeto de um efluente, que permite garantir a confiabilidade durante uma determinada fração temporal, que é dada em função do produto do valor padrão pelo CDC, segundo a equação abaixo:

$$C.P. = (CDC) \times X_s \quad (3.17)$$

Em que,

$X_s$  - Valor limite fixado pela legislação

CP - Concentração de projeto.

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

$$C.O. = (CDC) / X_s \quad (3.18)$$

Em que,

Xs - Valor limite fixado pela legislação

CO - Concentração de Operação.

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, foi útil a determinação da confiabilidade das ETEs, principalmente por se considerar a 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 pela norma ambiental para lançamento, foi obtida a confiabilidade da estação, utilizando-se a distribuição normal padronizada, de acordo com a tabulação de resultados e os percentis associados à probabilidade acumulada (METCALF; EDDY, 1991).

Em alinhamento aos procedimentos descritos para determinação da confiabilidade do processo de tratamento, foi verificado que o mais viável para ser adotado no modelo foi o proposto por Metcalf e Eddy (1991) e Niku (1982).

O parâmetro confiabilidade foi, então, quantificado em função da média e do desvio padrão, conforme apresentado nas equações acima. O resultado representa a confiabilidade decorrente de todos os fatores intervenientes.

As logísticas metodológicas utilizadas foram obtidas 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 outros constituintes, podendo ser DQO e SST. A extração dos componentes a serem analisados deve ser de acordo com os padrões de qualidade do corpo receptor, instituídos por órgãos competentes.

A quantificação da confiabilidade das ETEs, de acordo com a metodologia adotada, propõe a necessidade de obter-se uma amostra representativa, com isto, foi determinado o número mínimo de componentes, adotando como padrão de confiança 90%.

A fim de fundamentar a técnica de quantificação e investigação do desvio-padrão dos dados foi necessário entender que, enquanto não há nada conceitualmente errado em se considerar o desvio médio, segundo Crow e 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, calcula-se a média. Obtém-se, assim, a variância.

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

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

No entanto, ao quantificar 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:

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

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

### 3.3 Obtenção e sistematização dos dados

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos em função de análises físico-químicas e bacteriológicas experimentais executadas pela Consultoria Sane Controler, no LAMAM (Laboratório de Monitoramento Ambiental), com acompanhamento e participação do próprio autor, bem como pelo fornecimento de informações concedidas pela Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará, após análises laboratoriais e visitas técnicas, entre janeiro e dezembro de 2011. Experimentalmente foram obtidas as concentrações paramétricas e resultados dos constituintes, dentre eles: a DQO, a DBO, os SST, pH, temperatura, coliformes fecais e compostos nitrogenados.

Para o estudo foram consideradas 36 ETEs em operação na cidade de Fortaleza e uma ETE no interior. Tais dados foram obtidos e coletados segundo uma frequência de coletas simples e compostas semanais e mensais, para todas as estações. De um modo geral, para todos os processos (37 ETEs), foram tomadas as médias aritméticas das concentrações afluentes e efluentes para DBO, DQO e SST, sendo constituídos de cada parâmetro, por 24

dados (12 meses do ano 2011) totalizando 2592 valores, para a composição tanto das análises de eficiência operacional como para os testes de confiabilidade e estabilidade.

Para o condicionamento da realidade das ETEs, os valores de concentração dos efluentes, considerados como meta, foram obtidos segundo a Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005), com alterações elaboradas na Resolução 430/2011 e a Portaria 154 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará (2002), sendo os níveis normativos para a DQO (200mg/L), para a DBO (60mg/L) e para os SST (150mg/L).

A metodologia foi baseada em dois procedimentos: o primeiro sem probabilidade preconizada, sendo calculada a confiabilidade em função da média anual, do desvio-padrão, do coeficiente de variação e do  $Z_{(1-\alpha)}$ , que foi quantificado e inserido na Tabela de Distribuição Normal Padrão, para a obtenção da confiabilidade, onde foram considerados os padrões de lançamento exigidos pela legislação, e, a partir de sua quantificação, foram calculados os índices de confiabilidade (CDCs), bem como as concentrações reais de projeto e operação, específicas às normas consideradas na pesquisa. Estes valores foram determinados por meio da função de distribuição normal do Excel, mas são facilmente encontrados em livros texto de estatística (LAPPONI, 2005).

Já no segundo procedimento, a probabilidade foi preconizada para a quantificação tanto das concentrações de projeto quanto das concentrações de operação. Estas concentrações dependem das metas legais e do CDC, que foi calculado em função da média anual, do desvio-padrão, do coeficiente de variação e do  $Z_{1-\alpha}$  (90%), que é dado de entrada para a obtenção da confiabilidade, pela Tabela da Distribuição Normal Padrão.

As verificações das eficiências foram quantificadas por meio das médias de remoção dos parâmetros avaliados e dos preconizados para cada tipologia de tratamento, obtidos segundo Von Sperling (2005), que foram comparadas com os valores médios obtidos neste trabalho. Estas referências foram empregadas na presente pesquisa, dentre elas: os sistemas de Reator UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (DQO – 55 a 70%, DBO – 60 a 75%, SST – 65 a 80%), a tecnologia do Decanto-Digestor (DQO – 70 a 80%, DBO – 80 a 85%, SST – 80 a 90%), os sistemas de Lagoas de Estabilização (DQO – 65 a 80%, DBO – 75 a 85%, SST – 70 a 80%) e o sistema de Lodos Ativados (DQO – 80 a 90%, DBO – 85 a 93%, SST – 87 a 93%).

O processamento dos dados das diversas ETEs avaliadas foi padronizado, de forma a facilitar sua utilização e consulta. Os dados adquiridos foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel), em ordem cronológica de monitoramento, para a



utilização no tratamento estatístico. Para realização dos ensaios laboratoriais foram seguidos os métodos preconizados no Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005), os quais são mostrados no Quadro 01.

Quadro 1 Parâmetros e Métodos de Ensaio.

Parâmetros	Métodos
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	Refluxo Aberto
DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	Frasco padrão
pH (-)	Potenciométrico
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Gravimétrico
Temperatura (°C)	Termometria
CTT (NMP/100 mL)	Cromogênico (collilert)

FONTE: Laboratório de Monitoramento Ambiental – LAMAM (2011)

O Estudo foi realizado nas ETE's: Aracapé, São Cristóvão, Almirante Tamandaré, Itaperi I, Dias Macedo, Riacho Doce, Novo Barroso, Lago Azul, Zeza Tijolo, Novo Mondubim II, Pindorama, Lagoa da Zeza, João Paulo II, Lagamar, Esperança, Parque Fluminense, São Cristóvão, Tupã Mirim, Sumaré, Sítio Santana, Araturi I, Conjunto Ceará, Curió, Nova Metrópole, Palmeiras, Por do Sol, Rosa de Luxemburgo, Jereissati, Jangurussú, Marechal Rondon, José Walter, S.I.D.I., Pequeno Mudubim, Nova Vida, Itaperussú, Pajuçara e em uma ETE do tipo Lagoa de Estabilização para a utilização das microalgas.

### ***3.3.1 Diagnóstico e validação dos dados obtidos***

Para a utilização dos dados obtidos através da execução das análises experimentais, bem como dos valores fornecidos pela CAGECE, foi necessária uma investigação inerente à obtenção das diversas informações computadas, com base em testes de normalidade, que foram utilizados para verificar se a distribuição de probabilidade associada a um conjunto de dados podendo ser aproximada ou aderida pela distribuição lognormal. Para tal técnica, foram aplicados os seguintes testes: Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. Também foi adotado o uso de Papel de Probabilidade, para uma visualização gráfica, contido em anexo.

#### ***3.3.1.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov***

Grande parte dos problemas que se encontram em estatística é tratada com a hipótese de que os dados são retirados de uma população com uma distribuição de

probabilidade específica. O formato desta distribuição pode ser um dos objetivos da análise. Por exemplo, suponha que um pequeno número de observações foi retirado de uma população com distribuição desconhecida, e que, estar-se interessado em testar hipóteses sobre a média desta população. O teste paramétrico tradicional, baseado na distribuição t-student, é obtido sob a hipótese de que a população tem distribuição normal. Nesse sentido, surge a necessidade de se certificar se essa suposição pode ser assumida. Em alguns casos, assumir a normalidade dos dados é o primeiro passo que se toma para simplificar as análises. Para dar suporte a esta suposição, considera-se, dentre outros, o teste de Kolmogorov - Smirnov.

O teste de Kolmogorov - Smirnov pode ser utilizado para avaliar as hipóteses:

$H_0$ : Os dados seguem uma distribuição normal

$H_1$ : Os dados não seguem uma distribuição normal

Este teste observa a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados, no caso a Normal, e a função de distribuição empírica dos dados. Como critério, compara-se esta diferença com um valor crítico, para um dado nível de significância. Considere uma amostra aleatória simples  $X_1, X_2, \dots, X_n$  de uma população com função de distribuição acumulada contínua  $F_x$  desconhecida. A estatística utilizada para o teste é:

$$D_x = \sup |F(x) - F_n(x)| \quad (3.23)$$

Esta função corresponde à distância máxima vertical entre os gráficos de  $F(x)$  e  $F_n(x)$  sobre a amplitude dos possíveis valores de  $x$ . Em  $D_n$ , tem-se que:

.  $F(x)$  representa a função de distribuição acumulada assumida para os dados;

.  $F_n(x)$  representa a função de distribuição acumulada empírica dos dados.

Neste caso, quer-se testar a hipótese  $H_0: F_x = F$  contra a hipótese alternativa  $H_1: F_x \neq F$ . Para isto, tomam-se  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , as observações aleatórias ordenadas de forma crescente da população com função de distribuição contínua  $F_x$ . No caso de análise da normalidade dos dados, assume-se  $F$  a função de distribuição da normal. A função de distribuição acumulada assumida para os dados é definida por  $F(x(i)) = P(X \leq x(i))$  e a função de distribuição acumulada empírica é definida por uma função escada, dada pela fórmula:

$$F_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I\{(-\infty, x) \} X_{(i)} \quad (3.24)$$

Em que,  $I_A$  é a função indicadora. A função indicadora é definida da seguinte forma:  $I_A = (1$  se  $x$  pertencer a  $A$  e  $0$  caso contrário)

Observe que a função da distribuição empírica  $F_n(x)$  corresponde à proporção de valores menores ou iguais a  $x$ . Tal função também pode ser escrita da seguinte forma:

$$F_n(x) = 0, \text{ se } x < x_1; k/n, \text{ se } x_{(k)} \leq x < x_{(k+1)}; 1, \text{ se } x > x_{(n)}$$

Sob  $H_0$ , a distribuição assintótica da estatística de Kolmogorov-Smirnov é dada por:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left[\sqrt{n}D_n \leq x\right] = 1 - 2 \sum_{i=1}^n (-1)^{j-i} \exp \quad (3.25)$$

Esta distribuição assintótica é válida quando tem-se conhecimento completo sobre a distribuição de  $H_0$ , entretanto, na prática,  $H_0$  especifica uma família de distribuições de probabilidade. Neste caso, a distribuição assintótica da estatística de Kolmogorov-Smirnov não é conhecida e foi determinada via simulação. Como a função de distribuição empírica  $F_n$  é descontínua e a função de distribuição hipotética é contínua, consideram-se duas outras estatísticas:

$$D^+ = \sup |F(x) - F_n(x)| \quad (3.26)$$

$$D^- = \sup |F(x) - F_n(x-1)| \quad (3.27)$$

Essas estatísticas medem as distâncias (vertical) entre os gráficos das duas funções, teórica e empírica, nos pontos  $x(i-1)$  e  $x(i)$ . Com isso, pode-se utilizar como estatística de teste:

$$D = \max(D^+, D^-) \quad (3.28)$$

Se  $D_n$  é maior que o valor crítico, rejeita-se a hipótese de normalidade dos dados

com  $(1-\alpha)100\%$  de confiança. Caso contrário, não se rejeita a hipótese de normalidade.

$$P = \left( Z \leq \frac{\ln X_s - \mu y}{\sigma y} \right) = 1 - \alpha$$

Deve ser observado que o valor de  $Z$  é encontrado na tabela da distribuição normal padrão.

O Quadro 2 apresentou valores críticos para a estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov ( $D_n$ ).

Quadro 2 - Valores críticos para a estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov ( $D_n$ ).

N	Nível de Significância $\alpha$			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
Valores maiores	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Fonte: Software Action, (2013).

Basicamente, foram executadas 108 simulações de teste de aderência e normalidade, envolvendo os parâmetros DBO, DQO e SST, aplicando a metodologia de Kolmogorov-Smirnov. Tais investigações foram necessárias para consolidar o emprego da função lognormal no tratamento estatístico dado na pesquisa, para a estimativa da confiabilidade operacional das ETEs, bem como da previsão das concentrações de projeto e

operação.

### 3.3.1.2 Teste de Anderson-Darling

O problema de inferência estatística que vai-se considerar aqui é o de testar a hipótese de que uma dada amostra tenha sido retirada de uma dada população com função de distribuição acumulada contínua  $F(x)$ , isto é, seja  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , uma amostra aleatória e suponha que um provável candidato para a FDA dos dados seja  $F(x)$ .

Anderson e Darling (1952, 1954), propuseram a seguinte estatística para este teste:

$$A^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[F_n(x) - F(x)]^2}{F(x)(1 - F(x))} dF(x) \quad (3.29)$$

onde  $F_n(x)$  é a função de distribuição acumulada empírica definida como:

$F_n(x) = 0$ , se  $x < x_{(1)}$ ;  $k/n$ , se  $x_{(k)} \leq x < x_{(k+1)}$ ;  $1$ , se  $x > x_{(n)}$

e  $x(1) \leq x(2) \leq \dots \leq x(n)$ , são as estatísticas de ordem da amostra aleatória.

A estatística  $A^2$  pode ser colocada numa forma equivalente:

$$A^2 = -n - 1/n \sum_{i=1}^n [(2i-1)\ln(F(x_i)) + (2(n-i)+1)\ln(1-F(x_i))] \quad (3.30)$$

A transformação  $F(x(i))$  leva  $x(i)$  em  $U(i)$  de uma amostra de tamanho  $n$  com distribuição uniforme em  $(0,1)$ . Logo,

$$A^2 = -n - 1/nD \quad (3.31)$$

Em que  $D$  é dado por,

$$D = \sum_{i=1}^n [(2i-1)\ln(U_i) + (2(n-i)+1)\ln(1-U_i)] \quad (3.32)$$

Para calcular o valor da estatística A2 procede-se da seguinte forma:

Ordenam-se os valores da amostra:  $x(1) \leq x(2) \leq \dots \leq x(n)$ ;

Quando necessário, foram estimados os parâmetros da distribuição de interesse;

Assim, calculou-se  $U_i = F(x(i))$  e o valor da estatística de Anderson Darling.

$$A^2 = -n - 1/n \sum_{i=1}^n [(2i-1)\ln(U_i) + (2(n-i)+1)\ln(1-U_i)] \quad (3.33)$$

Para cada uma das distribuições calcula-se o valor da estatística modificada de acordo com as tabelas dadas para cada uma delas. Para uma distribuição com parâmetros conhecidos tem-se os valores da função de distribuição acumulada da estatística tabulados em Stephens (2009). O problema surge quando um ou dois dos parâmetros da distribuição precisam ser estimados. Para contornar esse problema Stephens (1974) utilizou métodos assintóticos para tabular os valores dessas probabilidades quando os parâmetros das distribuições são desconhecidos. Para a distribuição Normal com função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (-\infty < x < \infty) \quad (3.34)$$

O Quadro 3 a seguir fornece alguns valores de quantis e a estatística de Anderson Darling modificada, dada por:

$$A_m^2 = \left(1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2}\right) A^2 \quad (3.35)$$

**Caso 0:** O parâmetro  $\theta=(\mu,\sigma^2)$  é totalmente conhecido.

**Caso 1:**  $\mu$  é conhecido e  $\sigma^2$  é estimado por  $s^2$ .

**Caso 2:**  $\sigma^2$  é conhecido e  $\mu$  é estimado por  $\bar{x}$ .

**Caso 3:** Nenhum dos componentes de  $\theta=(\mu,\sigma^2)$  é conhecido e são estimados por  $(\bar{x}, s^2)$

Quadro 3 - Valores críticos para a estatística do teste de Anderson Darling (A)

Caso	Modificação	15,0	10,0	5,0	2,5	1,0
Caso 0	-	1,610	1,933	2,492	3,070	3,857
Caso 1	-	0,784	0,897	1,088	1,281	1,541
Caso 2	-	1,443	1,761	2,315	2,890	3,682
Caso 3	$A^2(1 + (0,75/n) + (2,25/n^2))$	0,560	0,632	0,751	0,870	1,029

Fonte: Software Action, 2013

Para o método proposto por Anderson-Darling, também foram empregadas 108 simulações de teste de aderência e normalidade, envolvendo os parâmetros DBO, DQO e SST. Essas análises foram executadas a fim de reforçar o emprego da função lognormal no tratamento estatístico dado neste estudo.

### 3.3.2 Caracterização e reconhecimento das tipologias das ETEs

A caracterização das ETEs foi fundamentada pelas análises dos projetos, bem como por visitas e inspeções de campo. Nesta tese, foram caracterizadas as seguintes ETEs:

#### 1)- ETE Itaperi I (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

A ETE Itaperi I fica situada na Rua João de França, s/n, Bairro do Itaperi, Fortaleza/Ce sob as coordenadas geográficas 9587618N e 555292E. Esta é uma ETE de pequeno porte, onde os esgotos são tratados biologicamente por via anaeróbia (Reator UASB), sendo constituída por caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, duas bombas submersíveis, sendo o tratamento realizado por reator tipo UASB, e desinfecção usando hipoclorito de cálcio, (Figura 5).

Figura 5 - (a) Calha Parshall (b) Reator tipo UASB da ETE Itaperi I, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

## 2)- ETE Dias Macedo (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

Situada na Rua Marechal Bittencourt, 541, Bairro Dias Macedo, Fortaleza, com as coordenadas 9580445N e 551272E. A ETE tem pequeno porte com gradeamento, poço de sucção, bombas submersíveis, reator tipo UASB e uma unidade de desinfecção como visto na Figura 6.

Figura 6 – (a) Ponto coleta na entrada da ETE e (b) Reator UASB da ETE Dias Macedo Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

## 3)- ETE Riacho Doce (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

A Estação de Tratamento de Esgoto Riacho Doce é uma unidade de pequeno porte constituída de grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, duas bombas submersíveis, dois reatores UASB e uma unidade de cloração. A ETE está situada na Rua 15, 32 no Bairro do Passaré, com coordenadas 9580430N e 551259E, Fortaleza/Ce (Figura 7).



Figura 7 – (a) Reatores UASB, (b) Ponto de cloração da ETE Riacho Doce Fortaleza/Ce.

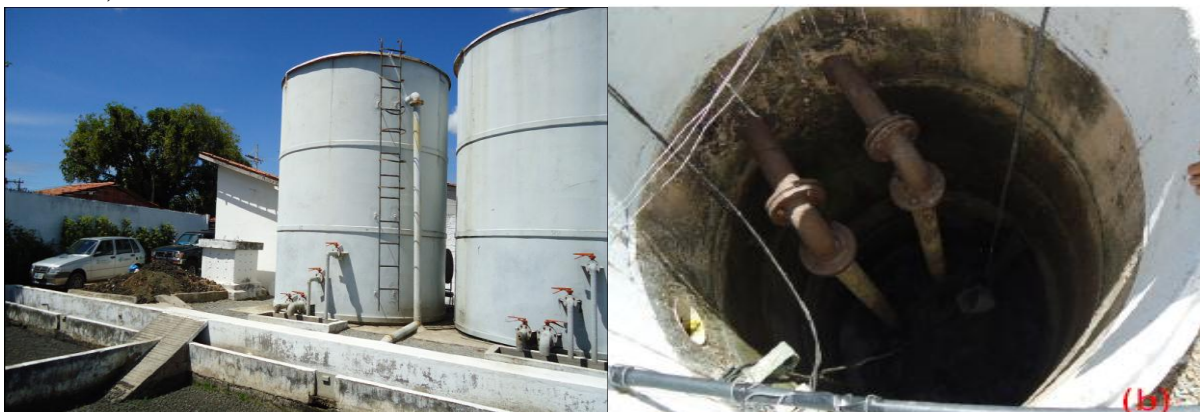


Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

#### 4)- ETE Novo Barroso (REATOR UASB)

A ETE Novo Barroso fica localizada na Rua Emiliano de Almeida Braga, nº 980 – Messejana, Fortaleza/Ce , com as coordenadas geográficas 9577764 e 552969E. É uma ETE de pequeno porte com gradeamento, bombas submersíveis, três reatores UASB e posterior cloração, além de leitos de secagem como visto na Figura 8.

Figura 8 – (a) Reatores UASB e leitos de secagem, (b) Entrada do afluente da ETE Novo Barroso, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, 2014

#### 5)- ETE Lago Azul (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

A Estação de Tratamento de Efluente Lago Azul está localizada na Rua 08, s/n, Barroso, Fortaleza/Ce, sob as coordenadas 9577918N e 554138E. ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, dois reatores UASB e cloração, como visto na Figura 9.

Figura 9 – (a) Calha parshall (esquerda) e (b) Reatores (direita) da ETE Lago Azul, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, 2014

#### 6)- ETE Zeza Tijolo (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

A ETE Zeza Tijolo é uma estação de pequeno porte, com grade, poço de sucção, bombas submersíveis, um reator UASB, com desinfecção a cloro granulado. A ETE está situada na Rua Eng. Nereu Barreira, s/n – Tranquedo Neves, com coordenadas 9579891N e 24554435E, de acordo com a Figura 10.

Figura 10 – Reator UASB da ETE Zeza Tijolo, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, 2014

#### 7)- ETE Novo Mudubim II (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

Situada na Travessa Melquides, 264 – Mondubim, com coordenadas geográficas 9579950N e 546164E, Fortaleza/Ce, constitui-se em uma estação de pequeno porte com gradeamento, poço de sucção, duas bombas submersíveis e um reator RALF (reator anaeróbio

de manta de lodo e fluxo ascendente) com posterior cloração de acordo com a Figura 11.

Figura 11 – (a) Reator e (b) Ponto de Coleta da ETE Novo Mondubim, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 8)- ETE Aracapé III (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

A ETE Aracapé III localiza-se na Rua Nelson Mandela, nº 695 – Aracapé nas coordenadas 9576218N e 546188E, Fortaleza/Ce. Esta é uma estação de pequeno porte com gradeamento, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, bombas submersíveis, dois reatores UASB em paralelo e desinfecção com cloro granulado, além de leitos de secagem, como visto na Figura 12.

Figura 12 – (a) Calha parshall, (b) Reatores UASB, (c) Leitos de secagem da ETE Aracapé, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 9)- ETE Pindorama (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

Situada na Rua Pindorama, s/n – Bairro Luciano Cavalcante, nas coordenadas geográficas 9583021N e 555045E, Fortaleza/Ce, sendo uma ETE de pequeno porte com

grade, poço de sucção, bombas submersíveis e um reator UASB com cloração antes do lançamento do efluente. A ETE também possui leito de secagem, segundo a Figura 13.

Figura 13 – (a) Entrada da ETE, (b) Reator UASB, (c) Leito de secagem da ETE Pindorama, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

#### 10)- ETE Lagoa da Zeza (UNIDADES UASB)

Estação de pequeno porte com dois reatores UASB em paralelo e desinfecção com cloro granulado. Está situada na Rua Eng. Nereu Barreira, s/n – Tranquedo Neves, com coordenadas geográficas 958282590N e 555045E, Fortaleza/Ce, segundo a Figura 14.

Figura 14 – (a) Entrada da ETE, (b) Reatores da ETE Lagoa da Zeza, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

#### 11)- ETE João Paulo II (LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVA)

É uma estação de pequeno porte, com gradeamento, calha parshall, poço de sucção, bombas submersíveis e uma lagoa facultativa. Está situada na Rua Erisa Martins, 921, conjunto João Paulo II – Jangurussu, sob as coordenadas geográficas 9577540N e

553307E, Fortaleza/Ce, segundo a Figura 15.

Figura 15 – (a) Calha parshall, (b e c) Lagoa facultativa da ETE João Paulo II, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

## 12)- ETE Lagamar (LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVA)

A ETE está situada na Rua do Mangue, 201 – Conjunto Tancredo Neves, é considerada uma estação de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, bombas submersíveis e uma lagoa facultativa, com coordenadas 9582165N e 554571E, Fortaleza/Ce, de acordo com a Figura 16.

Figura 16 – (a) Calha Parshall, (b) Lagoa facultativa da ETE Lagamar, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

## 13)- ETE Conjunto Esperança (LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVA)

A ETE Esperança é uma estação de pequeno porte com apenas uma Lagoa Facultativa e nenhum outro tipo de edificação. Está situada na Rua Paranaguá, s/n Conjunto Esperança. Coordenadas geográficas 9578387N e 544224E, Fortaleza/Ce, segundo a Figura 17.

Figura 17 – (a) Entrada da estação (b) Lagoa Facultativa da ETE Conj. Esperança, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

#### 14)- ETE Parque Fluminense (LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO ANAERÓBIA + FACULTATIVA + MATURAÇÃO)

Sistema de tratamento biológico de efluentes domésticos de médio porte, constituído de grade, caixa de areia, calha parshall, bombas de sucção em poço seco e lagoa anaeróbia seguida de facultativa e de maturação. Com as coordenadas 9578116N e 544263E, a ETE está situada na Rua Cagila Sousa, s/n – Parque Santa Rosa, Fortaleza/Ce. As coletas das amostras foram feitas apenas na entrada da estação e na saída da lagoa facultativa, segundo a Figura 18.

Figura 18 – (a) Entrada da ETE, (b) Lagoa de Estabilização, (c) Lagoa Anaeróbia da ETE Parque Fluminense, Fortaleza/Ce.



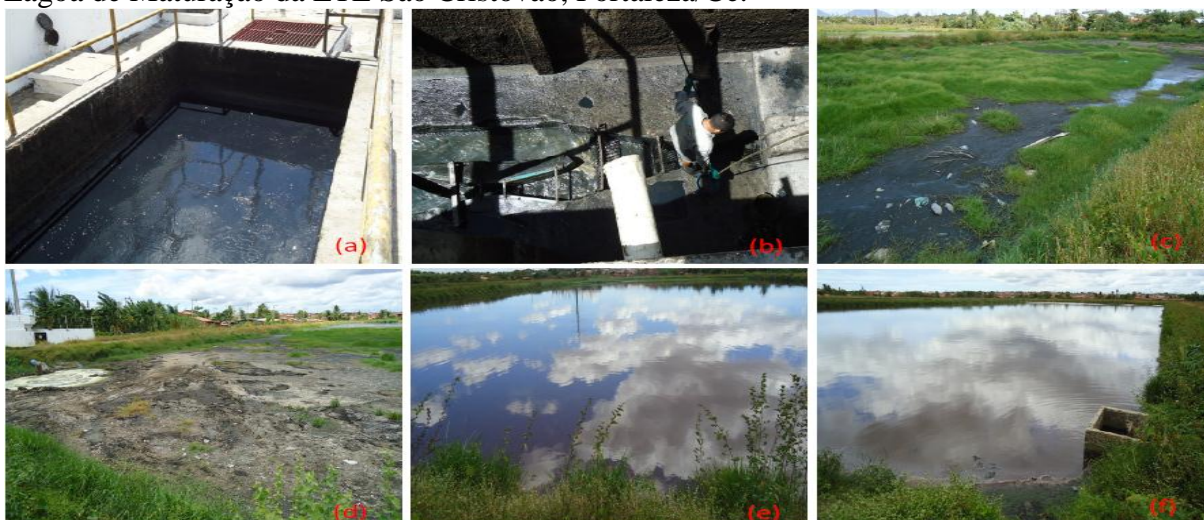
Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

#### 15)- ETE São Cristovão (LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO ANAERÓBIA + FACULTATIVA + 2 MATURAÇÃO + CLORAÇÃO)

Estação de médio porte com grade, caixa de areia, calha parshall, bombas

submersíveis, uma lagoa anaeróbia, seguida de uma facultativa e duas de maturação. Esta fica situada na Avenida Jornalista Tomaz Coelho, s/n, Conjunto São Cristóvão – Messejana, Fortaleza/Ce. Suas coordenadas geográficas são: 9576653N e 552397E, segundo a Figura 19.

Figura 19 – (a) Efluente, (b) Calha Parshall, (c, d) Lagoa Anaeróbia, (e) Lagoa Facultativa, (f) Lagoa de Maturação da ETE São Cristóvão, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

#### 16)- ETE Tupã Mirim (LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO AERÓBIA + FACULTATIVA + 2 MATURAÇÃO)

A ETE Tupã Mirim localiza-se na Rua 136, s/n – Parque Dois Irmãos, tendo como coordenadas geográficas 958304N e 550496E, Fortaleza/Ce. Esta é uma estação de médio porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço De sucção, bombas submersíveis, uma lagoa facultativa aerada, uma facultativa secundária e duas de maturação, segundo a Figura 20.

Figura 20 – (a) Calha parshall, (b) Lagoa Facultativa Aerada, (c) Lagoa de Maturação da ETE Tupã Mirim, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 17)- ETE Sumaré (4 DECANTO-DIGESTORES EM PARALELO + 4 FILTROS ANAERÓBIOS EM PARALELO + CLORAÇÃO)

A ETE Sumaré fica situada na Nilton Montenegro, 550 – Siqueira, Fortaleza/Ce. ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, bombas submersíveis e um tratamento com quatro decanto-digestores e quatro filtros anaeróbios seguidos de cloração, de acordo com a Figura 21.

Figura 21 - ETE Sumaré, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 18)- ETE Sítio Santana (REATOR UASB + CLORAÇÃO)

Estação de pequeno porte, com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, bombas submersíveis e um reator tipo UASB com a desinfecção sendo feita com hipoclorito de cálcio, além de leitos de secagem. A ETE fica localizada na Rua Icarassu, s/n – Novo Barroso, sob as coordenadas geográficas 9578112N e 554119E, Fortaleza/Ce, segundo a Figura 22.

Figura 22 – (a) Calha parshall, (b) Reator UASB da ETE Sítio Santana, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).



### 19)- ETE Curió I (4 REATORES UASB EM PARALELO + CLORAÇÃO)

A Estação de Tratamento de Esgoto Curió I encontra-se situada na Rua Lucimar de Oliveira, 450, no Bairro de Messejana, Fortaleza-CE. Suas coordenadas geográficas são: 9576303N e 539325E. A ETE Constituí-se de uma estação de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, duas bombas submersíveis e quatro reatores tipo UASB em paralelo e desinfecção com a utilização de hipoclorito de cálcio, conforme a Figura 23.

Figura 23 – (a) Ponto de entrada afluyente e (b) Reatores UASB da ETE Curió, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 20)- ETE Por do Sol (3 REATORES UASB EM PARALELO + CLORAÇÃO)

A ETE Por do Sol é uma estação constituída por gradeamento, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, duas bombas submersíveis e três reatores UASB em paralelo, e consequente desinfecção através do hipoclorito de cálcio. A ETE está situada na Rua Nelson Mandela 695, Coaçu, Fortaleza-CE. Em coordenadas geográficas 9574428N e 558643E, conforme a Figura 24.

Figura 24 – (a) Calha Parshall e (b) Reatores da ETE Por do Sol, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

**21)- ETE Pequeno Mondubim (DECANTO DIGESTOR + 2 FILTROS ANAERÓBIOS EM PARALELO + CLORAÇÃO)**

A ETE Pequeno Mondubim é uma estação de pequeno porte com gradeamento, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, duas bombas submersíveis, com dois módulos na seguinte situação: um decanto-digestor e dois filtros anaeróbios em paralelo com posterior desinfecção com hipoclorito de cálcio. A ETE está situada na Avenida Benardo Manoel, nº 12138, José Walter, Fortaleza-CE, com as coordenadas geográficas 9577055N e 548904E.

**22)- ETE Itaperussú (REATOR LODOS ATIVADOS AERAÇÃO PROLONGADA + DECANTADOR SECUNDÁRIO)**

A ETE é uma estação de pequeno porte constituída por um Reator de Lodos Ativados de Aeração Prolongada e Decantador Secundário. Além deste, possui gradeamento, caixa de areia, poço de sucção e duas bombas submersíveis. A ETE fica localizada na Rua 06, no Bairro Dois Irmãos, Fortaleza-CE, com as coordenadas geográficas 9580450N e 551271E.

**z)- Pajuçara (2 REATORES DAFA EM SÉRIE + FILTRO ANAERÓBIO SUBMERSO AERADO + DECANTADOR LAMELAR + CLORAÇÃO)**

A ETE Pajuçara é uma ETE de grande porte, que faz o tratamento dos esgotos sanitários através de dois módulos. Cada um é composto por um Digestor de Fluxo Ascendente (DAFA) seguido por um Filtro Anaeróbio Submerso Aerado (FSA) acoplado a um Decantador Lamelar, sendo a desinfecção realizada com cloro gasoso. Além das unidades descritas, existem na ete: o gradeamento, caixa de areia, poço de sucção com três bombas instaladas em poço seco e calha parshall. A ETE esta localizada na Rua Argemiro de Carvalho, s/n, Pajuçara, Maracanaú-Ce, sob as coordenadas geográficas 9572568N e 547010E. Nesta estação foram realizadas análises do afluente e saída de cada módulo, conforme a Figura 25.

Figura 25 – (a) Calha Parshall, (b) Módulo I, (c) Módulo II da ETE Pajuçara, Maracanaú /Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

#### 24)- ETE Rosa de Luxemburgo (REATOR UASB + FILTRO SUBMERSO AERADO + CLORAÇÃO)

A estação Rosa de Luxemburgo está localizada na Rua 14, s/n, Palpina, Messejana, Fortaleza/Ce. Suas coordenadas geográficas são 9773557N e 557341E. É uma ETE composta por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, duas bombas submersíveis, um Reator UASB e um Filtro Submerso Aerado. A desinfecção é feita com hipoclorito de cálcio, de acordo com a Figura 26.

Figura 26 – (a) Reator UASB e (a) Filtro Anaeróbico (b) Calha Parshall da ETE Rosa de Luxemburgo, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

#### 25)- ETE Nova Vida (DECANTO DIGESTOR + FILTRO ANAERÓBIO + CLORAÇÃO)

Identificada como estação de pequeno porte, é constituída por módulos de decanto-digestor seguido por filtros anaeróbios e posterior desinfecção. Devido a algumas estações encontrarem-se completamente enterradas, não foi possível fazer uma identificação exata do fluxograma da estação e do número de unidades. Esta ETE fica situada no Conjunto Nova Vida na Cidade de Maracanaú-Ce, segundo a Figura 27.

Figura 27 – Sistema Decanto-Digestor da ETE Nova Vida, Maracanaú-Ce.

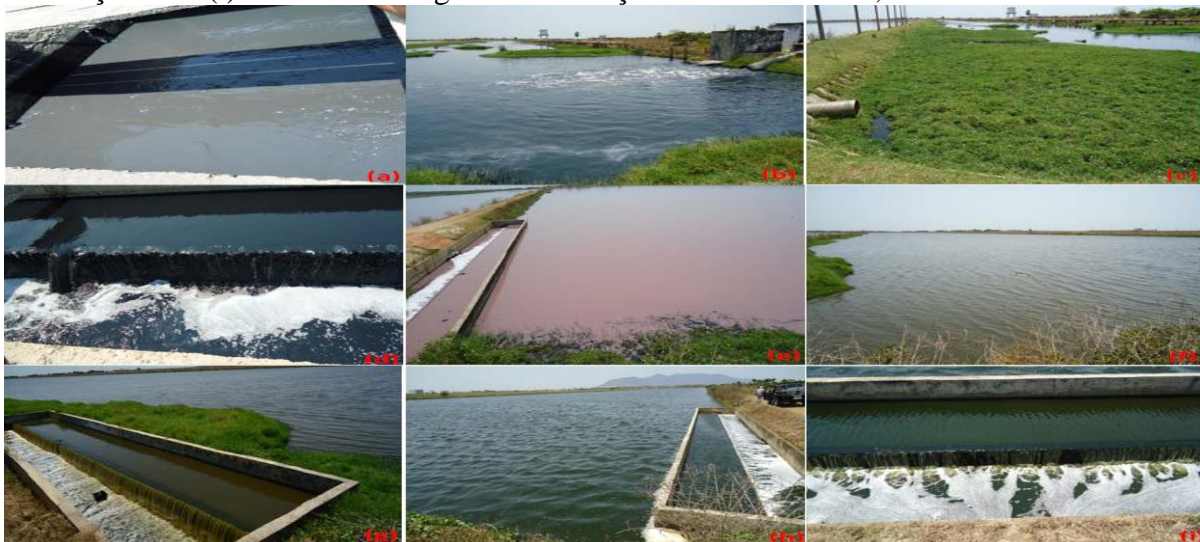


Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

## 26)- ETE Sistema Integrado do Distrito Industrial – S.I.D.I. (LAGOA DE ANAERÓBIA + LAGOA FACULTATIVA + 3 LAGOAS DE MATURAÇÃO)

A ETE é uma estação de grande porte, a qual recebe tanto efluentes domésticos de áreas vizinhas, quanto do distrito industrial de Maracanaú. A mesma é constituída por um sistema, em série, de lagoas de estabilização. A operação se apresenta da seguinte forma: lagoa anaeróbia, lagoa facultativa, e três lagoas de maturação. A estação fica localizada na Rua Taguarí, 15, Novo Maracanaú, Maracanaú-Ce, sob as coordenadas geográficas 9573242 e 542246E, segundo a Figura 28.

Figura 28 – (a) Afluente, (b e c) Lagoa anaeróbia, (d) Efluente anaeróbio, (e) Lagoa facultativa, (f) Lagoa de maturação I, (g) Efluente da Lagoa de maturação, (h) Lagoa de maturação III e (i) Efluente da Lagoa de maturação III da ETE SIDI, Maracanaú/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

## 27)- ETE José Walter (LAGOA FACULTATIVA + 2 LAGOAS DE MATURAÇÃO EM SÉRIE)

A ETE José Walter é um sistema formado por uma lagoa facultativa e uma de

maturação em série. A mesma está localizada na Avenida dos Expedicionários, s/n, José Walter, Fortaleza/Ce, sob as coordenadas geográficas 9574584N e 548345E, conforme a Figura 29.

Figura 29 – (a) Entrada da estação, (b) Lagoa facultativa, (c) Lagoa de maturação e (d) Saída da lagoa de maturação da ETE José Walter, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

## **28)- ETE Marechal Rondon (LAGOA ANAERÓBIA + 2 LAGOAS FACULTATIVAS EM PARALELO + 2 LAGOAS DE MATURAÇÃO EM PARALELO)**

Estação de grande porte com gradeamento, caixa de areia, calha parshall, uma lagoa anaeróbia, duas facultativas em paralelo, e duas lagoas de maturação também em paralelo. A última lagoa de maturação, tanto faz o lançamento do efluente no rio quanto faz uma recirculação para a lagoa anaeróbia. Está situada na Av. Dom Almeida Lustosa, s/n, Jurema, Fortaleza/Ce, de acordo com a Figura 30.

Figura 30 – (a) Calha parshall, (b) Lagoa anaeróbia, (c) Lagoa facultativa I, (d) Lagoa facultativa II, (e) Lagoa de maturação I e (f) Ponto de lançamento do efluente no corpo receptor.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 29)- ETE Palmeiras I (LAGOA ANAERÓBIA + LAGOA FACULTATIVA + 2 LAGOAS DE MATURAÇÃO EM SÉRIE)

É um sistema de tratamento de médio porte composto por grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção com duas bombas instaladas em poço seco. As lagoas de estabilização encontram-se na seguinte ordem: lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e duas lagoas de maturação, todas em série. A estação encontra-se localizada na Rua Serra Azul, 15, Conjunto Palmeiras II, Fortaleza/Ce, sob as coordenadas geográficas 9575467N e 551995E, de acordo com a Figura 31.

Figura 31 – (a) Calha parshall, (b) Lagoa anaeróbia, (c) Lagoa facultativa da ETE Palmeiras, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 30)- ETE Jangurussú (2 LAGOAS ANAERÓBIAS + LAGOA FACULTATIVA)

Estação de pequeno porte constituída, de grade, caixa de areia, poço de sucção e duas bombas submersíveis. O tratamento dos esgotos acontece nas duas lagoas anaeróbias e em uma lagoa facultativa subsequente, todas em série. A ETE está situada na Av. Castelo de Castro, 835, Jangurussú, Fortaleza-CE, sob as coordenadas geográficas 9577281N e 553010E, Fortaleza/Ce. A mesma é utilizada para tratar tanto esgotos domésticos quanto o chorume proveniente do antigo Aterro Sanitário do Jangurussú, segundo a Figura 32.

Figura 32 – (a) entrada do afluente e (b) lagoa anaeróbia da ETE Jangurussú, Fortaleza/Ce



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 31)- ETE Jereissati III (LAGOA FACULTATIVA)

A ETE Jereissati é de pequeno porte, sendo o tratamento secundário feito através de uma lagoa facultativa. Esta é precedida por uma grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção e duas bombas submersíveis. A estação se localiza na Av. B, 66, Pacatuba/Ce, de acordo com a Figura 33.

Figura 33 – (a) calha parshall e (b) lagoa facultativa da ETE Jereissate III, Pacatuba/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 32)- ETE Nova Metrópole (LAGOA FACULTATIVA)

Estac o de médio porte com grade, caixa de areia, poço de sucção e três bombas submersíveis e uma lagoa facultativa. A estac o está localizada na BR 020, s/n, no Conjunto Nova Metrópole na Cidade de Cauc ia/Ce , com as coordenadas geográficas 9583733N e 537639E, segundo a Figura 34.

Figura 34 – (a) calha parshall e (b) esquerda a lagoa facultativa da ETE Nova Metrópole, Caucaia/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 33)- ETE Araturi I (2 LAGOAS FACULTATIVAS)

É uma estação de pequeno porte com o tratamento secundário, dos esgotos sanitários, sendo feito por duas lagoas facultativas em paralelo. Precedendo-as, existe grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção e duas bombas submersíveis. Suas coordenadas geográficas são 9584130N e 539698E, o que às situa na Rua Contorno Oeste, 412, Conjunto Araturi, Caucaia/Ce, segundo a Figura 35.

Figura 35 – (a) Calha parshall, (b) Lagoa facultativa I, (c) Lagoa facultativa II da ETE Araturi I, Caucaia/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 34)- ETE Conjunto Ceará (3 LAGOAS FACULTATIVAS EM PARALELO)

Estação de tratamento de grande porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção e três bombas submersíveis. O tratamento secundário é realizado em três lagoas facultativas em paralelo. Situada na Av. E, 460, Conjunto Ceará, Fortaleza/Ce, possui coordenadas geográficas de 9584553N e 543545E, segundo a Figura 36.

Figura 36 – (a) Lagoa facultativa I, (b) Lagoa Facultativa II, (c) Lagoa facultativa III da ETE Conjunto Ceará, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).



### 35)- ETE Almirante Tamandaré I (2 DECANTO DIGESTORES + 2 FILTROS ANAERÓBIOS EM PARALELO)

Estação de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção e duas bombas submersíveis. O tratamento dos esgotos sanitários é feito em dois módulos compostos, cada um, por um decanto - digestor seguido por dois filtros anaeróbios em paralelo. A ETE está situada na |Rua Gergelim, s/n, no Bairro de Messejana, Fortaleza/Ce, sob as coordenadas geográficas 9575424N e 553153E, segundo a Figura 37.

Figura 37 – (a) calha parshall coberta por afluente e (b) módulos da estação da ETE Almirante Tamandaré, Fortaleza/Ce.



Fonte: Acervo pessoal do autor, (2014).

### 3.3 Obtenção das vazões

As mensurações das vazões foram executadas somente em algumas estações, devido às dificuldades de acesso e falta de segurança, através da utilização do sistema de medição integrado do tipo Calha Parshall com auxílio de escala graduada.

As medições ocorreram em um período de tempo com intervalos pré-determinados.

Para algumas medições foi observada a existência de obstruções no sistema que prejudicavam o escoamento livre do líquido (esgoto bruto) e a conformidade das medidas da calha, principalmente da garganta. Nos casos onde não foi possível realizar as medições, foram adotados os valores fornecidos pela CAGECE.

### 3.4 Logísticas metodológicas

As logísticas metodológicas tiveram como objetivo facilitar o entendimento dos procedimentos técnicos da pesquisa, a fim de mostrar os caminhos que estruturaram os resultados.

Com a obtenção dos dados das concentrações efluentes e dos coeficientes de variação, para as ETEs, inerentes às tecnologias de tratamento investigadas, foi então quantificada a porcentagem almejada de atendimento a todas as metas de lançamento consideradas. Para tal procedimento foi utilizada a equação (3.14), e, para os valores de  $1 - \alpha$  resultantes, foram quantificadas às probabilidades cumulativas da distribuição normal padronizada (distribuição Z).

Os resultados foram obtidos com o uso da função de Distribuição Normal Padrão. Tais valores são facilmente encontrados na literatura estatística (SNEDECOR, COCHRAN, 1989, SPIEGEL, 1994, LAPPONI, 2005).

As obtenções correspondentes à área subentendida pela curva normal central reduzida são equivalentes ao percentual de atendimento alcançado, ou seja, o que Niku *et al.* (1979) efetuaram, foi a determinação da área abaixo da curva, fornecida pela função densidade de probabilidade de uma distribuição lognormal.

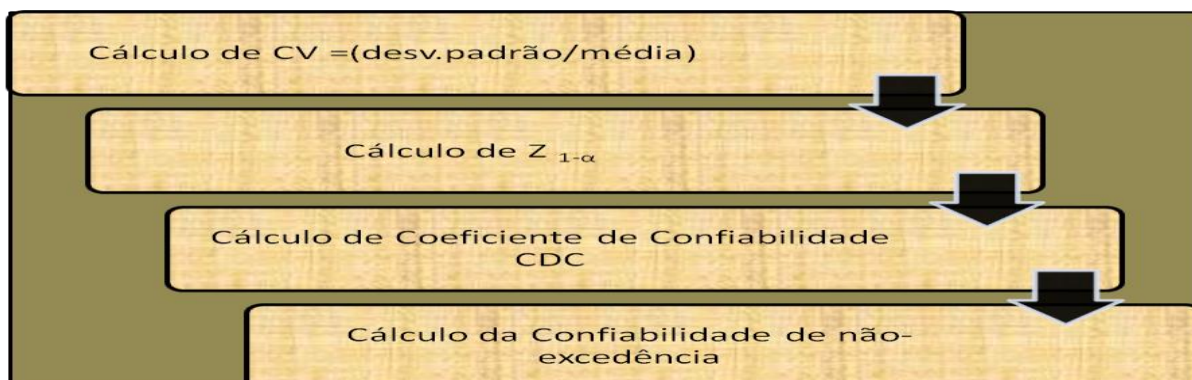
#### 3.4.1 Logística sem probabilidade pré-determinada

A quantificação do coeficiente de confiabilidade a ser obtido foi efetuada de acordo com o coeficiente de variação, em função da média e do desvio padrão dos dados obtidos, de onde usando a 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, para o cálculo da confiabilidade de não-excedência.

A partir destas confiabilidades, foram quantificados os coeficientes de confiabilidades inerentes a cada legislação considerada, bem como os respectivos cálculos das concentrações de projeto e operação reais.

Figura 38 - Fluxograma sem probabilidade pré-determinada



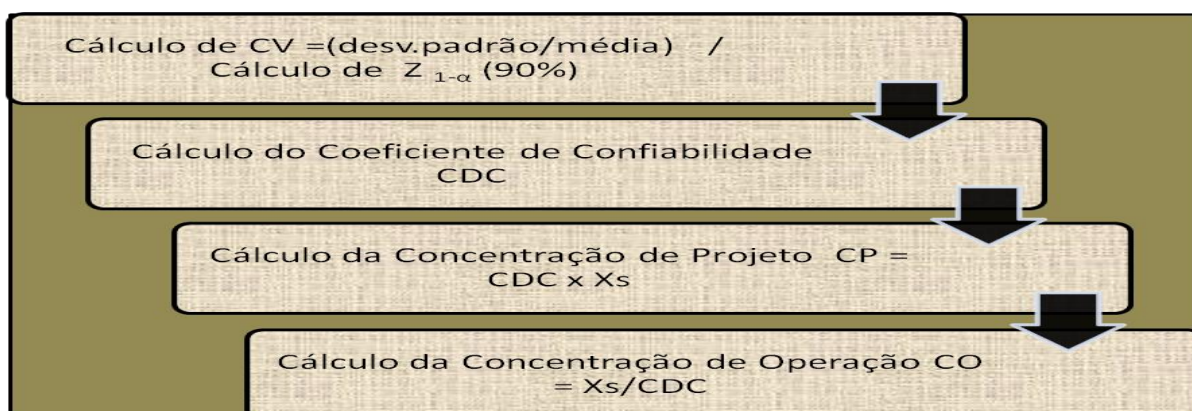
Fonte: Autor, (2014).

### 3.4.2 Logística com probabilidade pré-determinada

A quantificação das concentrações médias a serem adotadas em projeto ou alcançadas na operação, seguiu os passos descritos na logística apresentada abaixo, na qual a probabilidade foi pré-determinada.

Com base nos dados obtidos, foram calculados os coeficientes de confiabilidade e concentrações de projeto e operação para as ETEs que possuíam dados suficientes para análise, e um número de unidades que permitisse a avaliação da tecnologia de tratamento.

Figura 39 - Fluxograma com probabilidade pré-determinada



Fonte: Autor, (2014).

### 3.5 Técnica qualitativa inerente à valoração dos níveis de eficiência para tratamento de águas residuárias (em níveis mínimos de redução das cargas poluidoras afluentes)

Em alinhamento à eficiência no tratamento das águas residuárias, a Agência Nacional de Águas (ANA) tabulou padrões que estabelecem os parâmetros e as metas de

redução da carga orgânica poluidora, para a inclusão em padrões de eficiência de tratamento.

Tal tabulação pode ser verificada na Tabela 4, que foi fundamentada pela Resolução 644 de 2013 que aprovou o Programa de Despluição de Bacias Hidrográficas (PRODES - 2013).

Tabela 4 - Valores de referência – ANA.

Implantação de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários – ETE									
Indicador	Padrões de Eficiência para tratamento de Esgotos (em níveis mínimos de abatimento das cargas poluidoras afluentes)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
DBO	30%	60%	75%	85%	85%	90%	90%	90%	90%
SST	40%	60%	75%/60% (1)	85%/60% (1)	85%/60% (1)	90%	90%	90%	90%
CF					99,999%		99,999%		99,999%
População Equivalente (hab.) (2) Valores per capita de referência (R\$/hab.)									
até 10000	40	70	110	150	160	190	200	230	230
de 10001 a 20000	40	50	90	140	140	180	180	200	220
de 20001 a 50000	30	40	80	110	120	150	160	190	200
de 50001 a 100000	10	40	80	110	110	140	150	180	190
de 100001 a 200000	10	40	80	110	110	140	150	180	190
acima de 200000	10	40	80	110	110	140	150	180	190

OBS.: (1) Somente para os tratamentos que contemplem lagoas produtoras de algas.

Carga média diária de DBO de Projeto da ETE dividido por uma carga média per capita de 54g DBO/dia

(3) DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio / SST = Sólidos Suspensos Totais

Fonte: Agência Nacional de Águas (2013).

Assim ficam condicionados os empreendimentos ao PRODES 2013, desde que:

- . A ETE em fase de construção, esteja executada com até 70% de seu orçamento;
- . Empreendimentos ainda não iniciados para ampliação, complementação ou melhorias operacionais em ETEs existentes, desde que representem um aumento de carga orgânica tratada ou de eficiência operacional do tratamento, aferida em função da Tabela 4.

Os níveis paramétricos quantitativos podem ser evidenciados em nove padrões de eficiência (A até I) que permitem identificar os patamares referenciais de abatimento dos

indicadores DBO, SST, CF, PT (fósforo) e NTK (nitrogênio), onde os níveis padronizados de eficiência e os quantitativos “per capita” são integrados ao montante populacional atendido e correlato. Uma sugestão de entendimento padronizado de desempenho, do presente programa governamental, foi aplicada nesta pesquisa, inerente às informações citadas a seguir:

**Padrão A:** concepção modal de tratamento primário (ex: tanques sépticos, decantação primária convencional);

**Padrão B:** concepção modal tratamento secundário de baixa eficiência na remoção de DBO (ex: reatores UASB);

**Padrão C:** concepção modal tratamento secundário de eficiência entre baixa e intermediária na remoção de DBO (ex: lagoas facultativas, lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas, reatores UASB seguidos de alguns tipos de pós-tratamento, tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios);

**Padrão D:** concepção modal tratamento secundário de eficiência intermediária na remoção de DBO (ex: escoamento superficial, reatores UASB seguidos de alguns tipos de pós-tratamento);

**Padrão E:** concepção modal tratamento secundário de eficiência intermediária na remoção de DBO, mas incorporando remoção de organismos patogênicos (ex: lagoas de estabilização seguidas de lagoas de maturação, tanque séptico + infiltração, infiltração lenta, infiltração rápida);

**Padrão F:** concepção modal tratamento secundário de alta eficiência na remoção de DBO (ex: reatores UASB seguidos de alguns tipos de pós-tratamento, lodos ativados convencional e variantes, filtros biológicos percoladores de baixa e alta taxa, biofiltros aerados submersos);

**Padrão G:** concepção modal tratamento secundário de alta eficiência na remoção de DBO, e incorporando remoção de organismos patogênicos (ex: infiltração rápida, tanque séptico + infiltração, lodos ativados convencional + filtração terciária, processos do Padrão F seguidos por desinfecção);

**Padrão H:** concepção modal tratamento secundário de alta eficiência na remoção de DBO, seguido por tratamento terciário para remoção de nutrientes (ex: infiltração lenta, lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P, UASB + flotação por ar dissolvido);

**Padrão I:** concepção modal similar ao Padrão H, mas incorporando remoção de organismos patogênicos (ex: processos do Padrão H seguidos por desinfecção).

A obediência aos níveis padronizados de redução de cargas poluidoras integradas e planejadas entre o presente programa governamental e os concessionários deve ser avaliada

no âmbito de procedimento normativo e que incluía ação de certificação, cotidiano às normas do Manual de Operações, constituído de três etapas: metodologia de avaliação própria, metodologia de consulta e auditoria, destravamento e notificações.

### i) Metodologia de avaliação própria

A metodologia de avaliação própria pode ser constituída pelos procedimentos: o acompanhamento aos níveis paramétricos determinados pela Agência Nacional de Águas, a quantificação cotidiana do montante volumétrico do tratamento de efluentes e quantificação do nível de poluição afluente. O procedimento quantitativo mínimo de coleta de amostras necessárias para comprovação do desempenho na redução da carga poluidora para cada classe foi tabulado a seguir (Tabela 5). Os níveis paramétricos de análises laboratoriais consideradas em função das exigências das classes constavam ser: DBO, SST e CF.

Tabela 5 - Amostragem para análise laboratorial

Classe	Frequência Mínima de Coleta	Tipo de Amostragem Afluente	Tipo de Amostragem Afluente
<b>A</b>	Semanal	Composta	Composta
<b>B</b>	Semanal	Composta	Composta
<b>C</b>	Quinzenal para lagoas	Composta	Simples ou Composta
	Semanal para o restante	Composta	Composta
<b>D</b>	Quinzenal para lagoas	Composta	Simples ou Composta
	Semanal para o restante	Composta	Composta
<b>E</b>	Quinzenal para lagoas	Composta	Simples ou Composta
	Semanal para o restante	Composta	Composta
<b>F</b>	2x semana	Composta	Composta
<b>G</b>	2x semana	Composta	Composta
<b>H</b>	2x semana	Composta	Composta
<b>I</b>	2x semana	Composta	Composta

Fonte: Agência Nacional de Águas (2013).

## **ii) Metodologia de consulta e investigação**

Os processos metodológicos investigativos englobam, em termos de eficiência, o montante volumétrico de efluentes tratados e o quantitativo orgânico afluente, cuja exposição ocorreu na sistemática de revisão própria, em função tópicos gerenciais empreendedores, que visam testar a sustentabilidade de seu comportamento em seção integral operativa, como:

- . Presença de mão de obra interna ou externa qualificada e tecnicamente treinada no âmbito das ações operacionais e de manutenção;
- . Presença de metodologia preventiva e corretiva que permite sustentar a continuidade funcional da Estação de Tratamento de Esgoto;
- . Presença de metodologia investigativa em termos de análises, acompanhamento operacional e ações de estruturação de banco de dados que permitiam registrar dados para o correto procedimento operacional sistemático;
- . Destinações finais de lodos e derivados processados, emitidos das concepções de tratamento, estáveis em alinhamento à saúde pública e ao atendimento ambiental; Alocações e ofertas de montantes financeiros com o objetivo de obter acessórios substitutos como também mantimentos necessários à operação.

## **iii) Destravamento e notificações**

A obtenção das informações da investigação própria do comportamento observado é de responsabilidade da Concessionária operadora do tratamento de esgotos, inclusive na obtenção dos dados paramétricos, e, tais informações devem ser remetidas, em escala de três meses para a Agência Nacional Águas. Estas informações, expressas na Figura 40, serão assimiladas e processadas pela ANA, que interpretará no enquadramento de três situações: AI, AP e NA.

### **a)- AI – Atendimento integral (100%)**

As informações obtidas na investigação própria seguem duas situações, se alcançam ou se superam os limites preconizados na Tabela 3, e os resultados coletados na época da investigação reafirmam dados e direcionam a um processo equilibrado, onde são citados:

- . A escala de três meses das informações do desempenho na eficiência de remoção

para alcance ou superação dos níveis planejados determinados integralmente em relação aos níveis paramétricos investigados;

- . As informações obtidas da eficiência de remoção alcançam/superam o desempenho planejado em superação a 80% das quantificações, integralmente em relação aos níveis paramétricos investigados;

- . A quantidade volumétrica tratada, bem como a carga poluidora afluyente supera o patamar de 80% do planejado para o período;

- . As normas gerenciais e as informações de investigações extras são 100% atendidas.

#### **b)- AP – Atendimento parcial**

Informações obtidas em investigação própria e/ou os resultados coletados na época da verificação atingem parcialmente ao planejado e determinado e/ou as normas de sustentabilidade do processo. Tal conceituação indaga:

- . Escala de três meses das informações obtidas relativas à eficiência de remoção de no mínimo 50% dos níveis paramétricos ao planejado e determinado;

- . As informações obtidas das eficiências de remoção individuais alcançam/superam o desempenho previsto em mais de 66% das medições, em termos integrais aos níveis paramétricos investigados;

- . A quantidade volumétrica tratada e a carga poluidora afluyente superam o limite de 66% do planejado e determinado para a época;

- . Pelo menos 80% das normas gerenciais e dos resultados das análises extras são atendidos;

- . As normas gerenciais, que tratam da disposição do lodo e derivados gerados na concepção de tratamento são atendidas.

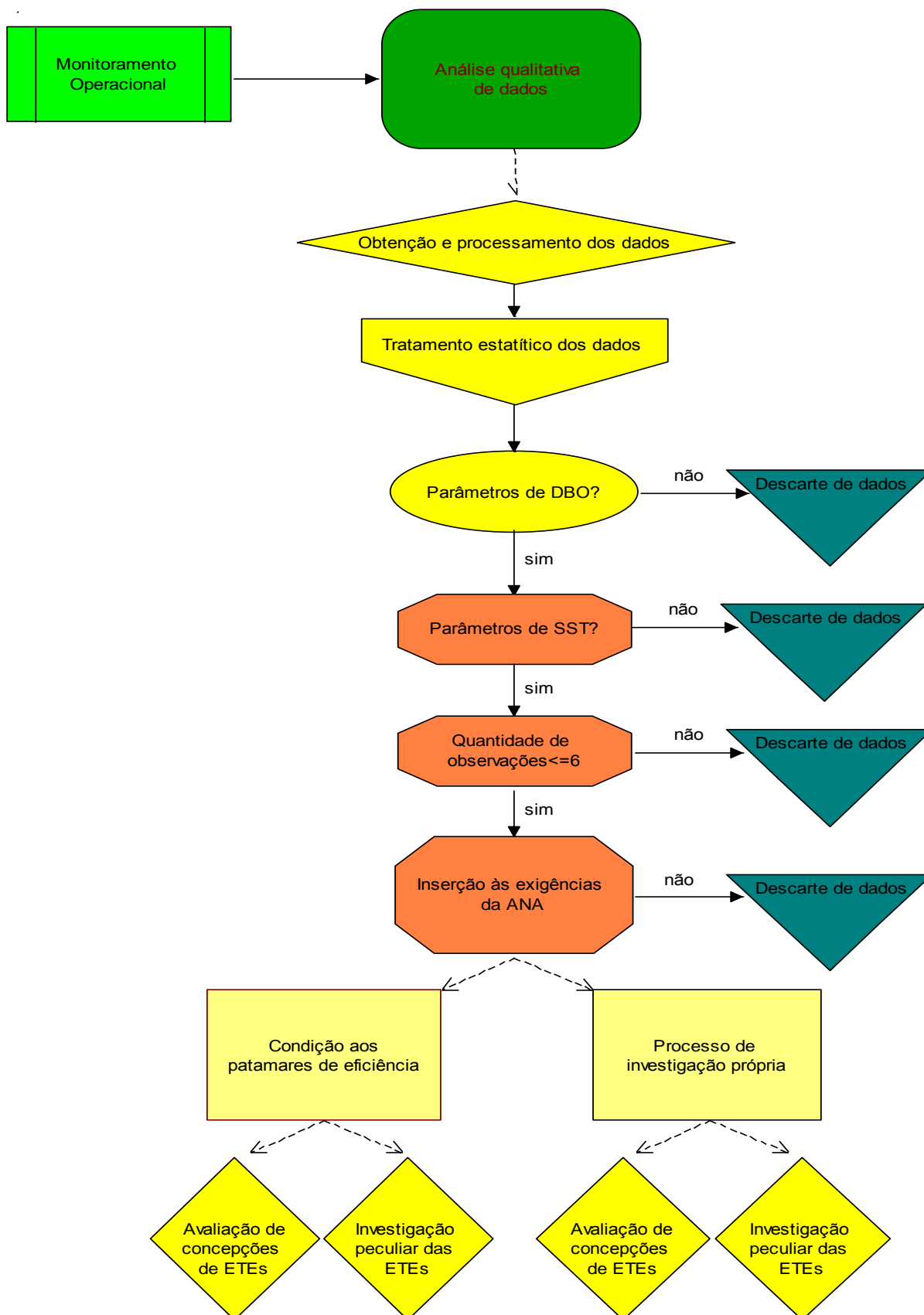
#### **c)- NA – Não atendimento**

Informações obtidas na investigação própria e/ou os resultados coletados na época da investigação não atendem ao planejado e determinado e/ou as normas de sustentabilidade do processo. Tal conceito pode ser citado:

- . Qualquer informação obtida e/ou normas gerenciais não se alinham nos termos citados anteriormente.



Figura 40 - Fluxograma da Logística de Avaliação dos Dados.



Fonte: Autor, (2014).

Segundo o Manual do PRODES, bem como o Edital 644/2013, as Estações de Tratamento de Esgotos que alcançam ou superam as normas preconizadas e estabelecidas estão enquadradas na continuidade do recebimento dos créditos referentes às parcelas trimestrais, pela valoração do esgoto tratado até a posterior investigação.

As unidades de tratamento condicionadas no atendimento parcial às normas planejadas e determinadas sofrem advertência, e em situação de repetição dupla e consecutivas ou intercaladas, o concessionário do serviço de tratamento de esgotos sofrerá suspensão, com respectiva perda referente ao crédito da parcela em questão.

Já, as unidades que obtiverem pelo menos três atos suspensivos seguidos, ou sete intercalados, em atuação periódica contratual, sofrerão suspensão imediata de contrato.

Na Figura 40 foi explicitada a logística dos processos envolvidos na avaliação individual das unidades de tratamento quanto ao atendimento dos níveis padronizados de eficiência estipulados pela Agência Nacional de Águas.

Numa situação real de monitoramento, quando os resultados válidos obtidos foram inferiores a seis, quantidade mínima requisitada para a execução da avaliação trimestral das concepções de tratamento, logo, os dados poderão ser descartados. Tal frequência mínima de coleta é necessária para permitir comprovar o desempenho no abatimento da carga poluidora para cada classe, como mostrado na Tabela 5.

O processo avaliativo na investigação do comportamento das unidades de tratamento foi estruturado na pesquisa em função do entendimento fundamentado nos padrões normativos determinados pela Agência Nacional de Águas, em sua publicação normativa operacional. Tal constatação permitiu na estruturação dos percentuais alinhados à integralidade dos diversos níveis paramétricos (A até I), começando pela investigação avaliativa dos resultados obtidos e emitidos pelas ETEs.

A fim de promover esta logística ou sistemática processual foram estruturados fluxogramas operacionais, sendo construída uma abordagem analítica integrada em função de todos os parâmetros obtidos. Tal abordagem investigou em termos sequenciais, a porcentagem de remoção da integralidade dos níveis paramétricos analisados em todo o processo de medições, abordando o nivelamento mínimo de abatimento das cargas poluidoras afluentes determinadas, segundo a Tabela 6.

Tabela 6 - Eficiência de remoção das cargas poluidoras afluentes necessárias para o atendimento aos diversos padrões da ANA.

Eficiência de Remoção das Cargas Poluidoras Afluentes									PADRAO
DBO		SST		CF		PT		NTK	ATENDIDO
>=90%	e	>=90%	e	>=99,999%	e	>=85%	e/ou	>=80%	I
>=90%	e	>=90%			e	>=85%	e/ou	>=80%	H
>=90%	e	>=90%	e	>=99,999%					G
>=90%	e	>=90%							F
>=85%	e	>=85%/60%*							E
>=85%	e	>=85%/60%*	e	>=99,999%					D
>=75%	e	>=75%/60%*							C
>=60%	e	>=60%							B
>=30%	e	>=40%							A

\* 60% SOMENTE PARA OS TRATAMENTOS QUE CONTEMPLAM LAGOAS PRODUTORAS DE ALGAS.

Fonte: Agência Nacional de Águas (2013).

Os requisitos necessários com o objetivo de atender ao nível padronizado H são:

- . Percentual de remoção de DBO  $\geq 90\%$ , e, ;
- . Percentual de remoção de SST  $\geq 90\%$ , e, ;
- . Percentual de remoção de PT  $\geq 85\%$  ou % remoção de NTK  $\geq 80\%$ .

Entretanto, se tais condições não fossem obedecidas, investigava-se o nível padronizado já medido anteriormente e mais recente, e em termos sucessivos, até alcançar a uma escala menos restrita, como exemplo o nível padronizado A.

Nas situações em que não for atendido nenhum padrão, tal resultado será considerado abaixo do padrão, ou seja, será excluído do processamento dos dados.

Em alinhamento aos níveis relativos aos valores de DBO e SST, não constavam, em termos simultâneos, no mesmo material coletado, o programa que detinha da análise do dado como “não avaliado”.

Com relação às concepções de tratamento, envolvendo lagoas produtoras de algas (interpretadas como lagoas facultativas, de maturação e polimento), outro programa era utilizado, com os percentuais de remoção de SST corretamente calibrados, onde o patamar exigido para promover a remoção SST foi menor nessas situações (60%).

Porém, uma linha de visão deve ser alçada, já que a obediência aos padrões exigentes possibilitava no atendimento aos demais, com restrição menor. Com isto, foi entendido que, a obediência integral aos níveis padronizados tenderia em alinhamento ao

padrão A.

De maneira semelhante, a obediência integral aos outros níveis padronizados, com exceção do nível A, tenderia em atendimento ao nível padronizado B. Tal raciocínio pode ser continuado até o nível D, onde pode ser visto que o enquadramento integral aos demais níveis padronizados, com exceção do A, B e C, tenderia no atendimento ao padrão D.

Com relação ao nível padronizado E, em que é determinada a exigência de remoção de 99,999% de coliformes termotolerantes, além de 85% de remoção de DBO e SST, logo, dentre os diversos níveis padronizados, poderia ocorrer alinhamento somente aos padrões G e I, que implicaria em atendimento a esta exigência.

Em função destas constatações, foram admitidas que a exigência aos níveis padronizados G, H e I tenderia em obediência ao nível padronizado F, bem como o atendimento ao nível padronizado I, que sustentaria à obediência aos níveis padronizados G e H. O Quadro 4 expõe em síntese as informações fornecidas.

Quadro 4 - Atendimento Cumulativo aos padrões ANA.

Enquadramento ao padrão I	=	Enquadramento aos padrões (A+B+C+D+E+F+G+H+I)
Enquadramento ao padrão H	=	Enquadramento aos padrões (A+B+C+D +F +H)
Enquadramento ao padrão G	=	Enquadramento aos padrões (A+B+C+D+E+F+G)
Enquadramento ao padrão F	=	Enquadramento aos padrões (A+B+C+D +F)
Enquadramento ao padrão E	=	Enquadramento aos padrões (A+B+C+D+E)
Enquadramento ao padrão D	=	Enquadramento aos padrões (A+B+C+D)
Enquadramento ao padrão C	=	Enquadramento aos padrões (A+B+C)
Enquadramento ao padrão B	=	Enquadramento aos padrões (A+B)
Enquadramento ao padrão A	=	Enquadramento ao padrão (A)

Fonte: Agência Nacional de Águas (2013).

No caso de uma avaliação de enquadramento integral aos diversos padrões da ANA, foi considerado o percentual de enquadramento de 80% ao nível mais alto, e 20% ao nível imediatamente inferior. Se só fosse atendido o menor nível, seria então considerado somente 80% de enquadramento. Na situação de atendimento parcial, foi considerado apenas

66% de enquadramento para o nível mais alto e 34% para o nível imediatamente inferior. E, se só fosse atendido o nível menor, seria atribuído somente 66% de enquadramento. Estes percentuais foram necessários para promover o mapeamento e a valoração da produtividade do esgoto tratado.

De acordo com Resolução 644 de 2013, o valor de contrato de pagamento para o esgoto tratado ( $V_{\text{contrato}}$ ) corresponderá a um percentual da avaliação monetária do empreendimento no âmbito do PRODES ( $V_{\text{PRODES}}$ ), sendo calculado em função da população equivalente de projeto. Podem ser consideradas três hipóteses:

a) Se a população equivalente de projeto for inferior a 20 mil habitantes, o valor do contrato será 100% do valor do empreendimento;

b) Se a população de projeto estiver entre 20mil e 200 mil habitantes, o valor de contrato será quantificado entre 30% e 70% do valor do empreendimento e poderá ser calculado, pela equação 3.39:

$$V_{\text{CONTRATO}} = (1 - P_{eq} - 20000 / 180000 \times 0.7) \times V_{\text{PRODES}} \quad (3.39)$$

c) Se a população equivalente de projeto for superior a 200 mil habitantes, então o valor de contrato será 30% do valor do empreendimento.

Para a execução das simulações e organização dos dados, foram acionados e aplicados softwares, dentre eles: O Programa Estatístico Action bem como algumas estruturas funcionais do aplicativo Microsoft Excel.

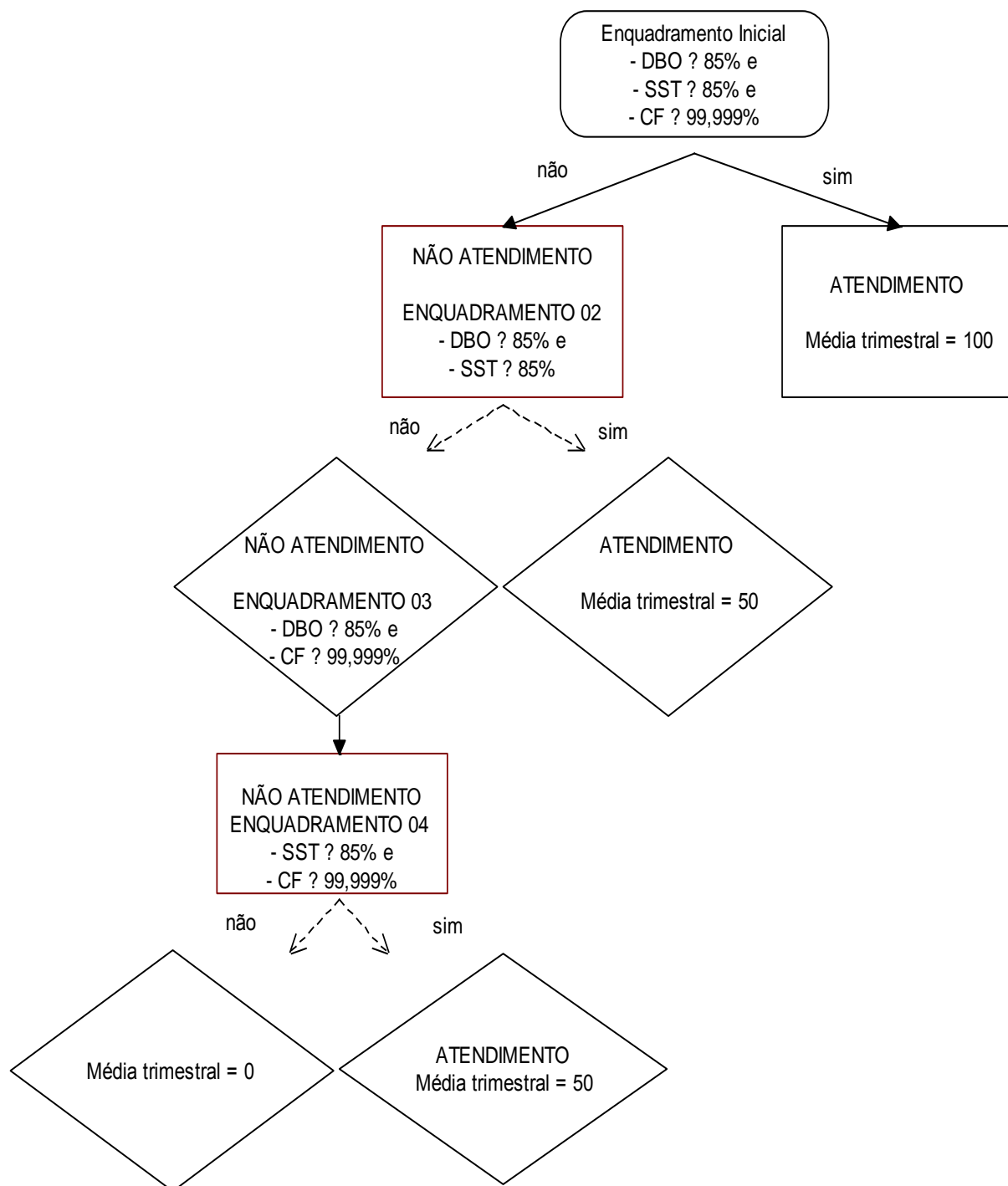
A fim de atender os requisitos exigidos para o enquadramento das informações, foram adotados dois critérios investigativos:

- Investigação da média trimestral dos dados obtidos de eficiência operacional de remoção relativo ao atendimento ou superação das exigências determinadas, em termos integrais aos níveis paramétricos;

- Investigação analítica dos dados obtidos por unidade de tratamento, em função da eficiência de remoção integral paramétrica avaliada.

No caso do processo avaliativo, inerente à obediência relativa ao processo de investigação própria, as quantificações executadas foram aportadas em três estágios, como mostrado na Figura 41, englobando o processo metodológico e envolvendo a sistemática que determina o processo de obediência ao nível padronizado E.

Figura 41 - Fluxograma de cálculo da média trimestral, em função do padrão E.



Fonte: Autor (2014).

Com o objetivo de executar avaliações de atendimento aos níveis padronizados, que englobam somente dois níveis de parâmetros, foram utilizadas algumas funções no aplicativo Excel.

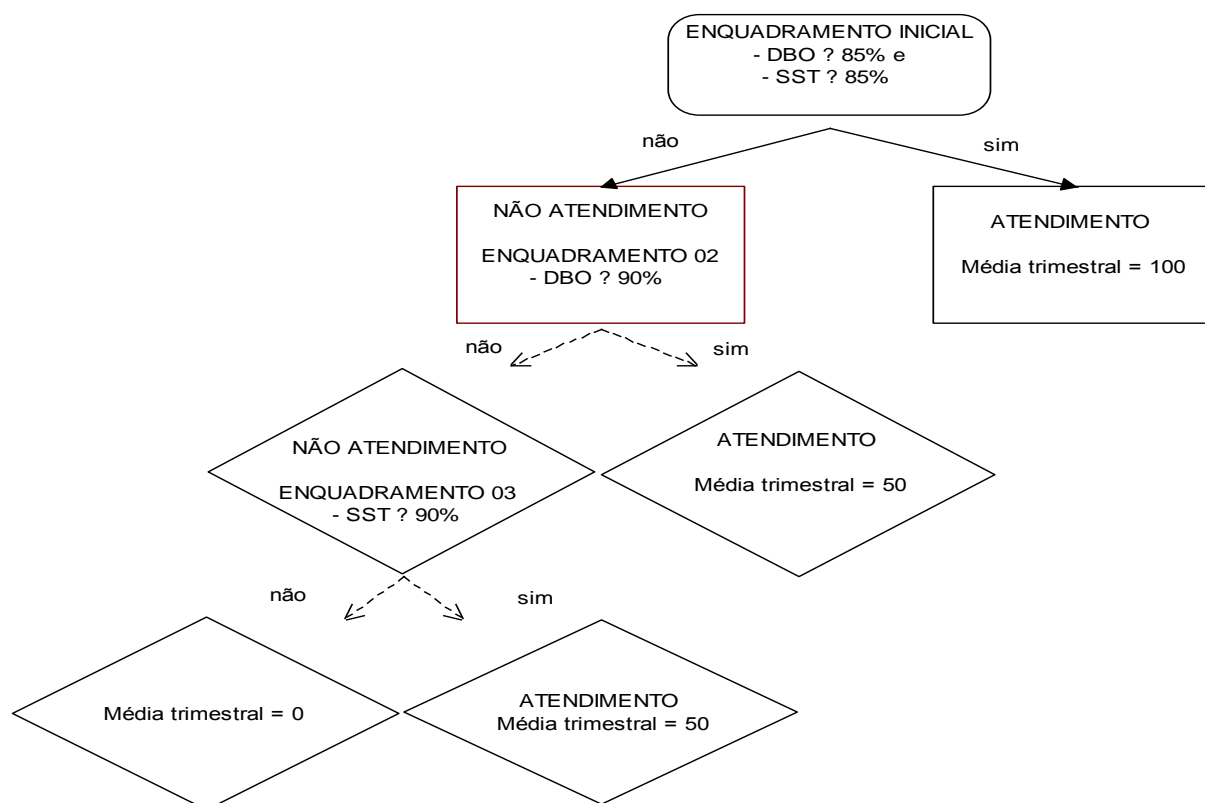
Em avaliações relativas aos outros casos (níveis padronizados E, G, H e I), que

englobam três ou mais parâmetros, foram construídos também fluxogramas referentes às Figuras 42, 43, 44, 45 e 46, que consideravam todas as possibilidades de atendimento parcial. Nestes casos, considerou-se que, para se atingir o percentual de 50%, seria necessário o atendimento.

Este mesmo procedimento foi utilizado para cálculo dos atendimentos aos padrões para todas as ETEs, de todas as modalidades investigadas.

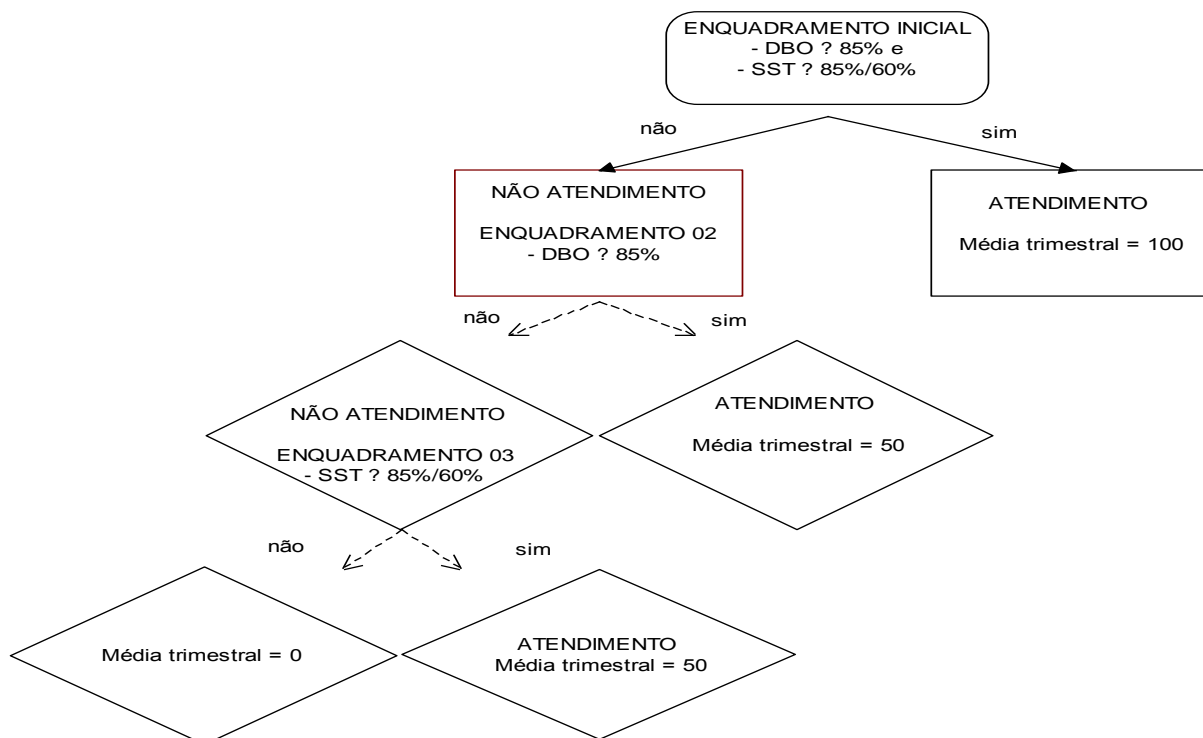
A seguir são expostos os fluxogramas para a avaliação relativa ao enquadramento dos padrões da ANA, dentre eles: padrão E, padrão F, padrão D, padrão C, padrão B e padrão A. Vale salientar aqui que, foram citados somente estes padrões, pelo motivo de as estações de tratamento estudadas ficarem limitadas aos mesmos, assim, foi necessário estruturar tais processos investigativos.

Figura 42 - Fluxograma de Cálculo da média trimestral em função do padrão F.



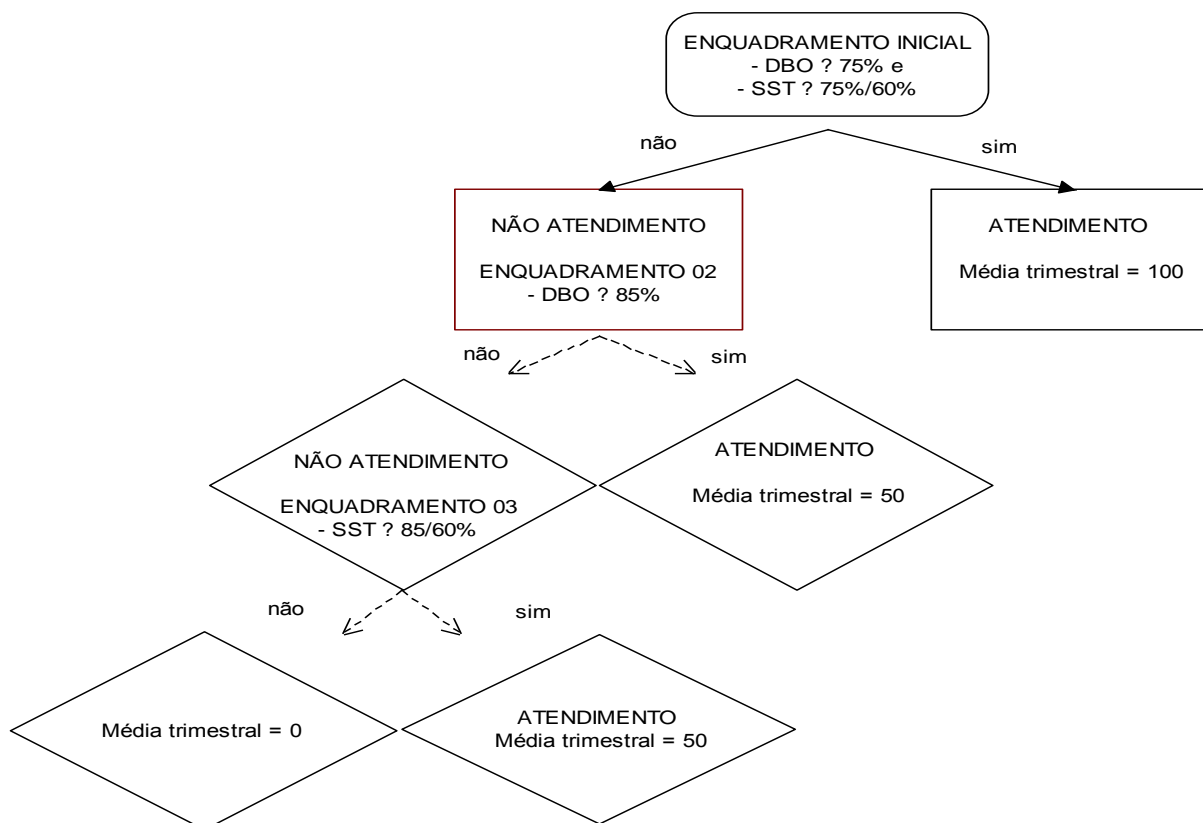
Fonte: Autor (2014).

Figura 43 - Fluxograma de Cálculo da média trimestral em função do padrão D.



Fonte: Autor, (2014).

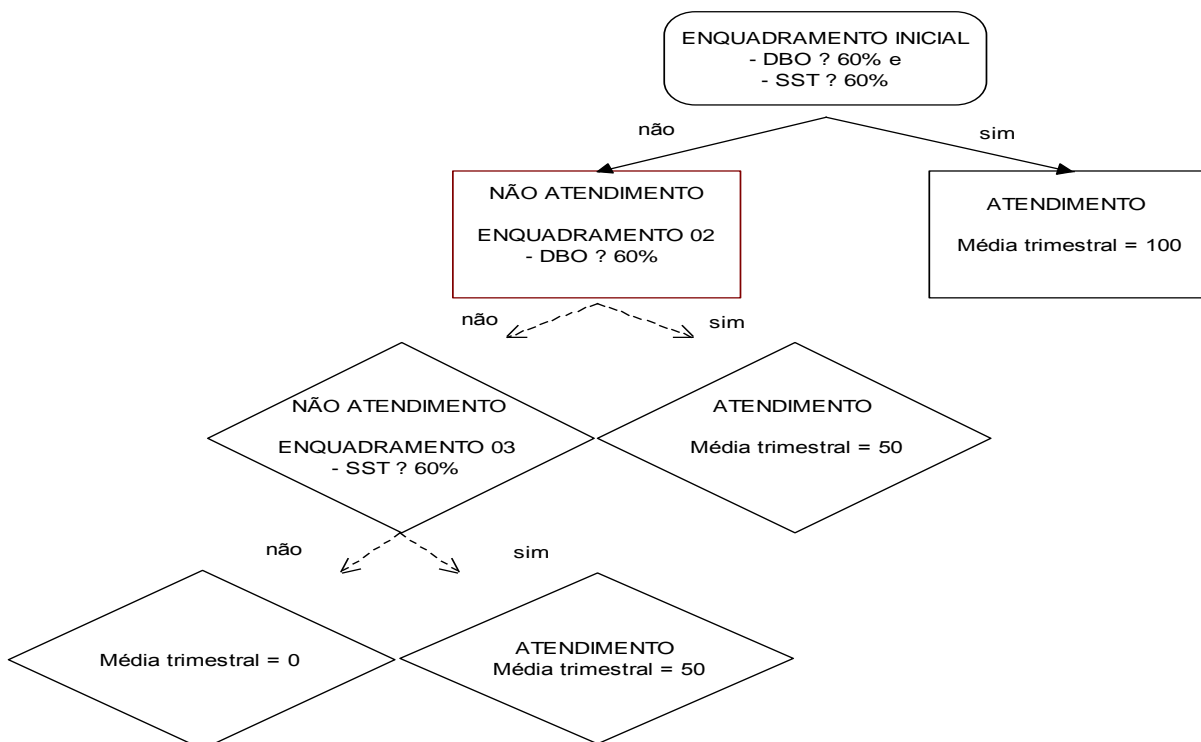
Figura 44 - Fluxograma de Cálculo da média trimestral em função do padrão C.



Fonte: Autor, (2014).

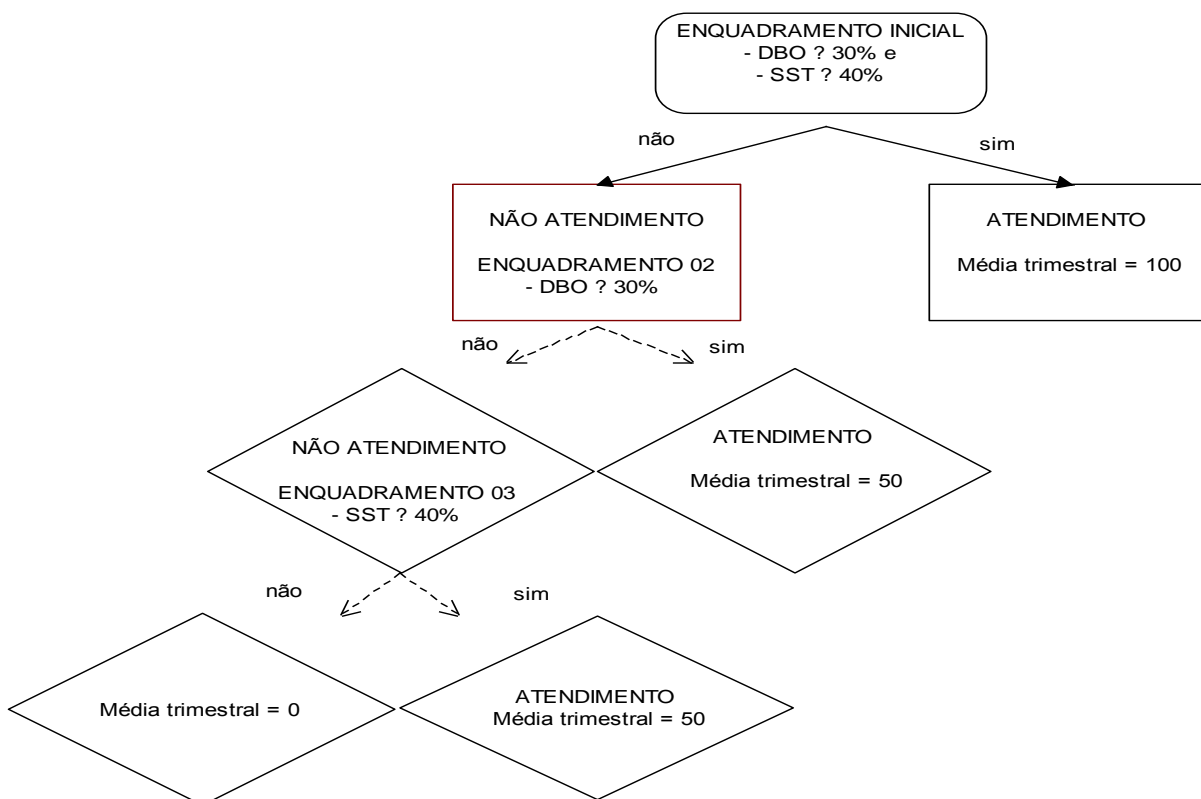


Figura 45 - Fluxograma de Cálculo da média trimestral em função do padrão B.



Fonte: Autor, (2014).

Figura 46 - Fluxograma de Cálculo da média trimestral em função do padrão A.



Fonte: Autor, (2014).

### 3.6 Logística metodológica aplicada no atendimento à legislação

Em função da investigação do atendimento relativo aos padrões de emissão, inerentes às legislações estaduais, foram avaliados, integralmente, os resultados obtidos de DBO, DQO e SST efluente, de todas as ETEs em estudo.

Vale mencionar que, pela da Resolução do CONAMA de nº 357/05, alterada pela Resolução 430/ 2011, em qualquer situação, é necessário ser atendido o padrão do corpo hídrico receptor, em função de sua classe.

No Ceará, o Conselho Estadual do Meio Ambiente, através da Portaria N<sup>o</sup> 154/02, determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser emitidos nos corpos hídricos sempre que o parâmetro de concentração da DBO atinja, no máximo, 60 mg/L. Tal marca permite ser ultrapassada nas condições em que as investigações relativas à autodepuração de corpos hídricos receptores assegurem que os níveis padronizados qualitativos sejam obedecidos, e que a ETE possa minimizar o montante poluidor dos efluentes, com relação à DBO, no mínimo em 85%. Esta marca (60mg/L) permite ser superada quando as ETEs, apresentarem uma eficiência de redução da carga poluidora de 80%.

Com base nestes entendimentos, foram aplicadas três exigências, fundamentadas na estruturação das normas legais no Ceará, a fim de dinamizar a investigação das ETEs em estudo: Exigência 1 – parâmetro da concentração de DBO no efluente igual ou superior a 60 mg/L; Exigência 2 - parâmetro da concentração de DBO no efluente correspondente ou superior a 60 mg/L ou porcentagem eficiente de redução correspondente, no mínimo, a 80%; Exigência 3 - parâmetro da concentração de DBO no efluente correspondente ou superior a 60 mg/L ou porcentagem eficiente de redução correspondente, no mínimo, a 60%.

Em termos individuais relativos às unidades de tratamento, foram verificados se os resultados obtidos atendiam às imposições normativas alçadas. Com o término da análise dos resultados de cada ETE, a porcentagem de obediência a determinados padrões foi tabulada, integrando os percentuais relativos ao quantitativo de resultados, que atendiam e o quantitativo de resultados válidos.

Com o término das investigações avaliativas das unidades de tratamento, aderindo aos três critérios, foi quantificada uma média aritmética das porcentagens de eficiência individuais obtidas pelas diversas ETE's. A metodologia foi aplicada para as 37 unidades de tratamento de quatro modalidades tecnológicas, tomadas na investigação.

### 3.7 Legislações normativas aplicadas na investigação das metas

A introdução de outras exigências de atendimento fundamentou-se em muitas normas e legislações aplicadas nos diversos estados brasileiros e pelos padrões Europeus (Council of the European Communities, 1991). Apesar das considerações fundamentadas em Von Sperling (2005), foram consultadas outras legislações dos diversos estados brasileiros, no intuito de estruturar uma estimativa geral dos níveis praticados no Brasil. Tal investigação foi executada primordialmente através de pesquisa na internet, nos sítios de órgãos ambientais oficiais dos estados brasileiros. Mas, as informações coletadas tiveram como norte a Resolução do CONAMA de 357/05 alterada pela Resolução 430/2011.

Pode-se enfatizar que os diversos órgãos ambientais estaduais podem utilizar os mesmos níveis padronizados da Resolução do CONAMA de nº 357/05 alterada pela Resolução 430/2011, de tal maneira que considere as peculiaridades locais, aperfeiçoando os níveis padronizados mais rígidos. Diversas legislações estaduais promovem a determinação de níveis de emissão de efluentes para DBO, DQO, SST, coliformes termotolerantes, fósforo total e nitrogênio total, parâmetros ausentes na legislação nacional. A Tabela 7 explicita os níveis padronizados de emissão para as concentrações e eficiências de remoção preconizadas e aprovadas pelas diversas legislações brasileiras e pela Comunidade Europeia. Alguns níveis padronizados de lançamento adotados pelas unidades estaduais aferem apenas as variáveis das concentrações dos participantes, enquanto que os outros utilizam adicionalmente eficiências de remoção mínima. Os padrões de lançamento adotados pelo Estado do Ceará são variáveis em função da DBO, DQO e SST.

Tabela 7 – Padrões de Eficiência e Concentração adotados.

NÍVEIS	DBO		DQO		SST		NT		PT		CF
	(mg/l)	Efic. (%)	(mg/l)	Efic. (%)	(mg/l)	Efic. (%)	(mg/l)	Efic. (%)	(mg/l)	Efic. (%)	
Ceara (2002)	60		200		50 (1)						5000
Comunidade Europeia (1991)	25	Var	125	75	Var	Var	Var	Var	Var	80	

(1) Para efluentes de lagoas de estabilização, a concentração de SST será de 150mg/l.

(2) Para lançamento em trechos de corpos hídricos contribuintes em lagos, lagoas e represas.

VAR: Concentração e/ou eficiência de remoção variável.

FONTE: Agência Nacional de Águas (2011).

No âmbito da Europa, através da Deliberação no 91/271/EEC de 21/05/1991 (Council of the European Communities, 1991), são detalhados os valores referenciais relativos à eficiência de remoção e as concentrações para DBO (de 70 a 90% e 25 mg/L), para DQO (75% e 125 mg/L) e para SST (variável em função da população equivalente e diferenciadas para lagoas), em alinhamento aos efluentes de ETE's urbanas, envolvendo esgotos domésticos e industriais. São estabelecidos de maneira complementar, os níveis padronizados adicionais para NT (nitrogênio) e PT (fósforo), com características de variabilidade em função da população equivalente, para o cenário que envolva a emissão de efluentes em corpos hídricos mais sensíveis e com capacidade de autodepuração sensível.

A Tabela 8 expõe um resumo dos níveis padronizados de emissão analisados, adotando as concentrações e eficiências de remoção.

Em face de que, em algumas situações, os patamares das concentrações de alguns parâmetros mostrassem comportamentos variáveis com a vazão, população ou carga orgânica, foi tabulada uma variação de valores (mínimo e máximo). Com isso, foram estabelecidas outras metas de qualidade.

Tabela 8 – Escalas de Concentração e Eficiência de Remoção Programada pelas Legislações Estaduais Brasileiras e Comunidade Européia.

Legislação	Limites	Parâmetro						
		DBO	DQO	SST	NT	PT	CF	
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(NMP/100ml)	
Média	das	Concentrações (mín-máx)	20 – 200	60 - 450	30 – 200	10(1)	1(1)	3000 – 5000 (2)
Normas	Brasileiras	Eficiência de Remoção (%)	30 – 90	40 - 90	30 – 90			
Média	européia	Concentrações (mín-máx)	25	125	35 – 150	10 – 15	1 – 2 (1)	-
(efluentes domésticos)		Eficiência de Remoção (%)	70 - 90	75	70-90	70 – 80	80	-

(1) Padrão de Emissão aplicável no caso de descarga em corpos d'água sensíveis.

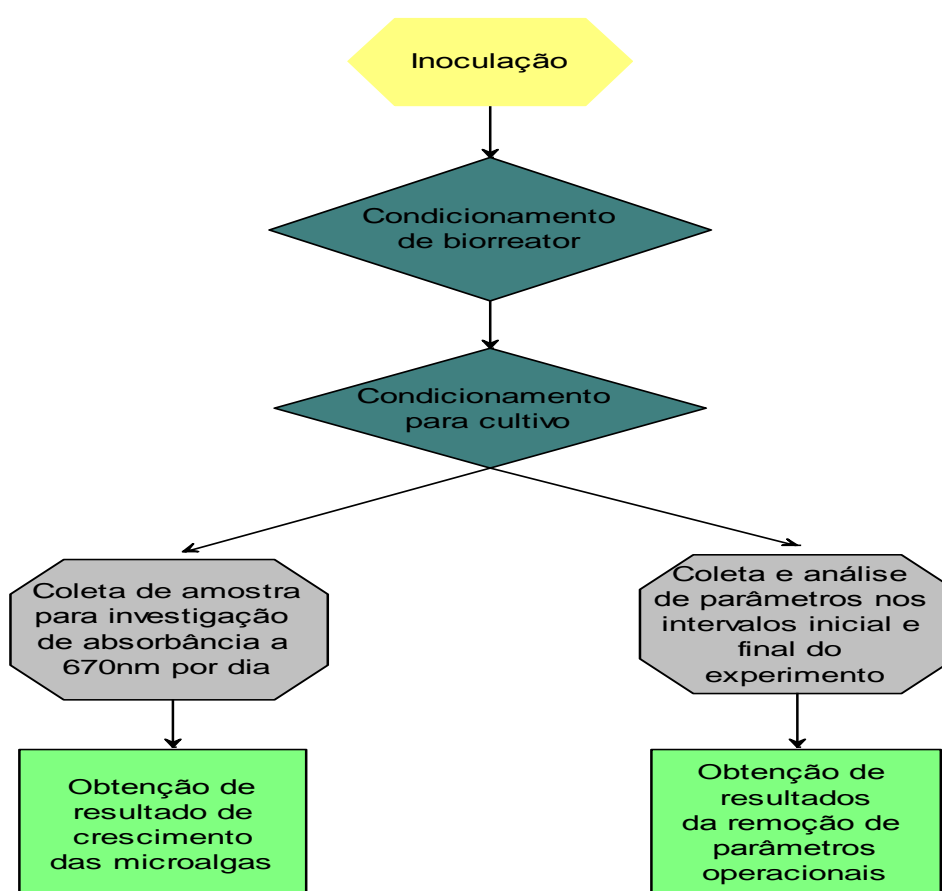
(2) A faixa de CF não é considerada representativa, apenas retrata as concentrações constantes nas legislações investigadas.

FONTE: Agência Nacional de Águas (2011).

### 3.8 Técnica de cultivo de microalgas e aplicação no polimento de efluentes tratados

A fim de propor melhorias na qualidade da produção de efluentes advindos de tratamentos convencionais, bem como de enquadrar estas emissões nas legislações deliberadas, nesta pesquisa, foi executada a técnica de cultivo de microalgas do tipo *Spirulina platensis*, em biorreator com suporte de injeção de ar pressurizado por compressor. A seguir será exposta a logística implantada nestas investigações, segundo a Figura 47.

Figura 47 – Logística de tarefas executadas em laboratório utilizando microalgas.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

#### 3.8.1 Preparação do meio de cultivo

Os meios utilizados para o cultivo das microalgas foram dois: o primeiro foi inerente ao efluente produzido pelo cultivo de peixes (situação já estudada) e o segundo foi o próprio efluente oriundo do tratamento convencional de esgoto doméstico em lagoa de maturação, de composição química diagnosticada através da coleta e de análises laboratoriais,

nunca empregados em experimentos com microalgas, especialmente para a microalga *Spirulina platensis*. Tal cultivo foi executado através do preparo dos inócuos em efluente oriundo do cultivo de peixes efetuado em três meses.

Posteriormente, durante cinco dias, foi feita uma adaptação das microalgas no efluente doméstico. Após esta fase, observando a aclimatação das microalgas no esgoto, foi dado o início aos procedimentos experimentais. Os experimentos foram executados com quatro repetições, sendo cada um com duração de sete dias, tempo em que foi observada a mortalidade das microalgas por consumirem a matéria orgânica presente no efluente tratado.

### **3.8.2 Condicionamento de meio de cultivo e peculiaridades do biorreator**

A técnica de cultivo da microalga *S. platensis* foi executada em temperatura de 30 °C, com iluminação artificial proveniente de lâmpadas fluorescentes de 20 W, segundo Michel *et al.*, (1986), posicionadas no alinhamento do cultivo, fornecendo um total de 1800 lux, fotoperíodo de 12 horas (12 horas de claro e 12 horas de escuro) controlado por um temporizador automático.

Os cultivos foram realizados em frascos de erlenmeyers de 500mL. O meio de cultivo utilizado foi o próprio efluente tratado, não diluído. A aeração foi mantida com fluxo de ar constante, de 0,02 vvm (volume de ar/volume de meio/minuto), mantida por compressor de ar.

### **3.8.3 Quantificação das análises**

#### **3.8.3.1. Quantificação geral de parâmetros**

As frações foram coletadas a cada 24 horas para o monitoramento do pH, durante os 7 dias de cultivo, através de leitura em um medidor de pH digital. Quanto aos outros parâmetros, através de um espectrofotômetro com a absorvância de comprimento de onda determinado (670nm), foram executadas as leituras das transmittâncias e das respectivas absorvâncias, utilizando a própria solução contendo as microalgas.

As concentrações das soluções foram obtidas da seguinte forma: uma amostra de um cultivo pré-estabelecido de *S. Platensis* foi diluída por cinco vezes, sendo assim obtidas amostras com densidade óptica ( $DO_{670nm}$ ) entre 0,08 e 0,8 no comprimento de onda de 670nm, utilizando um espectrofotômetro. Para a determinação da biomassa (g/L), cada

amostra foi centrifugada (3000 x g; 5min), lavada duas vezes com água deionizada e novamente centrifugada. Posteriormente, para a retirada da umidade, o papel filtro foi seco em estufa a 105<sup>0</sup> C por 16 horas e pesadas em balança analítica (TAKAGI *et al.*, 2006). Em seguida, foi filtrado um litro da cultura de microalga no papel filtro preparado previamente e seco em estufa com reculiação de ar a 60<sup>0</sup> C por 24 horas. Finalmente, com base nestes dados, foi estabelecida uma correlação linear entre a DO<sub>670nm</sub> e a biomassa, para o cálculo da equação de regressão linear (XU *el al.*, 2006), referente à curva de concentração x absorvância, de onde foram obtidas as absorvâncias das diversas soluções de concentrações mensuradas, advindas do tratamento com polimento de microalgas.

### 3.8.3.2. Quantificação da concentração celular

Parcelas foram retiradas a cada dia para a quantificação da densidade celular, durante sete dias, através de leitura da absorvância a 670 nm em espectrofotômetro. Tais dados foram relacionados com uma curva-padrão de biomassa estruturada utilizando suspensões da microalga *Spirulina platensis*. A curva padrão consistiu numa proporção determinada entre a concentração celular e a absorvância a 670 nm.

Na estruturação da curva padrão, os sólidos suspensos celulares foram diluídos para a obtenção das diversas concentrações das microalgas. As concentrações das diversas suspensões foram quantificadas através da filtração em bomba de vácuo de 25 mL de cada diluição como mostra a Figura 48. O montante celular retido no filtro foi colocado numa placa de Petri e levado à estufa a 60°C por 24 horas, com já descrito. Todas as diluições foram submetidas à leitura de absorvância em espectrofotômetro UV a 670 nm. A proporção de absorvância versus concentração de biomassa foi obtida a partir de regressão linear dos dados utilizando-se planilha eletrônica do Excel.

Figura 48 – Logística de tarefas executadas em laboratório utilizando microalgas



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises executadas foram obtidos por meio de um diagnóstico quanto ao atendimento padrão de lançamento das ETEs, considerando-se as médias aritméticas anuais das concentrações efluentes, as análises de estabilidade e confiabilidade das estações e as eficiências de remoção, em função das observações das cargas orgânicas afluentes e efluentes.

Os gráficos foram elaborados com o objetivo de permitir a observação do comportamento operacional das ETEs, considerando diferentes níveis de confiabilidade, bem como do enquadramento das estações aos padrões da Agência Nacional de Águas e à valoração da produtividade do esgoto tratado.

O atendimento à legislação pressupõe o enquadramento da ETE nas deliberações normativas do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de acordo com a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, alterada pela Resolução 430 de 2011, nas determinações da SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará), pela Portaria 154 de 2002, e no âmbito internacional, na Deliberação nº 91/271/EEC de 21/05/1991 (Council of the European Communities, 1991), obedecendo simultaneamente os padrões impostos para DBO, DQO e SST, principalmente para se determinar a confiabilidade e estabilidade.

As informações utilizadas neste trabalho foram levantadas pela cessão de dados da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará) e pela realização de análises laboratoriais criteriosas pelo próprio autor, que foram executadas com intuito comparativo às informações cedidas pela concessionária.

Com o objetivo de assegurar o processamento dos dados foram executados testes estatísticos para verificar o alinhamento destas informações à metodologia inerente à distribuição lognormal.

### 4.1. Análise dos Testes de Normalidade e aderência à Distribuição Lognormal

#### 4.1.1. Testes – Kolmogorov - Smirnov

Nas Tabelas 9,10 e 11 são apresentados os resultados das análises de aceitação dos dados com relação ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para a investigação da aderência a uma distribuição lognormal.



Para este teste, pode ser observado que, em todas as estações de tratamento de esgotos, considerando os parâmetros DBO, DQO e SST, foram aceitas as condições necessárias de aderência, para todos os dados empregados na pesquisa.

Tal entendimento pode ser evidenciado pela quantificação dos valores de “ $D_n$ ”, em que, para uma significância de 5%, foi obtido um valor “ $D_n$ ” equivalente de 0,34. Este valor foi calculado para uma série de 15 dados, configurando, assim, uma situação mais crítica que a tomada pela pesquisa, já que o número de dados utilizados foi igual a 12.

A fim de evitar múltiplos ajustes de resultados foi calculada a quantidade de dados equivalentes aos valores de “ $D_n$ ”, utilizando interpolações.

Como todos os valores de “ $D_n$ ” equivalentes foram inferiores ao tabelado de 0,37, que os dados empregados no estudo aderem bem a uma distribuição lognormal, fundamentando, assim, a sua aplicação integral.

A condição mais estável foi vista para a ETE Zeza Tijolo, com  $D_n$  equivalente de 0,1165 e probabilidade de aderência chegando a 92,4% com equivalência a 26 dados (Tabela 9), para a DQO. Já, na ETE Sítio Santana, foi constatado um  $D_n$  equivalente de 0,2666 e probabilidade de aderência chegando a 1,84%, com equivalência a 15 dados. Porém, nas duas situações os valores de  $D_n$  equivalentes foram inferiores a 0,37. Logo, não se pode afirmar que tais dados seguem uma distribuição lognormal, mas têm uma boa aderência.

Considerando as hipóteses adotadas no teste de normalidade, de acordo com a metodologia aplicada, todas as provas ficaram enquadradas na suposição  $H_0$ , caracterizando os dados como não desequilibrados, e definindo como pequenas as distâncias entre a função suposta e verificada.

Tabela 9 – Avaliação do teste estatístico das ETEs para a Demanda Química de Oxigênio.

<b>Teste de Normalidade das Estações de Tratamento de Esgotos - DQO</b>					
Estação de Tratamento	Dados do Processo				
	<b>P-valor</b>	<b>Estatística: Kolmogorov- Smirnov (Dn)</b>	<b>Valor de Referência (nível 5%)</b>	<b>Decisão</b>	<b>Interpolação (número de dados)</b>
Nova Vida	0,1269	0,2159	0,34	aceito	19
Alm. Tamandaré	0,0068	0,2882	0,34	aceito	14
Peq. Mondubim	0,4461	0,1914	0,34	aceito	21
S. Santana	0,0184	0,2666	0,34	aceito	15
R. Doce	0,1895	0,2191	0,34	aceito	19
Aracapé	0,2894	0,1874	0,34	aceito	21
Z. Tijolo	0,9239	0,1165	0,34	aceito	26
Pajuçara	0,4203	0,1721	0,34	aceito	22
Rosa Luxemburgo	0,2864	0,1878	0,34	aceito	21
Paupina	0,0115	0,2771	0,34	aceito	14
Novo Barroso	0,241	0,1942	0,34	aceito	20
Dias Macedo	0,6194	0,1522	0,34	aceito	23
Itaperi	0,1742	0,2055	0,34	aceito	20
C. Esperança	0,6083	0,1533	0,34	aceito	23
C. Palmeiras	0,1879	0,2029	0,34	aceito	20
São Cristóvão	0,1844	0,2035	0,34	aceito	20
Conj. Ceará	0,0337	0,2522	0,34	aceito	16
Parque Fluminense	0,5778	0,1552	0,34	aceito	23
José Walter	0,3971	0,1746	0,34	aceito	22
Araturi	0,0317	0,2537	0,34	aceito	16
Lagamar	0,1478	0,2109	0,34	aceito	19
Tupamirim	0,1137	0,2195	0,34	aceito	19
João Paulo II	0,1279	0,2157	0,34	aceito	19
Jereissati	0,1967	0,2013	0,34	aceito	20
Nova Metrópole	0,1967	0,2013	0,34	aceito	20
Lago Azul	0,2982	0,1862	0,34	aceito	21
Pindorama	0,4697	0,1669	0,34	aceito	22
Lagoa da Zeza	0,5914	0,1549	0,34	aceito	23
Sumaré	0,4594	0,168	0,34	aceito	22
Curió	0,2541	0,1923	0,34	aceito	21
Por do Sol	0,5711	0,1569	0,34	aceito	23
Jangurussú	0,0115	0,2771	0,34	aceito	14
M. Rondon	0,0586	0,2382	0,34	aceito	17
SIDI	0,3952	0,1748	0,34	aceito	22
Novo Mondubim	0,6623	0,1481	0,34	aceito	24
Itaperussú	0,3197	0,1836	0,34	aceito	21

Fonte: Autor (2014).

Tabela 10 – Avaliação do teste estatístico das ETEs para a Demanda Bioquímica de Oxigênio.

<b>Teste de Normalidade das Estações de Tratamento de Esgotos - DBO</b>					
Estação de Tratamento	Dados do Processo				
	<b>P-valor</b>	<b>Estatística: Kolmogorov-Smirnov (Dn)</b>	<b>Valor de Referência (nível 5%)</b>	<b>Decisão</b>	<b>Interpolação (número de dados)</b>
Nova Vida	0,0022	0,3104	0,34	aceito	12
Alm. Tamandaré	0,2237	0,1969	0,34	aceito	20
Peq. Mondubim	0,067	0,2346	0,34	aceito	18
S. Santana	0,0798	0,2298	0,34	aceito	18
R. Doce	0,3948	0,1749	0,34	aceito	22
Aracapé	0,0193	0,2655	0,34	aceito	15
Z. Tijolo	0,067	0,2346	0,34	aceito	18
Pajuçara	0,023	0,2614	0,34	aceito	16
Rosa Luxemburgo	0,013	0,2744	0,34	aceito	15
Paupina	0,7635	0,1379	0,34	aceito	24
Novo Barroso	0,0986	0,2239	0,34	aceito	18
Dias Macedo	0,1856	0,2033	0,34	aceito	20
Itaperi	0,1773	0,2049	0,34	aceito	20
C. Esperança	0,5539	0,1586	0,34	aceito	23
C. Palmeiras	0,0257	0,2588	0,34	aceito	16
São Cristóvão	0,519	0,162	0,34	aceito	23
Conj. Ceará	0,3185	0,1837	0,34	aceito	21
Parque Fluminense	0,4265	0,1714	0,34	aceito	22
José Walter	0,4326	0,1708	0,34	aceito	22
Araturi	0,8493	0,1328	0,34	aceito	25
Lagamara	0,5471	0,1592	0,34	aceito	23
Tupamirim	0,4668	0,1737	0,34	aceito	22
João Paulo II	0,6407	0,1559	0,34	aceito	23
Jereissati	0,3852	0,1759	0,34	aceito	22
Nova Metrópole	0,2439	0,2012	0,34	aceito	20
Lago Azul	0,1269	0,2159	0,34	aceito	19
Pindorama	0,1041	0,2223	0,34	aceito	18
Lagoa da Zeza	0,6891	0,1454	0,34	aceito	24
Sumaré	0,8486	0,1279	0,34	aceito	25
Curió	0,0148	0,2715	0,34	aceito	15
Por do Sol	0,1481	0,2109	0,34	aceito	19
Jangurussú	0,0388	0,2488	0,34	aceito	17
M. Rondon	0,004	0,2988	0,34	aceito	13
SIDI	0,0069	0,288	0,34	aceito	14
Novo Mondubim	0,915	0,1181	0,34	aceito	26
Itaperussú	0,495	0,1644	0,34	aceito	23

Fonte: Autor (2014).

Tabela 11 – Avaliação do teste estatístico das ETEs para os Sólidos Suspensos Totais.

<b>Teste de Normalidade das Estações de Tratamento de Esgotos - SST</b>					
Estação de Tratamento	Dados do Processo				
	<b>P-valor</b>	<b>Estatística: Kolmogorov- Smirnov (Dn)</b>	<b>Valor de Referência (nível 5% )</b>	<b>Decisão</b>	<b>Interpolação (número de dados)</b>
Nova Vida	0,7589	0,1384	0,34	aceito	24
Alm. Tamandaré	0,018	0,2671	0,34	aceito	15
Peq. Mondubim	0,5513	0,1588	0,34	aceito	23
S. Santana	0,1119	0,22	0,34	aceito	19
R. Doce	0,3959	0,1747	0,34	aceito	22
Aracapé	0,1667	0,207	0,34	aceito	20
Z. Tijolo	0,0009	0,31	0,34	aceito	12
Pajuçara	0,103	0,2226	0,34	aceito	18
Rosa Luxemburgo	0,3713	0,1775	0,34	aceito	22
Paupina	0,7673	0,1375	0,34	aceito	24
Novo Barroso	0,6936	0,145	0,34	aceito	24
Dias Macedo	0,076	0,2312	0,34	aceito	18
Itaperi	0,228	0,1962	0,34	aceito	20
C. Esperança	0,1115	0,2201	0,34	aceito	19
C. Palmeiras	0,575	0,1565	0,34	aceito	23
São Cristóvão	0,0954	0,2248	0,34	aceito	18
Conj. Ceará	0,5284	0,1611	0,34	aceito	23
Parque Fluminense	0,7038	0,144	0,34	aceito	24
José Walter	0,528	0,1611	0,34	aceito	23
Araturi	0,7693	0,1373	0,34	aceito	24
Lagamar	0,3269	0,1827	0,34	aceito	21
Tupamirim	0,15	0,2105	0,34	aceito	19
João Paulo II	0,325	0,1829	0,34	aceito	21
Jereissati	0,0468	0,244	0,34	aceito	17
Nova Metrópole	0,6305	0,1511	0,34	aceito	23
Lago Azul	0,0602	0,2375	0,34	aceito	17
Pindorama	0,4054	0,1737	0,34	aceito	22
Lagoa da Zeza	0,6891	0,1454	0,34	aceito	24
Sumaré	0,0349	0,2514	0,34	aceito	16
Curió	0,3061	0,1853	0,34	aceito	21
Por do Sol	0,0116	0,2697	0,34	aceito	15
Jangurussú	0,3711	0,1775	0,34	aceito	22
M. Rondon	0,3558	0,1793	0,34	aceito	21
SIDI	0,1143	0,2193	0,34	aceito	19
Novo Mondubim	0,2971	0,1864	0,34	aceito	21
Itaperussú	0,4998	0,1639	0,34	aceito	23

Fonte: Autor (2014).

#### 4.1.2. Testes – Anderson - Darling

Nas Tabelas 12, 13 e 14 são apresentados os resultados das análises de aceitação dos dados para o teste de normalidade de Anderson-Darling, na investigação da aderência a uma distribuição lognormal. Para esta prova, pode ser observado que, na maioria das estações de tratamento de esgotos, considerando os parâmetros DBO, DQO e SST, foram aceitas as condições necessárias de aderência, para todos os dados empregados na pesquisa.

Esta concepção foi evidenciada pelo cálculo dos valores de  $A_m$ , em que, para uma significância de 5%, foi tabulado um valor de  $A_m$  equivalente de 0,757. Alguns dados foram rejeitados, para uma significância de 5%. Para estes dados, foi rebaixada a significância a 1%.

Assim, ficaram caracterizados os aceites, variando entre 5% para a grande maioria dos dados e 1% para uma pequena minoria. Como, para todos os dados, ficou evidenciado o enquadramento dos valores de  $A_m$  equivalentes, com níveis de significância variando entre 1 e 5%, então, pode ser entendido que não se tem evidência de que os dados empregados no estudo não possam aderir a uma distribuição lognormal, fundamentando, assim, a aplicação dos dados.

A condição mais estável foi vista para a ETE Dias Macedo, com  $A_m$  equivalente de 0,2533 e probabilidade de aderência chegando a 66,74%, com significância de 5% (Tabela 12), para a DQO. Já na ETE Jangurussú, foi constatado um  $A_m$  equivalente de 1,53 e probabilidade de aderência chegando a 0%, com significância de 5%. Com isto, foi readequado para a significância de 1%. Logo, considerando a variação de significância entre 1% e 5%, não se pode afirmar que tais dados seguem uma distribuição lognormal, mas têm uma boa aderência.

Considerando as duas hipóteses adotadas no teste de normalidade, de acordo com a metodologia aplicada, quase todas as provas ficaram enquadradas na suposição  $H_0$ , caracterizando os dados como não desequilibrados, e definindo como pequenas as distâncias entre a função suposta e verificada. Considerando as rejeições da hipótese  $H_0$  para 5% de significância, foi necessário readequar os dados para 1% de significância, e assim atendida a hipótese  $H_0$ .

Tabela 12 – Avaliação do teste estatístico das ETes para a Demanda Química de Oxigênio

Teste de Normalidade das Estações de Tratamento de Esgotos - DQO					
Estação de Tratamento	Dados do Processo				
	P-valor	Estatística: Anderson Darling (Am)	Valor de Referência (nível 5% )	Decisão	Adequação de Significância
Nova Vida	0,12	0,55	0,757	aceito	5,0%
Alm. Tamandaré	0,01	0,91	<b>1,959</b>	não aceito	<b>1,0%</b>
Peq. Mondubim	0	1,43	<b>1,959</b>	não aceito	<b>1,0%</b>
S. Santana	0,04	0,73	0,757	aceito	5,0%
R. Doce	0,4	0,35	0,757	aceito	5,0%
Aracapé	0,4196	0,3456	0,757	aceito	5,0%
Z. Tijolo	0,5745	0,2809	0,757	aceito	5,0%
Pajuçara	0,1745	0,4928	0,757	aceito	5,0%
Rosa Luxemburgo	0,5205	0,3027	0,757	aceito	5,0%
Paupina	0,0367	0,7489	0,757	aceito	5,0%
Novo Barroso	0,448	0,3341	0,757	aceito	5,0%
Dias Macedo	0,6674	0,2533	0,757	aceito	5,0%
Itaperi	0,1357	0,533	0,757	aceito	5,0%
C. Esperança	0,8862	0,1842	0,757	aceito	5,0%
C. Palmeiras	0,1523	0,5146	0,757	aceito	5,0%
São Cristóvão	0,1172	0,556	0,757	aceito	5,0%
Conj. Ceará	0,0742	0,6339	0,757	aceito	5,0%
Parque Fluminense	0,4421	0,3364	0,757	aceito	5,0%
José Walter	0,5123	0,3073	0,757	aceito	5,0%
Araturi	0,027	0,799	<b>0,899</b>	não aceito	<b>2,5%</b>
Lagamar	0,0865	0,6089	0,757	aceito	5,0%
Tupamirim	0,3102	0,3976	0,757	aceito	5,0%
João Paulo II	0,0695	0,6447	0,757	aceito	5,0%
Jereissati	0,0722	0,6384	0,757	aceito	5,0%
Nova Metrópole	0,2882	0,41	0,757	aceito	5,0%
Lago Azul	0,1248	0,5462	0,757	aceito	5,0%
Pindorama	0,21	0,46	0,757	aceito	5,0%
Lagoa da Zeza	0,6	0,27	0,757	aceito	5,0%
Sumaré	0,29	0,41	0,757	aceito	5,0%
Curió	0,15	0,51	0,757	aceito	5,0%
Por do Sol	0,72	0,24	0,757	aceito	5,0%
Jangurussú	0	1,53	<b>1,959</b>	não aceito	<b>1,0%</b>
M. Rondon	0,131	0,5386	0,757	aceito	5,0%
SIDI	0,2122	0,461	0,757	aceito	5,0%
Novo Mondubim	0,5084	0,3099	0,757	aceito	5,0%
Itaperussú	0,3135	0,3958	0,757	aceito	5,0%

Fonte: Autor (2014).

Tabela 13 – Avaliação do teste estatístico das ETEs para a Demanda Bioquímica de Oxigênio

Teste de Normalidade das Estações de Tratamento de Esgotos - DBO					
Estação de Tratamento	Dados do Processo				
	P-valor	Estatística: Anderson Darling (Am)	Valor de Referência (nível 5%)	Decisão	Adequação de Significância
Nova Vida	0,01	0,93	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Alm. Tamandaré	0,07	0,63	0,757	não aceito	1,0%
Peq. Mondubim	0	1,95	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
S. Santana	0,09	0,6	0,757	aceito	5,0%
R. Doce	0,36	0,37	0,757	aceito	5,0%
Aracapé	0,01	0,9327	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Z. Tijolo	0,03	0,7584	<b>0,877</b>	não aceito	2,5%
Pajuçara	0,0394	0,7372	0,757	aceito	5,0%
Rosa Luxemburgo	0,0074	1,0104	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Paupina	0,7399	0,2332	0,757	aceito	5,0%
Novo Barroso	0,0968	0,5906	0,757	aceito	5,0%
Dias Macedo	0,0767	0,6285	0,757	aceito	5,0%
Itaperi	0,1737	0,4935	0,757	aceito	5,0%
C. Esperança	0,2647	0,4243	0,757	aceito	5,0%
C. Palmeiras	0,0343	0,76	0,757	aceito	5,0%
São Cristóvão	0,5546	0,2879	0,757	aceito	5,0%
Conj. Ceará	0,3246	0,3899	0,757	aceito	5,0%
Parque Fluminense	0,0965	0,5913	0,757	aceito	5,0%
José Walter	0,494	0,3168	0,757	aceito	5,0%
Araturi	0,4435	0,3359	0,757	aceito	5,0%
Lagamar	0,4863	0,3196	0,757	aceito	5,0%
Tupamirim	0,7052	0,2428	0,757	aceito	5,0%
João Paulo II	0,2306	0,4472	0,757	aceito	5,0%
Jereissati	0,7134	0,2406	0,757	aceito	5,0%
Nova Metrópole	0,0219	0,8331	<b>0,877</b>	não aceito	2,5%
Lago Azul	0,1688	0,4981	0,757	aceito	5,0%
Pindorama	0,04	0,74	0,757	aceito	5,0%
Lagoa da Zeza	0,57	0,28	0,757	aceito	5,0%
Sumaré	0,94	0,16	0,757	aceito	5,0%
Curió	0,03	0,78	0,757	aceito	5,0%
Por do Sol	0,19	0,48	0,757	aceito	5,0%
Jangurussú	0,0735	0,6357	0,757	aceito	1,0%
M. Rondon	0,0165	0,8791	0,757	aceito	5,0%
SIDI	0,0048	1,0788	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Novo Mondubim	0,7326	0,2352	0,757	aceito	5,0%
Itaperussú	0,2789	0,4155	0,757	aceito	5,0%

Fonte: Autor (2014).

Tabela 14 – Avaliação do teste estatístico das ETes para os Sólidos Suspensos Totais

Teste de Normalidade das Estações de Tratamento de Esgotos - SST					
Estação de Tratamento	Dados do Processo				
	P-valor	Estatística: Anderson Darling (Am)	Valor de Referência (nível 5%)	Decisão	Adequação de Significância
Nova Vida	0,5161	0,3051	0,757	aceito	5,0%
Alm. Tamandaré	0,0376	0,7448	0,757	aceito	1,0%
Peq. Mondubim	0,7463	0,2314	0,757	aceito	1,0%
S. Santana	0,0226	0,8282	<b>0,877</b>	não aceito	2,5%
R. Doce	0,5485	0,2902	0,757	aceito	5,0%
Aracapé	0,2139	0,4597	0,757	aceito	5,0%
Z. Tijolo	0,0052	1,657	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Pajuçara	0,2273	0,4497	0,757	aceito	5,0%
Rosa Luxemburgo	0,298	0,4044	0,757	aceito	5,0%
Paupina	0,8939	0,1793	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Novo Barroso	0,9289	0,16	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Dias Macedo	0,0351	0,7563	0,757	aceito	5,0%
Itaperi	0,3332	0,3854	0,757	aceito	5,0%
C. Esperança	0,0461	0,7117	0,757	aceito	5,0%
C. Palmeiras	0,3458	0,379	0,757	aceito	5,0%
São Cristóvão	0,0743	0,6339	0,757	aceito	5,0%
Conj. Ceará	0,505	0,3123	0,757	aceito	5,0%
Parque Fluminense	0,3102	0,3976	0,757	aceito	5,0%
José Walter	0,6229	0,2658	0,757	aceito	5,0%
Araturi	0,5326	0,2968	0,757	aceito	2,5%
Lagamar	0,3776	0,3639	0,757	aceito	5,0%
Tupamirim	0,2695	0,4213	0,757	aceito	5,0%
João Paulo II	0,2145	0,4592	0,757	aceito	5,0%
Jereissati	0,1099	0,5699	0,757	aceito	5,0%
Nova Metrópole	0,4938	0,3169	0,757	aceito	5,0%
Lago Azul	0,0136	0,9111	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Pindorama	0,5144	0,3061	0,757	aceito	5,0%
Lagoa da Zeza	0,0163	0,881	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Sumaré	0,5966	0,2737	0,757	aceito	5,0%
Curio	0,0082	0,9925	<b>1,959</b>	não aceito	1,0%
Por do Sol	0,5485	0,2902	0,757	aceito	5,0%
Jangurussú	0,5106	0,3084	0,757	aceito	1,0%
M. Rondon	0,3029	0,4016	0,757	aceito	5,0%
SIDI	0,0407	0,732	0,757	aceito	5,0%
Novo Mondubim	0,0566	0,7001	0,757	aceito	5,0%
Itaperussú	0,6218	0,2662	0,757	aceito	5,0%

Fonte: Autor (2014).



Para a discussão dos resultados foram considerados os parâmetros padronizados e listados na legislação cearense, brasileira, em geral, e européia, como os mais usuais no tratamento de esgotos, no caso a DBO, a DQO e os SST, que se apresentam como um complemento da legislação federal, CONAMA 357/2005, substituída pela Resolução 430/2011. Os parâmetros avaliados e os respectivos limites considerados estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Padrões de lançamento adotados para os parâmetros de DBO, DQO e SST.

<b>PADRÕES DE LANÇAMENTO</b>				
<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Padrão de Lançamento Adotado (Ceará)</b>	<b>Padrão de Lançamento Adotado (Brasil)</b>	<b>Padrão de Lançamento Adotado (UE)</b>
DBO <sub>5</sub>	mg/L	60	200	25
DQO	mg/L	200	450	125
SST	mg/L	150	200	150

Fonte: Autor (2014).

#### **4.2. Análise de atendimento e eficiência operacional das estações**

Os resultados das análises de atendimento aos padrões de lançamento são apresentados nas Figuras 49, 50 e 51, que expuseram a tipologia das estações, bem como o percentual de atendimento inerente às legislações européias, brasileira, e, especificamente, a cearense. Foram considerados os parâmetros operacionais: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST).

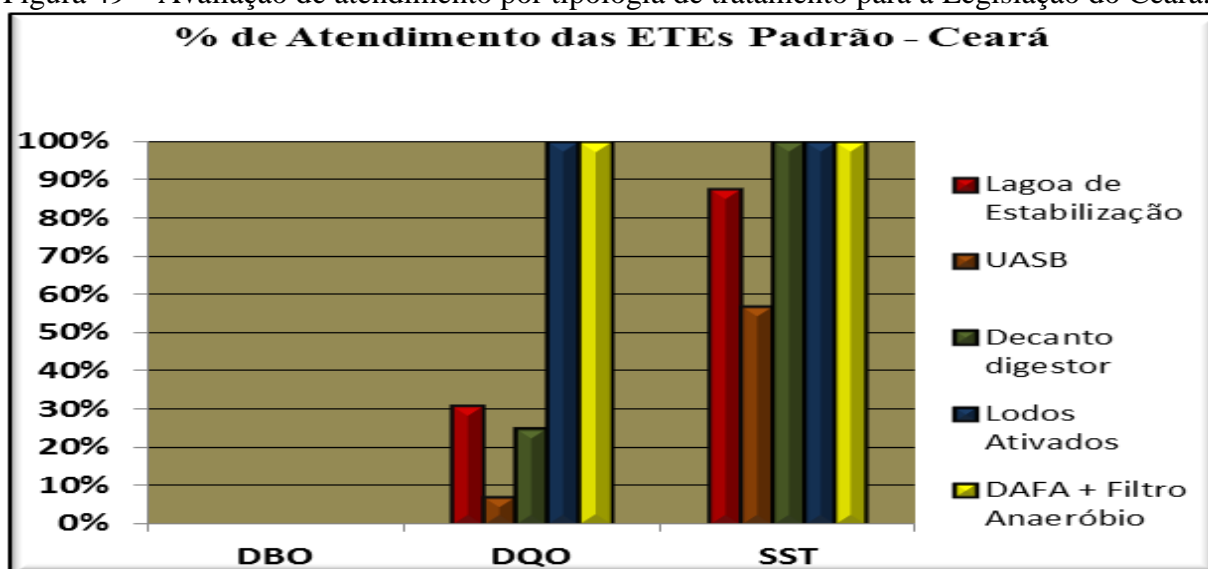
Avaliando-se o atendimento ao padrão de DBO, 81% das ETE's pertencentes às lagoas de estabilização, obedeceram às condições impostas na legislação do Brasil, mas, com relação à norma cearense e européia, especificamente, nenhuma das unidades atingiu o desejado. Foi verificado também que, para os sistemas decanto-digestor e UASB, as ETEs enquadradas à norma brasileira, os atendimentos foram de 50 e 42,9%, respectivamente. Já, para o parâmetro DQO, atenderam à legislação, 31 e 87,5% das ETEs pertencentes ao sistema de lagoas de estabilização em relação à legislação cearense e do Brasil, respectivamente.

Considerando o parâmetro DQO, os sistemas de lodos ativados e DAFA + filtro anaeróbio submerso + decantador lamelar também se destacaram, atendendo integralmente às exigências das legislações cearense e brasileira.

Tal constatação não pode ser vista para a legislação européia, por impor padrões mais restritivos. Com relação à DQO, apresentaram o pior desempenho as ETEs inerentes ao

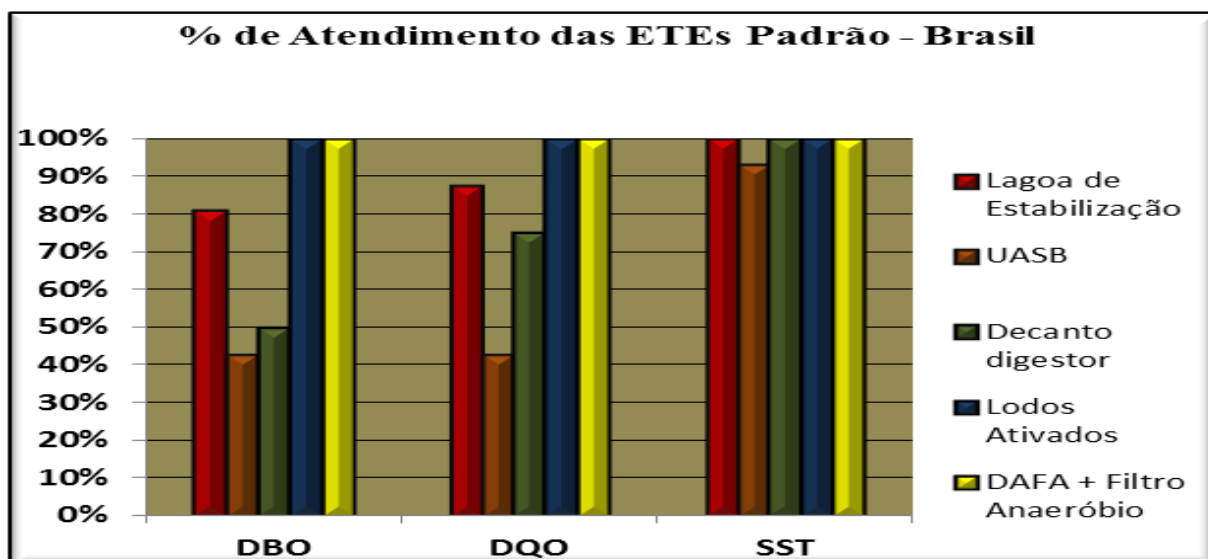
sistema UASB, com 7,2% e 42,9%, para a legislação cearense e brasileira. Com relação aos SST, obtiveram os melhores atendimentos as ETEs pertencentes ao sistema decanto-digestor bem como as unidades da Pajuçara e Itaperussu, com adequação de 100%. Os piores resultados foram os encontrados nas unidades do sistema UASB, com 57% de atendimento.

Figura 49 – Avaliação de atendimento por tipologia de tratamento para a Legislação do Ceará.



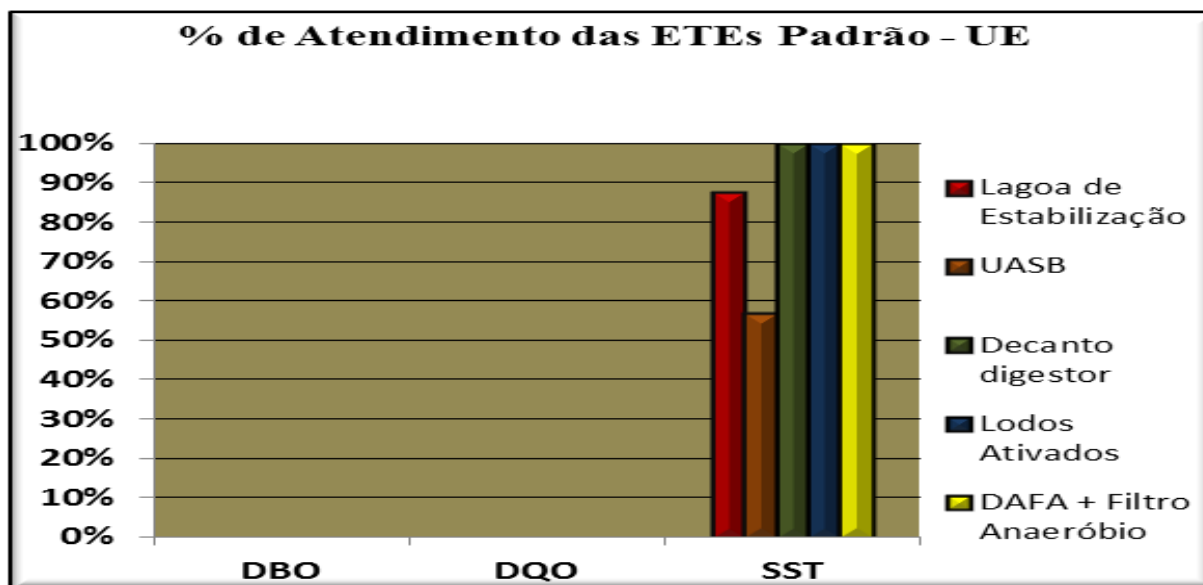
Fonte: Autor, (2014).

Figura 50 – Avaliação de atendimento por tipologia de tratamento para a Legislação do Brasil.



Fonte: Autor, (2014).

Figura 51 – Avaliação de atendimento por tipologia de tratamento para a Legislação da UE.



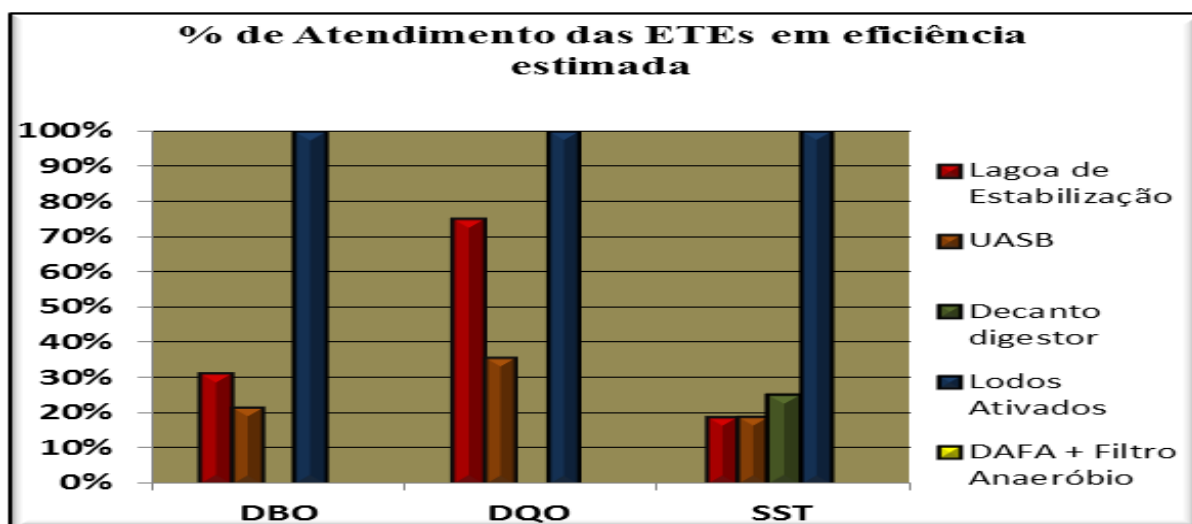
Fonte: Autor, (2014).

Vale ressaltar que as legislações diferem muito com relação à restrição de parâmetros. Em muitos casos estudados, são inexecutáveis os padrões impostos, e, tal constatação, torna-se mais evidente para a DBO, cujo valor relativo à norma europeia tem como máximo 25mg/L, concentração praticamente inexecutável, com relação às estações investigadas. Ficou comprovado, também, que o limite determinado pela legislação cearense, também é mais exigente com relação à legislação brasileira, cuja média chega a 200mg/L, sendo que a legislação cearense reduz tal meta a apenas 30%, ou seja, 60mg/L.

Na Figura 52, são expostas as percentagens de atendimento relativas às eficiências estimadas com base em dados já obtidos, segundo Von Sperling (2005). Com relação à DBO, tiveram os melhores desempenhos as ETES pertencentes ao sistema de lagoas de estabilização, onde 31.3% das unidades de tratamento se enquadraram dentro da eficiência esperada. A pior atuação foi a inerente ao sistema decanto-digestor, em que nenhuma das ETES esteve dentro da faixa de eficiência desejada.

O sistema de lodos ativados atendeu integralmente à eficiência esperada, para a DBO, DQO e SST. Foram destaques, no atendimento eficiente, para a DQO, as ETES pertencentes aos sistemas de lagoas de estabilização, e para SST, as unidades do sistema decanto-digestor, com 25% de enquadramento.

Figura 52 – Avaliação de atendimento por tipologia de tratamento quanto à eficiência operacional para as ETEs de Fortaleza e sua Região Metropolitana



Fonte: Autor, (2014).

### 4.3 Análise de Confiabilidade das Estações

Nas investigações iniciais, não foi tomada a variabilidade das concentrações efluentes, logo, foram adicionadas verificações de confiabilidade e estabilidade para melhor avaliar o comportamento operacional das ETEs.

A confiabilidade de uma concepção pode ser definida como a probabilidade de atuação adequada, por uma fração temporal determinada, e com peculiaridades impostas.

A seguir são mostrados os resultados das análises de confiabilidade e estabilidade das estações estudadas, onde são adotadas duas logísticas metodológicas, sendo a primeira sem probabilidade pré-determinada e a segunda com probabilidade pré-determinada.

No primeiro caso, não existe uma probabilidade preconizada, sendo calculada a confiabilidade em função da média anual dos valores de concentração efluente, do desvio-padrão, do coeficiente de variação e do  $Z_{1-\alpha}$ , que foi quantificado e inserido na Tabela da Distribuição Normal Padrão, para a obtenção da confiabilidade.

Para a determinação da confiabilidade, foram considerados os padrões de lançamento exigidos pela legislação, e a partir de sua quantificação, foram calculados os índices de confiabilidade (CDCs) bem como as concentrações reais de projeto e operação, específicas às normas consideradas na pesquisa.

No segundo caso, a probabilidade foi preconizada para a quantificação tanto das

concentrações de projeto quanto das concentrações de operação desejadas.

Estas concentrações dependem das metas legais e do CDC (coeficiente de confiabilidade), que foi calculado em função da média anual, do desvio-padrão, do coeficiente de variação e do  $Z_{1-\alpha}$  (nível de confiança adotado de 90%), que foi dado de entrada para a obtenção da confiabilidade, conforme a Tabela da Distribuição Normal Padrão.

Posteriormente, foram estruturadas algumas curvas traçadas para diferentes níveis de confiabilidade, onde foi determinado o comportamento e alteração da curva, à medida que foram elevados os graus de confiabilidade desejados.

#### ***4.3.1 Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Logística 01.***

Na Tabela 15 e Anexos (H), são apresentados os resultados das confiabilidades operacionais para as 36 ETEs analisadas em 2011, assim como, seus dados básicos, suas metas de concentração e eficiência operacionais, suas concentrações médias efluentes, bem como seus respectivos Desvios-Padrão e Coeficiente de Variação.

As ETEs foram distribuídas sequencialmente nas tabelas considerando as similaridades entre os processos.

##### ***4.3.1.1 Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Legislação Européia.***

Em função das simulações executadas, inerentes à legislação européia, foram descritas as seguintes observações:

. Para a DBO, obteve melhor confiabilidade a ETE Pajuçara, com 15,4% (Tabela 23 – Anexo H), enquanto que as demais estações tiveram confiabilidades variando entre 0,01% (ETE Tupamirim – Tabela 28 - Anexo H) e 3,14% (ETE Pindorama – Tabela 29 - Anexo H), além das ETEs que foram quantificadas como não confiáveis (NC). O resultado obtido pela ETE Pindorama se dá, parte pelo coeficiente de variação de 0,91, considerado alto, quando comparado com as outras estações, que mostraram variabilidades entre 0,1 e 0,13, para tal parâmetro. Vale ressaltar que a legislação européia se mostra extremamente exigente, devido às condições climáticas desfavoráveis. Suas deliberações normativas, principalmente para DBO (25mg/L) e DQO (125mg/L), são consideradas praticamente inexequíveis no Brasil, em termos

operacionais. As estações enquadradas na condição de não confiáveis, certamente, não tiveram compensações inerentes à variabilidade, à eficiência operacional, à compatibilidade das cargas afluentes, e muito menos, às condições de extrema restrição relativa aos níveis europeus;

. Foi observado que, no caso da DQO, apresentou boa confiabilidade a ETE Pajuçara, com 62,9%, mesmo com coeficiente de variação de 1,06, já que as demais ETEs, apresentaram variabilidade entre 0,03 e 0,21. Certamente, este resultado foi compensado pelos bons desempenhos operacionais. As demais estações mostraram confiabilidades variando entre 0,28% (ETE Lagoa da Zeza – Tabela 30 - Anexo H) e 46,81% (ETE Parque Fluminense – Tabela 26 - Anexo H). Como o nível exigido da DQO corresponde a 125mg/L, superior ao patamar da DBO (25mg/L), então, as cargas afluentes compatíveis com a tecnologia de tratamento, boas eficiências operacionais e baixa variabilidade deverão influenciar na possibilidade do alcance de bons níveis de confiabilidade;

. Com relação ao item SST, foi constatado que houve uma variação na confiabilidade entre 26,1% (ETE Itaperi – Tabela 25 - Anexo H) e 99,04% (ETE Jangurussu - Tabela 31 - Anexo H), enquanto que a ETE Pajuçara obteve 100% de confiabilidade. Tal item, tem como meta operacional 150mg/L, valor semelhante ao adotado no Ceará, o que facilita a obtenção de boas confiabilidades.

#### *4.3.1.2 Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Legislação Cearense*

A seguir, são expostas as observações inerentes à legislação cearense:

. A confiabilidade obtida se mostrou instável com as características operacionais de algumas ETEs, em função das metas deliberadas e da variabilidade amostral. Um exemplo de estabilidade é o da ETE Pajuçara (Tabela 23 - Anexo H), que apresentou um baixo desvio-padrão, para SST (19mg/L) e um coeficiente de variação de 0,42, refletindo assim em boa confiabilidade operacional, de 100%. Associado a tais constatações, ainda tivemos a ocorrência de boa eficiência operacional, de 87,32%, para a remoção dos sólidos suspensos totais. Nem todas as ETEs seguiram este

alinhamento, pois em momentos tinham elevado coeficiente de variação, em outros detinham de grande concentração efluente, que são fatores intervenientes na quantificação da confiabilidade. A ETE Nova Metrópole (Tabela 29 - Anexo H) apresentou eficiência adequada para remoção de DBO, 73,4%. No entanto, mostrou uma confiabilidade, neste item, de apenas 5,48%. Com isto, pode ser entendido que, mesmo com elevada eficiência e boa atuação da ETE, a confiabilidade foi baixa (5,48%), devido à ocorrência de elevada carga afluente de DBO (631,88mg/L).

. A ETE Lagoa da Zeza (Tabela 30 - Anexo H) apresentou eficiência de 65,5% para a remoção de DBO. No entanto, mostrou não ser confiável (NC). Logo, destaca-se que, mesmo com uma eficiência adequada e bom desempenho de tal ETE, não foi atingida uma confiabilidade, devido às elevadas concentrações de DBO afluente (745,58mg/L) influenciando assim no cálculo da confiabilidade.

. A ETE Pindorama (Tabela 29 - Anexo H), com relação aos sólidos suspensos totais, além de apresentar eficiência adequada para a remoção de SST, de 74,95%, também mostrou uma excelente confiabilidade, de 85,31%, ou seja, em apenas 14,69% do tempo, esta estação não atendeu às normas para o constituinte SST. Tal resultado foi devido à ocorrência de um bom cenário, em que a concentração afluente foi compatível com a preconizada, e a ETE operou com eficiência adequada aos trabalhos já efetuados (VON SPERLING, 2005). A concentração efluente esteve abaixo do exigido e o coeficiente de variação se apresentou acentuadamente baixo, de 0,29. Estas condições refletem a geração de informações úteis não só ao projeto de novas ETES, mas também ao planejamento de futuras ampliações, para um bom condicionamento operacional.

#### *4.3.1.3 Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Legislação Brasileira.*

A seguir, foram executadas as simulações e elaboradas observações inerentes à legislação brasileira:

. Considerando a legislação brasileira, para os itens, DQO, DBO e SST, em todos os cenários possíveis, a ETE Pajuçara obteve as melhores confiabilidades, sendo para

a DQO – 96,71%, para a DBO – 95,35% e para os SST – 100%. Em média, como a restrição é menor para os diversos parâmetros considerados, é natural que as confiabilidades tendam a se elevar, pois, para se quantificar a variável normal padronizada,  $Z_{1-\alpha}$ , foi necessário tomar os padrões deliberativos normatizados, e considerando a média dos padrões brasileiros, tais variáveis seguiram uma tendência positiva, que inserida na tabela de distribuição padrão normal, obtiveram valores elevados de confiabilidade operacional;

. A estação que apresentou as piores confiabilidades foi a ETE Itaperi, correspondendo a uma DQO de 20,61% e uma DBO de 5,48%;

. As análises foram realizadas com o objetivo de simular cenários capazes de mostrar não só o comportamento das estações, mas também sugerir a aplicação de padrões exequíveis, considerando a segurança dos recursos hídricos, o melhoramento das eficiências operacionais e o controle inteligente na produtividade de ETEs, para o tratamento de esgotos.



Tabela 15 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 01 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Nova Vida			Alm. Tamandaré			Peq. Mondubim		
Processo de Tratamento	Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração			Sistema Decanto - 2 decanto digestores (paralelo) + 2 filtros anaeróbios (paralelo)			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração		
Vazão média projeto (l/s)	0,52			69,2			18,7		
População atendida	206			27679			7490		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	503,67	1004,67	305,83	414,42	606,89	267,08	549,08	946,61	146,17
Eficiência de remoção (%)	41,49	50,17	63,46	67,97	72,81	83,86	73,2	70	71,22
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 Concentração no Ceará (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração na U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	289,33	518,6	104,75	127,28	176,68	50,58	157,92	324,52	42,27
Desvio padrão (mg/l)	62,7	246,75	33,8	71,67	113,58	53,44	125,86	332,53	8,21
Coefficiente de variação (CV)	0,22	0,48	0,3	0,56	0,64	1,06	0,8	1,02	0,19
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-3,305	-1,209	0,8352	-0,794	0,52	1,7038	-0,879	-0,158	3,24
Confiabilidade no Ceará	NC	11,31%	79,67%	21,48%	69,85%	95,54%	18,94%	44,00%	100,00%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	-0,605	0,8064	1,3968	1,011	1,6809	2,0421	0,6914	0,8091	3,935
Confiabilidade Média no Brasil	27,09%	79,10%	91,92%	84,38%	95,35%	97,93%	75,49%	78,81%	99,99%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-5,2682	-1,9596	0,8351	-2,1071	-0,1403	1,7037	-2,0208	-0,7185	3,2452
Confiabilidade Legislação Européia	NC	2,50%	79,67%	1,79%	44,43%	95,54%	2,17%	23,58%	100,00%

Fonte: Autor (2014).

#### 4.3.1.4 Análise de confiabilidade atual das estações em 2011 – Logística 01.

Com base nas simulações e análises efetuadas, considerando as condições operacionais reais, nas Tabelas 16 e nos Anexos I, são produzidos alguns entendimentos inerentes à quantificação dos índices de confiabilidade (CDC), para as diversas legislações e restrições adotadas, bem como os cálculos das concentrações de projeto e operação, alinhadas a tais condições de restrição das ETEs. Pela observação descrita, em função das Tabelas mencionadas, ficou entendido que:

. Em termos gerais, a ETE Itaperi (Tabela 36 - Anexo I), apresentou os piores resultados com relação à DBO, à DQO e aos SST, com índices de confiabilidade de 0,1021, 0,3155, 0,8581, respectivamente, considerando a legislação cearense. Já, para as legislações européia e brasileira, foram obtidos os seguintes valores: 0,0374, 0,1965, 0,8581 e 0,4062, 0,7139, 1,1695, sequencialmente. Estes resultados podem ser explicados pelas condições de restrição impostas por cada legislação, sendo que a norma européia é a mais exigente, e, por conta disto, mostra seus valores de CDC inferiores às demais normas. Porém, deve-se levar em consideração que o clima brasileiro, principalmente o cearense, descrito na revisão bibliográfica, se mostra bastante efetivo no suporte e na produtividade do tratamento de esgotos. Por conta disto, é que os padrões exigidos aqui, são menos restritivos, mas não alheios à segurança dos corpos hídricos e à proteção do meio ambiente, na medida do possível;

. Os resultados influenciaram nos cálculos das concentrações de projeto e operações reais, onde, quanto mais próximo de 1 (um) for o coeficiente de confiabilidade, mais próximos serão os valores de projeto e operação, o que permite estruturar um cenário ideal para se projetar uma estação, ou seja, possibilita uma boa combinação de previsão e resultados, alinhando eficiência e economia. Por outro lado, se o CDC obtido for muito inferior a 1 (um), ter-se-á uma situação preocupante, pois a concentração de operação será muito superior à projetada, e, conseqüentemente, a ETE falhará em grande parte do tempo de operação. Caso o CDC seja superior a um, se configurará uma situação de conforto, porém a ETE se mostrará superdimensionada. Logo, o controle operacional deverá ser direcionado a um cenário otimizado, ou seja, tentar aproximar o máximo possível a situação de projeto e operação, com CDC tendendo a 1 (um);

. A ETE Itaperi, considerando a norma cearense, apresentou um CDC (DBO) de 0,1021, próximo de zero, o que configura um péssimo cenário, já que a concentração de projeto equivalente foi de 6.1mg/L e a de operação tendeu a 634mg/L. Tal resultado significou que, com a situação atual de confiabilidade desta estação, se projetarmos esta unidade para a concentração de projeto obtida (6.1mg/L), ter-se-á um erro de cálculo de 99%, no mínimo. Já para os SST, foi obtido um CDC de 0,8581, próximo de 1 (um), o que significa um bom resultado. Assim, as concentrações de projeto e operação ficaram em 128,7mg/L e 174,8mg/L, respectivamente. Diante destas constatações, o erro quantificado foi de apenas 26.4%. Com isto, pode-se provar que, para se projetar uma estação é necessário conhecer o comportamento operacional de uma ETE similar, pois os erros de projeto serão drasticamente minimizados;

. Com relação aos parâmetros de DBO e DQO, se destacou a ETE Pajuçara (Tabela 34 - Anexo I), onde, para os padrões brasileiros, tal estação apresentou folga operacional, ou seja, as concentrações de projeto foram superiores às concentrações de operação. Como exemplo, para a DBO, para a legislação do Ceará, a concentração de projeto foi de 83,7mg/L e a de operação foi de 43mg/L. Esta situação configura 100% de acerto no projeto, e mesmo indicando um superdimensionamento, oferece folga compatível com incertezas que possam advir de crescimento populacional, sazonalidades e aumentos eventuais nas cargas afluentes. Para a legislação européia, como o CDC foi de 0,6225, a concentração de projeto atingiu 15,5mg/L e a de operação de 40mg/L, com erro de cálculo de 61,25%. Porém, não se configura uma situação de inexecuibilidade operacional, para esta estação, pois, em 39% do tempo de operação, a ETE Pajuçara opera dentro dos padrões europeus;

. A ETE Pajuçara mostrou um índice de confiabilidade para DQO de 3,1575, inerente à legislação cearense, com concentrações de projeto e operação de 631,5mg/L e 63,3mg/L, respectivamente. Tal constatação indica uma superfolga de projeto, que remete a duas situações: a primeira se caracterizando pelo superdimensionamento e a segunda pela revisão da meta de qualidade para a DQO (200mg/L). Com relação aos SST, se destacou a ETE Almirante Tamandaré (Tabela 16 - Anexo I), com índices de confiabilidade variando entre 6,3926 e 8,5739, para as legislações consideradas.

Tabela 16 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 01 em 2011.

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Nova Vida			Alm. Tamandaré			Peq. Mondubim		
Processo de Tratamento	Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração			Sistema Decanto - 2 decanto digestores (paralelo) + 2 filtros anaeróbios (paralelo)			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	503,67	1004,67	305,83	414,42	606,89	267,08	549,08	946,61	146,17
Conc. Média Efluente (mg/l)	289,33	518,6	104,75	127,28	176,68	50,58	157,92	324,52	42,27
Eficiência de remoção (%)	41,49	50,17	63,46	67,97	72,81	83,86	73,2	70	71,22
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-3,305	-1,209	0,8352	-0,794	0,52	1,7038	-0,879	-0,158	3,24
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	-0,605	0,8064	1,3968	1,011	1,6809	2,0421	0,6914	0,8091	3,935
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-5,2682	-1,9596	0,8351	-2,1071	-0,1403	1,7037	-2,0208	-0,7185	3,2452
CDC (Ceará)	0,4991	0,6396	1,3341	0,757	1,6176	6,3926	0,6901	1,25	1,8736
CDC (Brasil)	0,8977	1,1537	1,5732	1,9434	3,1788	8,5739	2,0826	2,8287	2,1356
CDC (EU)	0,3257	0,4545	1,3341	0,3813	1,0935	6,3926	0,3098	0,7786	1,8736
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	29,9	127,8	201,1	45,4	323,5	958,9	41,4	250	281
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	120,2	312,7	112,4	79,2	123,6	23,4	86,9	160	80
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	179,6	519,2	314,6	388,7	1430,5	1714	416,5	1272,9	427
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	222,8	390	127	102,9	141,6	23	96	159	93,6
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	8,14	56,8	201,1	9,53	136,7	958,9	7,72	97,3	281
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	76,5	275	112,4	65,5	114,3	23,4	89,9	160,5	80

Fonte: Autor (2014).

#### ***4.3.2. Análise de confiabilidade das estações em 2011 – Logística 02.***

Na Tabelas 17 e nos Anexos J, são apresentados os resultados da quantificação induzida do coeficiente de confiabilidade operacional “CDC” de acordo com o coeficiente de variação e a preconização da probabilidade de não excedência de 90%, para as ETEs analisadas em 2011, 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, e a determinação das concentrações de projeto e operação induzidas.

As ETEs foram adequadas sequencialmente nas tabelas, considerando as similaridades entre os processos.

De acordo com o que foi observado, podemos citar os seguintes entendimentos:

. Diferentemente das análises e investigações anteriores, estas simulações foram fundamentadas na preconização dos resultados, ou seja, foi suposto um nível de confiabilidade operacional (90%), e a partir daí, foram quantificados os índices de confiabilidade;

. Foi verificado que, com a fixação do nível de confiabilidade, a variável que mais influenciou na quantificação do CDC foi o coeficiente de variação ou variabilidade amostral. Vale ressaltar que, pequenos valores de Coeficientes de Variação e, conseqüentemente, altos valores de CDC, não implicam em bons desempenhos, mas apenas em uma condição de maior estabilidade operacional.

. Pequenos valores de coeficientes de confiabilidade implicam em menores valores de concentrações efluentes de projeto necessárias para o cumprimento de padrões de lançamento. Como exemplo deste entendimento, tem-se o caso da ETE SIDI (Tabela 54 - Anexo J), que apresentou os maiores índices de confiabilidade operacional, com CDCs de 0,8845, 0,9627 e 0,8172, para a DBO, a DQO e os SST, respectivamente, com relação ao nível de confiabilidade induzido de 90%. No entanto, tal estação não obteve o mesmo desempenho para uma situação real, onde a confiabilidade foi quantificada em função das diversas variáveis em questão.

. Pode-se provar que o coeficiente de variação é preponderante, quando se induz um nível de confiabilidade, onde, para a ETE SIDI, as variabilidades obtidas foram 0,1, 0,03 e 0,17, para a DBO, a DQO e os SST, o que explica a obtenção de elevados valores de coeficientes de confiabilidade.

. Esse entendimento influencia também na quantificação das concentrações de projeto e operação, onde, por exemplo, tomando a legislação cearense e a estação SIDI (Tabela 54 - Anexo J), para a DBO, as concentrações de projeto e operação foram, em termos respectivos, de 53,07mg/L e 67,83mg/L, o que indicaria um erro de apenas 21,8%, com relação ao projeto, isto para uma estação que não obteve um bom desempenho (DBO – 68,8%, DQO – 40,15% e SST – 79,5%), em termos de eficiência operacional.

. A técnica de controle operacional, utilizando eficiência, estabilidade e confiabilidade, funciona com a composição integral dos dados e também através de suas ponderações, que se tornam mais evidentes quando fixam algumas das variáveis integrantes.

. A ETE Itaperi (Tabela 47 - Anexo J), com relação à técnica de preconização do nível de confiabilidade desejado, apresentou os menores valores de índices de confiabilidade, com 0,5144 para a DBO, 0,4846 para a DQO e 0,4632 para SST. Tal comportamento evidencia a influência do coeficiente de variação nesta técnica, ou seja, especificamente, para esta estação, as eficiências operacionais foram baixas (DBO – 48,18%, DQO – 55,01% e SST – 53,32%) e as variabilidades foram elevadas (DBO – 0,83, DQO – 1,02 e SST – 1,24), o que culminou em um resultado negativo inerente a esta unidade de tratamento.

. Outra constatação foi relativa à questão da ponderação, ou seja, mesmo uma ETE mostrando um bom comportamento operacional, deve apresentar um alinhamento dos dados, em que a variabilidade seja controlada.

. Um exemplo deste entendimento pode ser visto na estação Pajuçara (Tabela 45 - Anexo J). Tal unidade de tratamento apresentou, para esta técnica, os CDCs (DBO – 0,5184, DQO – 0,4798 e SST – 0,6474), que certamente, foram influenciados pelos

coeficientes de variação (DBO – 0,81, DQO – 1,06 e SST – 0,42), que têm grande importância para o procedimento de estimativa de dados. Vale ressaltar também que, os resultados poderiam ser ainda piores, mas como a ETE Pajuçara (Tabela 45- Anexo J) obteve bom comportamento, com eficiências operacionais (DBO – 87,03%, DQO – 88,34% e SST – 87,32%), tais resultados esperados foram amortecidos;

. As legislações também influenciam na quantificação dos índices de confiabilidade, indiretamente, pois, diretamente, seus padrões de restrição foram aplicados no cálculo da variável normal padronizada ou número de desvios-padrão ( $z_{1-\alpha}$ ), que, segundo a metodologia descrita anteriormente, atua no cálculo do coeficiente de confiabilidade. Assim, quanto mais restrita a norma, mais baixos deverão ser os valores dos índices de confiabilidade.

Tabela 17 – Estimativa nas simulações de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 01 (2011).

<b>DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011</b>									
<b>ETEs</b>	<b>Nova Vida</b>			<b>Alm. Tamandaré</b>			<b>Peq. Mondubim</b>		
<b>Processo de Tratamento</b>	<b>Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração</b>			<b>Sistema Decanto - 2 decanto digestores (paralelo) + 2 filtros anaeróbios (paralelo)</b>			<b>Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração</b>		
<b>Parâmetros</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>
<b>Conc. Média Afluente (mg/l)</b>	503,67	1004,67	305,83	414,42	606,89	267,08	549,08	946,61	146,17
<b>Eficiência de remoção (%)</b>	41,49	50,17	63,46	67,97	72,81	83,86	73,2	70	71,22
<b>DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC</b>									
<b>Parâmetros</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>
<b>Conc. Média Efluente (mg/l)</b>	289,33	518,6	104,75	127,28	176,68	50,58	157,92	324,52	42,27
<b>Desvio padrão (mg/l)</b>	62,7	246,75	33,8	71,67	113,58	53,44	125,86	332,53	8,21
<b>Coefficiente de variação (CV)</b>	0,22	0,48	0,3	0,56	0,64	1,06	0,8	1,02	0,19
<b>1-<math>\alpha</math></b>	90	90	90	90	90	90	90	90	90
<b><math>\alpha</math></b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Z</b>	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28
<b>CDC</b>	0,7752	0,6192	0,717	0,5873	0,5608	0,4798	0,5205	0,4846	0,7998
<b>Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)</b>	46,51	123,86	107,55	35,24	112,16	71,97	31,23	46,92	119,97
<b>Conc. Operação CEARÁ (mg/L)</b>	77,4	322,94	209,2	102,15	356,61	312,59	115,27	412,68	187,53
<b>Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)</b>	155,03	278,68	143,4	117,47	252,37	95,97	104,1	218,08	159,97
<b>Conc. Operação BRASIL (mg/L)</b>	258	726,63	258	340,5	802,37	340,5	384,23	928,53	384,23
<b>Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)</b>	19,37	77,41	107,51	14,68	70,1	71,97	13,01	60,57	119,97
<b>Conc. Operação EUROPA (mg/L)</b>	32,25	201,84	209,2	42,56	222,88	312,58	48,02	257,92	187,53

Fonte: Autor (2014).



#### **4.4 Análise e discussão dos valores de CDC em função dos coeficientes de variação considerando diferentes níveis de confiabilidades**

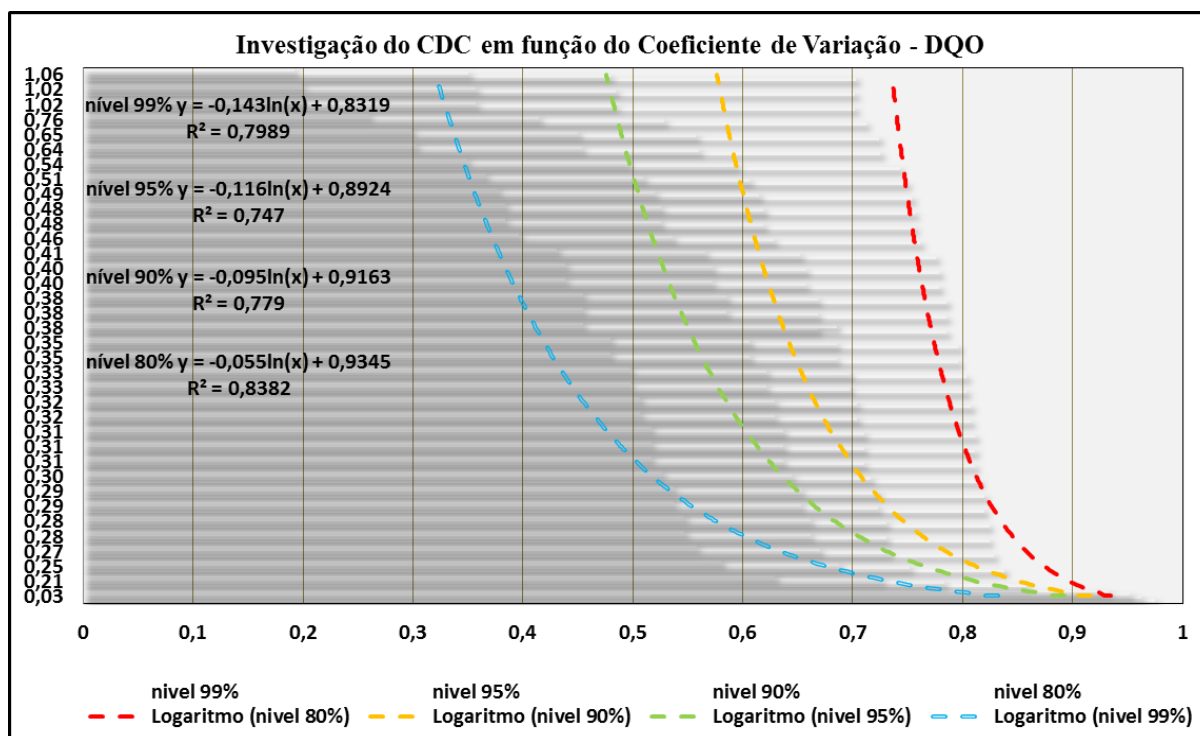
Nas Figuras 53, 54 e 55 são apresentados os resultados plotados em gráficos, que relacionaram os coeficientes de variação ou variabilidade amostral aos coeficientes de confiabilidades quantificados, tendo como base a legislação cearense. Também foram realizadas análises de regressão nas curvas explicitadas, determinando especificamente as suas respectivas equações, que foram resultantes das análises de confiabilidade, para os parâmetros DQO, DBO e SST. Tais equações possibilitaram correlacionar as variáveis descritas em questão, ou seja, promoveram um alinhamento equacionado na determinação do coeficiente de confiabilidade (CDC) em função do coeficiente de variação (CV), pelas análises de regressão.

Em função dos dados obtidos das análises de Demanda Química de Oxigênio (Figura 53), foi entendido que, o comportamento das curvas se altera, à medida que se elevam os graus de confiabilidade desejados. Cabe enfatizar que, para um mesmo nível de confiança, quanto menores forem os coeficientes de variação, mais elevados serão os valores de CDC. Como exemplo, para um nível de confiança de 90% (Figura 53) foi obtido um CDC igual a 0,80, segundo um coeficiente de variação de 0,27, aproximadamente. Logo, seria necessário que uma ETE operasse com um coeficiente de variação médio de 0,27, no máximo, para atender ao referido coeficiente de confiabilidade (CDC). Já, para um nível de confiabilidade de 80%, seria necessário um coeficiente de variação de 0,31, para a obtenção de um CDC de 0,80. Tal observação tem como objetivo mostrar que, quando se escolhe um nível mais baixo de confiabilidade (80%), também são abrandadas as condições operacionais, ou seja, o rigor no controle da variabilidade diminui, o que permite que a ETE venha a operar com o CV superior, se comparado com níveis mais altos de confiabilidade.

Tomando como exemplo, para um CV de 0,76, o maior valor do CDC permitido seria de 0,33 (Figura 55), para um nível de confiança de 99%. Se o nível de confiança estimado fosse de 80%, então, o coeficiente de confiabilidade seria de 0,74, reforçando, assim, a ideia da diferença no rigor de controle operacional entre os diferentes níveis de confiabilidade, ou seja, para um mesmo coeficiente de variação, quanto maior for o nível de confiança, menores serão os valores de CDC e mais rigoroso será o controle operacional. Adotar como padrão, o maior nível (99%), significa permitir que apenas 1% das concentrações possa exceder à concentração exigida por lei. Já, para um nível de confiabilidade de 80%, os valores de CDC seriam mais altos, pois cerca de 20% das

concentrações excederiam as concentrações padrões exigidas. Com isto, para um nível de 80%, o controle operacional tornaria-se menos rigoroso, já que permitiria que 20% dos resultados superassem os patamares deliberados.

Figura 53 – Análise de CDC em função do coeficiente de variação para a DQO.



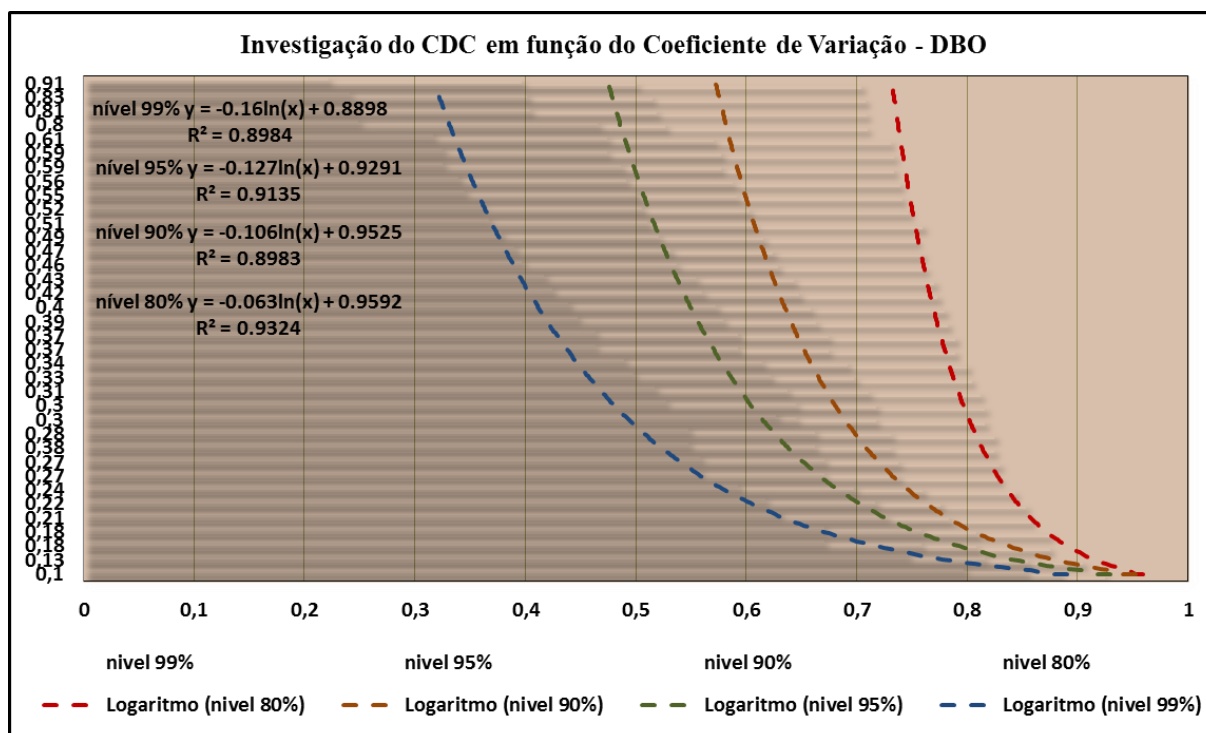
Fonte: Autor, (2014).

Nas análises relativas à Demanda Bioquímica de Oxigênio (Figura 54), para o nível de confiança de 99% e um CV de 0,91, foi obtido um CDC de 0,33. Se for tomado um nível de 80%, tal CDC será bem superior, de 0,74. Assim, pode-se concluir que o coeficiente de variação ou variabilidade amostral consta ser uma variável influente na quantificação do coeficiente de confiabilidade.

Para cada curva de confiabilidade foi determinada uma equação específica. Em cada uma das tendências de confiabilidade, foi obtido um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). Assim, dentre os resultados obtidos, a curva do nível 80% foi a que melhor se comportou frente à análise de regressão, com R<sup>2</sup> igual a 0,9324 (Figura 54). Pode-se dizer então que 93,24% das variâncias dos resultados explicaram que a curva de 80% se alinha a um controle operacional menos rigoroso, e, portanto, com índices de confiabilidades maiores. Com isto, 6,76% das variâncias dos resultados dependem de outras variáveis, não estudadas aqui. Este resultado refletiu que, a variação entre os níveis de confiabilidade foi pequena, à medida que

foi abrandado o controle operacional, se tornando extremamente menor quanto menor foi o nível de confiabilidade. Quanto mais próximo de “um” for o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), mais representativa será a análise de regressão executada. Logo, quanto maior o nível de confiabilidade maior será a variação entre os coeficientes de confiabilidade.

Figura 54 – Análise de CDC em função do coeficiente de variação para a DBO.



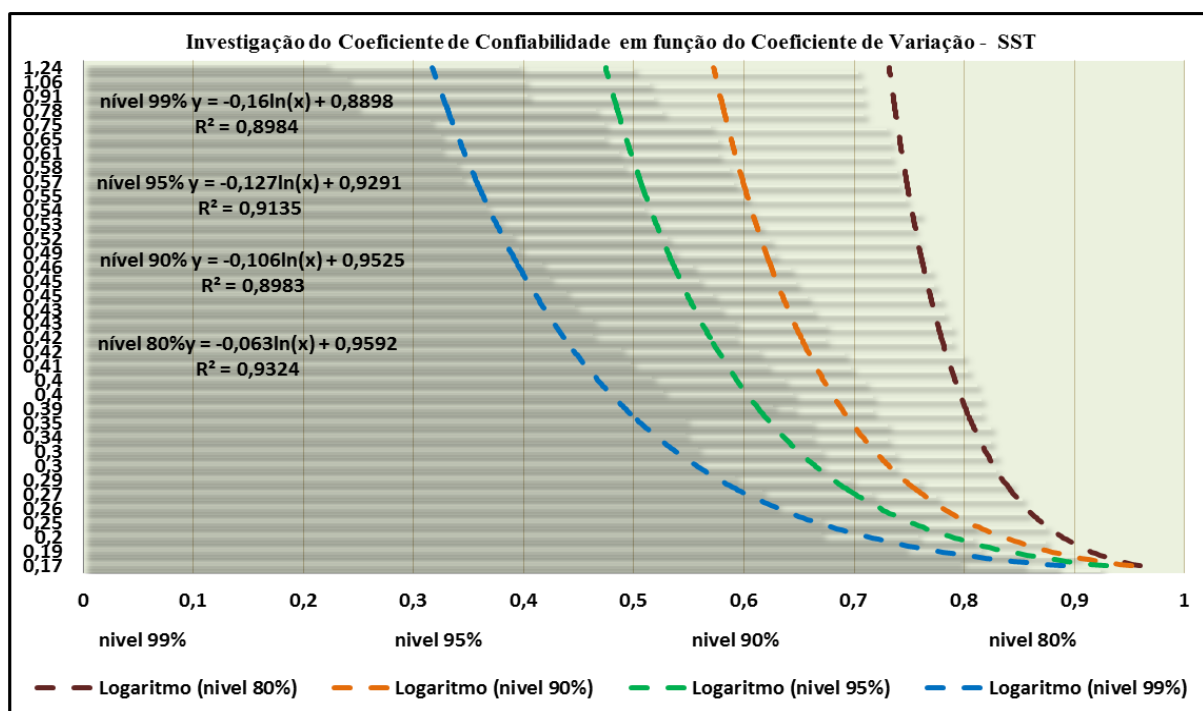
Fonte: Autor, (2014).

Com base nos resultados obtidos nas Figuras 53, 54 e 55, deve-se ressaltar que os baixos valores de CV e, conseqüentemente, altos valores de CDC, não implicam em bons desempenhos, mas apenas numa 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. Foi constatado que a variação do CDC em função do CV é válida para qualquer parâmetro de concentração, dependendo diretamente dos coeficientes de variação (CV) e do número de desvios-padrão ( $Z_{1-\alpha}$ ), bem como indiretamente da concentração efluente e dos valores determinados pelos órgãos ambientais deliberativos e fiscalizadores.

Na Figura 55, pode ser observado que a equação mais distante da origem do eixo das abscissas foi relativa ao nível 80%, mostrando uma variação entre os CDCs de 0,74 (nível inferior) e 0,97 (nível máximo), equivalendo, respectivamente, aos coeficientes de variação de

0,17 e 1,24. Já para o nível de 99%, a variação entre os CDCs foi de 0,33 (nível inferior) e 0,90 (nível superior), correspondendo aos CVs de 0,17 e 1,24. Vale salientar que, à medida que os valores de CDC diminuem a sua sensibilidade, aumenta a influência dos coeficientes de variação. Esta sensibilidade se torna mais evidente quando o CDC é menor ou igual a 0,75.

Figura 55 – Análise de CDC em função do coeficiente de variação para os SST.



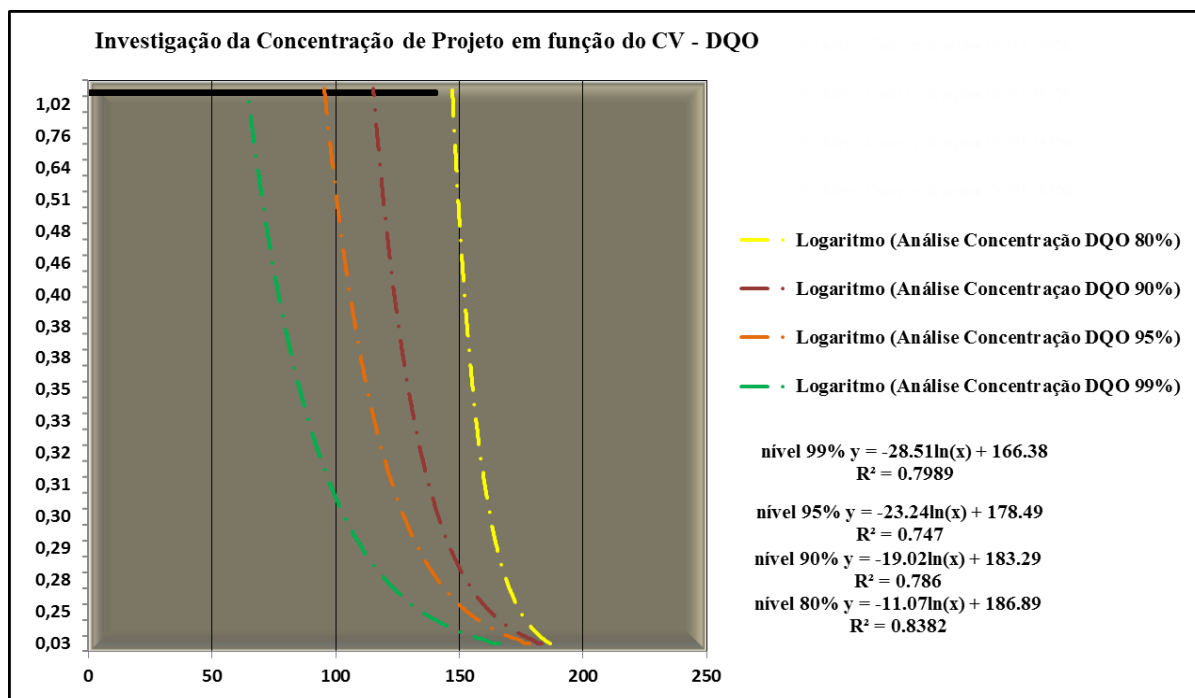
Fonte: Autor, (2014)

#### 4.5 Investigação dos valores de concentração de projeto e operação de DBO, DQO e SST em função dos coeficientes de variação para diferentes níveis de confiabilidade

Nesta etapa do estudo foram efetuadas as investigações de concentração média de projeto e operação que seriam necessárias ao atendimento dos padrões da legislação do Estado do Ceará em faixa real de coeficientes de variação observados para todas as tecnologias. Foi notado que as concentrações de projeto são inversamente proporcionais aos valores dos coeficientes de variação apresentados pelas ETEs, bem como dos coeficientes de confiabilidade; no entanto, em virtude de os dados seguirem uma distribuição lognormal, este comportamento é diferente para menores confiabilidades, como pode ser visto ao observar as Figuras 56 a 59, onde as linhas de tendência diminuem sua inclinação com relação ao eixo y. Foi constatado também que a curva de 80%, a partir de um CV de 0,30 (Figura 56),

apresentou as concentrações se elevando com maior expressão com relação à redução dos coeficientes de variação, onde o acréscimo de concentração chegou a 100% com relação à variação entre os CVs 0,35 e 1,02 (Figura 56).

Figura 56 – Investigação da Concentração de Projeto em função do CV para a DQO.



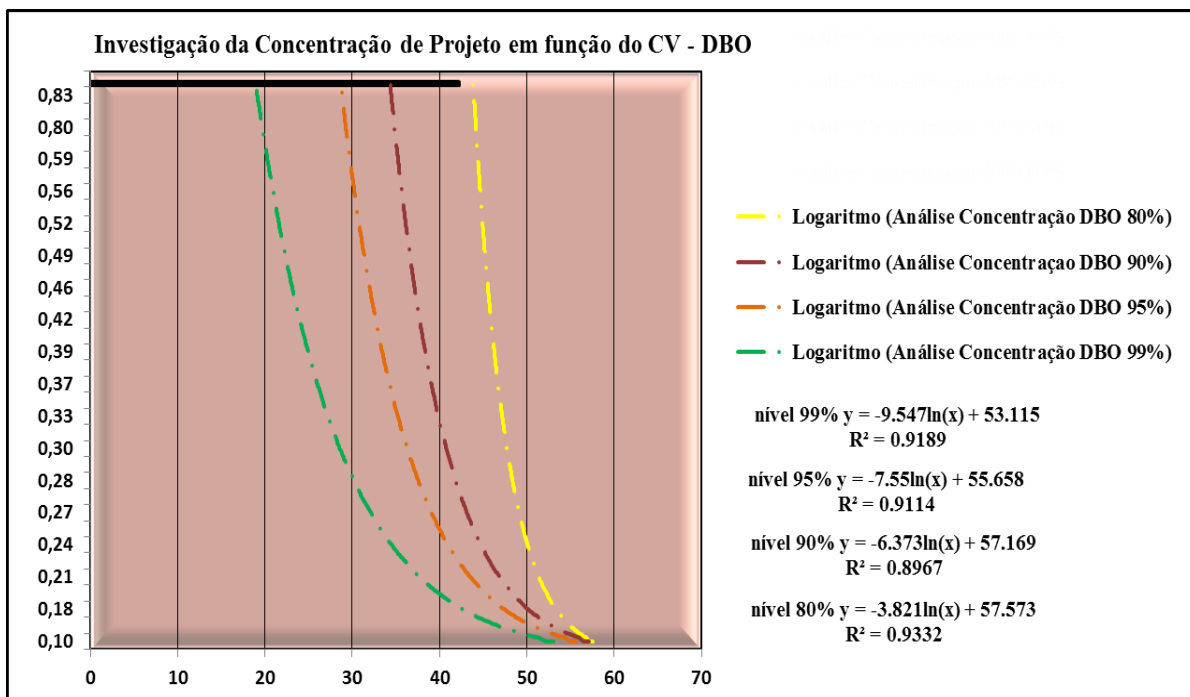
Fonte: Autor, (2014).

Ao observar a figura 57, foi observado que, em média, os coeficientes de determinação  $R^2$  foram maiores. Tal verificação pode ter sido devido a uma menor variabilidade dos dados, quando comparados às investigações de DQO e SST, onde, na pior situação (nível 99%), 91,9% da variância dos dados pode explicar o comportamento observado.

A variação dos CVs ficou entre 0,1 e 0,83, para DBO, enquanto que para a DQO ficou entre 0,03 e 1,02, e para os SST, a variação se enquadrou entre 0,17 e 1,06. Assim, a variação dos dados de DBO ficou 22,5% inferior às demais oscilações de variabilidade, refletindo em maiores coeficientes de determinação.

Para pequenos coeficientes de variação, foi observado que a influência dos níveis de confiabilidade diminuiu, ou seja, embora, tenha-se 20% de diferença entre os níveis adotados, tal valor não compensa a imposição do CV, considerado em questão.

Figura 57 – Investigação da Concentração de Projeto em função do CV para a DBO.



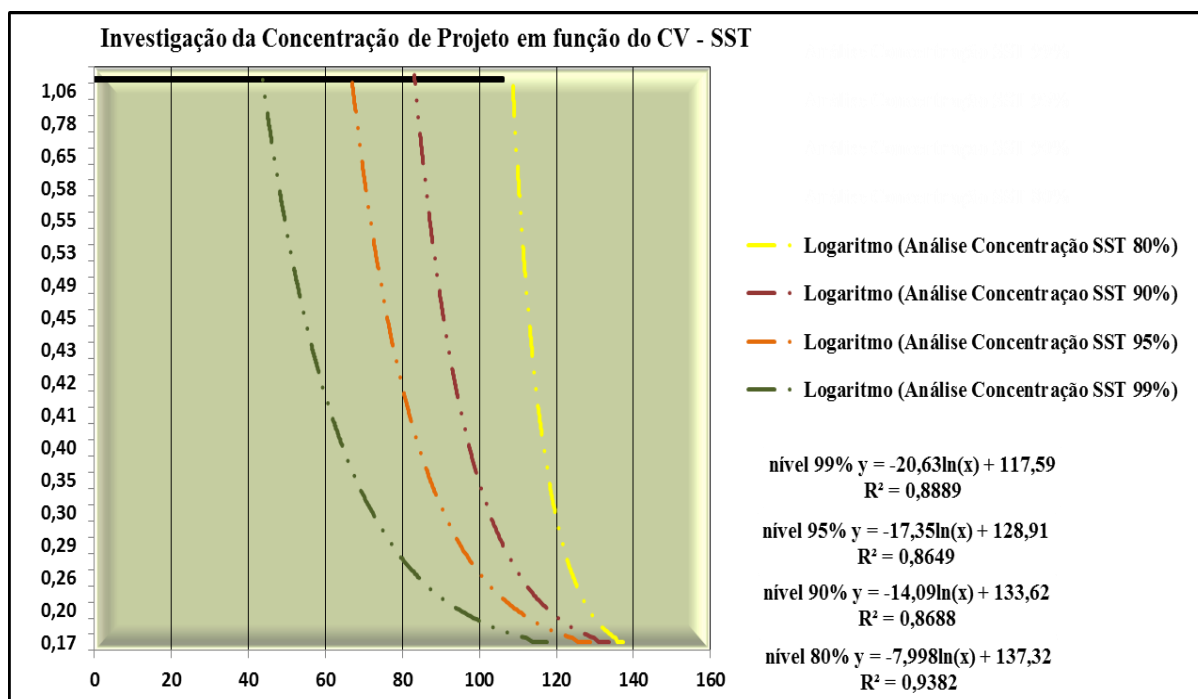
Fonte: Autor, (2014).

Com base na Figura 58, foram tomados, como exemplo, os CVs iguais a 0,17 e 1,06. Para garantir que 95% dos resultados correspondessem ao padrão de lançamento de 150 mg/L, para SST, seria necessário projetar uma ETE, cuja concentração efluente média fosse 130 mg/L (Figura 58), caso ela apresentasse um CV médio de 0,7; no entanto, caso o CV fosse de 1,06 (com maiores desvios-padrão) esta seria menor, chegando ao valor de 68 mg/L.

Logo, foi entendido que, para um mesmo nível de confiança, à medida que o coeficiente de variação diminui, devem ser tomadas concentrações de projetos maiores, a fim de se obedecer a um determinado coeficiente de variação, ou seja, ao alcançar concentrações maiores, a probabilidade de superação a este valor quanto ao atendimento normativo, será menor, pois os valores de CV serão mais baixos.

Já quando se tomam valores de concentrações menores, a tendência é que a variação aumente.

Figura 58 – Investigação da Concentração de Projeto em função do CV para os SST.



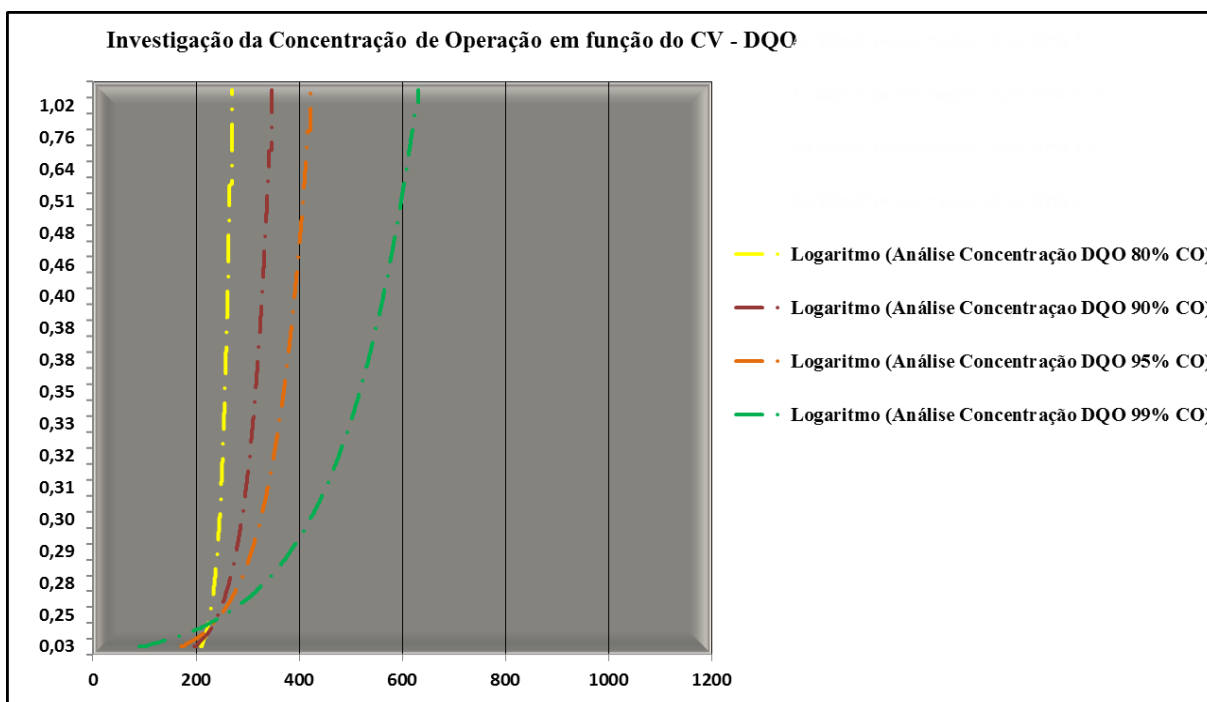
Fonte: Autor, (2014).

De acordo com as Figuras 59, 60 e 61, referentes à análise da concentração de operação das ETEs, foi constatado que, quanto maior for o nível de confiança, maior será a diferença entre as concentrações de projeto e concentrações de operação. As concentrações de operação, quando o CDC (coeficiente de confiabilidade) for inferior a “um”, normalmente são superiores às concentrações de projeto e vice-versa. Isto ocorre porque a determinação das concentrações depende do valor estipulado pela fiscalização, que varia entre os estados brasileiros, e os valores de CDC. Como a concentração de projeto é proporcional ao CDC e o valor determinado pela fiscalização, quanto maior forem o CDC e a exigência legal, maior será a estimativa da concentração de projeto. Com relação à concentração de operação, o CDC é inversamente proporcional. Outra verificação se deu quando o coeficiente de confiabilidade se aproximou de “um”, onde as concentrações de projeto e operação tenderam a ser iguais, pois elas se aproximaram cada vez mais do valor que é deliberado pelos órgãos fiscalizadores.

Na Figura 59, foi constatado que, para o nível de 99% e coeficiente de variação de 1,02, de acordo com a linha de tendência logarítmica calculada, a concentração de operação máxima em que a estação estaria submetida seria maior que 600mg/L. Tal concentração de operação garantiria que somente 1% desses valores deixasse de atender o exigido (200mg/L). Porém, segundo o coeficiente de determinação da curva, somente 46,7% das variâncias dos

dados garantiriam tal concentração retirada da curva determinada, ou seja, na determinação das curvas de concentração de operação de DQO, a linha de tendência logarítmica não se mostrou tão conservadora. Também foi percebido que, quanto maiores os valores dos coeficientes de variação, mais elevadas se mostraram as concentrações de operação, devido à relação inversa existente entre estas concentrações e os índices de confiabilidade (CDC).

Figura 59 – Investigação da Concentração de Operação em função do CV para a DQO.

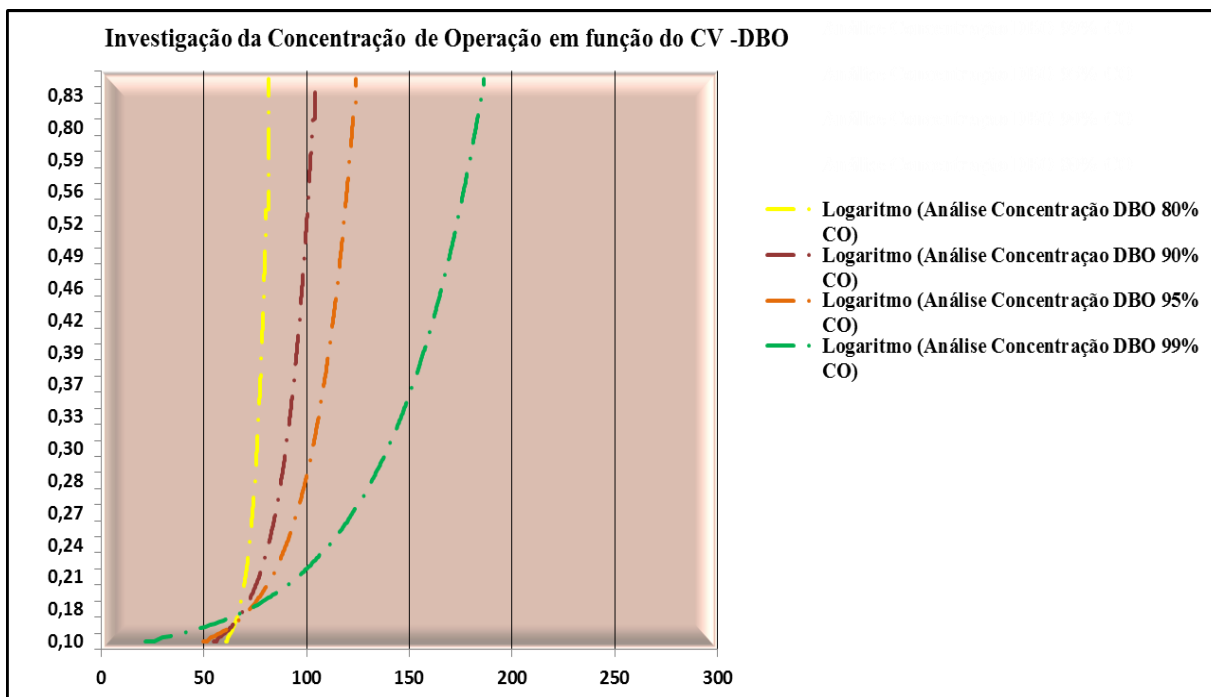


Fonte: Autor, (2014).

Na Figura 60 verificou-se que, os coeficientes de determinação das curvas foram maiores na quantificação das concentrações de operação, para os menores níveis de confiabilidade. Como exemplo, para um coeficiente de variação de 0,42, as concentrações de operação verificadas foram 75mg/L, 100mg/L e 110mg/L, para os níveis de confiabilidade de 80%, 90% e 95%, respectivamente. Já, para o nível 99%, a concentração obtida foi de 165mg/L. Tal constatação confirma que, para níveis de confiança elevados, a variação entre as concentrações de operação em função dos coeficientes de variação é superior quando comparada aos níveis menores.



Figura 60 – Investigação da Concentração de Operação em função do CV para a DBO.



Fonte: Autor, (2014).

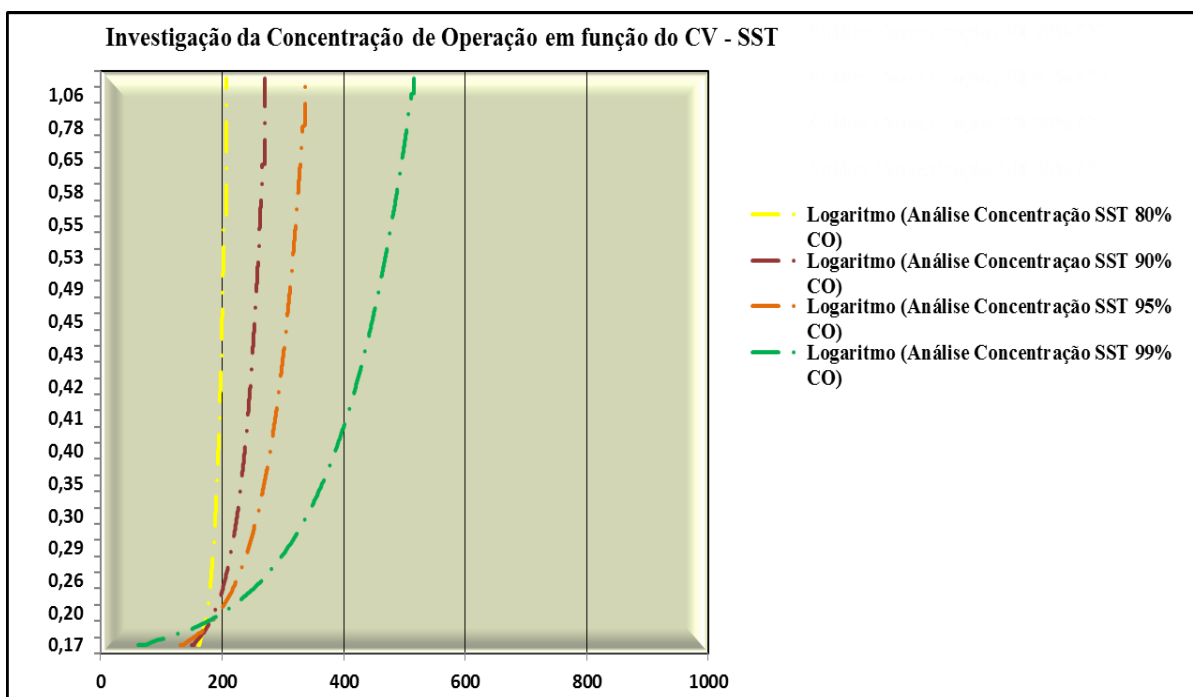
Analisando as Figuras 59, 60 e 61, foi entendido que dois fatores são muito importantes na determinação das curvas das concentrações de projeto e operação, no caso os coeficientes de variação dos dados e as metas deliberadas pelos órgãos ambientais, ou seja, quando a variação entre os CVs foi menor e a restrição de lançamento seguiu esta tendência, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) se mostraram mais elevados, e, portanto, as curvas de concentrações se tornaram mais confiáveis.

Já, quando a variação dos CVs e a restrição dos órgãos ambientais aumentaram, percebe-se uma diminuição da confiabilidade das curvas, pois a capacidade de varredura dos dados diminuiu pelas linhas de tendência logarítmica.

Na Figura 61, analisando o gráfico de investigação dos sólidos suspensos totais, para o nível 99%, considerado o mais crítico e restrito, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,5426. Tal coeficiente indicou que, apenas 54% das variâncias dos dados explicaram esse resultado.

Como exemplo, se tomarmos o coeficiente de variação 0,17, a máxima concentração de operação observada seria de aproximadamente de 90mg/L.

Figura 61 – Investigação da Concentração de Operação em função do CV para os SST.



Fonte: Autor, (2014).

#### 4.6 Investigação da confiabilidade em função dos valores de CDC e dos coeficientes de variação considerando diferentes níveis de confiabilidades

Nesta fase foram executadas investigações de confiabilidade em função dos índices de confiabilidade, através de curvas ou linhas de tendências inerentes aos coeficientes de variação, sendo avaliadas as estimativas de confiabilidade operacional para a Demanda Química de Oxigênio, para a Demanda Bioquímica de Oxigênio e para os Sólidos Suspensos Totais. Também foram testadas as linhas de tendência logarítmicas e “2” por média móvel.

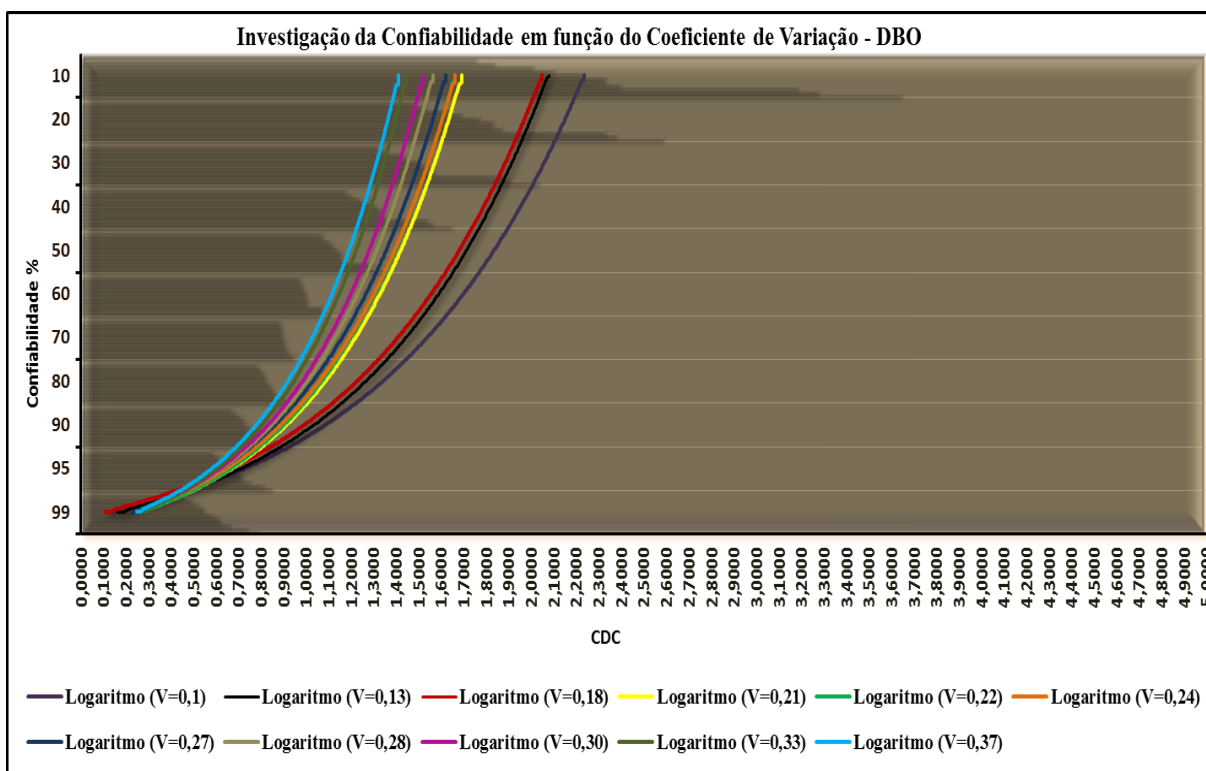
As linhas de tendência do tipo logarítmica são linhas curvas de melhor ajuste, muito úteis quando a taxa de alteração nos dados aumenta ou diminui rapidamente e depois se nivela. Uma linha de tendência logarítmica pode usar valores positivos e negativos.

Uma linha de tendência por média móvel suaviza flutuações em dados para mostrar um padrão ou tendência mais claramente. A técnica da média móvel usa um número específico de pontos de dados (definidos pela opção por períodos), determina a média e usa o valor da média como um ponto da linha de tendência. Aqui, foi tomado o período “2”, onde a média dos primeiros dois pontos de dados foi utilizada como o segundo ponto na linha de tendência e assim por diante.

Nas Figuras 62 e 63, foram executadas as análises dos índices de confiabilidade

de DBO em função das curvas dos coeficientes de variação, relacionando os valores de CDC com os níveis de confiabilidades estimados. Também foram apresentadas as curvas inerentes às linhas de tendências logarítmicas e às linhas por média móvel (período igual a “2”). Para a investigação relativa à linha de tendência logarítmica, foi observado que, para pequenos coeficientes de variação, foram obtidos elevados valores de CDC, mesmo com nível de confiabilidade baixo. Como exemplo, pode-se citar a curva do coeficiente de variação 0,1, em que, para o nível de confiança de 10% (mais brando), apresentou um CDC de 2,25 (Figura 62), enquanto que, para um nível de 99%, para este mesmo CV, apresentou um CDC de 0,2.

Figura 62 – Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (DBO grupo 1).



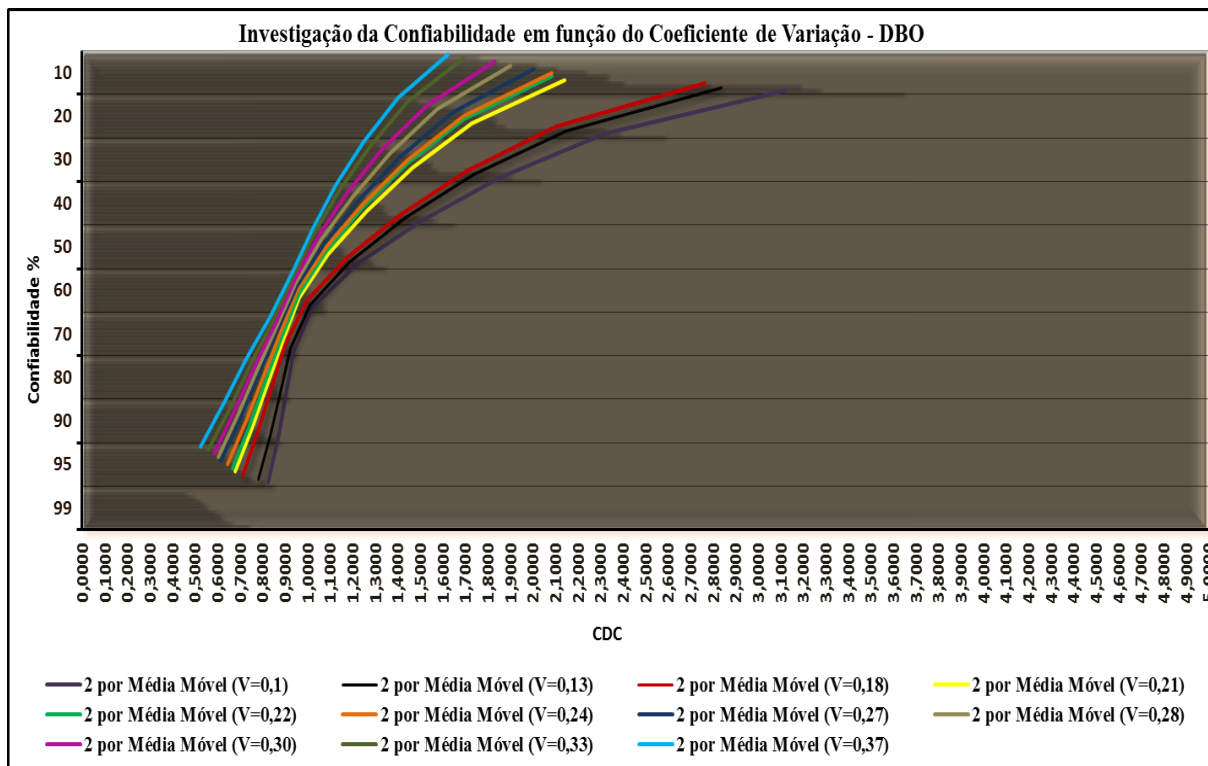
Fonte: Autor, (2014).

Ao analisar a Figura 63, ficou entendido que a técnica da linha de tendência por média móvel mostrou, com maior precisão, a relação entre os dados. Como exemplo (Figura 63), pode-se citar a obtenção do valor de CDC, que foi de 3,15, aproximadamente.

Já, no caso anterior (Figura 62), o CDC foi de apenas 2,25, sendo 39% inferior com relação ao anterior. Essa seria a distância de resultados entre as duas técnicas aplicadas, para a obtenção das linhas de tendência. Esta distância cresce, à medida que a estimativa de confiabilidade diminui, já que existe uma margem maior de aceitação de falhas (90%), para uma confiabilidade de 10%. Caso a estimativa seja maior (70%), a diferença entre as duas

técnicas tende a diminuir, já que a margem de aceitação de falhas diminuiu (30%).

Figura 63 – Análise de CDC em função das linhas de tendência média movel (DBO grupo 1).

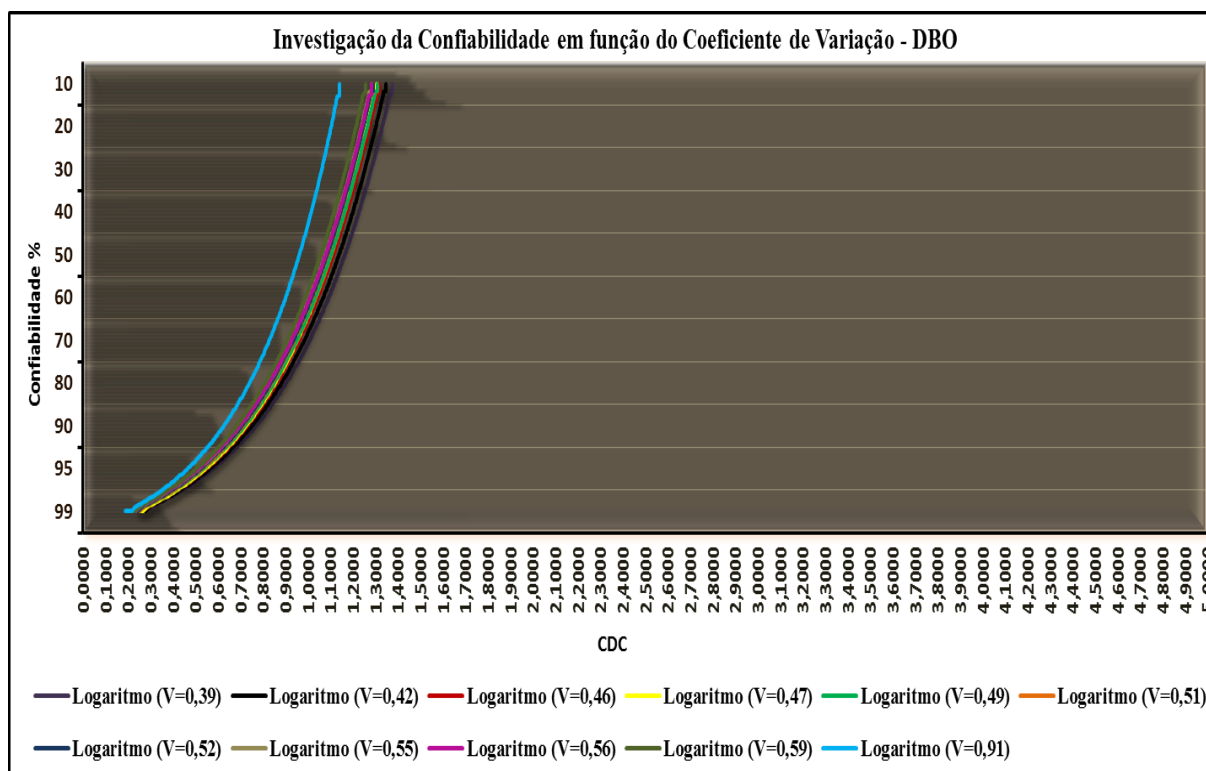


Fonte: Autor, (2014).

Nas Figuras 64 e 65, foram utilizados coeficientes de variação maiores, e diante das simulações executadas, ficou constatado que, à medida que se aumentam os coeficientes de variação (curvas), se diminui a margem de ganho dos índices de confiabilidade, ou seja, cada vez mais, se torna difícil obter bons índices de confiabilidade, com elevados CVs, mesmo tomando estimativas de confiabilidade pequenas.

Como exemplo (Figura 64), tem-se a curva para CV igual a 0,91, em que o maior CDC possível de ser obtido foi o de 1,15, aproximadamente, e isto para uma estimativa de confiabilidade de 10%, onde 90% dos dados ultrapassariam o exigido pela legislação.

Figura 64 – Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (DBO grupo 2).



Fonte: Autor, (2014).

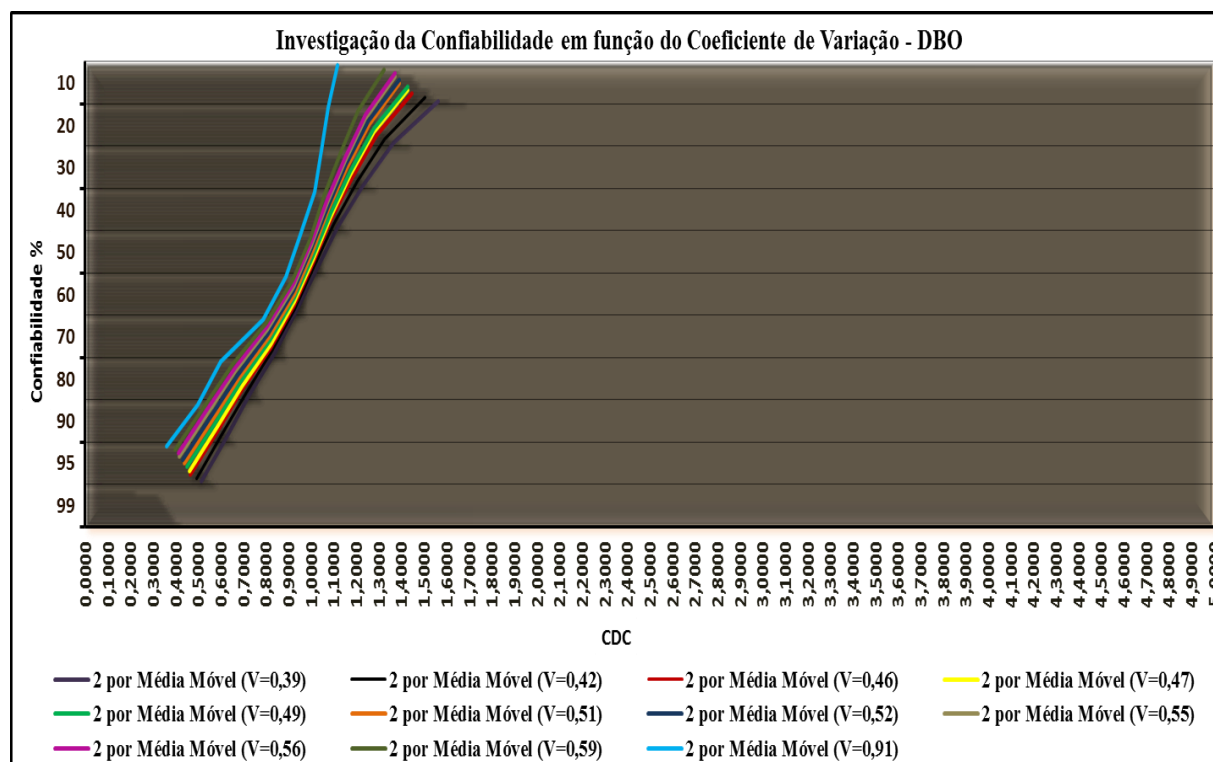
Na figura 65, foi percebido que as linhas de tendência por média móvel se mostraram menos conservadoras, porém muito próximas da técnica das linhas logarítmicas. Se tomando-se um CV igual a 0,91, o CDC máximo obtido foi de 1,15. Já na linha de tendência logarítmica (Figura 64) o CDC chegou a 1,20. Mas, esta constatação funciona apenas para as curvas de elevados coeficientes de variação.

As linhas de tendência traçadas podem ter uma utilidade prática. Como as curvas são obtidas em função dos coeficientes de variação, elas proporcionam relacionar a influência da variabilidade amostral à confiabilidade preconizada e às quantificações dos índices de confiabilidade.

Como exemplo, ao se considerar a curva para um coeficiente de variação de 0,91 (Figura 65), e tomando como estimativa de confiabilidade 10%, se pode quantificar um índice de confiabilidade de aproximadamente 1,2.

Já, para uma confiabilidade de 80%, foi obtido um CDC de 0,6. Com estes valores de CDC, podem ser estimadas também as concentrações de projeto e de operação das ETes, considerando os padrões deliberativos.

Figura 65 – Análise de CDC em função das linhas de tendência média móvel (DBO grupo 2).



Fonte: Autor, (2014).

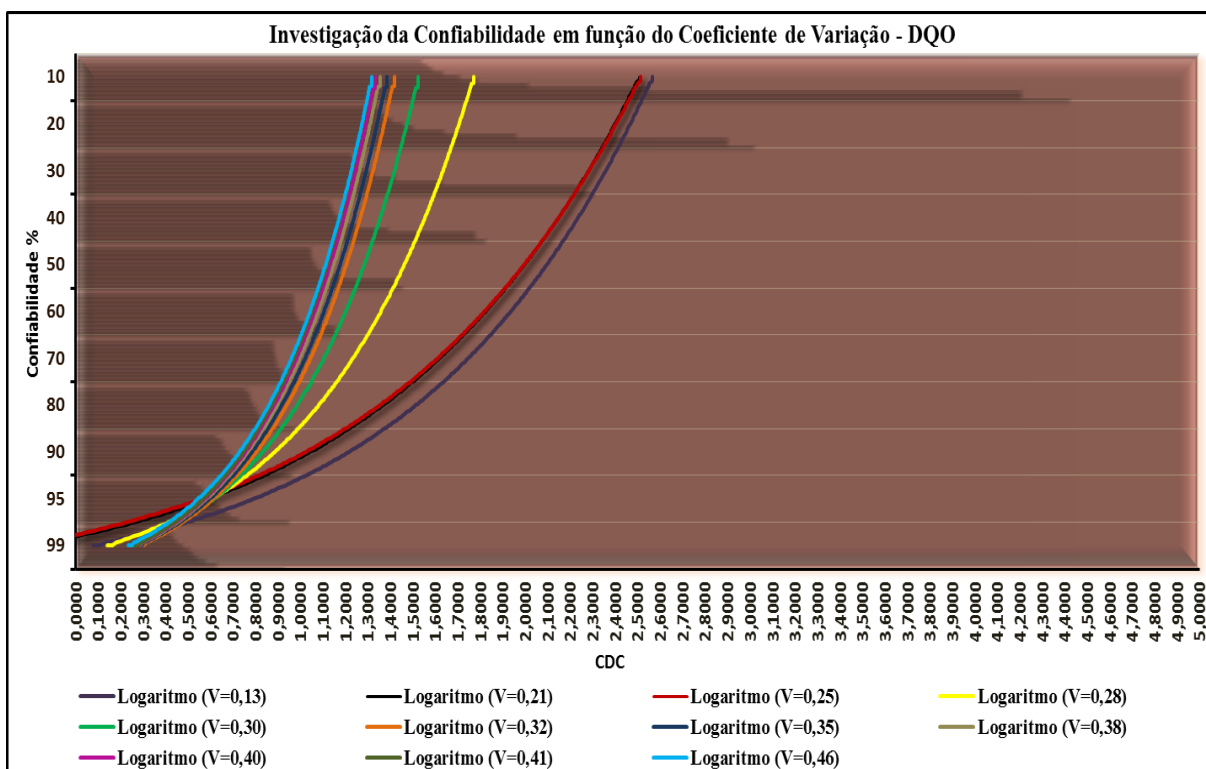
No caso das Figuras 66 e 67, as linhas de tendência do tipo média móvel se mostraram menos conservadoras, só que com maior intensidade, devido à utilização de curvas de pequenos coeficientes de variação.

Como exemplo, tem-se a curva para um CV de 0,25 (Figura 66) com nível de confiabilidade estimado em 10% (90% de aceitação de falhas), onde o máximo CDC obtido foi de 2,5.

Já, na Figura 67, tomando as mesmas condições, o CDC obtido foi de 3,7, ou seja, 48% superior, o que remete a um cenário menos conservador.

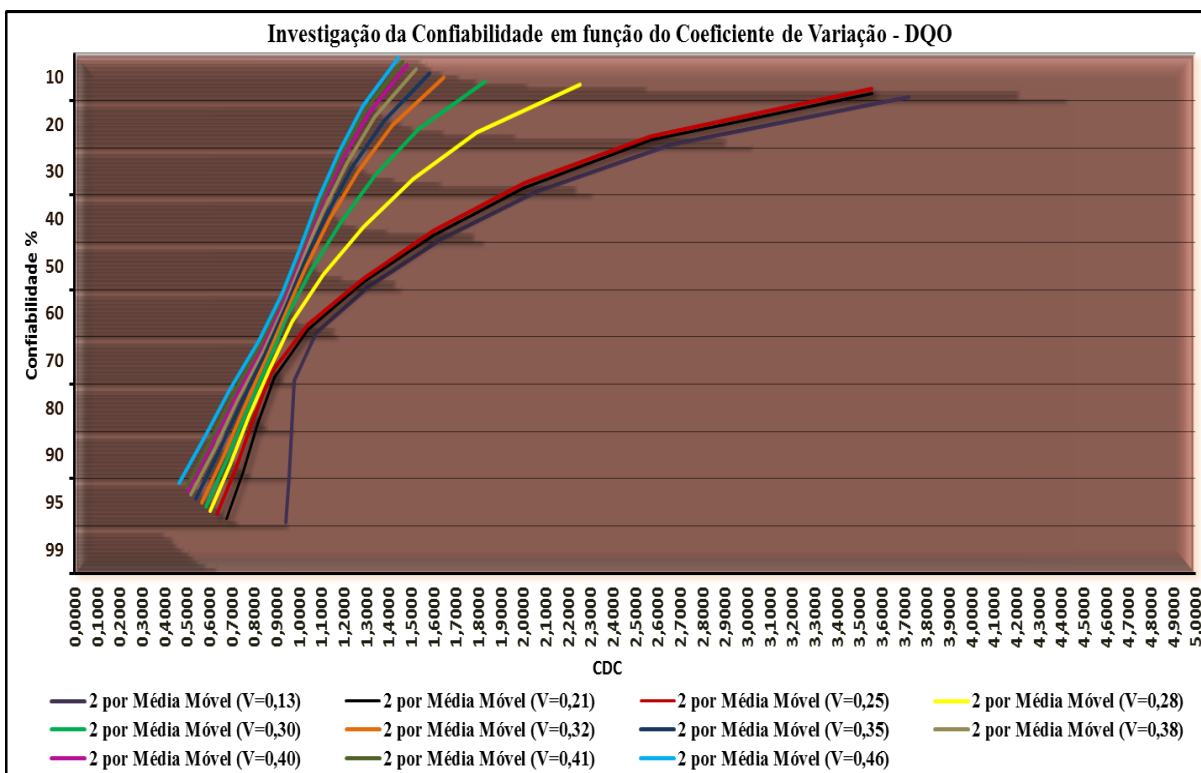
Logo, se, numa determinada hipótese de projeto, estimarmos um CDC para a DQO ter-se-á uma situação mais realista, utilizando média móvel, e mais conservadora (a favor da segurança) se aplicarm-se as linhas de tendências logarítmicas.

Figura 66 – Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (DQO grupo 1).



Fonte: Autor, (2014).

Figura 67 – Análise de CDC em função das linhas de tendência média movel (DQO grupo 1).

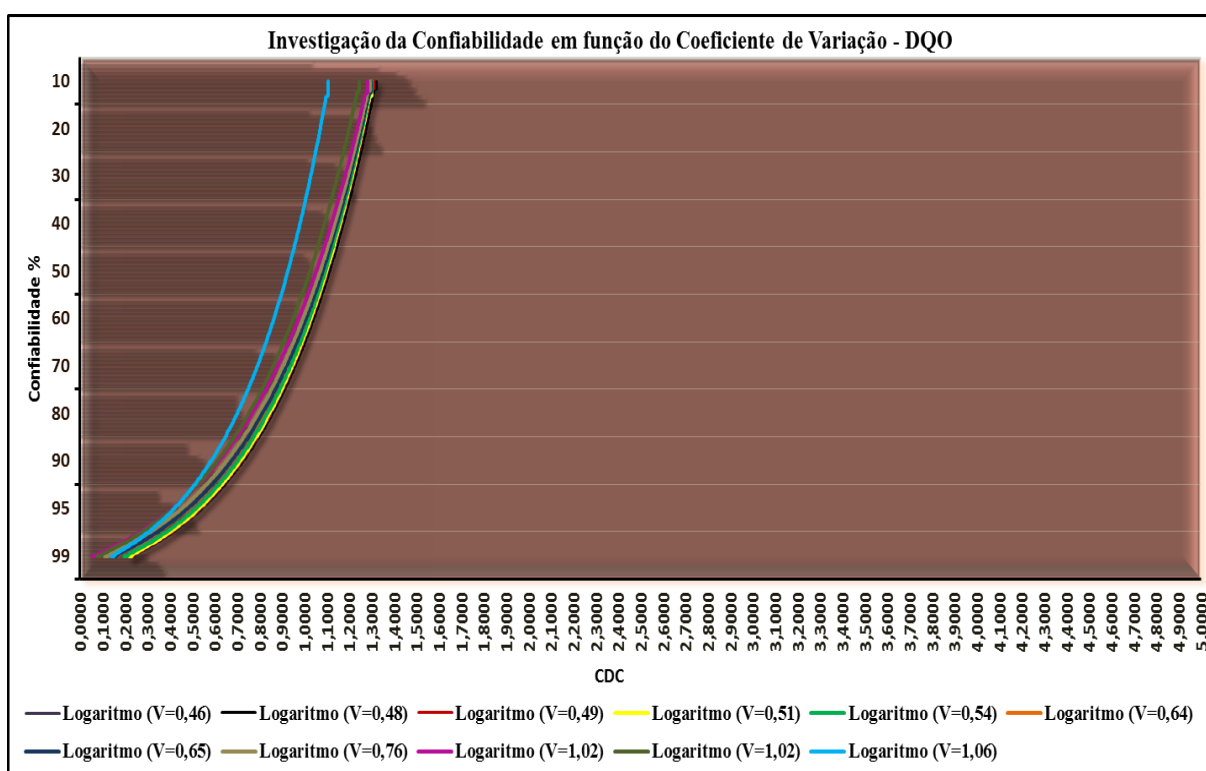


Fonte: Autor, (2014).

Nas Figuras 68 e 69 foi constatado que o menor coeficiente de determinação foi de 0,9035 e o maior de 0,955. Tal comportamento pode ser explicado de acordo com as curvas inerentes aos coeficientes de variação, cujos valores correspondentes foram 0,46 e 1,06, respectivamente. Com isto, conclui-se que, como os coeficientes são relativamente altos, a margem de folga para a obtenção de elevados valores de CDC é bastante pequena, o que remete a um maior ajuste dos dados às curvas. E, ainda se percebe uma boa aproximação entre as técnicas da curva logarítmica e de média móvel.

Os coeficientes de variação demonstraram intensa sensibilidade na quantificação dos índices de confiabilidades. Em alguns momentos, foram equilibrados pelos níveis de confiabilidade estimados, outros não. Constatou-se ainda que, nesta análise, quando o coeficiente de variação se apresentou pequeno, foi exercida uma maior influência na quantificação do CDC, e quando maior, obteve menos peso.

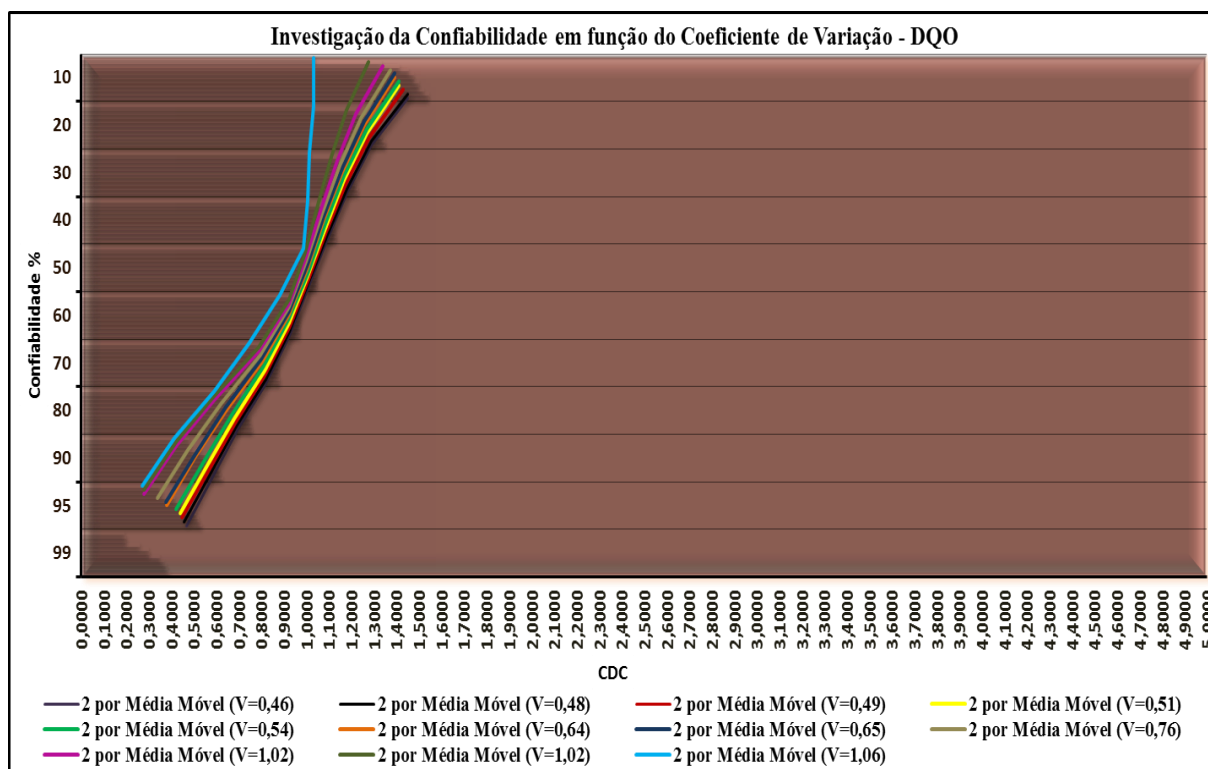
Figura 68 – Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (DQO grupo 2).



Fonte: Autor, (2014).



Figura 69 – Análise de CDC em função das linhas de tendência média movel (DQO grupo 2).

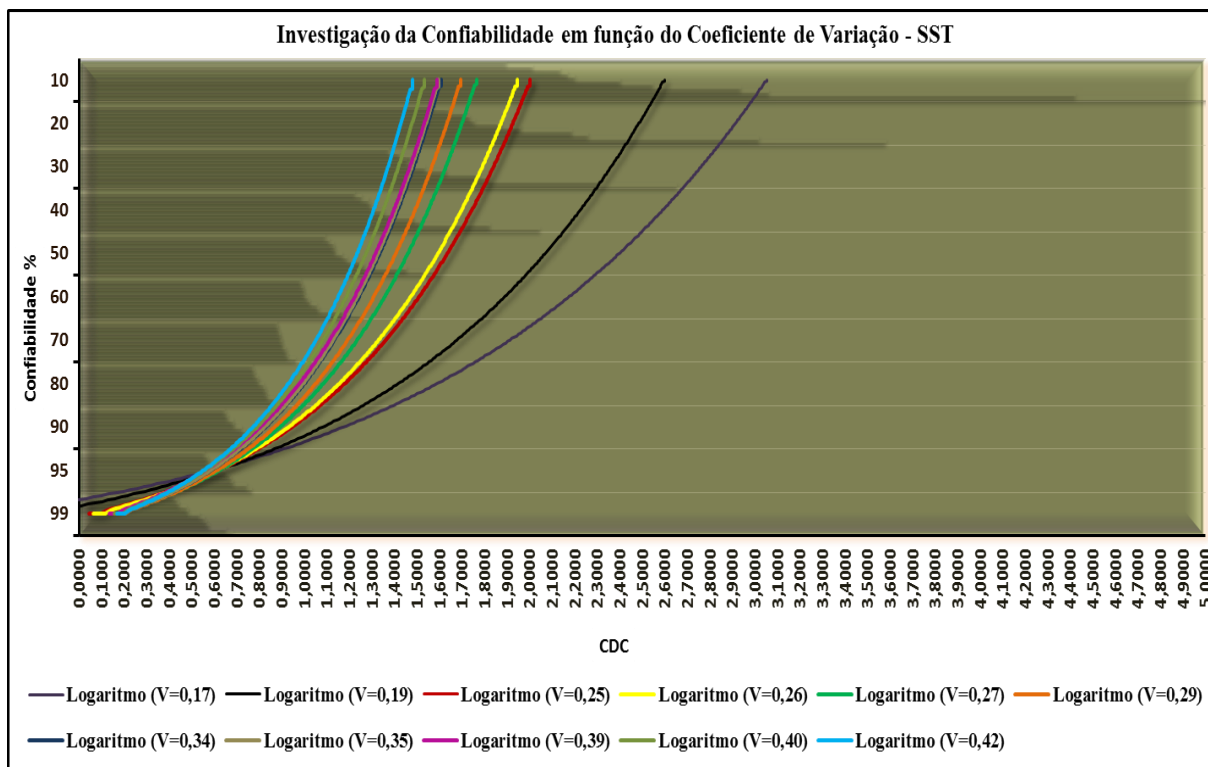


Fonte: Autor, (2014).

Nas análises inerentes aos sólidos suspensos totais (Figura 70), pode ser percebido um elevado índice de confiabilidade ( $CDC = 3,1$ ), com relação à linha de tendência logatúmica, para um coeficiente de variação 0,17, considerando uma estimativa de confiabilidade de 10%. Para este cenário, o comportamento da curva teve uma confiabilidade, na varredura de dados, de 52%. Já, para um nível estimativo de 99%, o coeficiente de confiabilidade foi aproximadamente 0,1. À medida que o nível de confiabilidade diminuiu, foi percebido um aumento expressivo na variação dos valores de CDC. Se for comparado, para a curva de CV igual a 0,19, existem, em termos extremos, dois valores distintos de CDC. Para 99% de confiabilidade, teve-se um CDC de 0,1, aproximadamente.

E, para um nível de 10%, foi obtido um CDC de 2,6. Assim, pode ser concluído que, baseado nas curvas, podemos relacionar três variáveis: a confiabilidade estimada, o coeficiente de variação e o coeficiente de confiabilidade, e ainda, estabelecer a confiabilidade das curvas.

Figura 70 – Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (SST grupo 1).

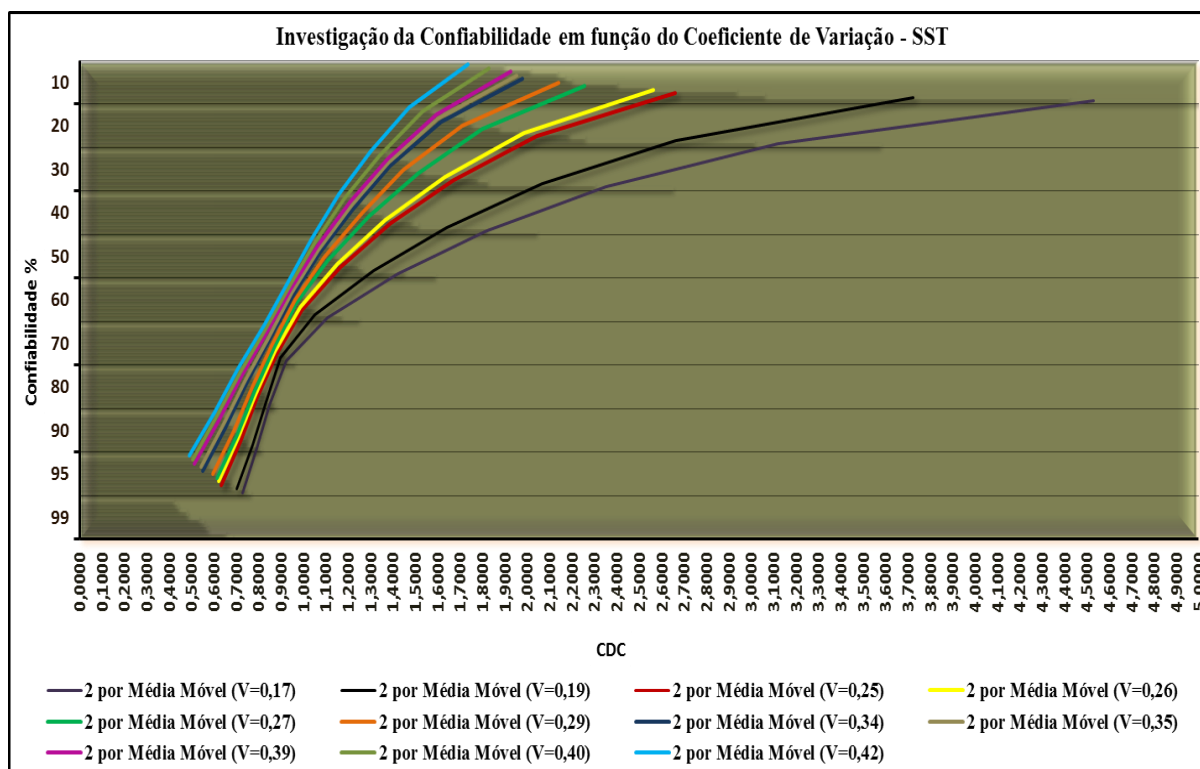


Fonte: Autor, (2014).

Utilizando a técnica da linha de tendência por média móvel, inerente aos sólidos suspensos totais (Figura 71) pode ser verificado que, o índice de confiabilidade foi ainda maior (CDC = 4,6), para um coeficiente de variação 0,17, considerando uma estimativa de confiabilidade de 10%. Tal verificação ratifica uma tendência menos conservadora da média móvel. Com isto, para maiores coeficientes de variação (menor restrição), seria preferível escolher a média móvel. Já para menores coeficientes de variação (maior restrição), a opção de escolha correta seria a curva logarítmica.

Como exemplo, pode-se tomar, na Figura 71, a curva inerente ao coeficiente de variação 0,17, para uma estimativa de confiabilidade de 30%. Nesta situação, utilizando a técnica da linha de tendência logarítmica, foi obtido um CDC de 3,0. Já para a técnica da média móvel, o CDC obtido foi de 4,5. Assim, a segunda técnica, neste caso, foi menos conservadora em 50%, ou seja, ela reflete uma confiança que pode não ser obtida em um determinado intervalo de tempo, já que para a primeira técnica, tal confiança pode ser inferior. Caberá ao gestor da ETE decidir qual o cenário a ser escolhido.

Figura 71 – Análise de CDC em função das linhas de tendência média movel (SST grupo 1).



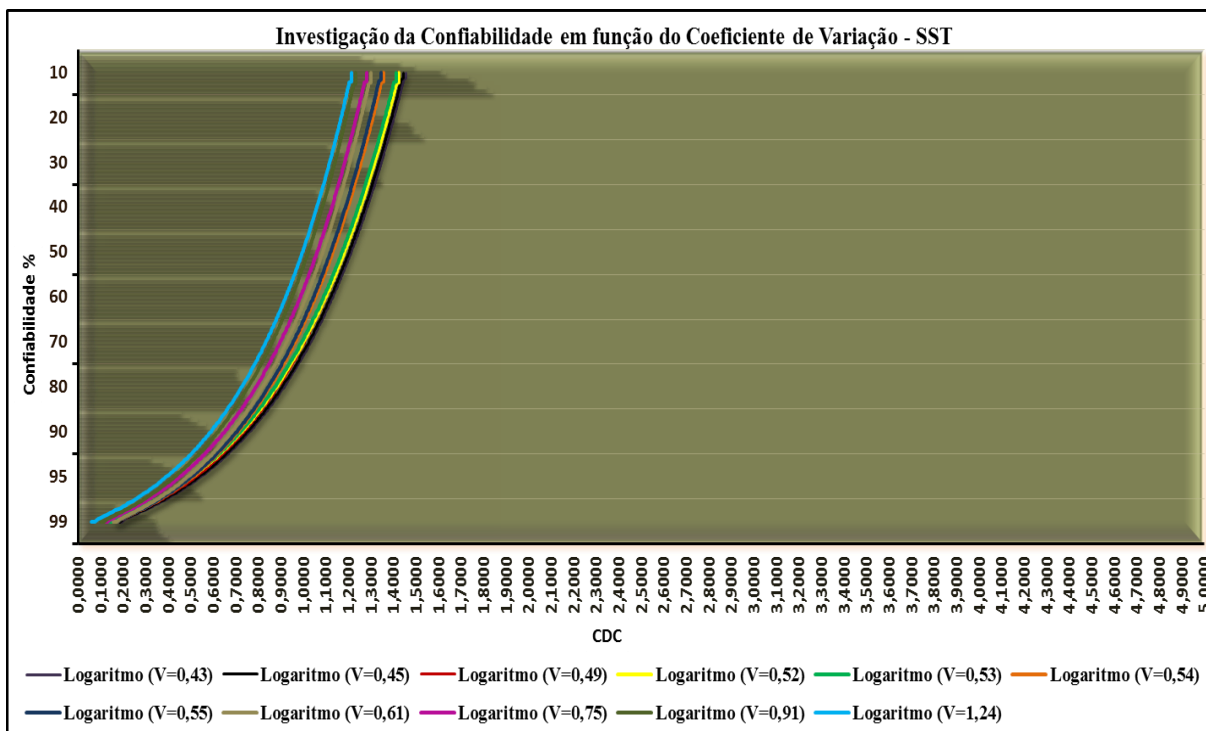
Fonte: Autor, (2014).

Em termos práticos, considerando as Figuras 72 e 73, pode-se utilizar os gráficos para prever os índices de confiabilidade, fundamentados na estimativa da confiabilidade, que depende da restrição ambiental, bem como da quantificação do coeficiente de variação, que pode ser quantificado em função da variância e do desvio padrão das amostras analisadas.

Afinalidade destas simulações foi estabelecer uma varredura de dados, que investigaram e analisaram os resultados a serem alcançados, não só de forma pontual (mensal), mas também considerando um conjunto de resultados. Esta técnica permitiu identificar, com uma maior sensibilidade, se cada estação iria atender às normas, no fim do período preconizado, já que a confiabilidade se aporta na meta de qualidade ambiental e no coeficiente de variação, que retrata a realidade obtida nas amostras.

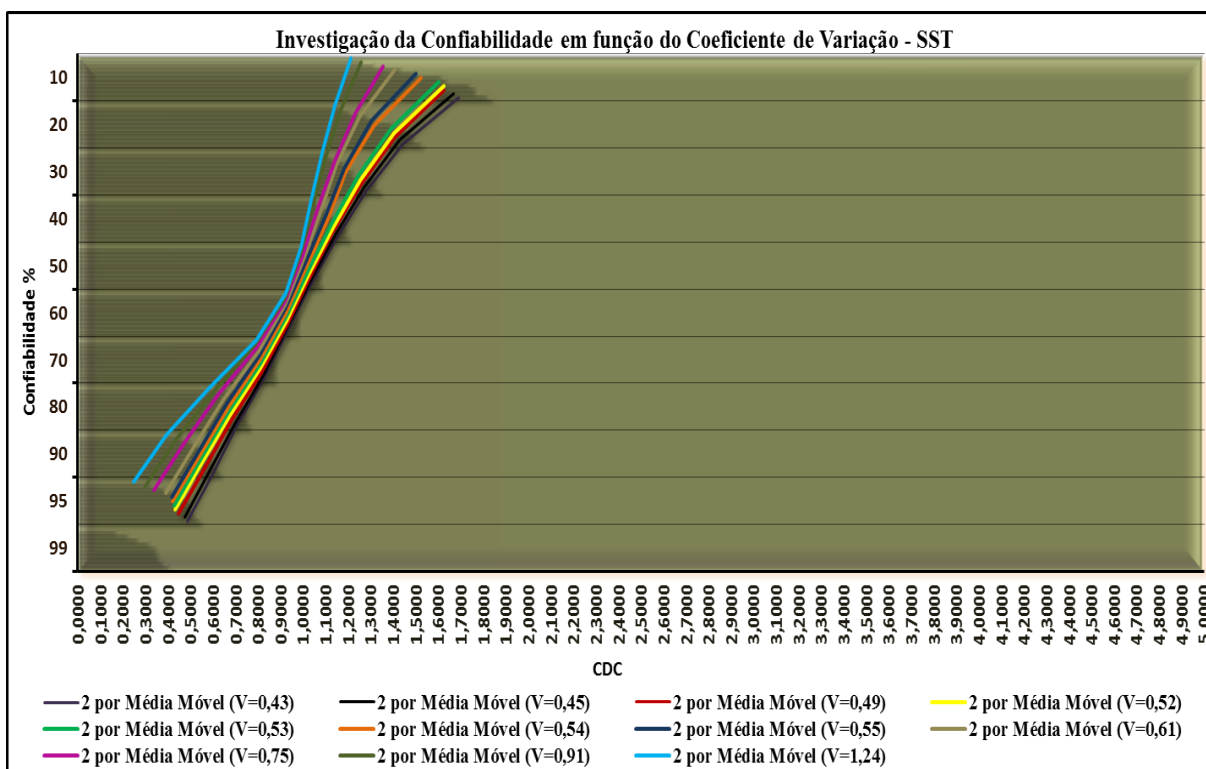
Como exemplo, na Figura 72, com coeficiente de variação 1,24 e confiabilidade de 90%, o CDC obtido foi de 0,5. O CDC representa um termômetro da confiabilidade de uma ETE. Quando o CDC foi elevado, significou um controle mais brando na operação.

Figura 72 – Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (SST grupo 2).



Fonte: Autor, (2014).

Figura 73 – Análise de CDC em função das linhas de tendência logarítmica (SST grupo 2).



Fonte: Autor, (2014).

#### 4.7 Análise do tempo de falha operacional das estações

Em função das análises de confiabilidade, considerando os parâmetros DQO, DBO e SST foram executadas investigações relativas ao tempo de falha de operação das estações de tratamento de esgotos. Tais verificações foram estruturadas em sete intervalos de tempo, considerando períodos de tempo de 50 dias. Assim, foi possível mensurar a quantidade de falhas por período determinado.

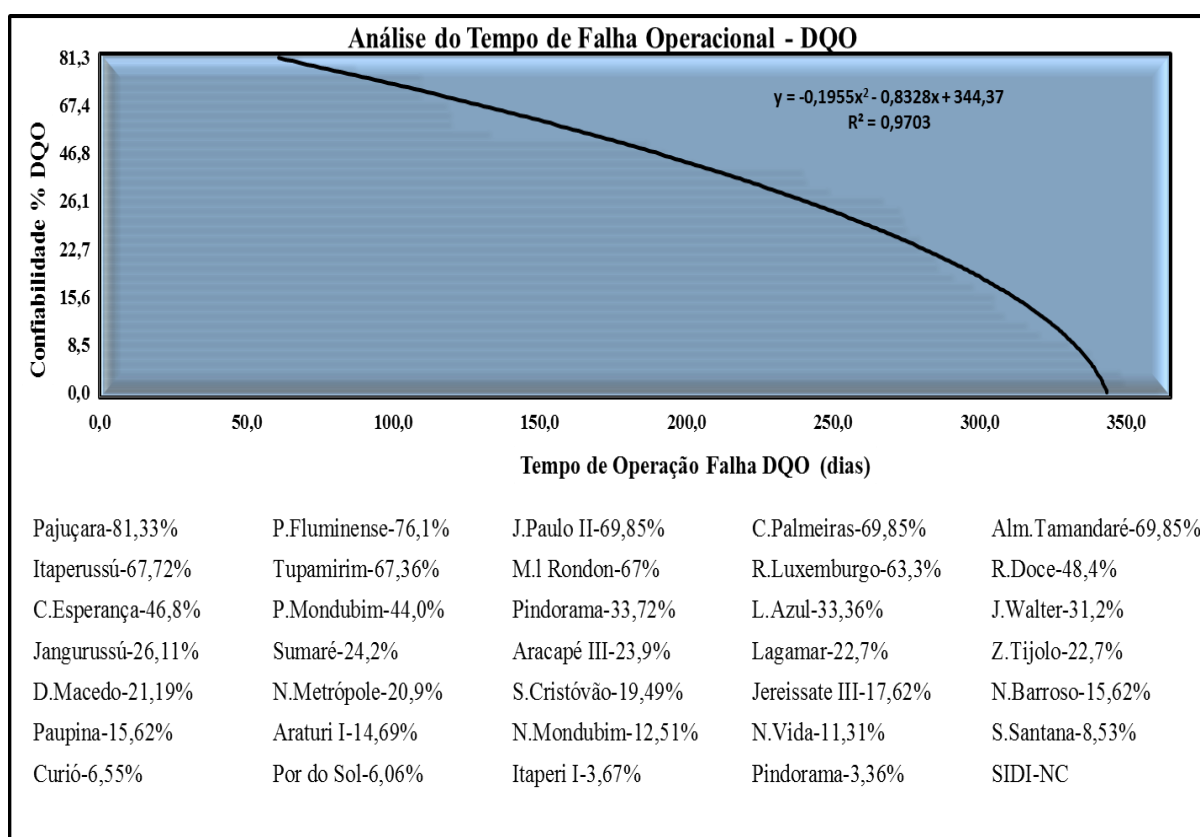
Basicamente, para obter-se um resultado mais uniforme, optou-se por considerar três valores, a fim de se calcular uma média, composta pelos valores inicial, intermediário e final. A partir deste valor médio, foi deduzida a probabilidade de falha, em função da confiabilidade.

A variável aleatória  $T$ , que representa o tempo de falha, é usualmente especificada em confiabilidade, pela sua função de confiabilidade ou pela sua função de taxa de falha. As situações estudadas em confiabilidade envolvem o tempo até a ocorrência de um evento de interesse. Esses eventos são, na maioria dos casos, indesejáveis e usualmente denominados de falha. O primeiro passo para estudar confiabilidade é definir de forma clara e precisa o que venha ser falha. Uma forma razoável de definir falha é através da visão do consumidor (interesse público). O produto falha quando o consumidor diz que ele falhou.

Na Figura 74, foram calculados os tempos de falha para a DQO, num período de um ano. Foi traçada uma curva polinomial (linha de tendência), de onde foram deduzidos, através de análise de regressão, a equação e o coeficiente de determinação inerente ao comportamento operacional das estações, para este parâmetro. Foi entendido que, nos intervalos de tempo fixados, à medida que o tempo de operação aumenta, ocorre a diminuição da confiabilidade operacional, e, conseqüentemente, o tempo de falha tende a aumentar.

O coeficiente de confiabilidade diminuiu quando foi elevado o tempo de operação, ou seja, a probabilidade de ocorrerem falhas operacionais tendeu a se elevar. Analisando os resultados obtidos, foi percebido um coeficiente de determinação de 0,9703. Tal percepção indicou que 97% dos dados (resultados) aderem bem à linha de tendência polinomial. Com isto, a equação obtida pode ser adotada para se estimar o tempo de falha em função da confiabilidade quantificada.

Figura 74 – Investigação do tempo de falha para a DQO.

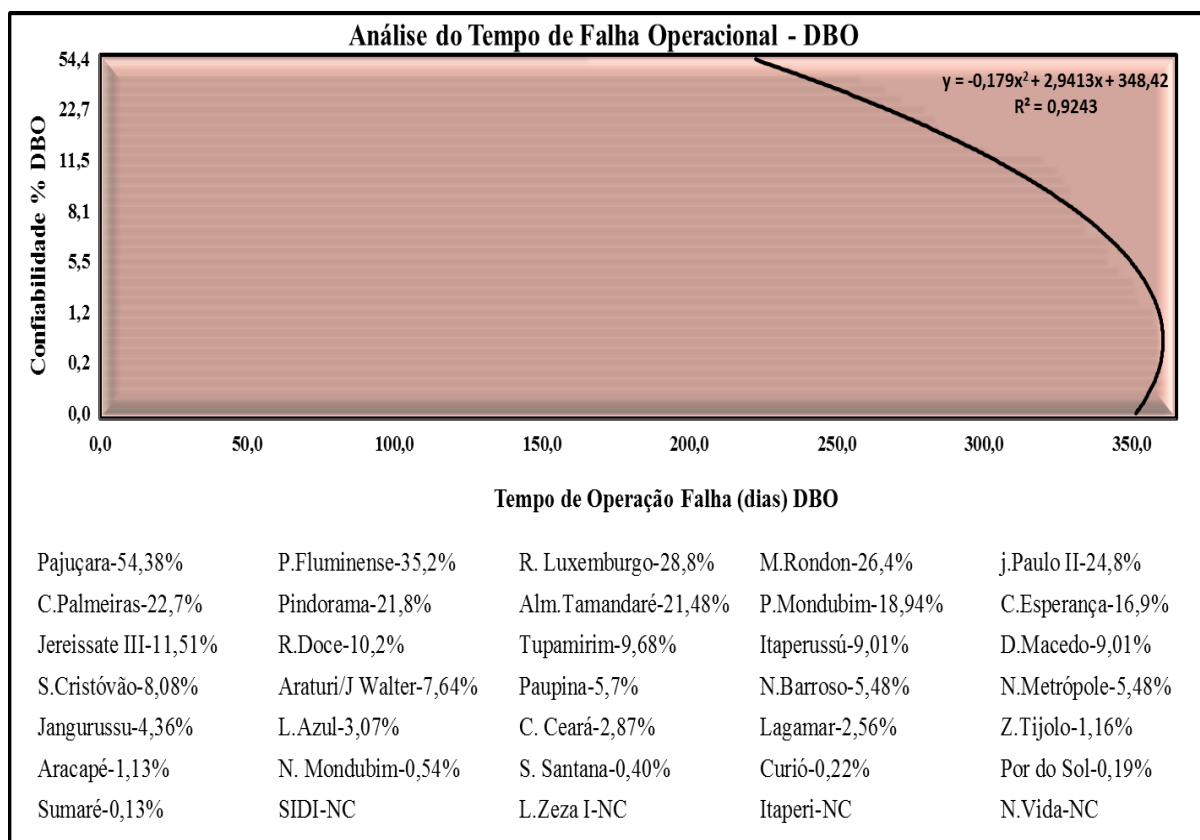


Fonte: Elaborado pelo Autor, (2014).

Como exemplo, na Figura 74, para uma confiabilidade de 26,1%, pela linha de tendência polinomial calculada, o tempo de falha obtido foi de aproximadamente 225 dias. Para uma confiabilidade de 15,6%, foi obtido um tempo de falha de 300 dias. Logo, pode-se concluir que, quanto maior for a confiabilidade obtida, maior será a probabilidade de que as ETEs operem enquadradas às exigências normativas dentro de um tempo aceitável.

Na Figura 75 foram apresentados os resultados dos tempos de falha com relação à DBO. Foi verificado que, como a variação da confiabilidade foi menor, tendo como nível mínimo zero e como patamar máximo de 54,4%, foram obtidos elevados valores de tempo de falha. Para 11,5% de confiabilidade, foi quantificado um tempo de falha mínimo de 300 dias. Assim, para a DBO, o cenário foi o mais crítico, principalmente por ser o padrão mais restrito, apresentando elevadas concentrações afluentes bem como eficiências inadequadas.

Figura 75 – Investigação do tempo de falha para a DBO.

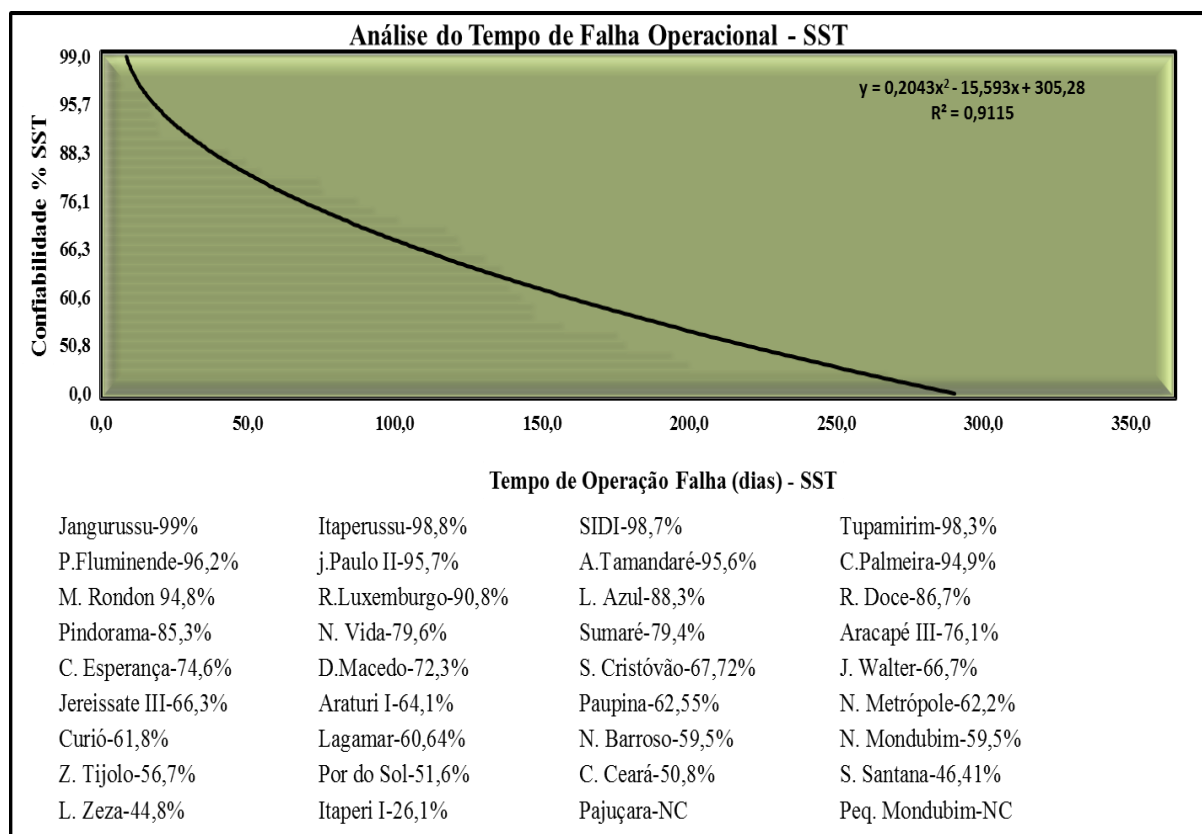


Fonte: Elaborado pelo Autor, (2014).

Na Figura 76, foram apresentados os resultados inerentes aos sólidos suspensos totais. Foi constatado que, como os níveis de confiabilidades para este parâmetro foram elevados, o tempo de falha operacional das ETEs, em média, foi menor. Também foi constatado que, 91% dos dados aderem bem à linha de tendência polinomial. Porém, 9% dos resultados podem não aderir bem à curva.

Como exemplo, para estações que tiveram 99% de confiabilidade, foi obtido um tempo de falha aproximado de 10 dias. Já para 0% de confiabilidade, segundo a linha de tendência, o tempo de falha máximo de 300 dias. Tal tempo deveria ser de, no mínimo, 360 dias, mas, como 9% dos dados não demonstraram ter boa aderência à curva, logo, foi adotado o tempo de 300 dias. Esse tipo de erro de precisão pode ser tolerado, pois os níveis de confiabilidade calculados para os sólidos suspensos totais se mostraram bastante elevados e a linha de tendência esboçou uma excelente varredura dos dados.

Figura 76 – Investigação do tempo de falha para os SST.



Fonte: Elaborado pelo Autor, (2014).

#### 4.8 Análise descritiva e de estabilidade das estações

Além das concentrações de projeto e de operação, as estações foram classificadas quanto à estabilidade, de acordo com 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 ainda que, para a DQO, nenhuma das estações apresentou estabilidade.

Já, para a DBO, somente a ETE Araturi apresentou um resultado próximo do necessário, que foi de 13,19 mg/L. Com relação ao parâmetro SST, as ETES Pequeno Mondubim e Pajuçara, obtiveram valores enquadrados à estabilidade, de 8,21mg/L e 9,57mg/L, respectivamente.

#### 4.9. Investigação e análise da produtividade operacional das ETES

Fundamentado na metodologia descrita bem como nas normas de produtividade de efluentes da Agência Nacional de Águas (ANA) foram executadas as análises inerentes à



classificação das estações quanto aos padrões da ANA, baseado nas eficiências operacionais relativas dos parâmetros de DBO, SST, CF (coliformes fecais) e compostos nitrogenados. Tal classificação foi vinculada à resolução nº 644 de 2013, emitida pela ANA, que aprovou o Regulamento do Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas – PRODES, no ano de 2013. Para o enquadramento das ETEs aos padrões da ANA, foram considerados três cenários: o atendimento integral, o atendimento parcial e o não atendimento.

No primeiro caso, no cenário de atendimento, foi tomada a média trimestral das eficiências de remoção e foi verificado se foram alcançadas ou superadas as metas estabelecidas para os parâmetros analisados. Na sequência, com relação aos resultados individuais, foi testada a eficiência de remoção, nas condições de alcance ou superação ao desempenho previsto em mais de 80% das medições, em todos os parâmetros vistos, e, por fim, foi investigado se a carga orgânica superou o limite de 80% das metas estabelecidas.

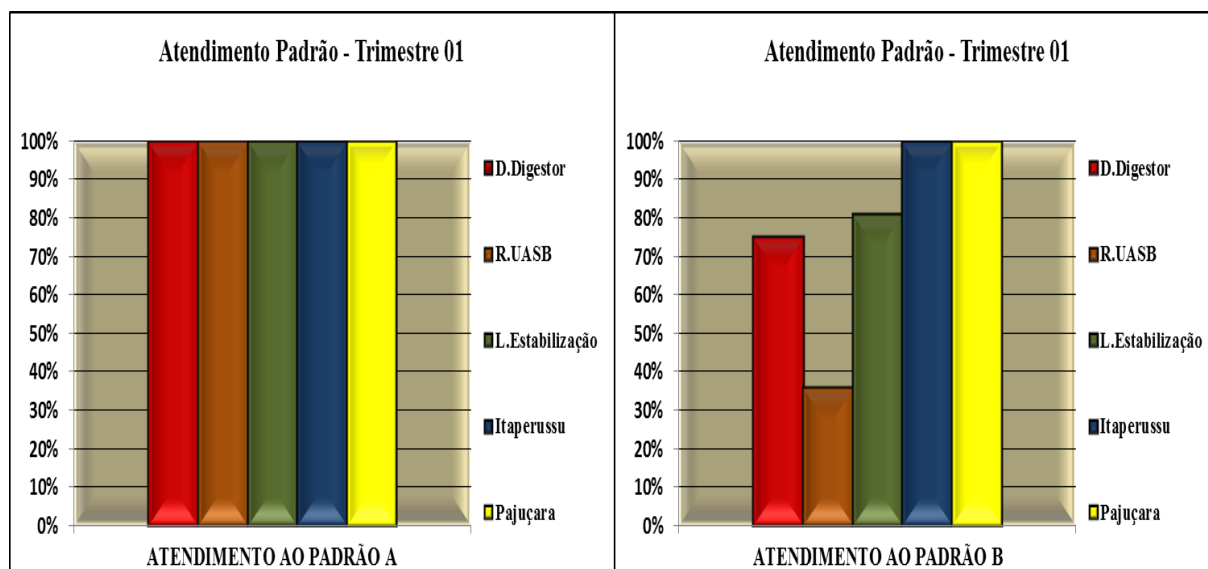
Para o segundo caso, no cenário de atendimento parcial, foi verificado se a média trimestral dos resultados da eficiência de remoção, de no mínimo 50% dos parâmetros, alcançou as metas estabelecidas. Posteriormente, foram investigados os resultados das eficiências de remoção individuais, verificando se alcançaram ou superaram o desempenho previsto em mais de 66% das medições, em todos os parâmetros analisados, bem como se a carga orgânica afluente superou o limite de 66% das metas estabelecidas para o período. Já, para o cenário de não atendimento, quando o resultado de avaliação ou informações tomadas no período não correspondeu aos padrões da ANA.

#### ***4.9.1 Investigação e análise individual das ETEs***

Em função dos resultados individuais obtidos pelas ETEs, foram computadas as médias dos atendimentos cumulativos aos padrões de eficiência da ANA de cada modalidade.

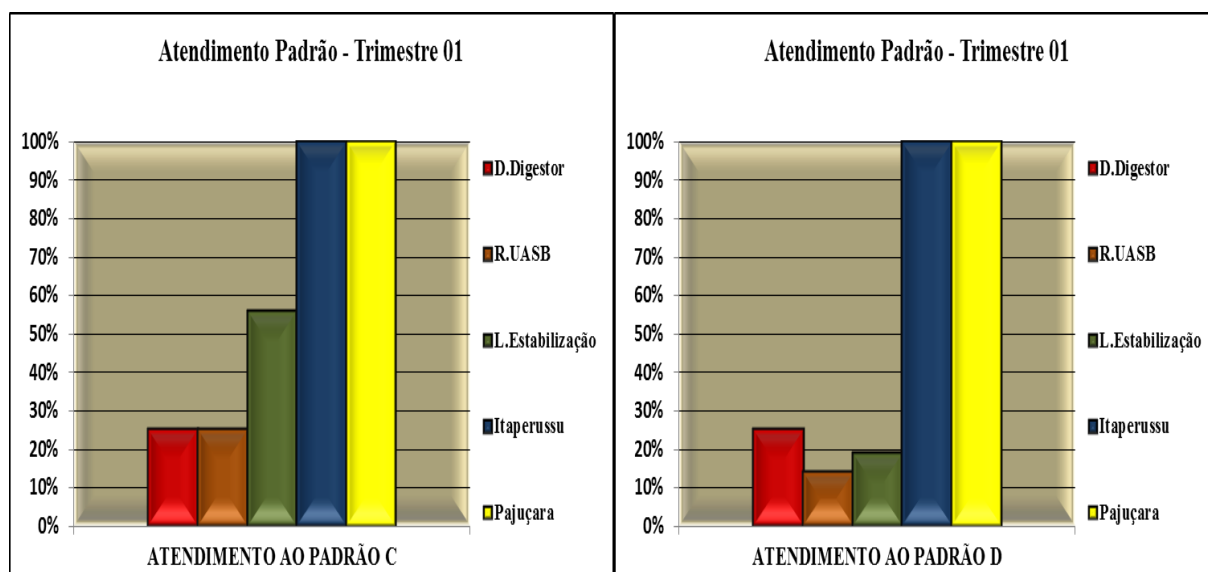
Nas Figuras 77, 78 e 79, foram apresentados os resultados inerentes ao primeiro trimestre, considerando todos os padrões estipulados pela ANA. Em relação ao padrão A, todas as modalidades estiveram enquadradas. Para o padrão B, a única modalidade que não atuou bem foi o sistema UASB (35%). As demais concepções tiveram bons desempenhos, variando entre 75 e 100% (Figura 77). Já para os padrões C, D e E, apenas as ETEs Pajuçara e Itaperussú obtiveram boas eficiências. Porém, tomando o padrão F, apenas o sistema decanto digestor atingiu um patamar de 25%.

Figura 77 – Investigação individual dos padrões A e B no trimestre 01.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

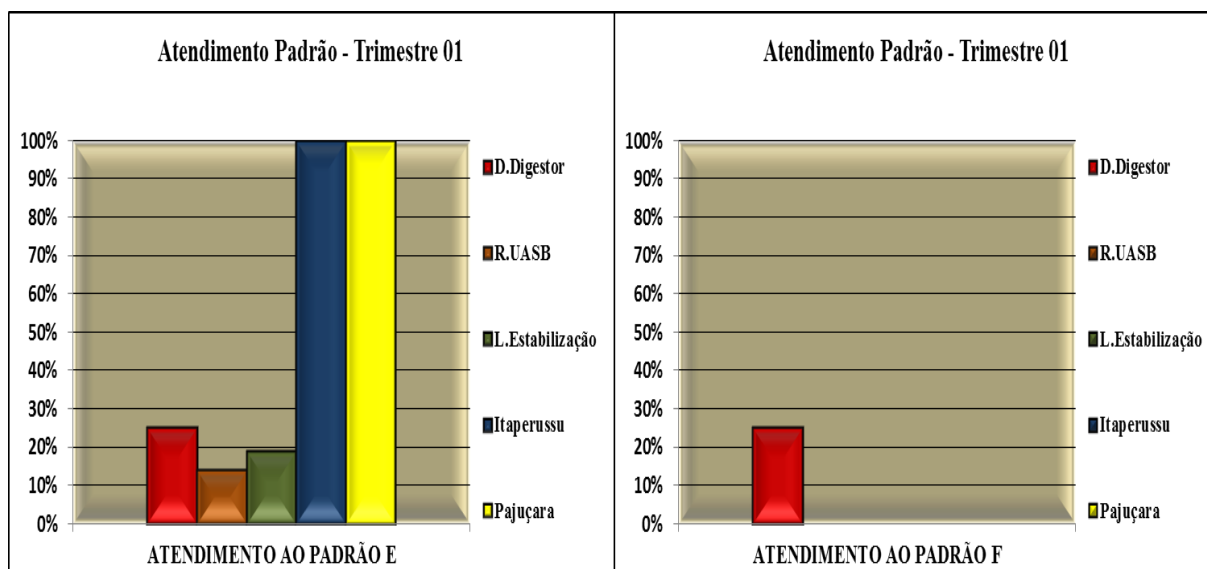
Figura 78 – Investigação individual dos padrões C e D no trimestre 01.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Na Figura 78 foi verificado que, para o padrão E (restrição elevada), das ETES que tiveram baixo desempenho, as referentes ao sistema decanto digestor apresentaram uma adequação de 25%, enquanto que os demais obtiveram resultados de 19 e 25% para o sistema UASB e para o sistema de lagoas de estabilização, respectivamente.

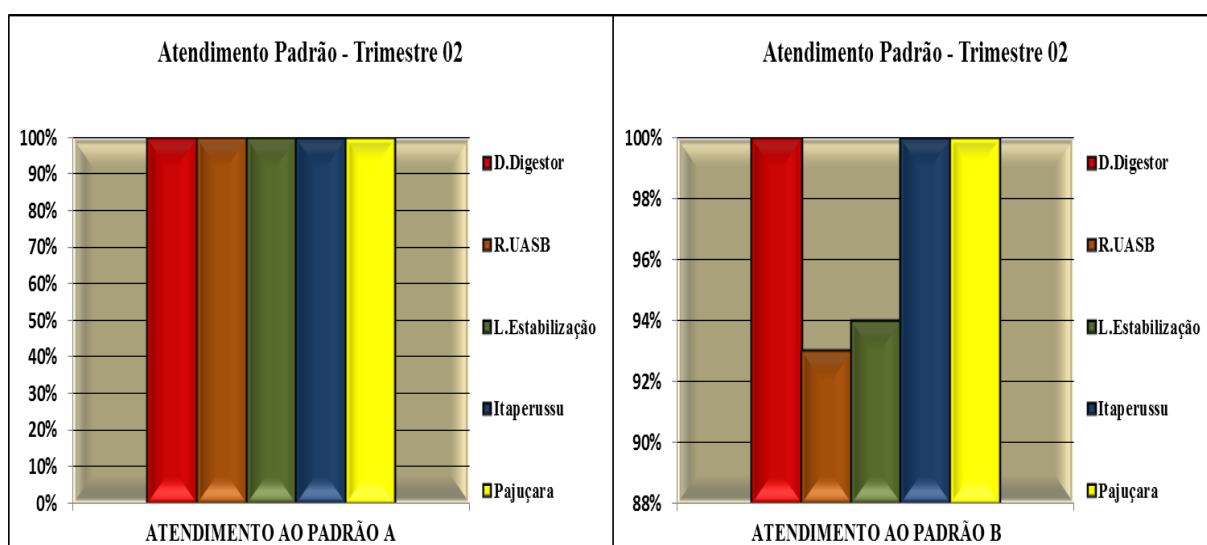
Figura 79 – Investigação individual dos padrões E e F no trimestre 01.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

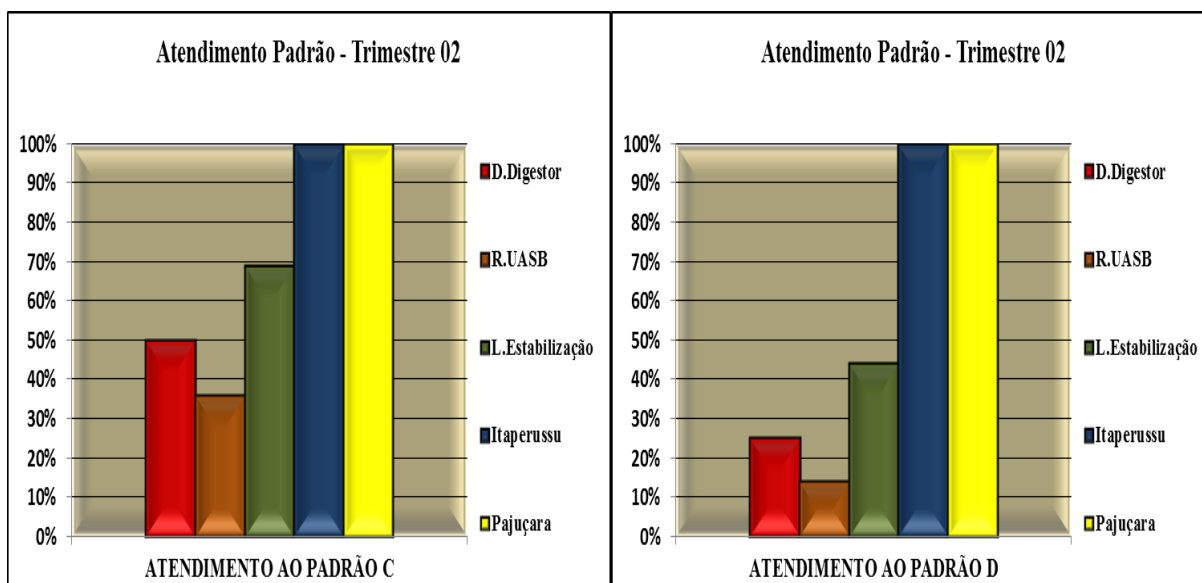
Nas Figuras 80, 81 e 82 referentes ao segundo trimestre, foi visto que, com relação ao padrão A, 100% das ETEs se destacaram. Para o padrão C, obtiveram bons desempenhos as ETEs Pajuçara e Itaperussu, bem como as pertencentes ao sistema decanto digestor. Vale destacar que as ETEs inerentes ao sistema de lagoas de estabilização tiveram estabilidade do padrão A ao padrão D. Já para o padrão F, teve boa atuação o sistema decanto digestor.

Figura 80 – Investigação individual dos padrões A e B no trimestre 02.



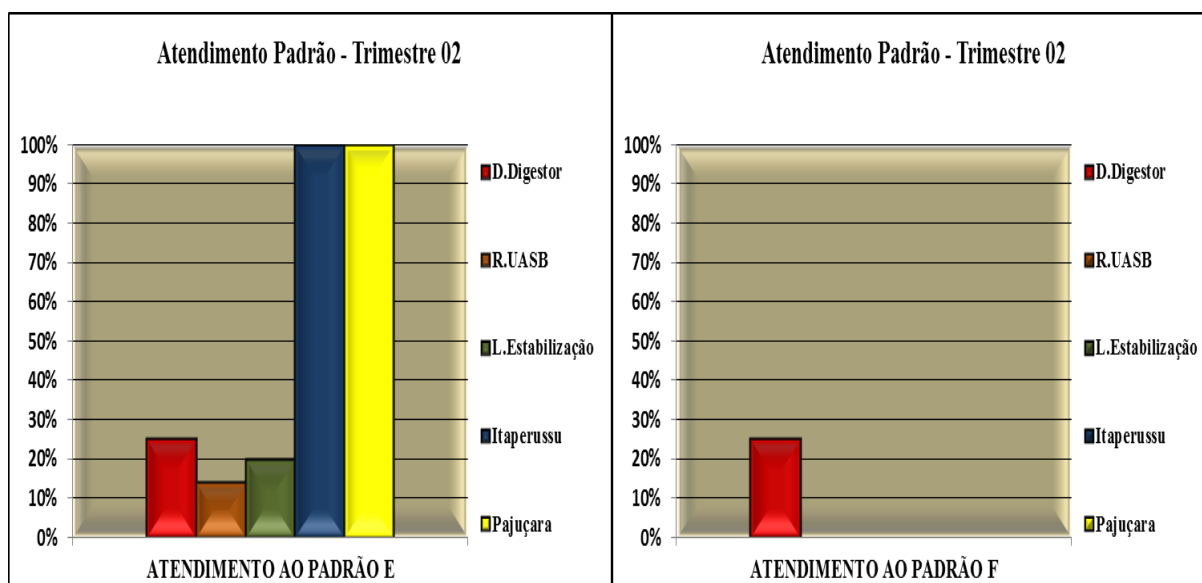
Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Figura 81 – Investigação individual dos padrões C e D no trimestre 02.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

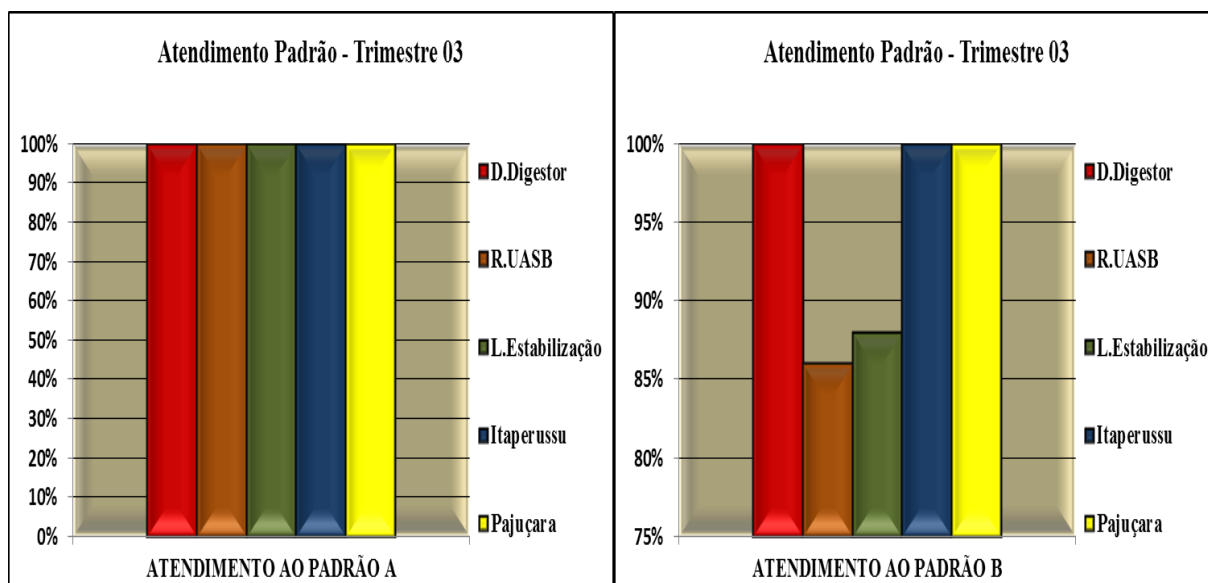
Figura 82 – Investigação individual dos padrões E e F no trimestre 02.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

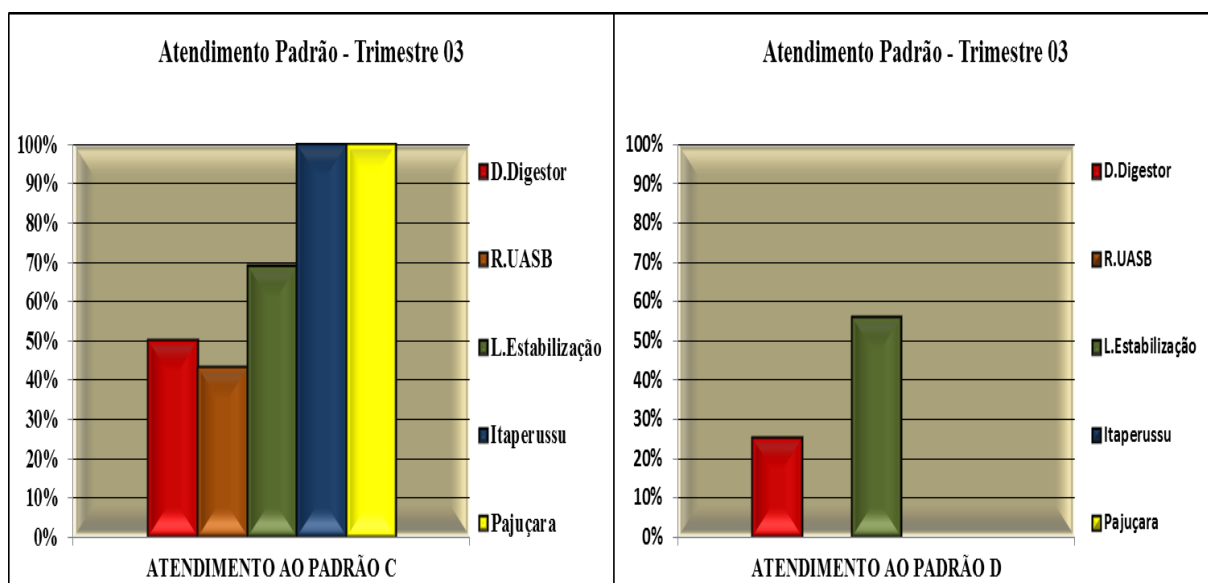
Com base nas Figuras 83, 84 e 85 foram obtidos os resultados referentes ao terceiro trimestre. Foi constatado que ocorreu uma piora nos dados, em termos absolutos, com relação ao atendimento dos padrões da ANA, onde, a partir do padrão D e E, foi percebida a ausência das ETEs inerentes aos sistema UASB. É importante ressaltar que esta classificação considera apenas as condições de atendimento e de não atendimento.

Figura 83 – Investigação individual dos padrões A e B no trimestre 03.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

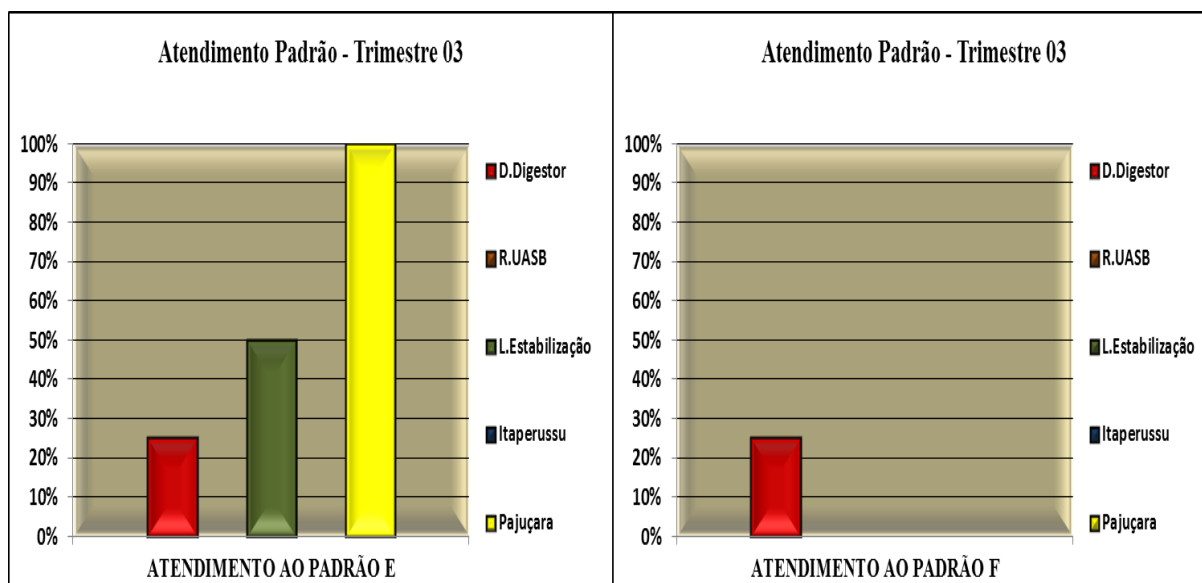
Figura 84 – Investigação individual dos padrões C e D no trimestre 03.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Com relação ao padrão E (Figura 83) foi verificado que os atendimentos absolutos foram de 25, 50 e 100%, com relação ao sistema decanto digestor, aos sistemas de lagoas de estabilização e ao sistema Pajuçara, respectivamente. Para o padrão F, se manteve estável o sistema decanto digestor, com 25% de enquadramento.

Figura 85 – Investigação individual dos padrões E e F no trimestre 03.



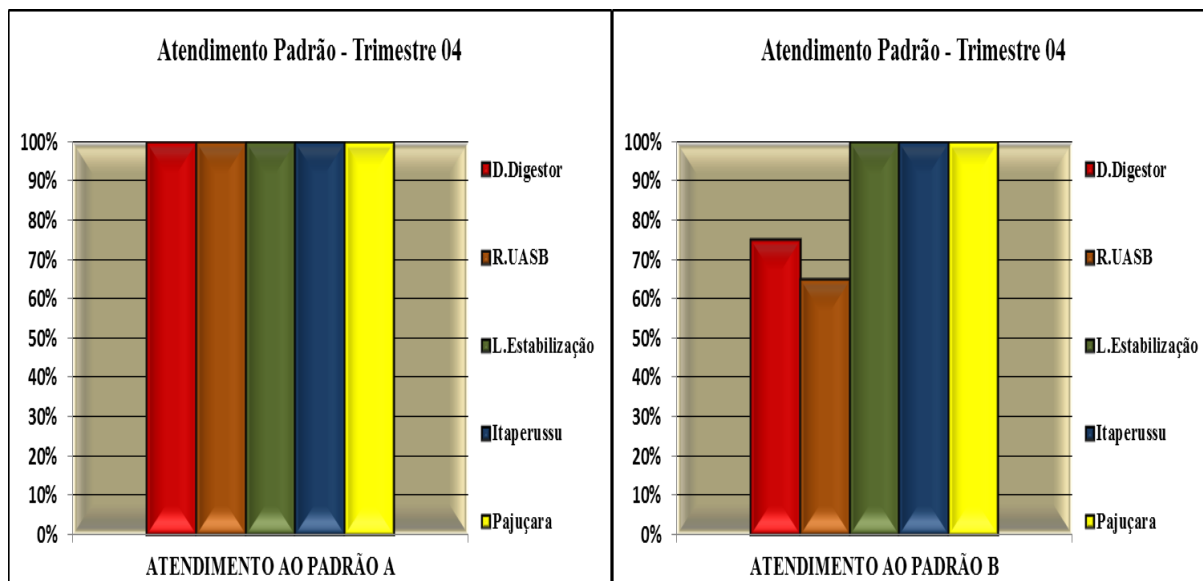
Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Analisando as Figuras 86, 87 e 88 foi percebido que 100% das modalidades de tratamento alcançaram o atendimento integral ao padrão A, já que as exigências de remoção de cargas poluidoras afluentes são as menores apresentadas. Porém, para os demais padrões, chamaram a atenção os baixos índices de atendimento obtidos pela modalidade UASB, entre 7 e 65%. Algumas possibilidades podem ser levantadas para explicar este comportamento, podendo, por hipótese, ser devido a problemas operacionais e/ou de sobrecarga, já que, em unidades bem operadas e funcionando de acordo com os critérios e parâmetros usuais de dimensionamento, o atendimento ao padrão B, por exemplo, deveria ter sido próximo a 100%.

Com relação ao padrão B, foram elevados os índices de atendimento da maior parte das modalidades de tratamento, indicando ausência de problemas diversos, que podem estar contribuindo para tal. Da mesma forma explicitada para o padrão A, esperar-se-iam elevadíssimos percentuais de estações das modalidades analisadas neste trabalho, que atendessem ao padrão B, considerado de baixa restrição. No entanto, os sistemas UASB tiveram apenas 65% de atendimento.

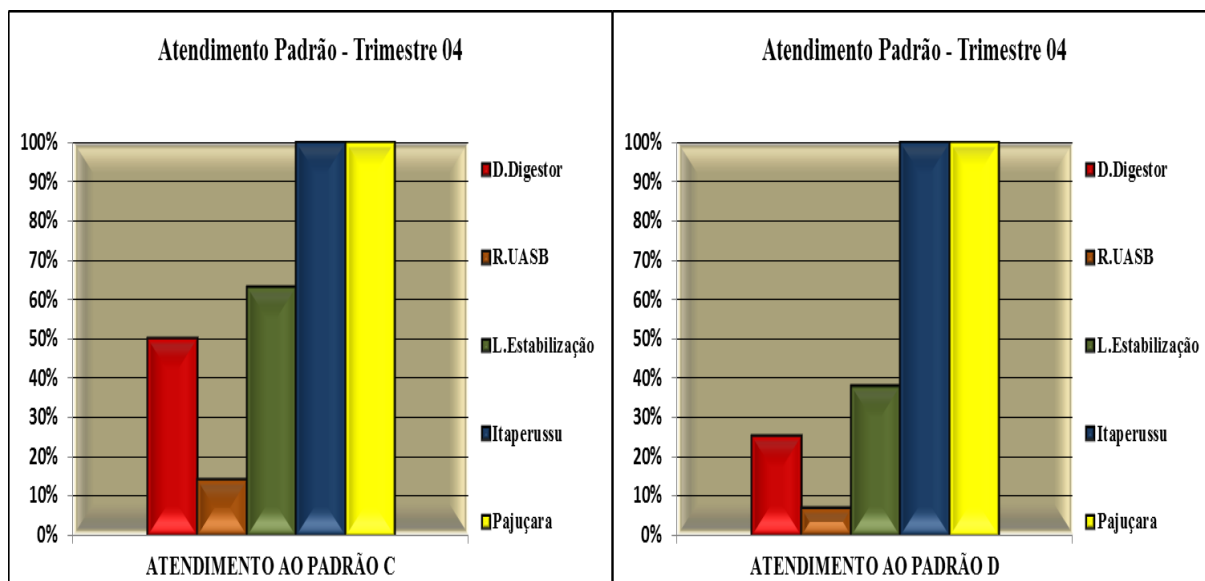
Em relação aos padrões C e D, foram baixíssimos os níveis de atendimento por parte das ETEs que compõem o sistema UASB, ficando entre 7 e 15%, levando-se em conta as mesmas considerações anteriores. Nestes mesmos padrões, os sistemas de lagoas de estabilização se mostraram mais eficientes que os sistemas decantos digestores, onde os percentuais de atendimento foram de 39 a 63% e de 25 a 50% respectivamente.

Figura 86 – Investigação individual dos padrões A e B no trimestre 04.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

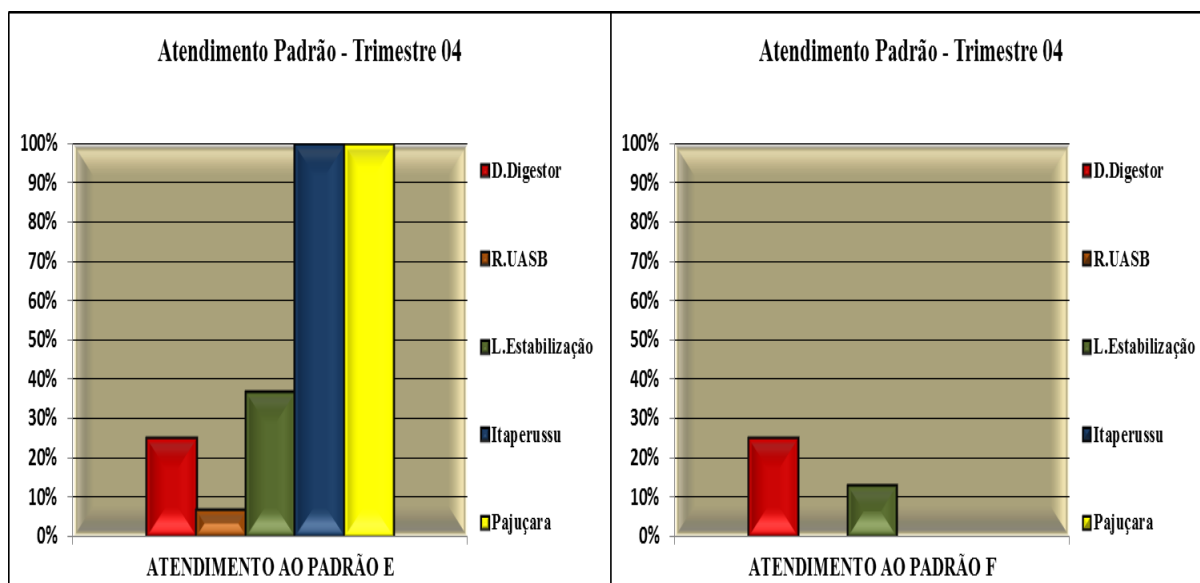
Figura 87 – Investigação individual dos padrões C e D no trimestre 04.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Com base na Figura 88 percebeu-se que foi grande a dificuldade encontrada pelas modalidades analisadas em atender ao padrão E, devido à exigência de remoção dos coliformes termotolerantes (CF). Quando a remoção deste indicador não foi exigida, como no padrão F, os resultados obtidos melhoraram bastante. Mesmo assim, considerando o padrão F, surpreenderam o sistema decanto digestor bem como o sistema de lagoas de estabilização, com percentuais de atendimentos respectivos de 25 e 13% de enquadramento.

Figura 88 – Investigação individual dos padrões E e F no trimestre 04.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

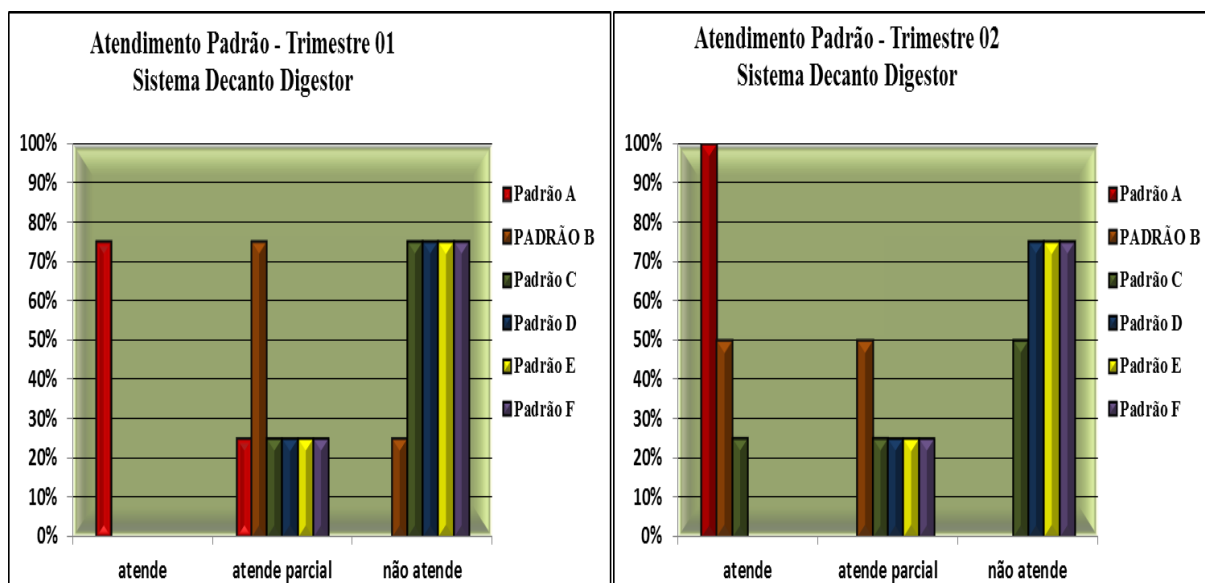
#### 4.9.2 Investigação de autoanálise das ETEs

Nesta técnica, diferentemente da anterior, foram aplicados os procedimentos de autoanálise, descrito na metodologia empregada. O processo de autoavaliação de desempenho das ETEs foi efetuado de acordo com o Manual de Operações da ANA, excluindo a análise referente ao cumprimento dos itens relativos ao volume tratado e à carga orgânica afluente. Em alinhamento desta avaliação, todos os conjuntos de dados disponibilizados pelas ETEs foram considerados como trimestres. Assim, os “trimestres” analisados contiveram números de dados que variaram de 6 a 12 conjuntos por estação.

Para cada concepção de tratamento de esgoto foi analisado o nível de atendimento por trimestre. Na Figura 89, foi constatado que, para o sistema decanto digestor e primeiro trimestre, considerando o nível de atendimento integral, 75% das ETEs se enquadraram ao padrão A. Já na condição de atendimento parcial, 75% atenderam ao padrão B, enquanto que os demais padrões atingiram um patamar de apenas 25% de atendimento. Analisando o segundo trimestre, foi percebida uma melhoria nos resultados, onde 100% das ETEs atenderam integralmente ao padrão A, 50% ao padrão B e 25% ao padrão C. No cenário de não atendimento, os padrões D, E e F, atingiram um percentual de 75%, por serem mais restritos.



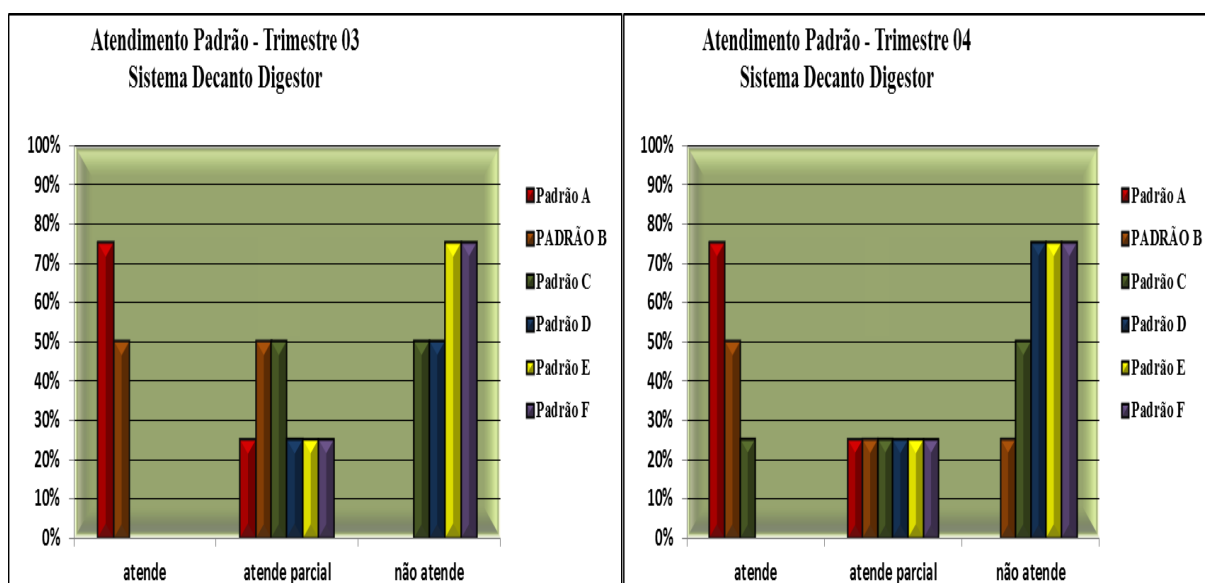
Figura 89 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 01 nos trimestres 01 e 02.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014)

Na Figura 90 ocorreram rápidas pioras nos resultados, onde, no terceiro trimestre, apesar de haver uma redução de enquadramentos na condição de atendimento integral, foi percebido também uma redução de inserções no cenário de não atendimento, onde os níveis que apresentaram rejeição total ficaram restritos apenas aos padrões E e F, considerados os mais restritos para as estações de tratamento no Ceará. No quarto trimestre, o cenário foi agravado, com mais padrões (D, E e F) inseridos no cenário de não atendimento.

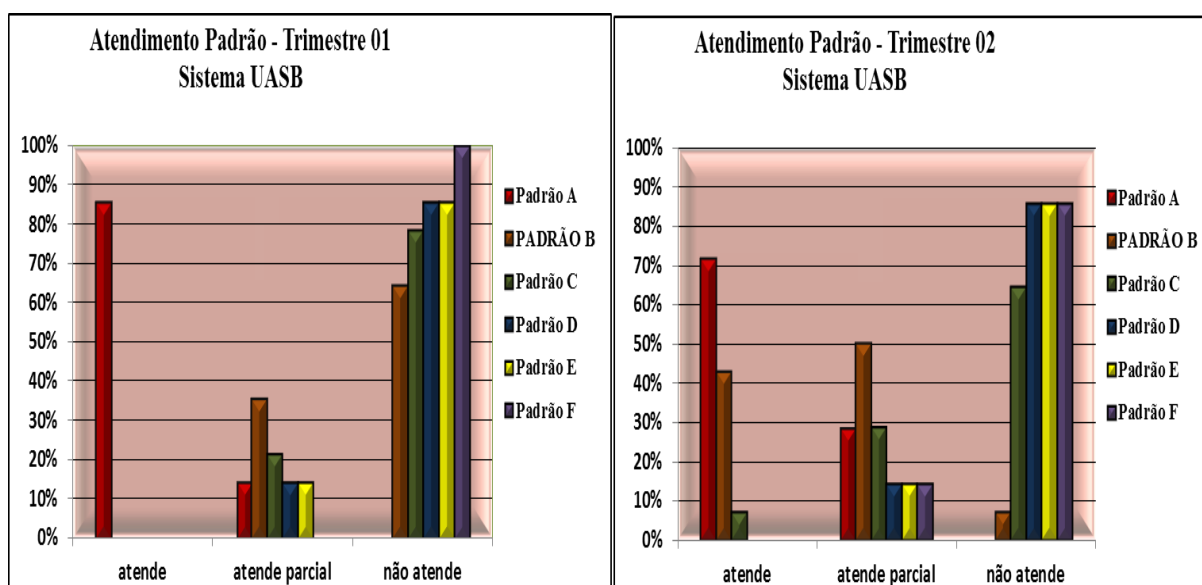
Figura 90 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 01 nos trimestres 03 e 04.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014)

Com relação ao sistema UASB (Figura 91), no primeiro trimestre e nível de atendimento integral, foi entendido que, 85% das ETEs atenderam ao padrão A. Na situação de atendimento parcial, 35 e 22% se enquadraram aos padrões B e C, respectivamente. Os padrões D e E, nesta condição, atingiram um patamar de 13%, cada um. Assim, para esta concepção de tratamento, pode ser concluído que, os percentuais de não atendimento, inerentes aos padrões estudados se mostraram baixos, onde, a partir do padrão B, considerado de baixa restrição, 65% dos resultados não se enquadraram neste perfil. Porém, no segundo trimestre, ocorreu uma melhoria considerável, pelo menos nos padrões B e C, onde as percentagens de atendimento integral passaram de zero para 45 e 7%, respectivamente.

Figura 91 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 02 nos trimestres 01 e 02.

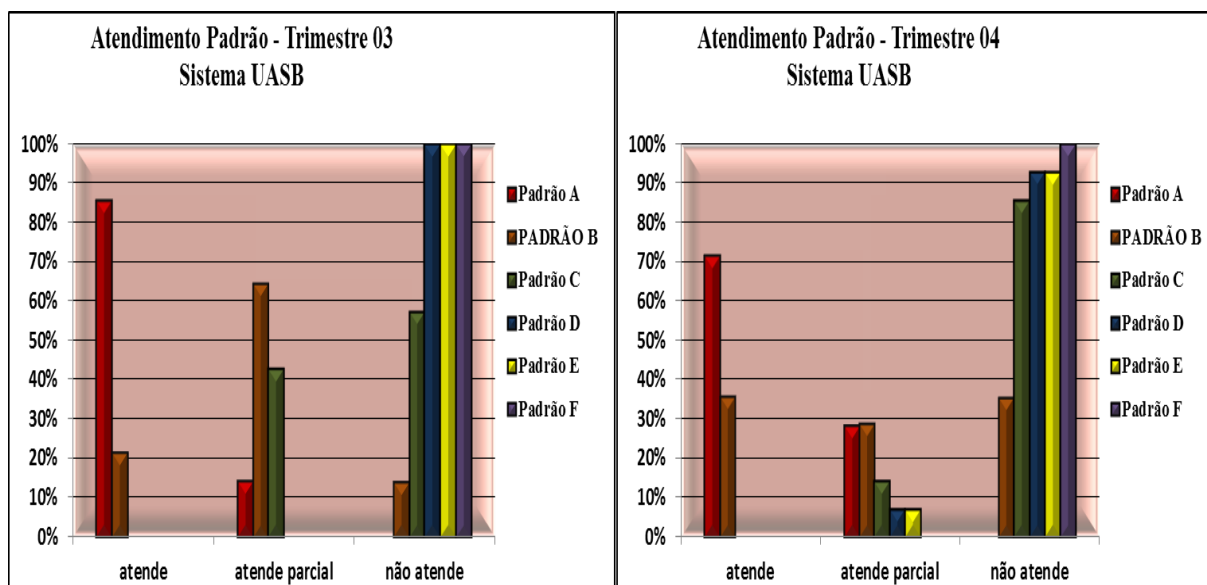


Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Diante destas constatações, torna-se relevante este modelo de monitoramento operacional, onde as investigações de campo devem ser planejadas, tanto com características pontuais como difusas.

Na Figura 92, em termos de atendimento parcial, ocorreu uma suavização de cenário, ou seja, 65 e 42% se enquadraram aos padrões B e C, respectivamente. Tal percepção permitiu refletir que, houve uma sensível recuperação das ETEs, que a partir do mês de julho apresentaram um melhor desempenho, podendo ser devido tanto às condições climáticas quanto às próprias condições operacionais. Porém, foi verificada uma piora no nível de não atendimento, com relação aos padrões mais restritos, onde os enquadramentos D, E e F, praticamente, apresentaram 100% de adesão, com relação às análises ou coletas de efluentes.

Figura 92 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 02 nos trimestres 03 e 04.



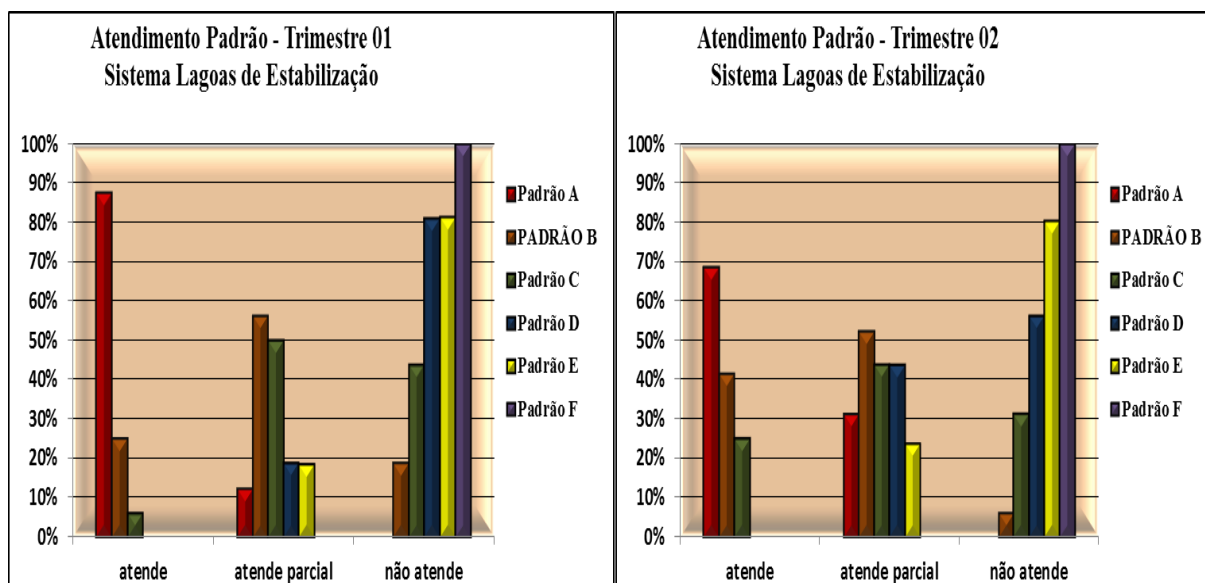
Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Para os sistemas de lagoas de estabilização, processo que mais se aproxima das condições naturais de operação, considerando os quatro trimestres (Figuras 93 e 94), os padrões mais frequentes, no cenário de atendimento integral, foram os níveis A, B e C, sendo que o primeiro variou de 68 a 87%, o segundo oscilou de 25 a 42% e o terceiro ficou entre 5 e 25%.

Na situação de não atendimento, se destacaram os padrões D, E e F, apresentando oscilações de 44 a 80%, 50 a 93% e 85 a 100%, respectivamente. Estes entendimentos remetem a um resultado esperado, considerando às deficiências operacionais existentes, porém, em função das condições climáticas, tais obtenções poderiam ser melhoradas.

No cenário de atendimento parcial, o sistema de lagoas de estabilização se mostrou eficiente, pois permitiu o enquadramento de alguns padrões considerados restritos, com relação a tais sistemas de tratamento, dentre eles, os padrões D e E, para os três primeiros trimestres, com variações de enquadramento de 19 a 55% e 19 a 50%, respectivamente.

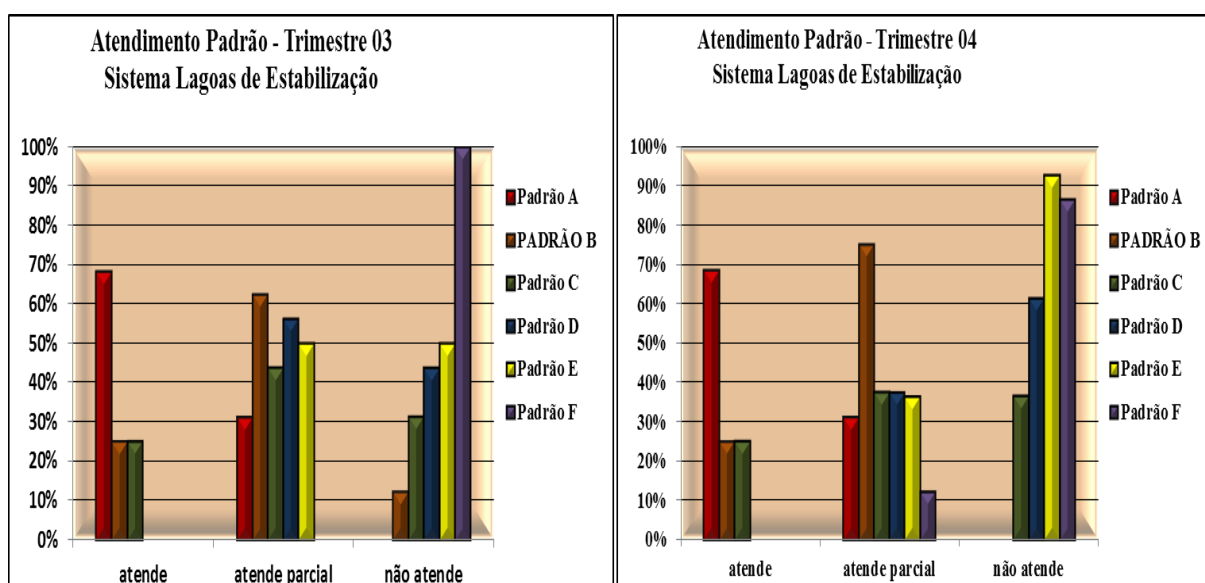
Figura 93 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 03 nos trimestres 01 e 02.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Já, no quarto trimestre (Figura 94), surpreendentemente, o padrão F, considerado um dos mais restritos para estações de tratamento no Ceará, foi atendido em 12% das amostras, no cenário de enquadramento parcial. Esta constatação significa que, 66% das amostras coletadas nas lagoas atendem à eficiência de 90% na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio e de Sólidos Suspensos Totais.

Figura 94 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 03 nos trimestres 03 e 04.

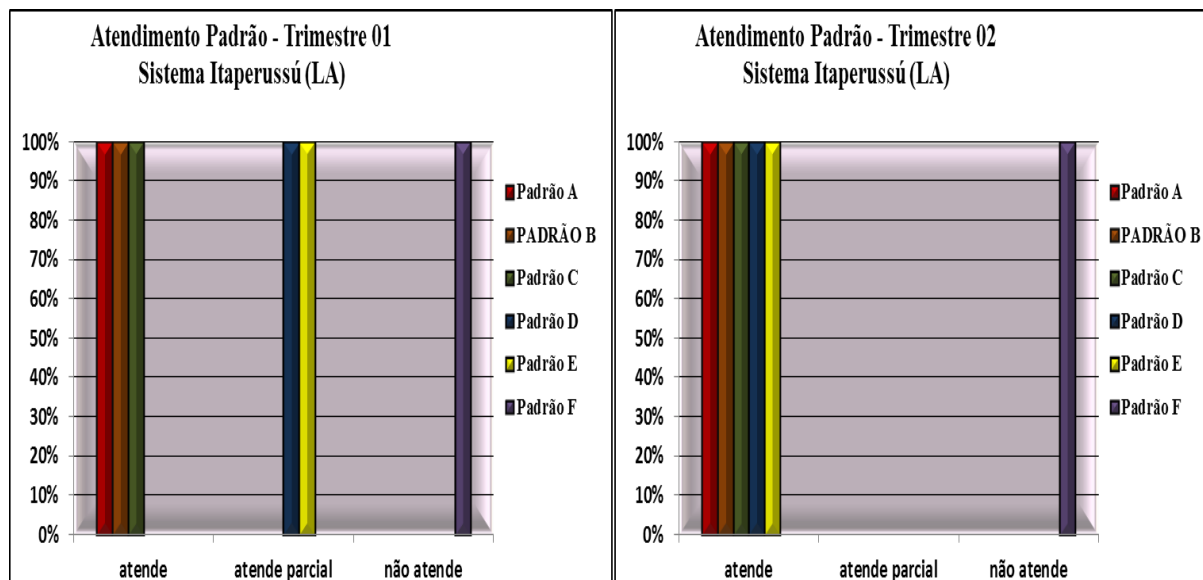


Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Nas Figuras 95 e 96, foram apresentados os resultados inerentes a um sistema individual (lodos ativados), e foi verificada a percentagem absoluta para os cenários de atendimento, de atendimento parcial e de não atendimento. Foi constatado que, para a ETE Itaperussú, 100% das análises atenderam integralmente aos padrões A, B e C. Para o atendimento parcial, 100% das coletas se enquadraram aos padrões D e E.

O único padrão 100% não atendido foi o nível F, cujo enquadramento era esperado. Este resultado específico diverge do preconizado, já que, o sistema de lodos ativados deveria ser compatível com o nível F, principalmente, para a remoção de DBO. No segundo trimestre, ocorreu uma suavização, onde, do padrão A ao padrão E, 100% das coletas atenderam ao exigido.

Figura 95 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 04 nos trimestres 01 e 02.

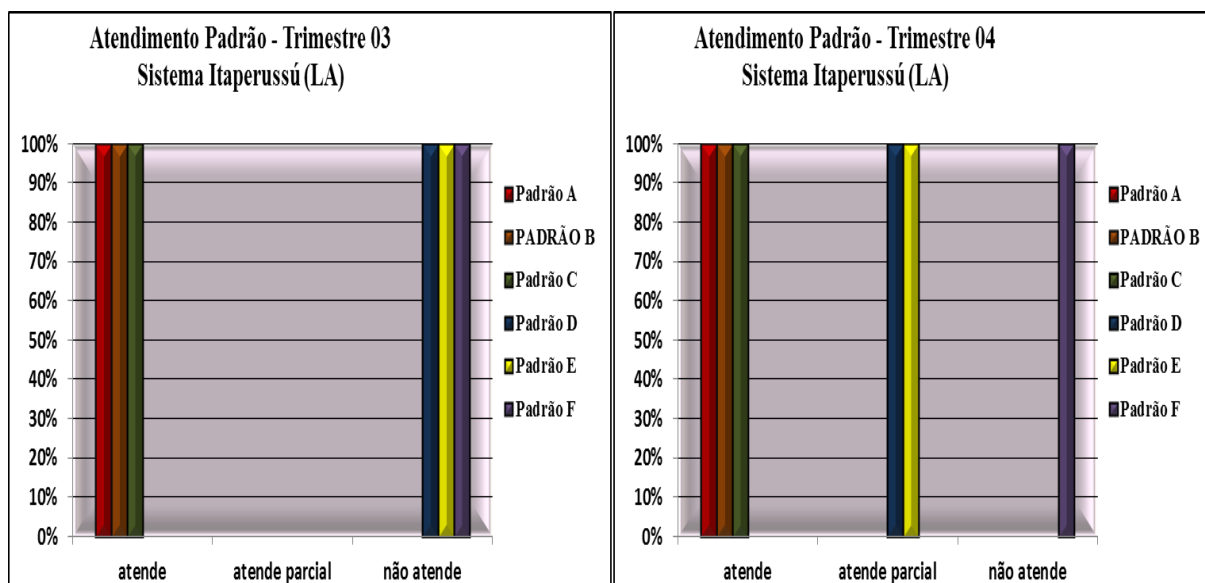


Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

No terceiro trimestre, ocorreu uma piora no sistema, onde foram adicionados às condições de não atendimento, os padrões D e E. As maiores oscilações foram detectadas na condição de atendimento parcial, que passaram de zero a 100%, em alguns casos.

Assim, pode ser concluído que o sistema de lodos ativados não correspondeu à sua capacidade de tratamento esperada, pois, um dos indícios desse desempenho está na presença fixa do padrão F na condição de não atendimento, para os quatro trimestres.

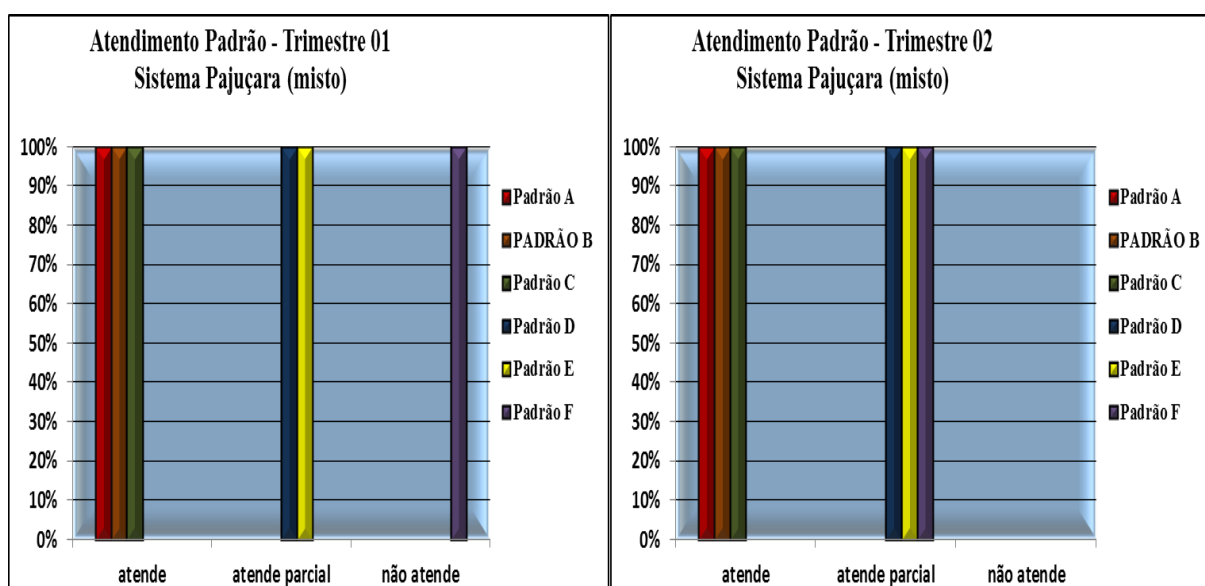
Figura 96 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 04 nos trimestres 03 e 04.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

No sistema Pajuçara, reconhecido segundo a metodologia descrita, o resultado foi surpreendente. Nos dois primeiros trimestres (Figura 97), as coletas efetuadas nesta estação atenderam em 100% aos padrões A, B e C. No cenário de atendimento parcial, 100% das análises se enquadraram aos padrões D e E. Especificamente, no segundo trimestre, não houve registros de padrões não atendidos, o que remete a um desempenho satisfatório.

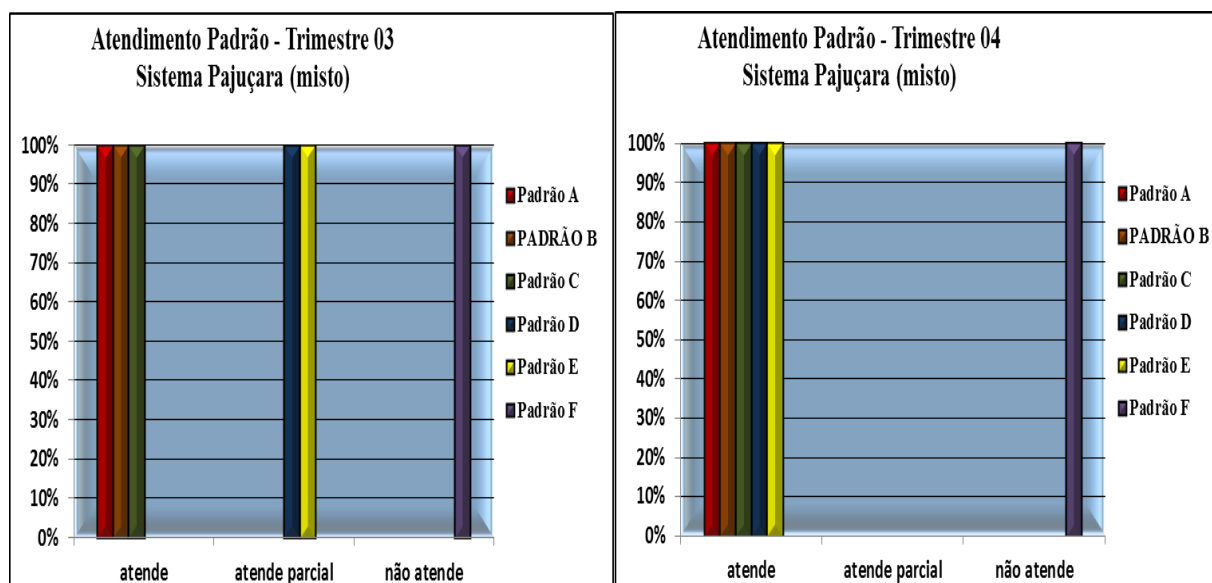
Figura 97 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 05 nos trimestres 01 e 02.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Nos dois últimos trimestres (Figura 98), os resultados se mativeram estáveis, porém, no quarto trimestre, 100% das análises se alinharam aos padrões A, B, C, D e E, sendo não atendido apenas o padrão F (mais restrito). Logo, pode-se concluir que o resultado obtido superou o preconizado, do ponto de vista da qualidade operacional.

Figura 98 – Investigação de atendimento padrões da ANA Grupo 05 nos trimestres 03 e 04.



Fonte: Elaboração do Autor, (2014).

Em termos gerais, com base na metodologia descrita, os resultados permitiram um entendimento referente à variabilidade de desempenho dentro de cada concepção de tratamento, e pode ser visualizado que os padrões mais restritivos, que incorporam exigências de remoção de coliformes fecais (CF) e nutrientes (NTK), apresentaram baixíssimos enquadramentos. Tais resultados já eram esperados, onde algumas das modalidades de tratamento investigadas não foram projetadas para esta finalidade. Assim, pelas análises executadas, foi constatado que, nenhuma das estações atingiu os padrões G, H e I.

#### 4.10 Investigação da valoração da produtividade do tratamento de esgotos e perspectiva financeira inerente à produção de efluentes pelas ETEs

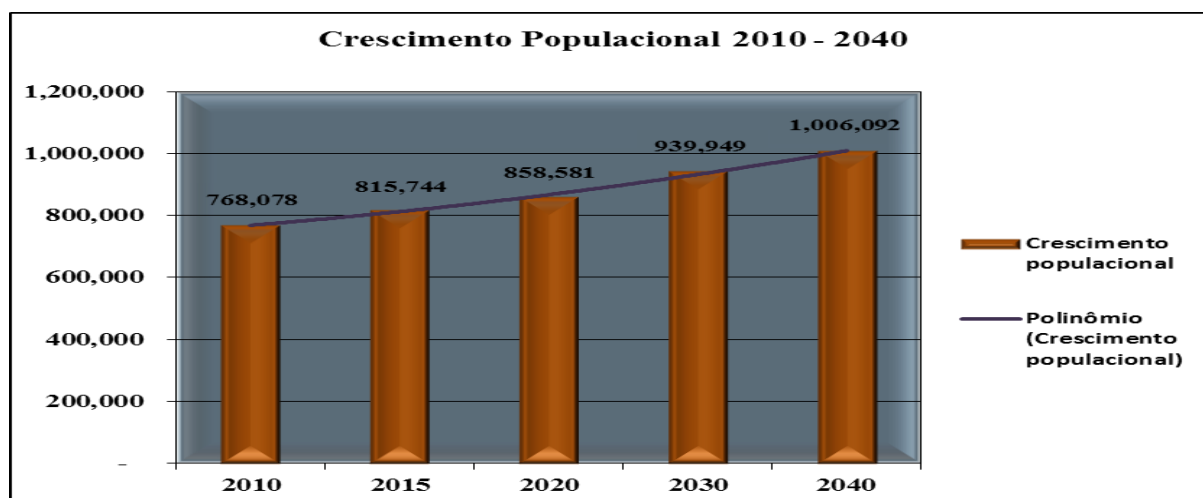
Considerando a hierarquia dos padrões da ANA (Tabela 5) bem como seus critérios de classificação e ponderação financeira (Tabela 3), foram quantificados para os anos de 2010, 2015, 2020, 2030 e 2040, os valores financeiros inerentes à produtividade (volume tratado) de esgotos tratados para as ETEs, em função das variáveis atuantes no tratamento e

no crescimento populacional.

Para o estudo do crescimento populacional, foram executadas análises de regressão, considerando uma projeção temporal de 30 anos, entre os anos de 2010 e 2040. Nestas análises, foi empregado um ajuste polinomial, sendo possível prever o quantitativo populacional das diversas estações, com base nos dados atuais fornecidos pela Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE, 2013).

Em função dos coeficientes de determinação  $R^2$ , que em média obtiveram valores de 0,9999, bem como das equações de regressão, relacionando tempo e população, foi possível entender a boa aderência dos resultados à curva de crescimento populacional traçada. Na Figura 99, são apresentados os resultados do quantitativo populacional por ano considerado, em função de todas as ETEs participantes da pesquisa. De acordo com a metodologia de cálculo, ocorreria uma variação do número de pessoas atendidas pelas estações estudadas de 768.078, em 2010, para 1.006.092, em 2040.

Figura 99 – Investigação do crescimento da população atendida pelas ETEs pesquisadas



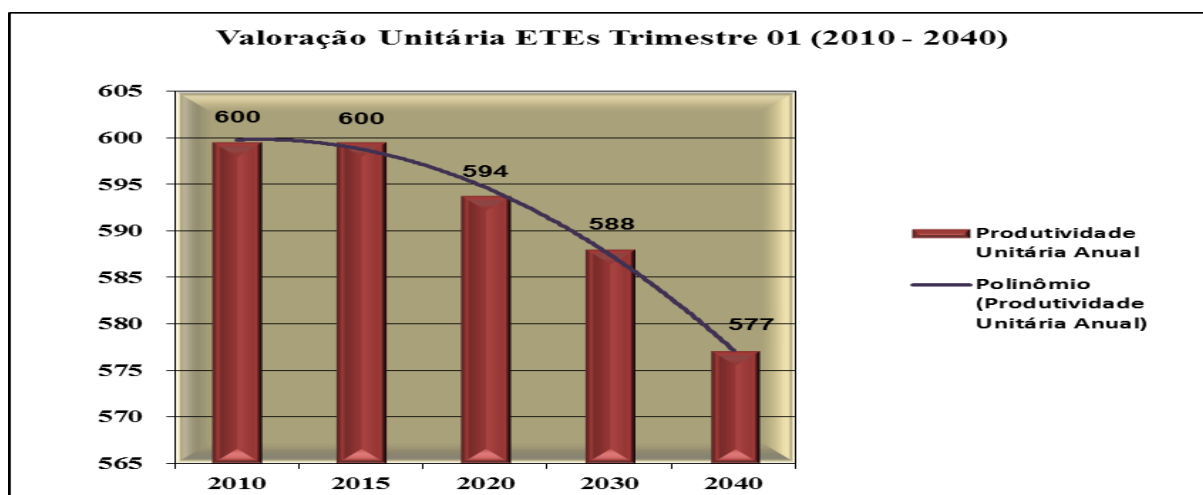
Fonte: CAGECE, 2010

Na Figura 100, são expostos os resultados da produtividade de esgoto unitária, onde, nestas condições, ainda não tinha sido considerado o quantitativo populacional, e sim, os resultados do produto entre a classificação das ETEs, em função dos padrões da ANA, e a ponderação financeira prevista no PRODES. Estes valores são resultados da soma de todas as ETEs estudadas. Assim, foi entendido que existe uma tendência de diminuição de arrecadação até 2040, pois, apesar de não se multiplicar ainda o montante populacional, considerou-se, no mínimo, a projeção populacional. Como não se pode prever a evolução das eficiências operacionais das ETEs, logo, com o crescimento populacional, a tendência foi a ocorrência de



uma piora nos cenários existentes. Foi visualizada uma queda de, no mínimo, 4% na arrecadação da produtividade.

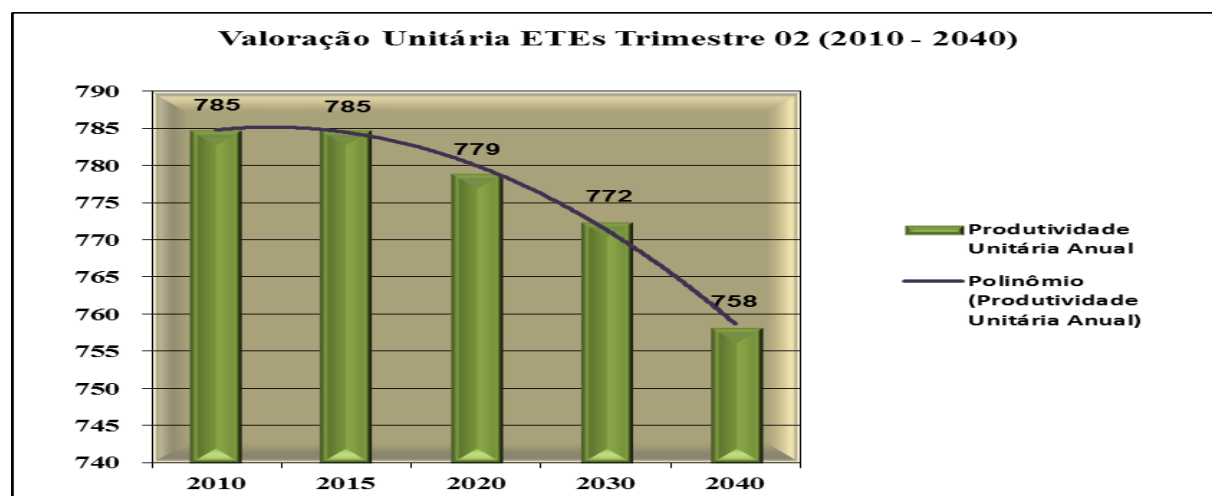
Figura 100 – Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade trimestre 01.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

Foi percebido (Figura 101) que, no segundo trimestre, com a melhora no desempenho dos diversos sistemas, ocorreria uma arrecadação 23% superior ao trimestre anterior. A previsão na queda de arrecadação até 2040 chegou a 3,4%. Com isto, pode-se afirmar que, o processo de quantificação de arrecadação financeira em função da produtividade de esgotos adequados à legislação considerada constou ser bastante sensível às melhorias operacionais.

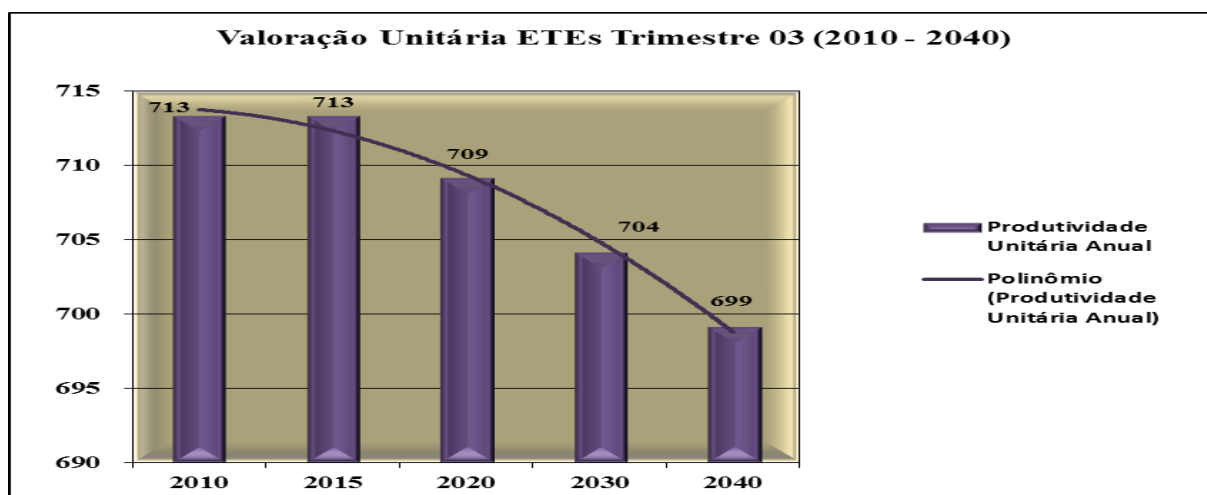
Figura 101 – Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade Trimestre 02



Fonte: Próprio Autor, (2014).

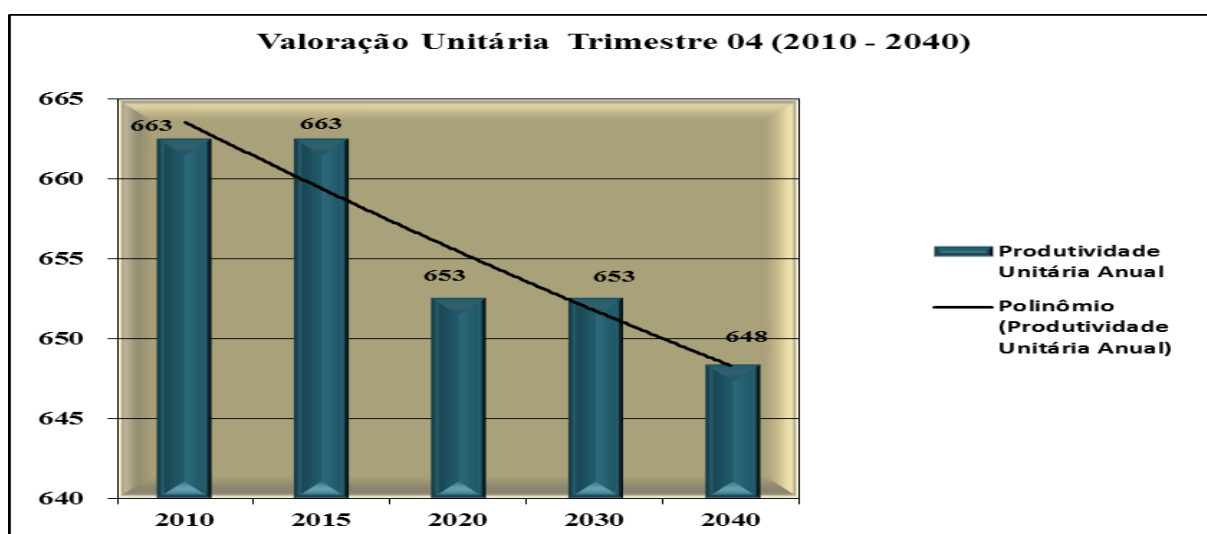
Nas Figuras 102 e 103, ocorreram ligeiras melhoras e pioras com relação ao trimestre 01, de 3,94% e 11,74%, respectivamente.

Figura 102 – Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade trimestre 03.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

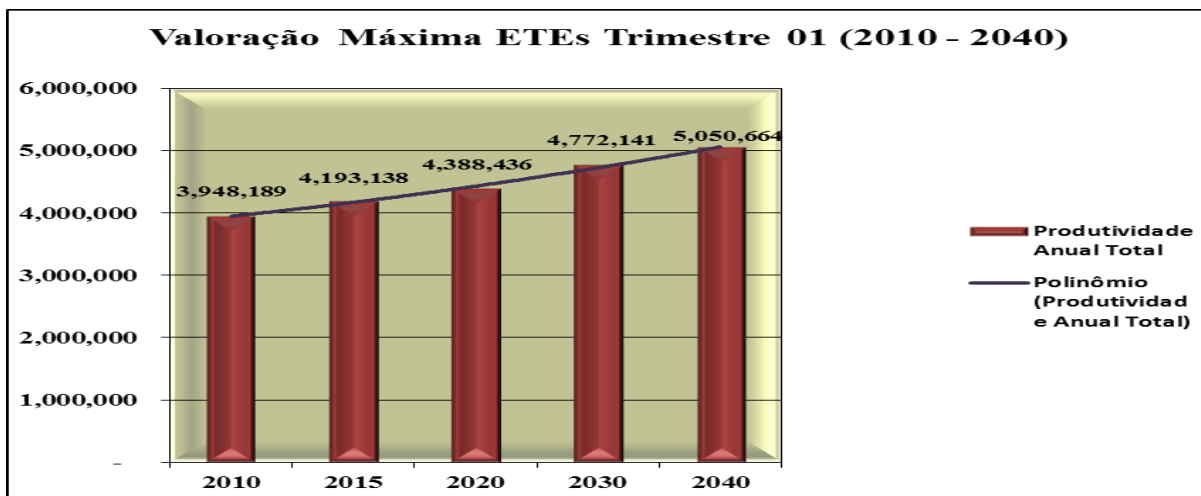
Figura 103 – Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade trimestre 04.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

Considerando as Figuras 104, 105, 106, e 107, foram visualizados os valores financeiros ponderados pelo quantitativo populacional, e, conseqüentemente, foi exposto da necessidade do enquadramento das diversas ETes no PRODES, pois, são visíveis os quantitativos financeiros que poderiam melhorar substancialmente as políticas de saneamento no Estado do Ceará. Atualmente, pouco se sabe deste programa no âmbito da Cagece. Nenhuma das ETes em operação na atualidade está enquadrada no Prodes.

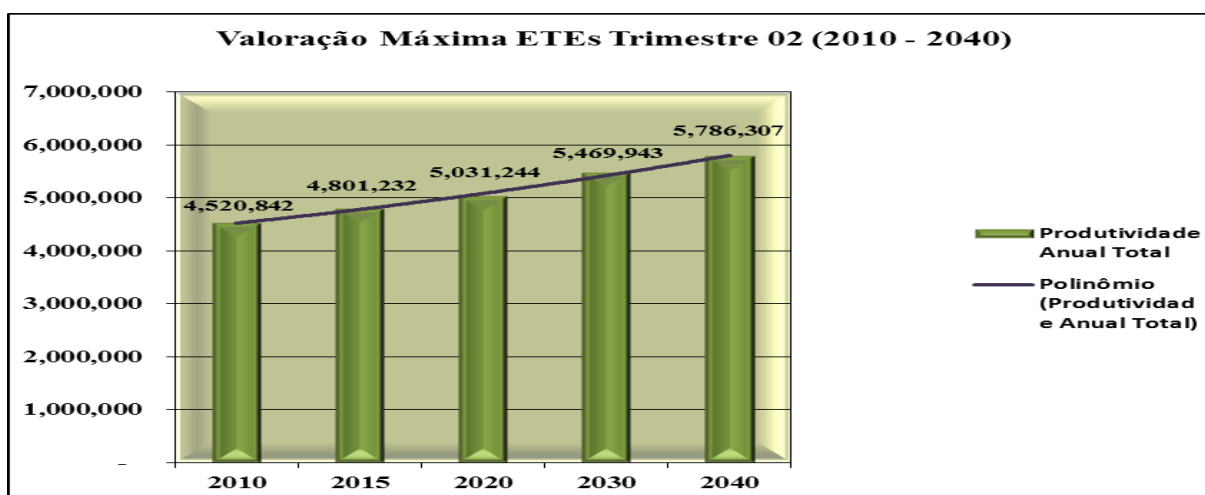
Figura 104 – Investigação da arrecadação unitária em função da produtividade trimestre 04.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

Na Figura 105, foi verificado que, em 2015, a Cagece poderia arrecadar com o Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas aproximadamente quatro milhões e oitocentos mil reais, valor substancial para subsidiar ajustes e melhorias tecnológicas às ETEs estudadas. Além disto, com a inserção de melhorias tecnológicas, tais ETEs progrediriam para patamares de classificação superior, o que refletiria em melhores arrecadações.

Figura 105 – Investigação da arrecadação total em função da produtividade trimestre 02.

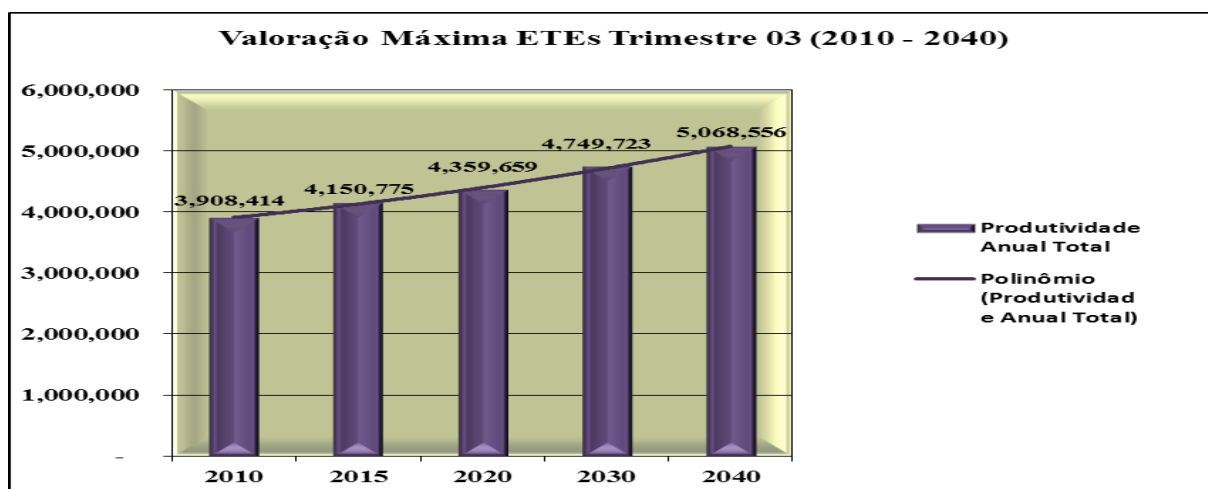


Fonte: Próprio Autor, (2014).

Nas Figuras 106 e 107, foram constatadas quedas de arrecadação de 13,5% e 20%, respectivamente, considerando o ano de 2015. Já com relação ao período de 2010 a 2040, a expectativa foi de um crescimento de arrecadação de aproximadamente 30% (Figura 106). Tal

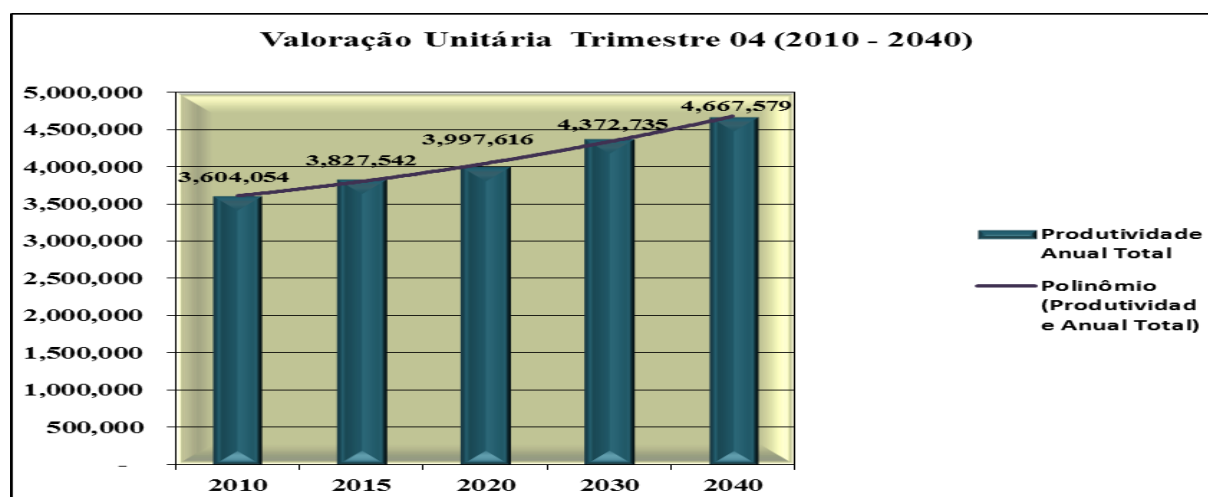
constatação pode ser explicada pelo aumento do montante populacional previsto, sendo que quanto maior a população, maior será a compensação direcionada pelo Prodes. Porém, vale salientar que existe uma limitação na valoração do Prodes quanto à população, descrita na metodologia. Assim, torna-se necessário que sejam sugeridas novas técnicas de tratamento de esgotos, para atuar tanto em novas ETEs como coadjuvantes em tratamentos já existentes. Um exemplo poderia ser na etapa de polimento de efluentes já produzidos.

Figura 106 – Investigação da arrecadação total em função da produtividade trimestre 03.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

Figura 107 – Investigação da arrecadação total em função da produtividade trimestre 04.

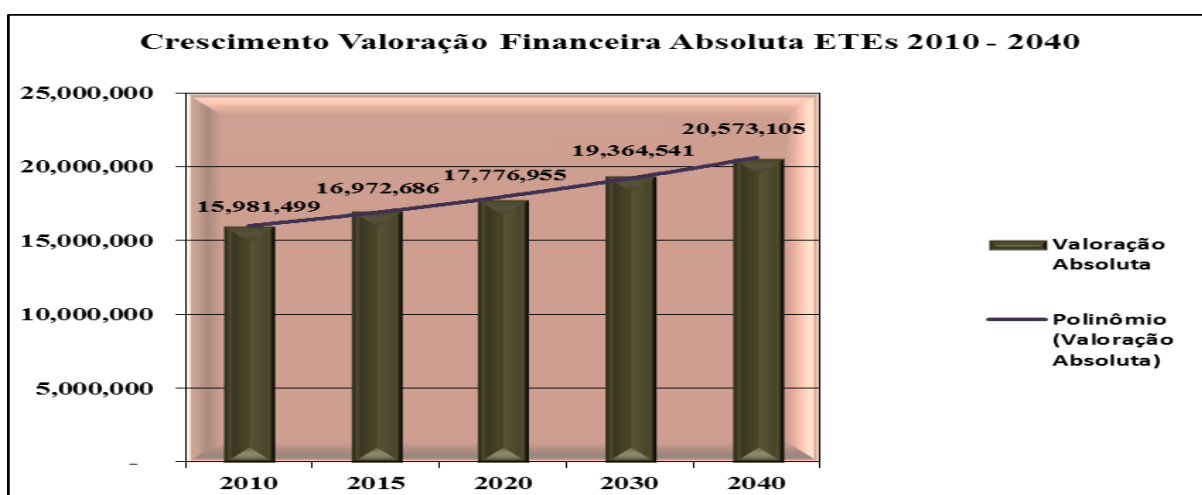


Fonte: Próprio Autor, (2014).

Inicialmente, foi executada a quantificação absoluta da produtividade de esgoto tratado inerente à classificação prevista no Prodes. Tal cálculo possibilitou verificar o

montante financeiro que poderia ser aportado no controle operacional das ETEs do Ceará. Na Figura 108, foi visualizada a quantidade que poderia ser arrecada por ano de operação. Em 2015 foi previsto um aporte monetário de quase dezessete milhões de reais. E, por volta de 2040, mesmo sem estruturação tecnológica, foi preconizado um montante de vinte milhões e meio de reais, considerando todas as ETEs juntas. Nos editais anteriores, o Prodes não previa as ETEs ou cidades cearenses, porém, na última resolução descrita na metodologia do trabalho, foram previstas as cidades de Carnaubal, Croatá, Ibiapina, Ipueiras e São Benedito. Assim, pode-se justificar este estudo, não só com o objetivo de convencer as concessionárias responsáveis pelo controle operacional das ETEs, mas também no atendimento ao interesse público, pois, existe uma tendência de aumentar substancialmente a cobertura das cidades por um saneamento qualitativo.

Figura 108 – Investigação da arrecadação total absoluta em função da produtividade anual.

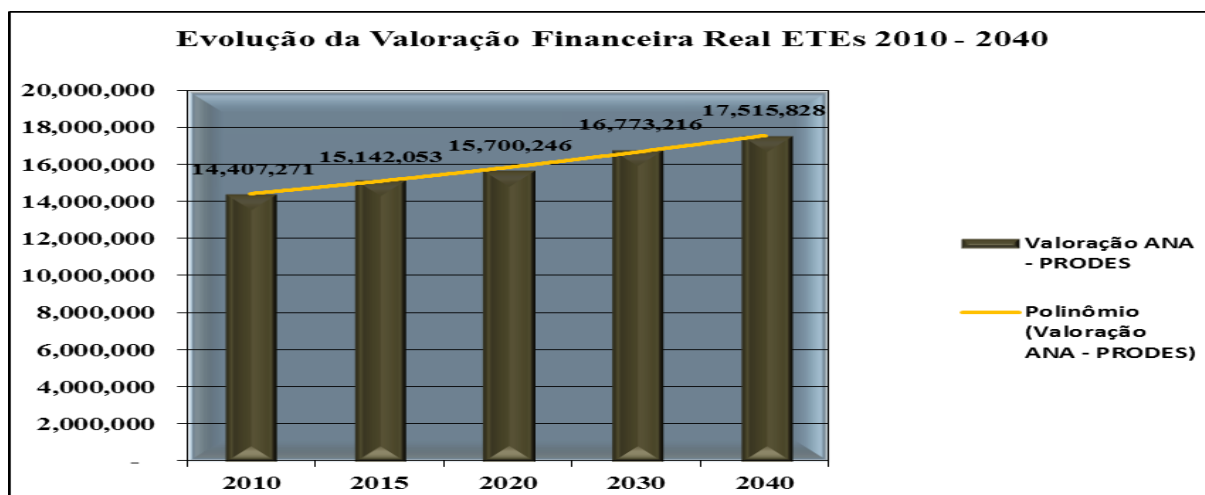


Fonte: Próprio Autor, (2014).

Em função da Resolução 644 de 2013, considerada nos procedimentos metodológicos da pesquisa, foram recalculados os quantitativos financeiros relativos à produtividade operacional. Assim, foram consideradas as condições referentes ao valor de contrato por esgoto tratado, em função da população de projeto.

Na Figura 109, foi verificado que houve uma variação de montantes entre 14 milhões e meio a 17 milhões e meio, nos anos de 2010 e 2040, respectivamente. Tal aporte representou uma redução de 10% na receita absoluta, mas, ainda sim, constou ser uma quantia importante para ser aplicada às melhorias no controle das ETEs e no saneamento ambiental.

Figura 109 – Investigação da arrecadação total restrita em função da produtividade anual.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

#### **4.11 Proposta de polimento de efluentes tratados utilizando microalgas do tipo *Spirulina Platensis* cultivadas em soluções orgânicas**

Diante dos resultados obtidos e expostos anteriormente, foi necessário propor uma metodologia de polimento de efluentes tratados empregando microalgas. Tal proposta tem como objetivo a promoção de melhorias nos resultados das concentrações efluentes dos diversos parâmetros operacionais, dentre eles os Sólidos Suspensos Totais, a Demanda Bioquímica de Oxigênio e a Demanda Química de Oxigênio, além da regulação do pH do meio. Assim, foram preconizados alguns resultados, dentre eles: o enquadramento das concentrações aos patamares legais, a elevação da eficiência operacional, uma maior confiabilidade na operação das estações de tratamento e a melhora da capacidade da ETE na depuração da matéria orgânica afluente.

##### **4.11.1 Medição de parâmetros e quantificação do crescimento das microalgas**

Na Tabela 18, são expostos os resultados das concentrações dos efluentes domésticos e de piscicultura com tratamento convencional e com pós-tratamento, utilizando microalgas. Quanto ao potencial hidrogeniônico, todas as análises iniciaram entre 5,5 e 7,5 e, após o cultivo, alcançou-se um pH entre 8,0 e 9,0, de acordo com a Tabela 18. Tal aumento de pH pode estar relacionado com o consumo de íons, ou seja, pela troca iônica produzida da pela parede celular da microalga (ROMERA *et al.*, 2007). A troca de íons ficou mais acelerada à medida que as microalgas tiveram um maior contato com os efluentes tratados. O

potencial hidrogeniônico ideal para se cultivar microalga do tipo *Spirulina platensis* deve ser maior que 9,0 (VONSHAK, 1997).

Tabela 18 – Média das concentrações iniciais e finais de parâmetros físico-químicos no tratamento de efluentes doméstico e de piscicultura utilizados como meio de cultivo para *S. platensis*.

Parâmetro	Efluente Doméstico		Efluente Piscícola	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Temperatura (°C)	25,1 ± 0,3 <sup>Aa*</sup>	25,3 ± 0,8 <sup>Aa</sup>	24,9 ± 0,3 <sup>Aa</sup>	25,7 ± 0,2 <sup>Aa</sup>
pH	5,5 ± 0,2 <sup>Ba</sup>	9,1 ± 0,1 <sup>Aa</sup>	7,5 ± 0,2 <sup>Bb</sup>	8,46 ± 0,1 <sup>Ab</sup>
Amônia (mg L <sup>-1</sup> )	1,4 ± 0,2 <sup>Aa</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>Ba</sup>	0,6 ± 0,2 <sup>Ab</sup>	0,4 ± 0,1 <sup>Aa</sup>
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	0,0014 <sup>A</sup>	0,0013 <sup>B</sup>	0,88 ± 0,2 <sup>A</sup>	0,09 ± 0,1 <sup>B</sup>
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	4,4 ± 0,5 <sup>Aa</sup>	2,6 ± 0,6 <sup>Ba</sup>	2,1 ± 0,5 <sup>Ab</sup>	0,4 ± 1,0 <sup>Ab</sup>
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	315,4	153,06	108,6	56,47
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	216,3	131,12	69,0	33,32
SST (mg L <sup>-1</sup> )	152,5	91,0	170,0	110,5

\*Os valores representam as médias ± desvio padrão. Letras maiúsculas diversas representam a diferença estatística entre as concentrações iniciais e finais de um mesmo efluente e letras minúsculas diferentes representam diferença estatística entre as concentrações dos diferentes efluentes (p<0,05).

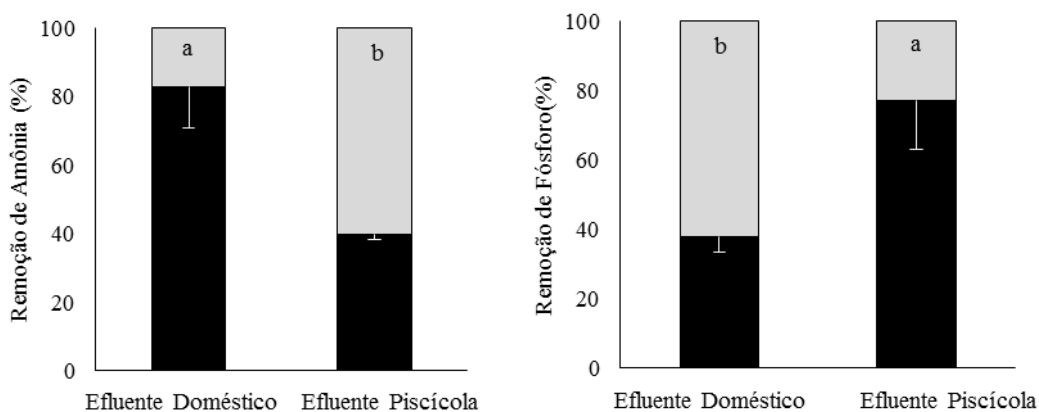
Fonte: Próprio Autor (2014).

Neste estudo, foi constatado que o pH ficou elevado para uma faixa ótima em todos os cultivos. Vale ressaltar que, no decorrer da pesquisa, tais microalgas demonstraram excelente adaptação aos efluentes estudados, promovendo a variação do pH de 5,5 para 9,5.

De acordo com a Figura 110, foi constatada uma excelente capacidade de remoção de amônia, podendo ser quantificada uma eficiência de 86 e 40%, na absorção deste parâmetro, para o efluente doméstico e piscícola, respectivamente. Além deste desempenho, foi possível obter um resultado com patamar inferior aos níveis normativos. Foi percebido, ainda, um bom desempenho com relação à concentração de nitrito para ambos os efluentes, com 98% de capacidade de remoção. Com relação ao fósforo ativo, foi constatada uma eficiência de 38% para o efluente doméstico. Tal resultado constou ser surpreendente, pois, um parâmetro limitante da eficiência das microalgas é o teor de fósforo. Também não foi típico o resultado quando se observou o efluente piscícola, onde a eficiência detectada foi de quase 80%. Os demais parâmetros (DBO, DQO e SST) serão comentados posteriormente, no

item 4.11.2.

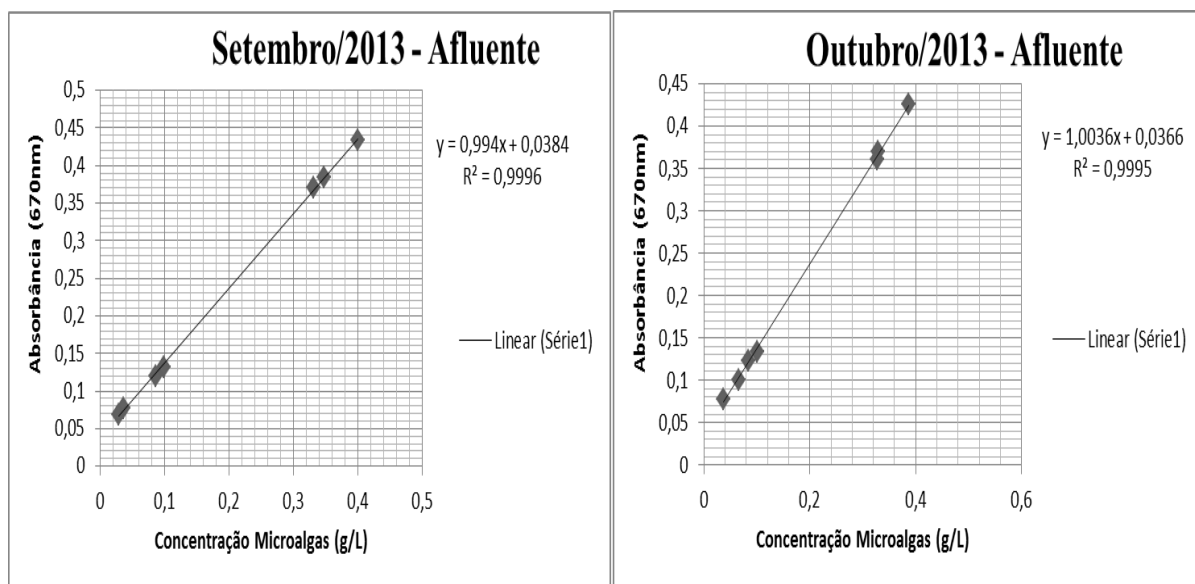
Figura 110 - Taxa de remoção de fósforo reativo e da amônia total nos efluentes doméstico e piscícola utilizados como meio de cultivo para *S. platensis*.



Fonte: Próprio Autor (2014).

A quantificação da concentração da biomassa para os cultivos das microalgas *Spirulina platensis* foi materializada em função da proporção entre a absorbância da amostra medida e a correspondente concentração celular, mostrada nas curvas padrão das Figuras 111 e 112, considerando os quatro meses de acompanhamento e comprimento de onda de 670nm.

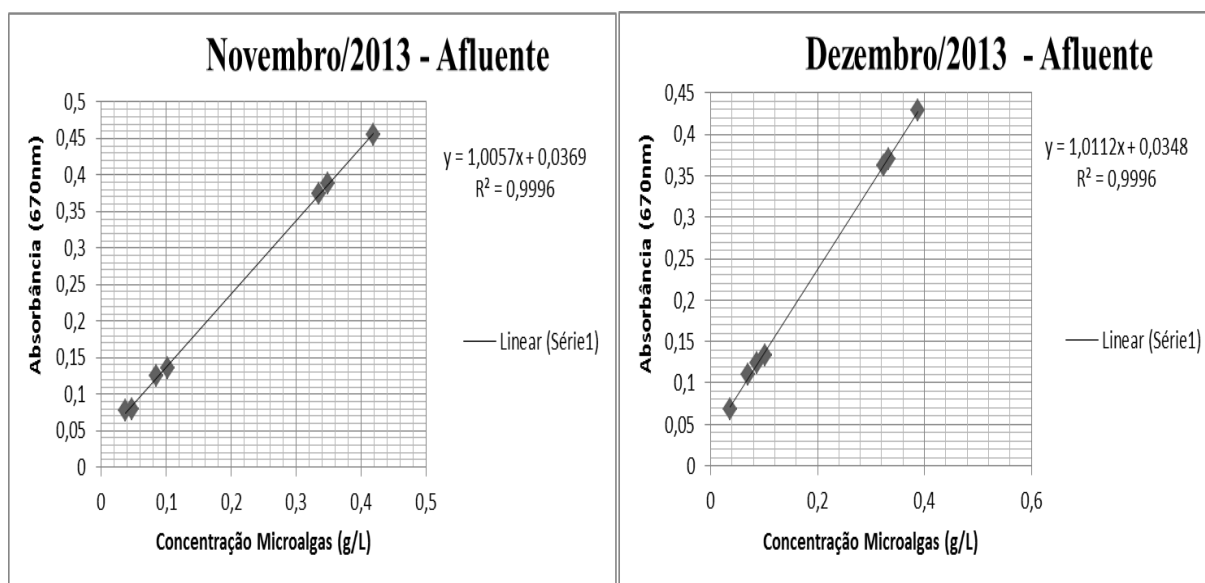
Figura 111 – Absorbância x concentração no afluente em Setembro e Outubro.



Fonte: Próprio Autor, (2014)



Figura 112 – Absorbância x concentração no afluente em Novembro e Dezembro.

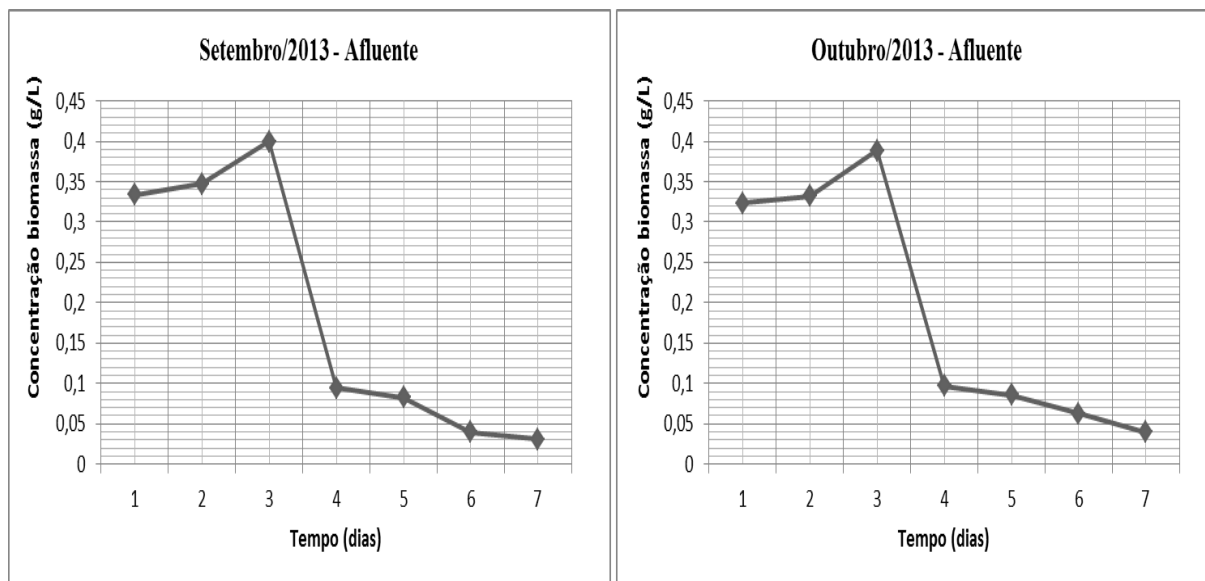


Fonte: Próprio Autor, (2014)

Em função da curva padrão elaborada com soluções de concentrações conhecidas versus transmitâncias e absorbâncias medidas, foi possível calcular as equações mostradas nas Figuras 111 e 112. Assim, foram quantificados os respectivos valores das concentrações das soluções desconhecidas, utilizando apenas as suas absorbâncias medidas no espectrofotômetro. Com isto, foi exposto o comportamento do crescimento das microalgas durante os quatro períodos de acompanhamento no afluente da ETE. Foi constatado que, com relação aos coeficientes de correlação  $R^2$ , 99% dos dados tiveram boa aderência às curvas traçadas, para os períodos analisados. Já com relação à concentração das microalgas, segundo a leitura da absorbância no espectrofotômetro e a equação obtida, verificou-se que a variação ficou entre 0,02 e 0,4, ou seja, um crescimento de 2000% comparado com a concentração inicial. Apesar deste resultado, será mostrado que, após um curto período de tempo, ocorre um rápido decaimento do crescimento algal, pelo intenso consumo de nutrientes do efluente.

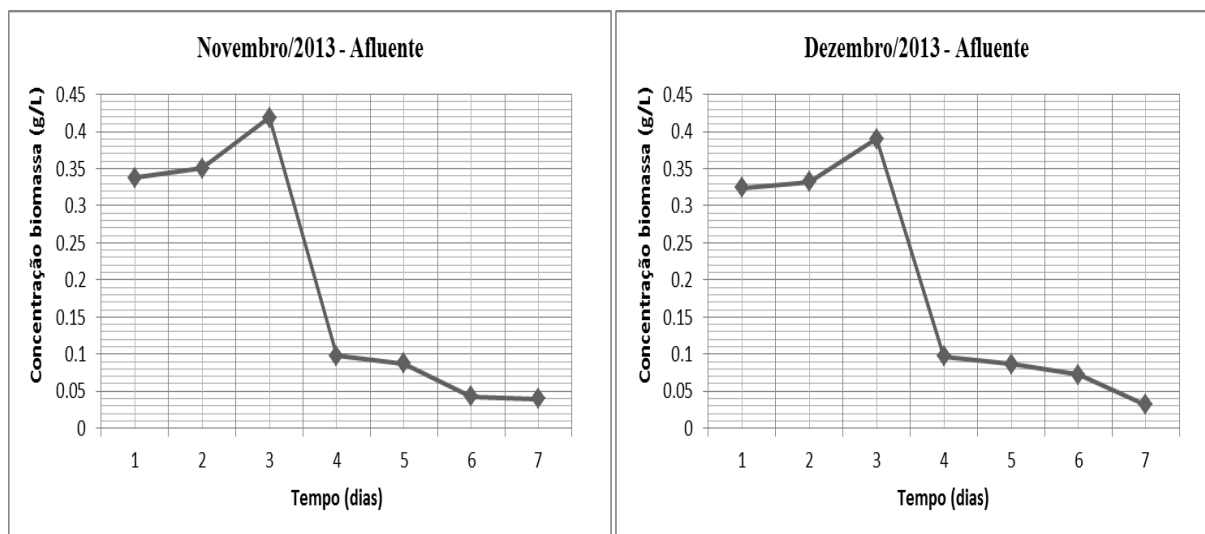
Nas Figuras 113 e 114, são mostrados os comportamentos das microalgas em função de seu crescimento e decaimento ao longo do tempo de observação. Foi constatado que, apesar de pequenas diferenças, a dinâmica de crescimento e morte das microalgas permaneceu constante. Com isto, podemos concluir que o período de crescimento das microalgas foi de até três dias no afluente ao tratamento convencional. Entretanto, no quarto dia ocorreu um intenso decaimento destes organismos, certamente pela falta de nutrientes, principalmente o nitrogênio, já que, apesar de consumirem também o fósforo, este consta ser um fator limitante para o desenvolvimento algal, no caso da *Spirulina platensis*.

Figura 113 – Concentração das microalgas x tempo afluente em setembro x outubro.



Fonte: Próprio Autor, 2014

Figura 114 – Concentração das microalgas x tempo afluente em novembro x dezembro.

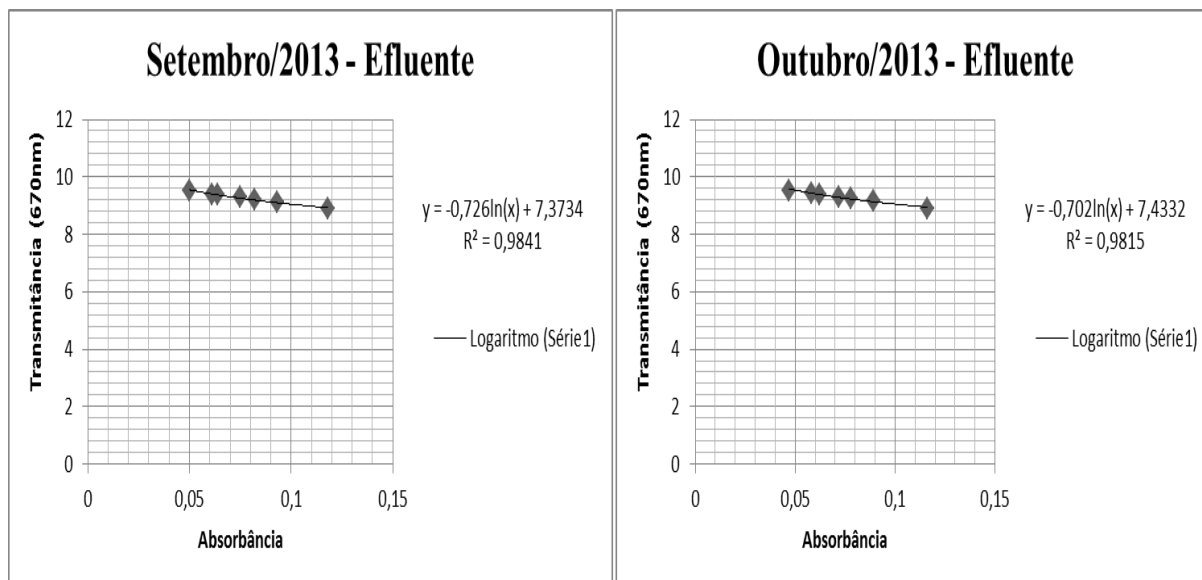


Fonte: Próprio Autor, 2014

A densidade da biomassa é uma variável preponderante durante a remoção de poluentes (ROMERA *et al.*, 2007). Porém, segundo Abalde (1995), quanto maior o montante do crescimento da biomassa mais elevada foi o quantitativo de matéria seca a ser disposta corretamente, pois, os poluentes que foram retirados do meio ficaram acumulados no interior da biomassa. Logo, em análises de remoção de poluentes, a taxa de crescimento da biomassa não pode ser exacerbada, a fim de não impactar em grandes custos operacionais de tratamento de esgotos e formação de precipitado final. Nesta pesquisa, o resultado foi considerado

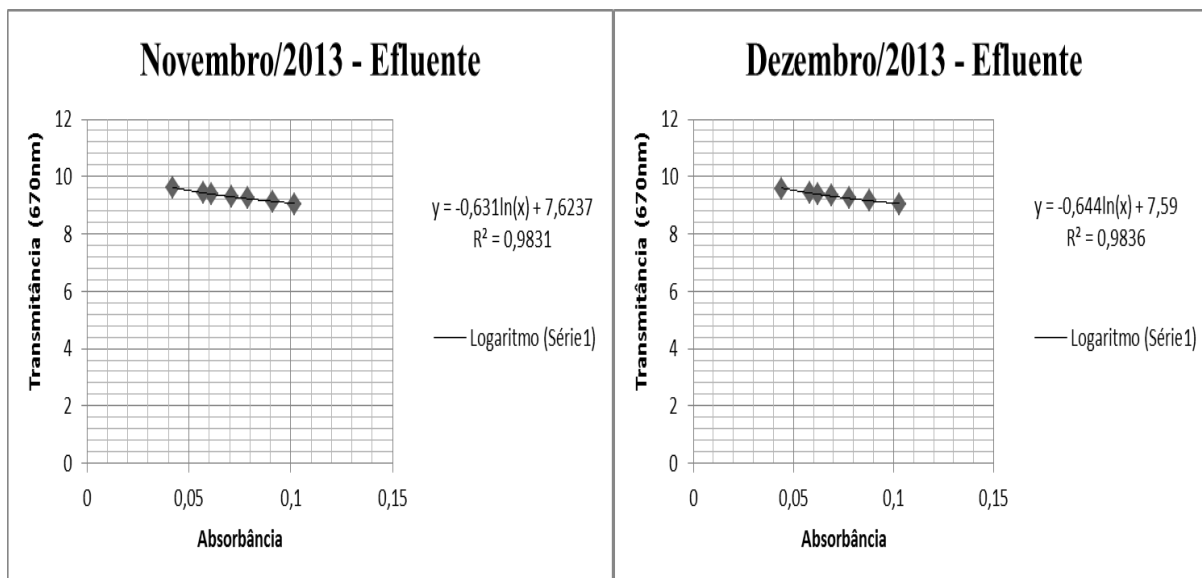
satisfatório, pois, tal biomassa não mostrou um crescimento descontrolado e a matéria orgânica foi removida com eficiência razoavelmente boa. Nas Figuras 115 e 116, são expostos gráficos que mostram a relação entre a transmitância e a absorbância afluente.

Figura 115 – Transmitância e absorbância no afluente em setembro e outubro.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

Figura 116 – Transmitância e absorbância no afluente em novembro e dezembro.



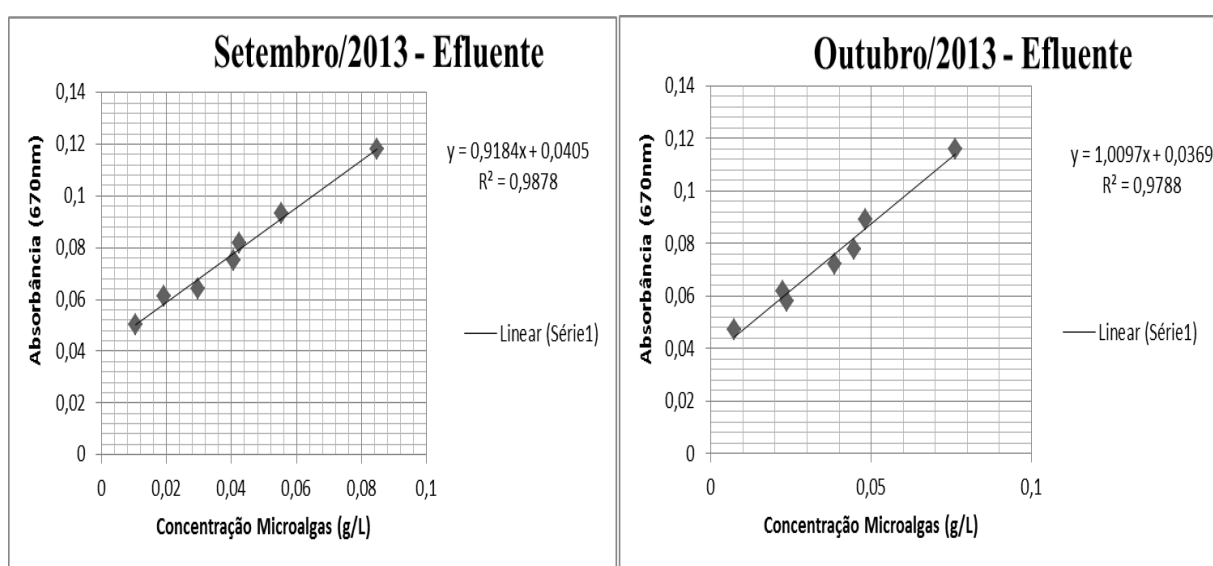
Fonte: Próprio Autor, (2014).

Esta relação consta ser não linear e sim logarítmica. Com isto, pode-se comprovar a relação de linearidade entre a absorbância e a concentração. Por isto, foi que, na prática,

para se determinar as concentrações das soluções investigadas tomam-se os valores das absorvâncias e não das tramitâncias, onde ambos os dados são medidos no espectrofotômetro.

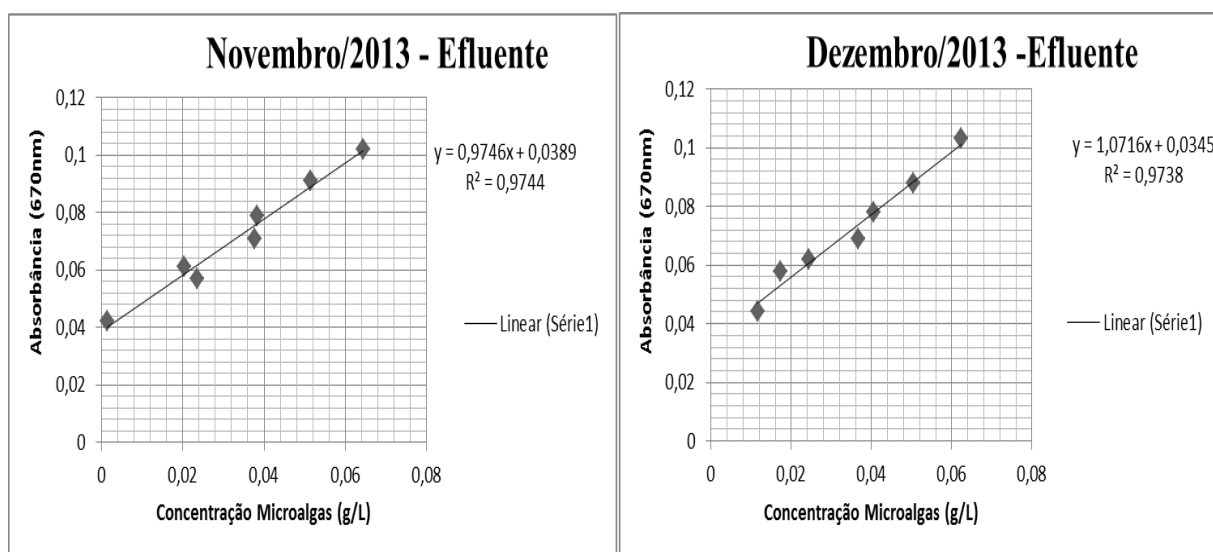
Com o objetivo de comparar os resultados obtidos do desenvolvimento celular das microalgas na situação afluente ao tratamento convencional da ETE, neste momento, são mostrados os resultados no cenário efluente ao tratamento convencional (Figuras 117 e 118), a fim de ratificar que a biomassa destas microalgas pode ser controlada, e, inclusive removida para a produção de componentes, como o betacaroteno, utilizado na indústria farmacêutica.

Figura 117 – Absorbância x concentração no efluente em Setembro e Outubro.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

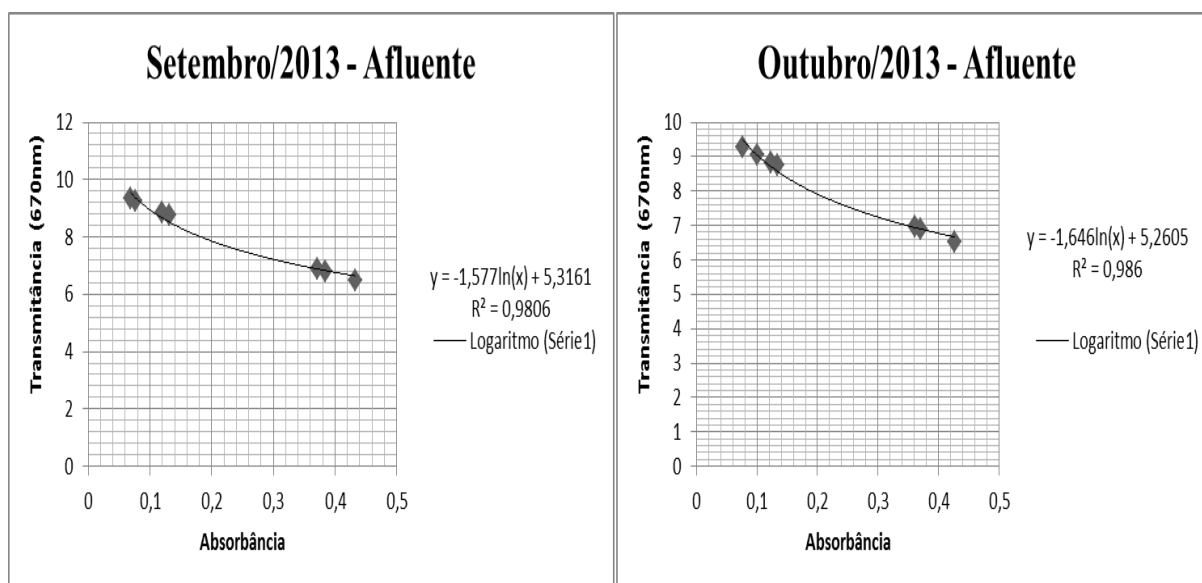
Figura 118 – Absorbância x concentração no efluente em Novembro e Dezembro.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

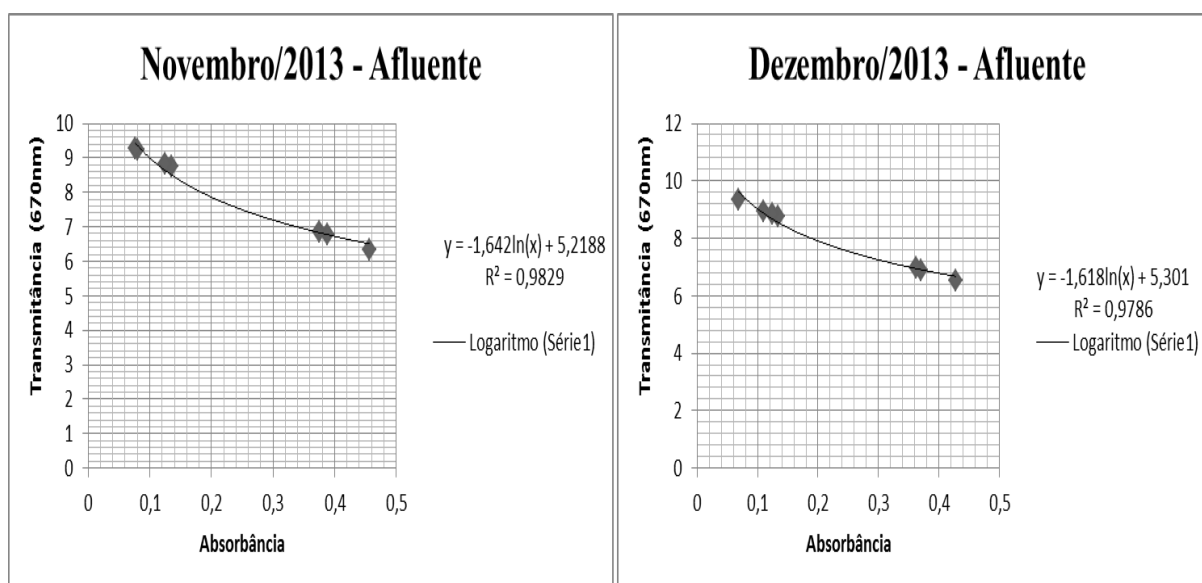
Como já era esperado, foi possível comprovar que no cenário efluente as leituras de absorvâncias foram menores. Foi observado tal fato nas Figuras 117 e 118. Também foi constatado que as concentrações foram inferiores às calculadas nas curvas afluentes. Segundo o coeficiente de correlação calculado, em média, para os quatro períodos de observação, 98% dos dados aderem bem às curvas traçadas. Assim, foi confirmada a relação linear entre a absorvância e a concentração.

Figura 119 – Transmitância x absorvância no efluente em Setembro e Outubro.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

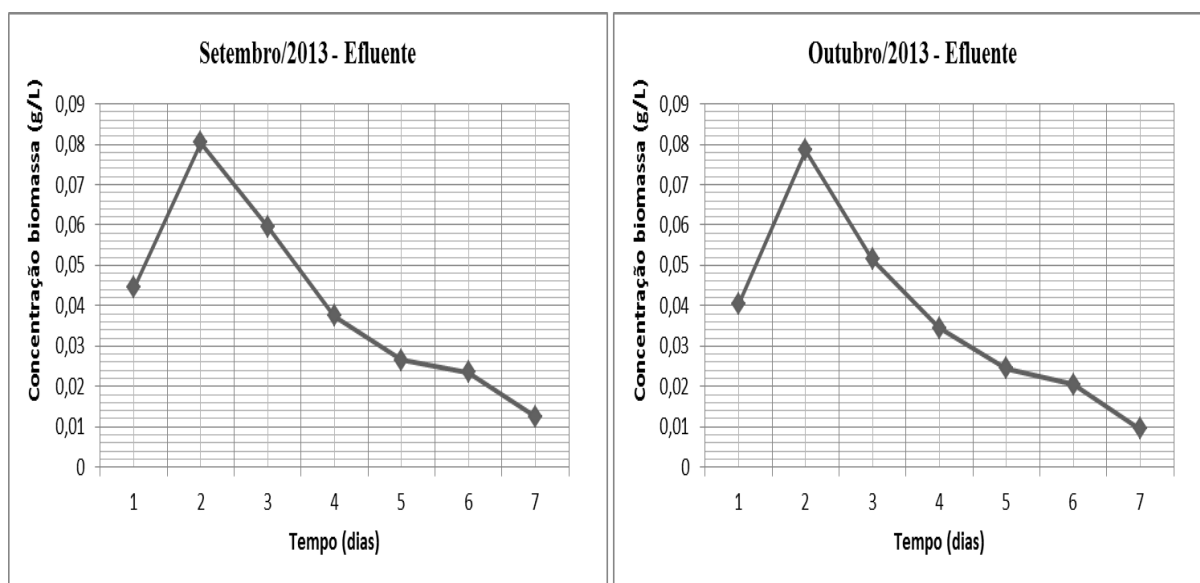
Figura 120 – Transmitância x absorvância no efluente em Novembro e Dezembro.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

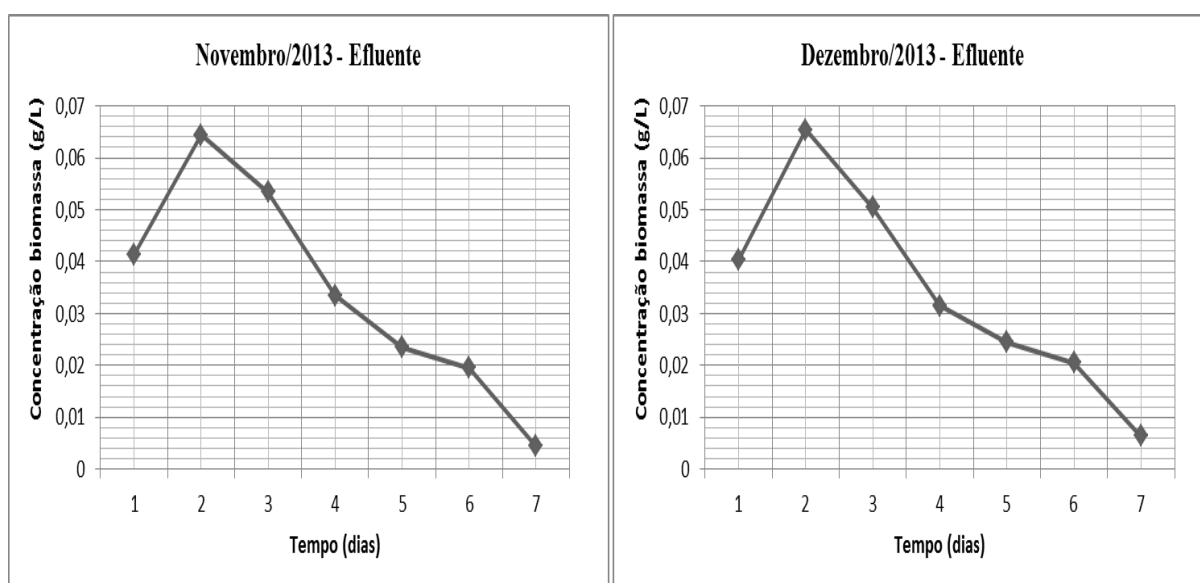
Nas Figuras 119 e 120 foram apresentados os resultados referentes à relação entre a tramitância e a absorvância, para os quatro períodos de observação no cenário efluente, e, como já era esperado, foram obtidas as tramitâncias maiores e absorvâncias menores, além de ratificar a relação de não linearidade entre as duas medidas. Nas Figuras 121 e 122, são expostos os crescimentos das microalgas ao longo do tempo de observação.

Figura 121 – Concentração das microalgas x tempo em Setembro e Outubro.



Fonte: Próprio Autor, (2014).

Figura 122 – Relação da concentração das microalgas e o tempo em Novembro e Dezembro.



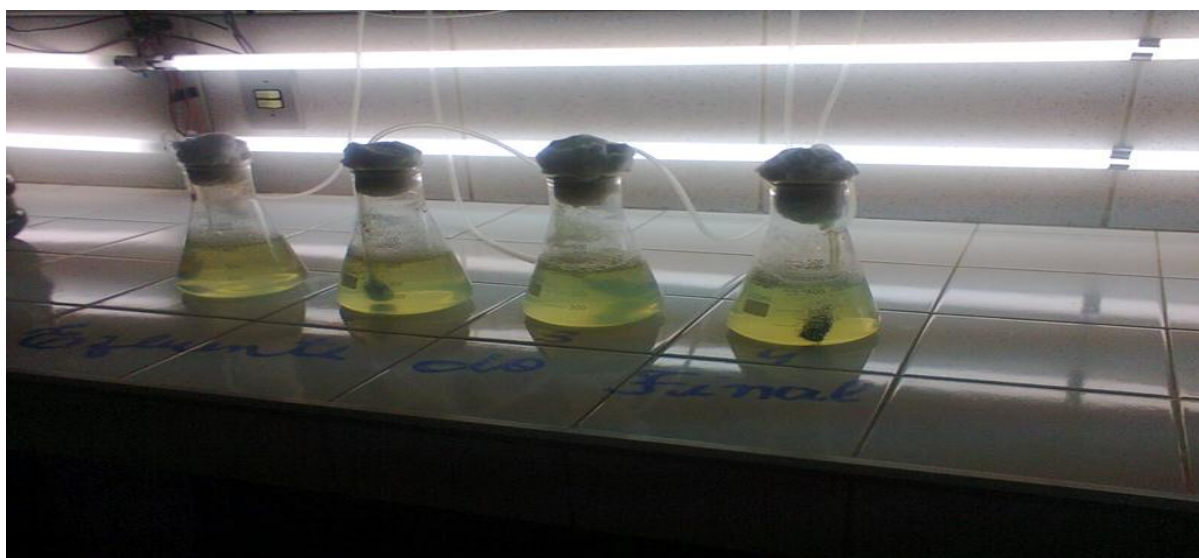
Fonte: Próprio Autor, (2014).

Com relação ao desenvolvimento das microalgas no efluente, Figuras 121 e 122, ficou entendido que, foi semelhante o comportamento para os períodos observados. Nestas situações, o decaimento das algas ocorreu depois do segundo dia, ou seja, diferentemente do afluente, com uma menor quantidade de matéria orgânica, a biomassa das microalgas começou a diminuir no terceiro dia.

#### *4.11.1.1 Relatório fotográfico do crescimento algal nos cenários efluente e afluente*

Em termos visuais, pode-se confirmar os resultados já comentados, pois, nas Figuras 123 e 124, foram constatadas tonalidades diferentes entre as gravuras observadas. O tom mais esverdeado refere-se ao máximo crescimento algal, que ocorreu no segundo dia; e, no sétimo dia, com o consumo de quase toda a matéria orgânica, foi detectada uma transparência elevada com a sedimentação das microalgas, já mortas pela falta de alimentos.

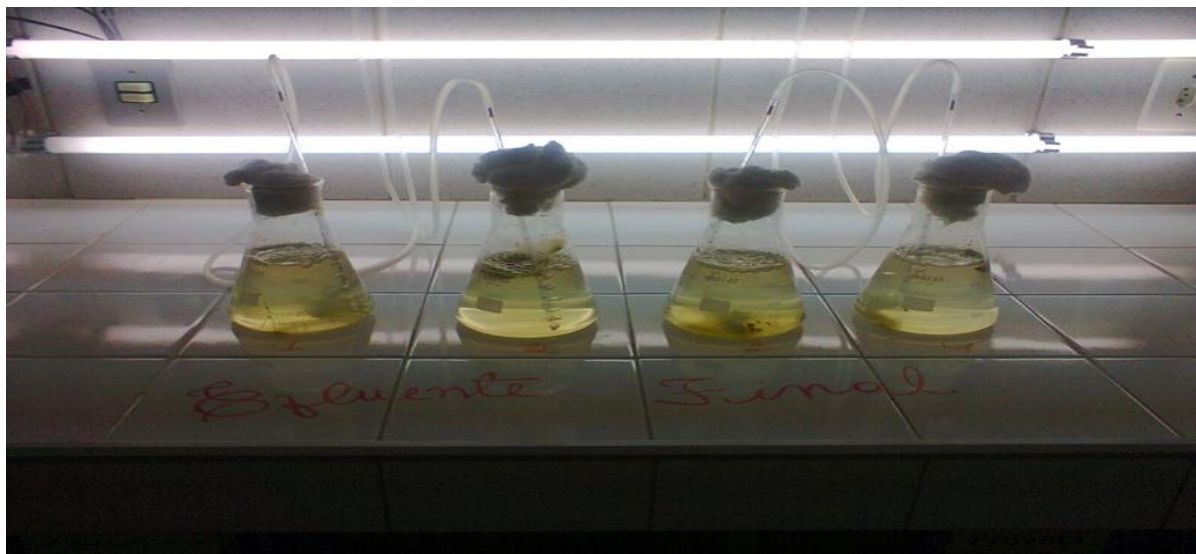
Figura 123 – Desenvolvimento das microalgas segundo dia – efluente tratado.



Fonte: Acervo Próprio, (2014).

As microalgas captam energia diretamente da luz artificial utilizada no experimento, e a utilizam para a síntese de alimentos essenciais. Portanto, no nosso planeta a fonte primária de toda energia metabólica é o sol e a fotossíntese, e são essenciais para a manutenção de todas as formas de vida aqui existente (HALL, 1980).

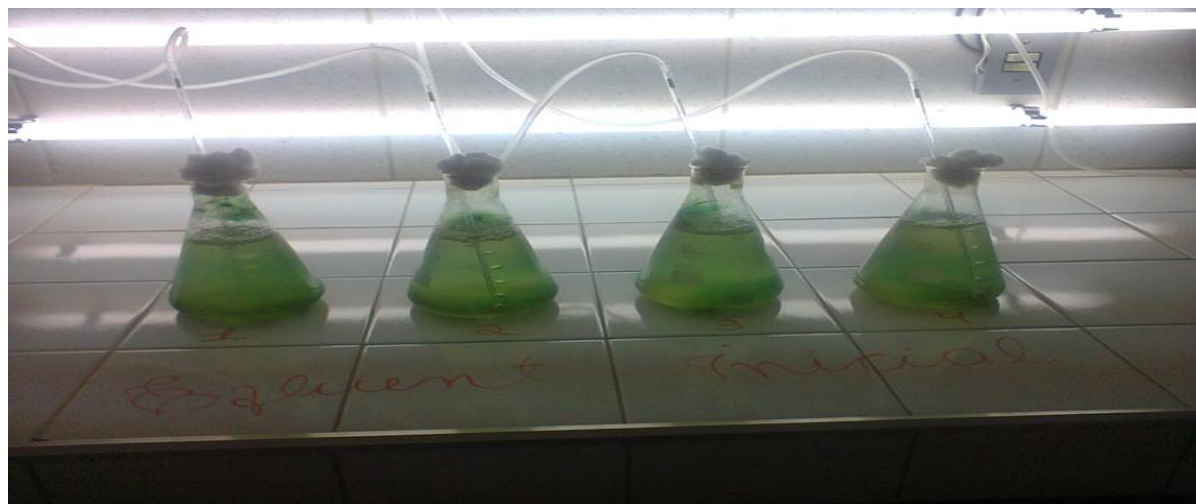
Figura 124 – Desenvolvimento das microalgas sétimo dia – efluente tratado.



Fonte: Acervo Próprio, (2014).

Com base no cenário afluente, pode-se confirmar os resultados e discussões anteriores claramente, pois, é possível verificar que, quanto maior a carga orgânica maior será o crescimento algal (Figuras 125 e 126). Assim, ficou entendido que, sem o tratamento convencional as microalgas atingem seu máximo crescimento em três dias, começando a decair, a partir desse instante. Logo, seria prudente sugerir a retirada, em caso de aplicação deste modelo de polimento, do excesso das microalgas no terceiro dia, para possíveis inoculações em outras unidades.

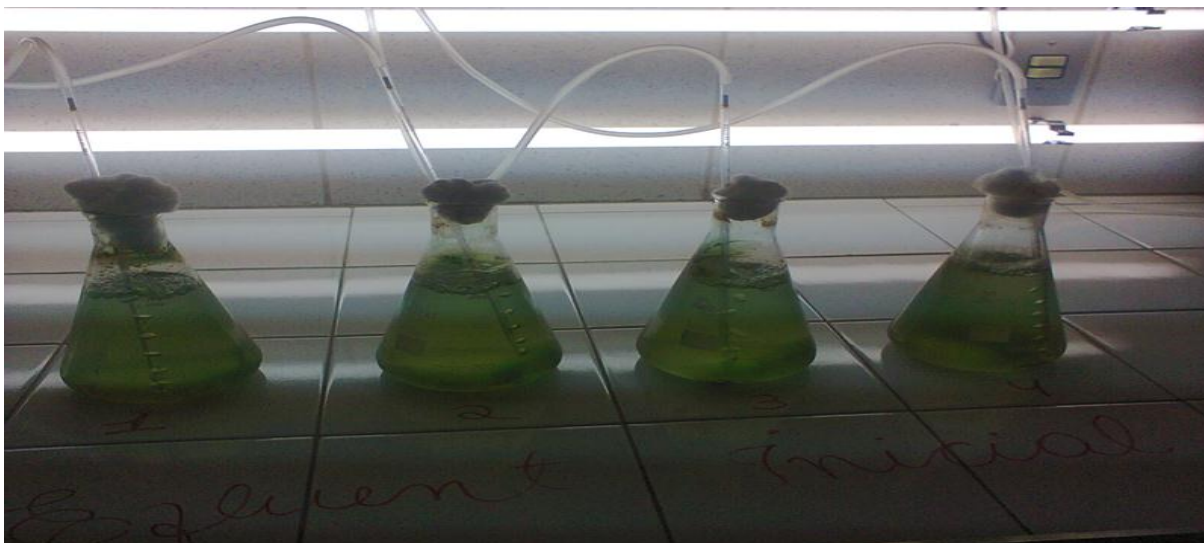
Figura 125 – Desenvolvimento das microalgas primeiro dia – efluente não tratado.



Fonte: Acervo Próprio, (2014).



Figura 126 – Desenvolvimento das microalgas terceiro dia – efluente não tratado.



Fonte: Acervo Próprio, (2014).

Inerente às Figuras 127, 128 e 129, ficou entendido que, ao final do período de sete dias de cultivo de microalgas em esgotos, seja ele afluente ou efluente, pode-se extrair a biomassa destes seres vivos, com dois objetivos principais: do ponto de vista da engenharia sanitária, com a finalidade de retirar o excesso destes agentes biológicos para o controle operacional de ETEs no polimento de efluentes, e, no contexto da biotecnologia, para a produção de betacaroteno, com propriedades antibióticas, anticâncer, antiinflamatórias, antivirais, redutoras de colesterol, enzimáticas e com outras atividades farmacológicas muito empregadas na indústria de cosméticos, principalmente no combate aos radicais livres.

Figura 127 – Biomassa algal sétimo dia – afluente e efluente.



Fonte: Acervo Próprio, (2014).

Figura 128 – Retirada de biomassa algal morta para a produção de betacaroteno.



Fonte: Acervo Próprio, (2014).

#### **4.11.2 Estimativa de impacto da prática do polimento usando microalgas na confiabilidade e na eficiência operacional**

Neste estudo foi executada uma análise comparativa em relação ao desempenho operacional convencional de uma ETE com o polimento adicional praticado por microalgas do tipo *Spirulina platensis*. Tal comparação foi direcionada à eficiência operacional e à confiabilidade dos resultados obtidos. Esta investigação teve como objetivo propor uma forma alternativa para o polimento de efluentes tratados no atendimento à legislação vigente.

Na Tabela 19 são mostradas as análises executadas entre setembro e dezembro do ano de 2013 sendo elaboradas quatro repetições por experimento realizado. Todas as investigações, nos diversos períodos, tiveram as mesmas condições peculiares. Foi constatado que, para a DQO foi obtida uma eficiência operacional média de 51,47%, considerando os quatro experimentos. Assim, as microalgas tiveram um melhor desempenho à medida que foi maior o contato com o efluente. Esta adaptação pode ser percebida pela mudança do pH, onde, segundo com Romera *et al*, (2007), em função do aumento da troca iônica ou mesmo do consumo de íons determinado pela parede celular das microalgas, ocorre um aumento da biomassa e, conseqüentemente, a elevação da capacidade de depuração da matéria orgânica.

Quanto maior o contato das microalgas com o efluente, mais elevada foi à eficiência operacional no polimento do esgoto tratado. Com relação à DBO, tal atuação também foi observada. Em média, a eficiência obtida foi de 39,4%. Apesar do resultado, a concentração ficou acima do exigido, que é de 60mg/L. Para os SST, a eficiência média foi de 38,7%.

Tabela 19 – Efluente convencional x efluente polido com microalgas

<b>Comparativo efluente com tratamento Convencional x Efluente Polido com microalgas</b>									
<b>Experimento</b> <b>Mês</b>	<b>Concentração DQO</b> <b>(mg/L)</b>		<b>%</b> <b>Remoção</b>	<b>Concentração DBO</b> <b>(mg/L)</b>		<b>%</b> <b>Remoção</b>	<b>Concentração SST</b> <b>(mg/L)</b>		<b>%</b> <b>Remoção</b>
	<b>Efluente</b> <b>Convencional</b>	<b>Efluente</b> <b>Polido</b>		<b>Efluente</b> <b>Convencional</b>	<b>Efluente</b> <b>Polido</b>		<b>Efluente</b> <b>Convencional</b>	<b>Efluente</b> <b>Polido</b>	
01/set	317,3	157,69	50,30	217,9	139,46	36,0	194,0	95,0	51,03
02/out	312,9	153,85	50,83	215,6	126,9	41,14	156,0	93,8	39,87
03/nov	316,8	154,05	51,39	216,5	130,6	39,68	145,0	89,5	38,28
04/dez	314,6	146,65	53,39	215,2	127,5	40,75	115,0	85,7	25,48
<b>MÉDIA</b>	<b>315,4</b>	<b>153,06</b>	<b>51,47</b>	<b>216,3</b>	<b>131,12</b>	<b>39,39</b>	<b>152,5</b>	<b>91,0</b>	<b>38,66</b>

Fonte: Próprio Autor (2014).

Na Tabela 20, foi vista a influência do polimento das microalgas relativa à confiabilidade da ETE estudada. Assim, foram expostas as concentrações efluentes com tratamento convencional e com pós-tratamento. Foi verificado que, para a DQO, a concentração efluente sem polimento foi de 315mg/L, 57% superior ao exigido pela legislação cearense.

Para o efluente polido, o valor obtido foi de 153mg/L, 23% inferior à norma exigida. Tais resultados puderam ser vistos, em termos absolutos, no cálculo da confiabilidade, em que a ETE investigada saiu de uma condição de NC (Não Confiável) para um cenário de 97,6% de confiabilidade. Já, com relação à DBO, a situação de não confiabilidade permaneceu, mas ocorreu uma redução da concentração efluente, por volta de 40%. Para os SST, a confiabilidade saiu de 49,6% e chegou ao patamar de 91,1%.

Tabela 20 – Estimativa de impacto na eficiência da ETE investigada em 2013.

<b>Comparativo efluente com tratamento Convencional x Efluente Polido com microalgas</b>														
<b>Conc.</b> <b>Média</b> <b>Afluente</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Conc.</b> <b>Média</b> <b>Efluente</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Confiabilidade DQO</b> <b>(%)</b>		<b>Impacto</b> <b>(%)</b>	<b>Conc.</b> <b>Média</b> <b>Afluente</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Conc.</b> <b>Média</b> <b>Efluente</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Confiabilidade DBO</b> <b>(%)</b>		<b>Impacto</b> <b>(%)</b>	<b>Conc.</b> <b>Média</b> <b>Afluente</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Conc.</b> <b>Média</b> <b>Efluente</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Confiabilidade SST</b> <b>(%)</b>		<b>Impacto</b> <b>(%)</b>
		<b>Efluente</b> <b>Convencional</b>	<b>Efluente</b> <b>Polido</b>				<b>Efluente</b> <b>Convencional</b>	<b>Efluente</b> <b>Polido</b>				<b>Efluente</b> <b>Convencional</b>	<b>Efluente</b> <b>Polido</b>	
315.40	153.06	NC	97.56	97.56	216.3	131.12	NC	NC	ZERO	152.15	91.12	49.6	91.12	41.52
NC - NÃO CONFIÁVEL														

Fonte: Próprio Autor (2014).

Na Tabela 21, foi feita uma comparação relativa ao impacto do pós-tratamento inerente ao índice de confiabilidade, e, conseqüentemente, às estimativas de concentração de

projeto e operação em função da concentração efluente exigida pela norma cearense.

Para a DQO, foram obtidos CDCs de 0,9688 e 1,0404, relativos aos efluentes convencional e polido, respectivamente. Tais resultados refletiram em dois níveis de concentrações de projeto distintos, onde, para o efluente convencional, foi obtida uma restrição da concentração de projeto de 193,8mg/L e para o esgoto polido de 208,1mg/L. Assim, fundamentado neste estudo, conclui-se que, ao se preconizar uma concentração de projeto para tal ETE, teremos uma folga de aproximadamente 7%. Este entendimento significa que, com o polimento executado pelas microalgas, pode-se projetar uma ETE com uma concentração de 208,1mg/L e operarmos com uma concentração de 193mg/L.

Caso não tivesse sido executado o pós-tratamento, ter-se-ia que projetar a ETE para 194mg/L e, ainda operar, no mínimo, com 206,4mg/L. Para os demais parâmetros, DBO e SST, os impactos quantificados foram de 7 e 8%, respectivamente.

Tabela 21 – Estimativa de impacto no índice de confiabilidade da ETE investigada em 2013.

Comparativo efluente com tratamento Convencional x Efluente Polido com microalgas											
Conc. Estimada (mg/L)	CDC DQO (%)		Impacto (%)	Conc. Estimada (mg/L)	CDC DBO (%)		Impacto (%)	Conc. Estimada (mg/L)	CDC SST (%)		Impacto (%)
	Efluente Convencional	Efluente Polido			Efluente Convencional	Efluente Polido			Efluente Convencional	Efluente Polido	
	0.9688	1.0404			0.8347	0.8962			1.0088	1.0941	
Conc. de Projeto	193.8	208.1	6.87	Conc. de Projeto	50.1	53.8	6.88	Conc. de Projeto	151.2	164.12	7.87
Conc. de Operação	206.4	192.2	6.88	Conc. de Operação	71.9	67	6.82	Conc. de Operação	148.7	137.1	7.80

Fonte: Próprio Autor (2014).

Um gargalo na aplicação das microalgas seria a acumulação de poluentes pela biosorção, porém, mesmo que células vivas e mortas sejam capazes de acumular metais, pode haver diferenças nos mecanismos envolvidos em cada caso, dependendo da extensão da dependência metabólica (GADD, 1990).

A concepção sistemática dos mecanismos pelos quais microrganismos acumulam metais é preponderante para a estruturação de processos de concentração, remoção e recuperação de metais em meios aquosos. Um exemplo seria o entendimento dos processos químicos ou fisiológicos durante a biosorção metálica que poderia permitir a caracterização e controle dos parâmetros dos mesmos para aumentar a velocidade, quantidade e especificidade da acumulação metálica. Tal problema não foi verificado no efluente doméstico estudado, pelo fato da concentração de metais ser acentuadamente baixa.

## 5 CONCLUSÕES

Nas análises de qualidade dos afluentes e efluentes foi constatado que os esgotos brutos apresentaram uma concentração mais elevada do que usualmente expresso na literatura para esgotos domésticos, em termos dos constituintes de DBO, DQO e SST. Tal percepção indica que a maioria das ETEs estudadas, além de operar no limite da eficiência preconizada ainda atua com uma carga orgânica afluente superior à sua capacidade de abatimento.

Com base na verificação da aderência dos dados, inerente às metodologias de Anderson Darling e Kolmogorov Smirnov, pode ser entendido que, em termos gerais, as distâncias verticais entre as funções empíricas, típicas dos dados obtidos, e as funções assumidas (normais), foram compatíveis com os valores já tabulados na literatura, ratificando assim a aplicação da metodologia da distribuição lognormal na obtenção dos ábacos de confiabilidade e tempos de falha operacional.

Comparando com os padrões normativos, em função dos resultados, foi constatado que, inerente à DQO, atenderam à legislação, 31% e 87,5% das ETEs pertencentes ao sistema de lagoas de estabilização, com relação à legislação cearense e do Brasil, respectivamente. Foi visto ainda que os sistemas Itaperussú e Pajuçara também se destacaram, atendendo integralmente às mesmas normas. Tal constatação, não pode ser verificada para a legislação europeia, por impor padrões mais restritivos.

Os piores desempenhos foram inerentes ao sistema UASB, com 7,2% e 42,9%, para a legislação cearense e brasileira. Tais resultados podem ser explicados pela inexistência de coordenação na manutenção dos reatores, onde a ausência de atividades como a limpeza das unidades UASB, a execução dos rodízios das descargas de lodo de fundo, espuma, areia e de lodo leve podem proporcionar a existência de falhas operacionais, tais como: obstruções na saída dos efluentes dos dispositivos UASB com o excesso de lodo, ocorrência de curto-circuitos e caminhos preferenciais nos reatores e aumento da acidez pelo excesso de sulfatos.

Com relação à DBO, 81% das ETE's pertencentes às lagoas de estabilização, obedeceram às condições impostas na legislação do Brasil, porém, com relação à norma cearense e europeia, especificamente, nenhuma das unidades atingiu o desejado. Já, com relação aos SST, obtiveram os melhores atendimentos as ETEs pertencentes ao sistema decanto-digestor bem como as unidades da Pajuçara e Itaperussu, com adequação de 100%. Tiveram os piores resultados as unidades do sistema UASB, com 57%.

Com base nos patamares de eficiência encontrados na literatura e nos padrões da ANA, com relação à DBO, tiveram os melhores desempenhos as ETEs pertencentes ao

sistema de lagoas de estabilização, onde 31,3% destas se enquadraram dentro da eficiência esperada. A pior atuação foi a inerente ao sistema decanto-digestor, onde nenhuma das ETEs apresentou uma eficiência desejada. O sistema de lodos ativados atendeu integralmente à eficiência esperada, para a DBO, DQO e SST. Foram destaques, no atendimento eficiente, para a DQO, as ETEs inerentes aos sistemas de lagoas de estabilização, e para SST, as unidades do sistema decanto-digestor, com 25% de enquadramento. Este resultado indica que, embora alguns sistemas tenham suas limitações e operem dentro do esperado, existem outros fatores que interferem diretamente em seus funcionamentos, dentre eles a vazão de entrada e a carga orgânica afluyente, muitas vezes superior à capacidade do sistema.

Na fase de simulações, para a quantificação do tempo de falha e investigação da confiabilidade, inerente aos patamares europeus, para a DBO, obteve melhor confiabilidade a ETE Pajuçara, com 15,4%, enquanto que as demais estações tiveram confiabilidades variando entre 0,01% e 3,14%. O resultado obtido pela ETE Pindorama se dá em parte pelo coeficiente de variação de 0,91, considerado alto, quando comparado com as outras estações, que mostraram variabilidades entre 0,1 e 0,13. Vale ressaltar que a legislação européia se mostra extremamente exigente, devido às condições climáticas desfavoráveis. Suas deliberações normativas, principalmente para DBO (25mg/L) e DQO (125mg/L), são consideradas praticamente inexecutáveis no Brasil, em termos operacionais.

Já com relação à DQO, apresentou boa confiabilidade a ETE Pajuçara, com 62,9%, mesmo com um CV de 1,06, já que as demais ETEs tiveram variabilidade entre 0,03 e 0,21. Certamente, este resultado foi compensado pelos bons desempenhos operacionais. As demais estações mostraram confiabilidades variando entre 0,28% e 46,81%. Como o nível exigido para a DQO corresponde a 125mg/L, superior ao patamar da DBO (25mg/L), então, as cargas afluentes compatíveis com a tecnologia de tratamento, boas eficiências operacionais e baixa variabilidade, tiveram influência na obtenção de bons níveis de confiabilidade. No caso dos SST, foi constatado que houve uma variação na confiabilidade entre 26,1% e 99,04%, enquanto que a ETE Pajuçara obteve 100% de confiabilidade.

Para os padrões cearenses, a confiabilidade se mostrou instável com as características operacionais de algumas ETEs, em função das metas e da variabilidade amostral. Associado a tais constatações, ainda se teve a ocorrência de boa eficiência operacional, 87,32%, para a remoção dos SST. A ETE Pindorama, além de apresentar eficiência adequada para a remoção de SST, de 74,95%, também mostrou uma excelente confiabilidade, de 85,31%, ou seja, em apenas 14,69% do tempo, tal ETE não atendeu às normas para o constituinte SST. Este resultado foi devido à ocorrência de um bom cenário,

em que a concentração afluenta foi compatível com a preconizada, e a ETE operou com eficiência adequada à concentração efluente, que esteve abaixo do exigido e o coeficiente de variação se apresentou acentuadamente baixo, de 0,29.

Para os padrões brasileiros, em todos os cenários possíveis, a ETE Pajuçara obteve as melhores confiabilidades, sendo para a DQO – 96,71%, para a DBO – 95,35% e para os SST – 100%. Em média, como a restrição é menor para os diversos parâmetros considerados, é natural que as confiabilidades tendam a se elevar. Tais análises foram realizadas com o objetivo de simular cenários capazes de mostrar o comportamento das estações, e ainda sugerir a aplicação de padrões exequíveis, considerando a segurança dos recursos hídricos, o melhoramento das eficiências operacionais e o controle inteligente na produtividade de ETEs.

Na fase da projeção financeira, com relação à produtividade de esgotos, foi verificado que poderia ser captado pela CAGECE um montante financeiro que variou de 14 milhões e meio a 17 milhões e meio, para os anos de 2010 e 2040, respectivamente. Tal aporte de recursos poderia ser inserido na receita a ser aplicada nas melhorias do controle das ETEs e do saneamento ambiental cearense. Para isto, seria necessário executar um mapeamento das ETEs cearenses e ponderar seus enquadramentos às normas do Prodes.

Na fase de análise inerente ao comportamento das microalgas, com relação ao polimento de efluentes, pode-se afirmar que foi viável a sua aplicação, pois, para a DQO foi obtida uma eficiência operacional média de 51,47%. Com relação à DBO, tal comportamento foi relativamente obedecida. Em média, a eficiência obtida foi de 39,4%. Para os SST, a eficiência média foi de 38,7%. Com relação ao desenvolvimento em efluentes domésticos as microalgas *Spirulina platensis* se mostraram comportadas, considerando o sétimo dia de cultivo, onde com a falta de nutrientes tais microorganismos entraram na fase de senescência.

Com base na aplicação do conceito de confiabilidade na fiscalização de ETEs pode-se concluir que foram evidentes as melhorias com relação à confiabilidade. Tais resultados puderam ser vistos em termos absolutos no cálculo da mesma, em que, para a DQO, a ETE investigada saiu de uma condição de NC (Não Confiável) para um cenário de 97,6% de confiabilidade. Já com relação à DBO, a situação de não confiabilidade permaneceu, mas ocorreu uma intensa redução da concentração efluente, por volta de 60,6%. Para os SST, a confiabilidade saiu de 49,6% atingindo o patamar de 91,1%.

Estas condições refletem a geração de informações úteis, não só ao projeto de novas ETEs, mas também ao planejamento de futuras ampliações, para um bom condicionamento operacional e uma adequada proteção dos recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALDE, J *et al.* **Microalgas: Cultivo e Aplicaciones**. Universidade da Coruña, 1995.

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](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.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Manual de operação - versão 2002.0. **Programa de despoluição de bacias hidrográficas – PRODES**. 149p. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Resolução n. 644 de 2013**.

ANDERSON, T.W. e DARLING, D.A. **Asymptotic theory of certain “goodness of fit” criteria based on stochastic process**. *Ann. Math. Stat.*, Volume 23, pp. 193-212, 1952.

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

ANDREOLI, C.V. *et al.* **Wastewater sludge management: a Brazilian approach**. In: WASTEWATER BIOSOLIDS SUSTAINABILITY, 2007, Moncton, Moving Forward - Wastewater Biosolids Sustainability, 2007. p. 117-131.

APHA–AWWA- WPCF. **Standart methods for the examination of water and wastewater. 19th edition**. Wasghington D.C: American Public Health Association. 953p. 1995.

BASTOS, R. K. X; OLIVEIRA, D.C.; FREITAS, A.G.; NASCIMENTO L.L. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água antes e depois da intervenção de melhoria**. In: AIDIS; Asociacion Interamericana de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Seccion Uruguai. Rescatando antiguos principios para les nuevos desafíos del milenio. Montevideo. AIDIS, 2006. p. 1-8, tab: Conferência apresentando em: Congresso



Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Abiental, 30 Punta de Este, 26-30 nov. 2006.

BAIRD, Colin; GRASSI, Marco Tadeu (Consult.) **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BECKER, W. Microalgae in human and animal nutrition, In: RICHMOND, A. (Ed.). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. London: Blackwell Science, 2004. p.312-351.

BEZERRA, M. E. E; 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.

BRANDÃO, W. A **Reforma agrária solidária do Ceará**. Fortaleza: 1998. 32 p. (mimeo.).

BRITTO, E. R. **Tecnologias Adequadas ao Tratamento de Esgotos** – Rio de Janeiro: ABES, 2004.

BROADBENT, S. R, C. S. Lognormal Approximation to Products and Quotients. *Biometrika*, v. 43, n. 3/4, pp. 404-417.1956.

BUENO. M. Y. B.; **Remoção de Pb, Cr e Cu por Processo Combinado Biossorção/Bioflotação utilizando a Cepa *Rhodococcus Opacus***. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

CAGECE. Companhia .../SEINFRA...**SANEAR II**. Programa de Infra Estrutura Básica do Estado do Ceará- Fortaleza: CSL Consultoria de Engenharia e Economia, 2010.6v. CAMPOS *et al.* (1999)

Canadian Council of Minister of the Environment (CCME). **Environmental Risk-Based Approaches for municipal wastewater development Committee Terms of Reference**. Minnow Environmental Inc. project no. 2114, 2005.

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.

CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB5. CNPq/Caixa Econômica/FINEP. 544 p. Belo Horizonte, 2007.

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 (CONAMA). **Resolução n. 430 de 13 de maio de 2011**.

COLLA, L. M. *et al.* **Fatty acids of *Spirulina platensis* grown under different temperatures and nitrogen concentrations**. Zeitschrift Naturforschung, v.59c, p.55-59, 2004.

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

DERNER, R. B.; OHSE, S.; VILLELA, M.; CARVALHO, S. M.; FETT, R. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**. v.36, n.6, p.1959-1967, 2006.

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

DOS SANTOS, A.B., Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos. Banco do Nordeste, Fortaleza, 206 p., 2007.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: Abes, 2006.

GADD, G. M. **Biosorption**. Chemistry & industry, v.2, p.421-426, 1990.

GADD, G.M. (1990), "Fungi and Yeast for Metal Accumulation in Microbial Mineral Recovery" in **Environmental Biotechnology** (H.L. Lehrlich, C.L. Bierley, Eds.), McGraw Hill, pp. 249-275.

HALL, D.O. **Fotossíntese**. Universidade de São Paulo. São Paulo.SP, 1980.

HENRIKSON, R. – **Microalga *Spirulina* – Superalimento del futuro**. Barcelona: Ediciones Urano. 1994.

KLINGEL, F. *et al.* **Fecal sludge management in developing countries: a planning manual**. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, Department for Water and Sanitation in Developing Countries, 2002. [On-line]. Disponível em <<http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec>>. Acesso em 5 jul. 2009.

LAPPONI, J.C. **Estatística usando Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1a ed., 2005. 476p.

LIMA, E. e MASINI, J. **Instituto de Química** - Universidade de São Paulo - CP 26077 - 05599-970 - São Paulo - SP 1999.

MARA D. Domestic wastewater treatment in developing countries. 293 p., 2003.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. D. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo – SP: Oficina de textos, 2007.

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

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. New York: Metcalf & Eddy, Inc., 4 th. Ed., 2003, 1819p. McGraw-Hill. USA. 2003.

MICHEL, J. P. **Manual de metodologias y Alternativas para el Cultivo de Microalgas**. Ensenada, Baja California, Mexico, 1986.

MONTEIRO, C.R.L. **Análise da eficiência e confiabilidade em 56 estações de tratamento de esgotos localizados na região metropolitana de Fortaleza**. 2009. 77p: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 1.ed. Rio de Janeiro:ABES, 2012,292p.

MOURA, M. O. **Os Microclimas Urbanos de Fortaleza: ritmos episódicos em duas áreas representativas da cidade. (Relatório de Graduação)**. Fortaleza: Depto. de Geografia – UFC, 2006.

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.

NUNES, V.A.; GOMES, G.A.; SILVA,R.C.; LACAZ-RUIZ, R. **Tópicos de biologia molecular para o estudo de cianobactéria**. Inn: LACAZ-RUIZ, R., Coord. Espirulina – Estudos & Trabalhos: Editora Roca. 2003, p. 235-237.

NUNES, J.A. **Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 10<sup>0</sup> Edição – Aracaju; Gráfica Editora J. Andrade, 2010.

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

PIVELLI, R.P.; MONTEGGIA, L.O. FILHO CORAUCCI. B.; VON SPERLING. Remoção de Nutrientes em Sistemas Naturais, In: MOTA, S.; VON SPERLING. M. (Organizadores) **Nutrientes de esgotos sanitários: utilização e remoção**. ABES; Rio de Janeiro. 2009. p. 393 – 340.

ROMERA, E. *et al.*, Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. **Bioresource Technology**. v.98, p. 3344-3353, 2007.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Águas e Esgotos** – 2012. Brasília; 2012. 99 p.

SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. **Statistical Methods**. Ames: Iowa State University Press, 8th. ed., 1989. 503p.

SPIEGEL, M. **Estatística**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 3. ed., 1994. 643p.

Stat Camp, Inc., 2013. SOFTWARE ACTION (data analysis software system), version 2.6. [www.portalaction.com.br](http://www.portalaction.com.br).

STEPHENS, L.J. **Statistical**. 4a ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 597p.

TAKAGI, M.; KARSENKO; YOSHIDA, T. **Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella cells***. Journal of Bioscience and Bioengineering, Osaka, v. 101, n. 3, p. 223 – 226, Mar. 2006.

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

TUNG, T.K., HATHHORN, W.E. Assessment of probability distribution of dissolved oxygen deficit. **Journal of Environmental Engineering**, v. 114, n. 6, p. 1421-1435, 1988.

U.S. EPA. **Results of the Nationwide urban runoff program**. Volume 1 – Final Report. Water Planning Division, U.S. EPA, Washington, DC. 1983.

VAN HAANDEL, A; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação.** Campina Grande, PB: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 472p

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

VIACELLI, J.; **Remoção de Íons Cádmio e Chumbo de Efluente Sintético por Microalga *Spirulina platensis*.** Universidade de Passo Fundo, 2007.

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; 2005. 243p.

VON SPERLING, M., FATTAL, B. **Implementation of guidelines: some practical aspects.** Organized por FEWTRELL, L.; BARTRAM, J. Water quality: guidelines, standards and health. **Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease.** Londres, p. 361 – 376, 2001.

VONSHAK. A; BOUSSIBA, S; ABELIOVICH, A; RICHMOND, A. Production of Spirulina Biomass: Maintenance of Monoalgal Culture Outdoors. **Biotechnology and bioengineering,** vol. XXV, 341-349, 1983.

WANG, D. I. C et al. **Fermentation and Enzyme Technology.** Nova York; John Wiley & Sons, 1979.

XAVIER, T. M. B. S. 2001: **Tempo de Chuva. Estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional.** Fortaleza ABC Editora, Fortaleza, Ceará, 2001, 461 pp.

XU, H.; MIAO, X. L.; WU, Q. **High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters.** Journal of Biotechnology, Amsterdam, v. 126, n.4, p. 499-507, Dec. 2006.

## 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	0,2389	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: Análise de confiabilidade das ETEs em 2011– Logística 01

Tabela 22 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 02 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Sítio Santana			Riacho Doce			Aracapé III		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Vazão média projeto (l/s)	20,76			45,6			27,1		
População atendida	8304			18239			10828		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	628,75	948,67	374,92	490,92	718,92	328,75	670,08	941,5	333,25
Eficiência de remoção (%)	50,6	46,92	48,37	64,9	66,38	73,77	64,43	64,76	65,59
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
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	319,17	522,96	187,17	173,03	248,97	89,29	233,15	336,45	116,64
Desvio padrão (mg/l)	125,42	207,51	73,84	94,66	114,69	49,08	66,46	110,42	56,65
Coefficiente de variação (CV)	0,39	0,4	0,39	0,55	0,46	0,55	0,3	0,33	0,49
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-2,651	-1,367	-0,099	-1,269	-0,048	1,1146	-2,279	-0,702	0,7141
Confiabilidade no Ceará	0,40%	8,53%	46,41%	10,20%	48,40%	86,65%	1,13%	23,98%	76,11%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	-0,5533	0,0309	0,4024	0,5498	1,2697	1,5491	0,0716	0,8115	1,1696
Confiabilidade Média no Brasil	29,12%	51,20%	65,54%	70,88%	89,80%	93,94%	52,79%	79,10%	87,90%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-4,177	-2,1772	-0,0988	-2,5913	-0,8124	1,1145	-3,988	-1,5871	0,714
Confiabilidade Legislação Européia	NC	1,50%	46,41%	0,52%	20,90%	86,65%	NC	5,59%	76,11%

Fonte: Autor, 2014



Tabela 23 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 03 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Zeza Tijolo			Pajuçara			Rosa Luxemburgo		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema - reator DAFA + filtro anaeróbio submerso aerado + decantador lamelar + cloração			Sistema - reator UASB + filtro submerso aerado + cloração		
Vazão média projeto (l/s)	74,2			150,67			1,81		
População atendida	29652			60268			723		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	623	1167	373,33	539,5	1044,47	177,92	590,67	1272,67	288,67
Eficiência de remoção (%)	56,2	65,39	58,22	87,03	88,34	87,32	83,37	85,04	72,58
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
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	278,58	406,03	165,58	73,93	134,59	22,63	95,98	191,97	76
Desvio padrão (mg/l)	120,51	219,71	87,5	50,72	142,23	9,57	35,13	59,27	46,32
Coefficiente de variação (CV)	0,43	0,54	0,53	0,81	1,06	0,42	0,37	0,31	0,61
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-2,268	-0,749	0,1745	0,1141	0,891	3,4901	-0,557	0,3387	1,3303
Confiabilidade no Ceará	1,16%	22,66%	56,75%	54,38%	81,34%	100,00%	28,77%	63,31%	90,82%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	-0,2550	0,4850	0,6156	1,6771	1,8448	3,9758	1,5890	1,8992	1,7471
Confiabilidade Média no Brasil	40,13%	68,44%	72,91%	95,35%	96,71%	99,99%	94,41%	97,13%	95,99%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-3,732	-1,4643	0,1745	-1,0224	0,3381	3,49	-2,117	-0,5658	1,3302
Confiabilidade Legislação Européia	NC	7,22%	56,75%	15,39%	62,93%	100,00%	1,50%	28,77%	90,82%

Fonte: Autor, 2014

Tabela 24 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 04 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Paupina			Novo Barroso			Dias Macedo		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Vazão média projeto (l/s)	24,15			21,3			131,35		
População atendida	9659			8488			52541		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	483,33	735,67	342,92	600,5	1026,83	339	611,58	1033,42	302,58
Eficiência de remoção (%)	63,82	44,54	57,59	65,05	53,33	48,79	71,15	67,79	59,11
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
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Effluente (mg/l)	177,13	406	145,42	225,08	491,62	171,34	184,63	337,18	128,83
Desvio padrão (mg/l)	70,49	130,66	43,31	133,48	252,46	156,27	91,07	95,16	67,36
Coefficiente de variação (CV)	0,4	0,32	0,3	0,59	0,51	0,91	0,49	0,28	0,52
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-1,576	-1,08	0,3166	-1,601	-1,08	0,2369	-1,338	-0,803	0,5587
Confiabilidade no Ceará	5,70%	15,62%	62,55%	5,48%	15,62%	59,48%	9,81%	21,19%	72,24%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	0,4993	0,4587	0,8782	0,1670	0,1831	0,5944	0,4548	0,8293	1,0032
Confiabilidade Média no Brasil	69,15%	67,36%	80,78%	56,36%	57,14%	72,24%	67,36%	79,39%	84,13%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-3,0854	-1,9723	0,3166	-2,8865	-1,8121	0,2368	-2,6412	-1,7487	0,5586
Confiabilidade Legislação Européia	0,01%	2,44%	62,55%	0,20%	3,52%	59,48%	0,41%	4,09%	72,24%

Fonte: Autor, 2014

Tabela 25 - Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 05 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Itaperi			Conjunto Esperança			Conjunto Palmeiras		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02 maturação		
Vazão média projeto (l/s)	53,4			20,9			17,99		
População atendida	88145			8337			7195		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	1255,42	2579,5	896,42	618	901,33	252,42	411	865,74	161
Eficiência de remoção (%)	48,18	55,01	52,32	71,05	73,57	55,33	72,47	79,86	48,41
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
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	673,15	1273,38	399,08	170,96	243,16	120,5	119,59	175,16	81,56
Desvio padrão (mg/l)	559,07	1293,97	495,32	86,71	83,93	78,69	62,41	37,16	15,99
Coefficiente de variação (CV)	0,83	1,02	1,24	0,51	0,35	0,65	0,52	0,21	0,2
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-3,513	-1,788	-0,641	-0,958	-0,083	0,6693	-0,753	0,5211	1,6404
Confiabilidade no Ceará	NC	3,67%	26,11%	16,85%	46,81%	74,54%	22,66%	69,85%	94,95%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	-1,6061	-0,8212	-0,3202	0,5905	1,3975	1,0698	1,122	2,3785	2,3141
Confiabilidade Média no Brasil	5,48%	20,61%	37,45%	72,24%	91,92%	85,77%	86,86%	99,11%	98,96%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-4,899	-2,3488	-0,6406	-2,0844	-0,9407	0,6632	-2,1171	-0,5553	1,6404
Confiabilidade Legislação Européia	NC	0,96%	26,11%	1,88%	17,36%	74,54%	1,74%	29,12%	94,95%

Fonte: Autor, 2014

Tabela 26 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 06 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	São Cristóvão			Conjunto Ceará			Parque Fluminense		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 03 facultativas (paralelo)			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 01 maturação		
Vazão média projeto (l/s)	23,41			382			39,3		
População atendida	9228			152564			15706		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	578,75	1183,37	225,58	529,88	1011,33	276,08	485,17	974	218,75
Eficiência de remoção (%)	67,83	70,55	40,37	60,93	67,35	37,16	83,45	84,48	75,32
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	75	65	70	75	65	70
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	183,65	353,64	135	208,77	339,18	174,92	79,67	156,15	57,1
Desvio padrão (mg/l)	68,45	105,24	45,4	49,66	119,49	70,7	22,6	63,55	33,09
Coefficiente de variação (CV)	0,37	0,3	0,34	0,24	0,35	0,4	0,28	0,41	0,58
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-1,405	-0,857	0,4652	-1,942	-0,69	0,0251	-0,379	0,7153	1,7662
Confiabilidade no Ceará	8,08%	19,49%	67,72%	2,87%	24,51%	50,80%	35,20%	76,11%	96,16%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	0,4553	0,7259	0,997	0,204	0,7899	0,521	2,2164	2,0987	2,1915
Confiabilidade Média no Brasil	67,36%	76,42%	83,89%	57,93%	78,53%	69,85%	98,64%	98,17%	98,57%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-2,7582	-1,7747	0,4652	-3,502	-1,5482	0,025	-2,267	-0,0865	1,7662
Confiabilidade Legislação Européia	0,30%	3,84%	67,72%	NC	6,18%	50,80%	1,19%	46,81%	96,16%

Fonte: Autor, 2014

Tabela 27 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 07 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	José Walter			Araturi I			Lagamar		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 02 facultativas			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa		
Vazão média projeto (l/s)	54,94			43,05			56,16		
População atendida	21976			17221			22465		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	350,23	810,67	242,48	434,29	1390,08	227,25	739,42	1247,75	347,92
Eficiência de remoção (%)	59,69	63,99	44,92	75,68	72,91	37,37	73,23	73,26	61,63
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	75	65	70	75	65	70
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Efluente (mg/l)	138,24	297,23	138,92	104,66	381,66	141,75	196,56	338,33	138,83
Desvio padrão (mg/l)	38,15	94,78	63,18	13,19	107,32	37,78	64,63	105,37	84,94
Coefficiente de variação (CV)	0,28	0,32	0,45	0,13	0,28	0,27	0,33	0,31	0,54
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-1,431	-0,488	0,4307	-1,417	-1,052	0,3602	-1,955	-0,752	0,2689
Confiabilidade no Ceará	7,64%	31,21%	66,64%	7,64%	14,69%	64,06%	2,56%	22,66%	60,64%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	0,9917	1,0505	0,9026	2,0272	0,5799	0,9485	0,2994	0,8087	0,7066
Confiabilidade Média no Brasil	83,89%	85,31%	81,59%	97,83%	71,90%	82,64%	61,79%	78,81%	75,80%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-3,1934	-1,3804	0,4306	-3,9209	-1,9981	0,3601	-3,5944	-1,6563	0,2688
Confiabilidade Legislação Européia	NC	8,38%	66,64%	NC	2,33%	64,06%	NC	4,95%	60,64%

Fonte: Autor, 2014

Tabela 28 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 08 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Tupamirim			João Paulo II			Jereissati III		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa		
Vazão média projeto (l/s)	26,7			23,2			84,1		
População atendida	10676			9269			33639		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	402,75	877,62	220,5	490,92	985,42	218,43	448,83	1031,33	231,83
Eficiência de remoção (%)	66,98	79,63	71,97	79,95	82,36	64,58	62,69	66,55	41,52
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	75	65	70	75	65	70
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Effluente (mg/l)	134,44	180,85	61,42	94,38	174,02	63,92	175,61	347,53	138,08
Desvio padrão (mg/l)	39,69	51,82	15,16	25,88	46,99	27,31	103,22	86,38	47,77
Coefficiente de variação (CV)	0,3	0,29	0,25	0,27	0,27	0,43	0,59	0,25	0,35
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-1,319	0,4518	2,1264	-0,682	0,5284	1,7253	-1,237	-0,933	0,4251
Confiabilidade no Ceará	9,68%	67,36%	98,34%	24,83%	69,85%	95,73%	11,51%	17,62%	66,28%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	1,0315	2,0587	2,7354	1,7805	2,187	2,2063	0,5314	0,7832	0,9502
Confiabilidade Média no Brasil	84,61%	97,98%	99,68%	96,25%	98,54%	98,61%	70,19%	78,23%	82,89%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-3,0281	-0,4793	2,1264	2,4728	-0,433	1,7253	-2,5222	-1,9284	0,425
Confiabilidade Legislação Européia	0,01%	31,92%	98,34%	0,68%	33,36%	95,73%	0,59%	2,74%	66,28%

Fonte: Autor, 2014

Tabela 29 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 09 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Nova Metrópole			Lago A zul			Pindorama		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Vazão média projeto (l/s)	26,81			16,7			19,9		
População atendida	10722			6684			7941		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	631,88	1240,83	311,96	646,58	992,67	329,42	607,08	1143,65	481,04
Eficiência de remoção (%)	73,36	69,19	53,91	71,51	69,81	64,14	76,71	71	74,95
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	60	55	65	60	55	65
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Effluente (mg/l)	168,36	371,28	149,33	168,33	286,53	88	154,58	365,18	118,5
Desvio padrão (mg/l)	56,71	142,9	61,6	45,76	89,6	37,84	140,7	276,89	29,12
Coefficiente de variação (CV)	0,34	0,38	0,41	0,27	0,31	0,43	0,91	0,76	0,29
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-1,637	-0,806	0,3007	-1,866	-0,432	1,1907	-0,774	-0,426	1,0517
Confiabilidade no Ceará	5,48%	20,90%	62,17%	3,07%	33,36%	88,30%	21,77%	33,72%	85,31%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	0,5888	0,6225	0,7915	0,597	1,1285	1,6717	0,7224	0,6526	1,6217
Confiabilidade Média no Brasil	71,90%	73,24%	78,53%	72,24%	86,86%	95,25%	76,42%	74,22%	94,74%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-3,2549	-1,6344	0,3007	-3,6563	-1,3365	1,1907	-1,8625	-1,051	1,0516
Confiabilidade Legislação Européia	NC	5,16%	62,17%	NC	9,18%	88,30%	3,14%	14,69%	85,31%

Fonte: Autor, 2014

Tabela 30 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 10 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Lagoa da Zeza			Sumaré			Curió		
Processo de Tratamento	Sistema 03 Lagoas de Estabilização em Série			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração			REATOR UASB + cloração		
Vazão média projeto (l/s)	5,8			16,9			38,32		
População atendida	2300			6675			15326		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	745,58	1560,38	465,02	673,33	1407,35	247,33	689,5	1448,31	311,83
Eficiência de remoção (%)	65,46	63,72	58,47	66,46	74,69	56,96	48,35	58,69	53,02
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	75	65	70	80	70	80	60	55	65
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Effluente (mg/l)	257,25	572,63	196,13	224,92	355,66	109,46	341,58	553,9	152,13
Desvio padrão (mg/l)	53,42	166,84	89,8	40,52	142,44	49,29	153,25	210,33	87,08
Coefficiente de variação (CV)	0,21	0,29	0,46	0,18	0,4	0,45	0,42	0,38	0,57
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-3,116	-1,832	-0,128	-3,045	-0,702	0,8217	-2,85	-1,511	0,3148
Confiabilidade no Ceará	NC	3,36%	44,83%	0,13%	24,20%	79,39%	0,22%	6,55%	61,79%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	-0,3582	-0,2253	0,3393	-0,0852	0,6956	1,2936	-0,8172	-0,0822	0,7431
Confiabilidade Média no Brasil	36,32%	41,29%	62,93%	46,81%	75,49%	90,15%	20,90%	46,81%	77,03%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-5,121	-2,7637	-0,1283	-5,1964	-1,5126	0,8216	-4,3288	-2,3393	0,3148
Confiabilidade Legislação Européia	NC	0,28%	44,83%	NC	6,55%	79,39%	NC	0,99%	61,79%

Fonte: Autor, 2014



Tabela 31 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 11 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	Por do Sol			Jangurussu			Marechal Rondon		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 02 anaeróbias + 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 02 facultativa (paralelo) + 01 maturação (paralelo)		
Vazão média projeto (l/s)	5,75			7,22			52,1		
População atendida	2852			2888			20834		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	744,25	1687,47	326	1098,58	2216,94	237,83	440,42	625,52	246,25
Eficiência de remoção (%)	57,33	63,26	44,65	77,97	83,86	80,85	76,21	71,22	67,98
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Média de Eficiência adotada (%)	60	55	65	75	65	70	75	65	70
Meta de Conc. Adotada (mg/l)	60	200	150	60	200	150	60	200	150
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Effluente (mg/l)	315,42	641,67	191,83	247,87	363,03	45,67	107,84	182,77	76,94
Desvio padrão (mg/l)	99,16	306,71	149,21	150,04	181,04	18,46	50,4	69,7	19,98
Coefficiente de variação (CV)	0,31	0,48	0,78	0,61	0,49	0,4	0,47	0,38	0,26
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-2,935	-1,549	0,0557	-1,711	-0,641	2,3401	-0,634	0,4425	1,6291
Confiabilidade no Ceará	0,19%	6,06%	51,60%	4,36%	26,11%	99,04%	26,43%	67,00%	94,84%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	-0,6169	-0,2536	0,4346	0,034	0,6428	2,836	1,3054	1,8713	2,2274
Confiabilidade Média no Brasil	27,09%	40,13%	66,64%	51,20%	63,89%	99,77%	90,32%	96,93%	98,68%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-4,6186	-2,2994	0,0557	-2,9791	-1,3856	2,3401	-2,0447	-0,3856	1,629
Confiabilidade Legislação Européia	NC	1,10%	51,60%	0,15%	8,38%	99,04%	2,07%	35,20%	94,84%

Fonte: Autor, 2014

Tabela 32 – Confiabilidade operacional das ETEs do Ceará – Grupo 12 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011									
ETEs	SIDI			Novo Mondubim			Itaperussú		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 03 maturação			REATOR UASB + cloração			Sistema de Lodos Ativados - reator aeração prolongada + decantador secundário		
Vazão média projeto (l/s)	-			35,8			220,4		
População atendida	-			14290			21361		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	586,08	1108,64	325,42	987,58	1984,67	349,67	767,17	1469,32	261
Eficiência de remoção (%)	68,8	40,15	79,49	65,67	70,35	61,58	84,54	87,7	81,64
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
Meta Concentração Média no Brasil (mg/l)	200	450	200	200	450	200	200	450	200
Meta Concentração no U. Européia (mg/l)	25	125	150	25	125	150	25	125	150
Conc. Média Effluente (mg/l)	183,17	662,87	66,92	347,92	581,92	116,98	112,42	180,41	47,23
Desvio padrão (mg/l)	18,41	20,01	11,2	160,49	377,93	124,5	20,4	60,02	19,6
Coefficiente de variação (CV)	0,1	0,03	0,17	0,46	0,65	0,75	0,18	0,33	0,42
Valor Z <sub>1-a</sub> (CEARÁ)	-3,461	-6,892	2,2351	-2,55	-1,155	0,2455	-1,34	0,4599	2,2476
Confiabilidade no Ceará	NC	NC	98,71%	0,54%	12,51%	59,48%	9,01%	67,72%	98,74%
Valor Z <sub>1-a</sub> (BRASIL)	0,439	-2,1756	2,9611	-0,5924	-0,0094	0,63	1,6194	1,9784	2,7333
Confiabilidade Média no Brasil	66,64%	1,50%	99,85%	27,76%	50,00%	73,57%	94,63%	97,62%	99,68%
Valor Z <sub>1-a</sub> (EUROPA)	-6,2965	-9,6261	2,2351	-3,9726	-1,8195	0,2454	-3,4918	-0,4201	2,2475
Confiabilidade Legislação Européia	NC	NC	98,71%	NC	3,52%	59,48%	NC	33,72%	98,74%

Fonte: Autor, 2014

## ANEXOS C: Análise de confiabilidade real das ETEs em 2011– Logística 01

Tabela 33 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 02 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Sítio Santana			Riacho Doce			Aracapé III		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	628,75	948,67	374,92	490,92	718,92	328,75	670,08	941,5	333,25
Conc. Média Efluente (mg/l)	319,17	522,96	187,17	173,03	248,97	89,29	233,15	336,45	116,64
Eficiência de remoção (%)	50,6	46,92	48,37	64,9	66,38	73,77	64,43	64,76	65,59
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-2,651	-1,367	-0,099	-1,269	-0,048	1,1146	-2,279	-0,702	0,7141
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	-0,5533	0,0309	0,4024	0,5498	1,2697	1,5491	0,0716	0,8115	1,1696
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-4,177	-2,1772	-0,0988	-2,5913	-0,8124	1,1145	-3,988	-1,5871	0,714
CDC (Ceará)	0,3958	0,636	1,0341	0,5943	1,0778	2,0241	0,5347	0,8389	1,5509
CDC (Brasil)	0,8716	1,0899	1,2488	1,514	1,9198	2,5307	1,0662	1,3669	1,9158
CDC (EU)	0,2229	0,4655	1,0341	0,3011	0,771	2,0241	0,3238	0,6321	1,5509
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	23,7	127,2	155	35,7	215,5	303	32,1	167,8	232,6
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	151,6	314,4	145	101	185,6	74	112,2	238,4	96,7
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	174,3	490,5	209,8	302,8	863,9	506	213	615	383
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	229,4	412,9	160,1	132	234,4	79	187,6	329,2	124,4
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	5,57	58,2	155	7,52	96,4	303	8,1	79	232,6
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	112	268,5	145	83	162	74	77,2	197,8	96,7

Fonte: Autor, 2014

Tabela 34 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 03 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Zeza Tijolo			Pajuçara			Rosa Luxemburgo		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema - reator DAFA + filtro anaeróbio submerso aerado + decantador lamelar + cloração			Sistema - reator UASB + filtro submerso aerado + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	623	1167	373,33	539,5	1044,47	177,92	590,67	1272,67	288,67
Conc. Média Effluente (mg/l)	278,58	406,03	165,58	73,93	134,59	22,63	95,98	191,97	76
Eficiência de remoção (%)	56,2	65,39	58,22	87,03	88,34	87,32	83,37	85,04	72,58
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-2,268	-0,749	0,1745	0,1141	0,891	3,4901	-0,557	0,3387	1,3303
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	-0,2550	0,4850	0,6156	1,6771	1,8448	3,9758	1,5890	1,8992	1,7471
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-3,732	-1,4643	0,1745	-1,0224	0,3381	3,49	-2,117	-0,5658	1,3302
CDC (Ceará)	0,4276	0,778	1,2344	1,3955	3,1575	4,428	0,8733	1,16	2,4753
CDC (Brasil)	0,9799	1,4524	1,5373	4,235	7,2247	5,3855	1,8838	1,8611	3,1293
CDC (EU)	0,234	0,5418	1,2344	0,6225	1,9541	4,428	0,4994	0,882	2,4753
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	25,6	155,6	185,1	83,7	631,5	664,2	52,4	232	371,3
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	140,3	257	121,5	43	63,3	33,8	68,7	172,4	60,6
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	196	653,6	307,5	847	3251	1077	376	837,5	625,8
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	204	309,8	136	47	64,3	37	106	241,8	63,9
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	5,8	67,7	185,1	15,5	244,3	664,2	12,5	110,3	371,3
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	106,8	230,7	121,5	40	64	33,8	50	141,7	60,6

Fonte: Autor, 2014

Tabela 35 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 04 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Paupina			Novo Barroso			Dias Macedo		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	483,33	735,67	342,92	600,5	1026,83	339	611,58	1033,42	302,58
Conc. Média Effluente (mg/l)	177,13	406	145,42	225,08	491,62	171,34	184,63	337,18	128,83
Eficiência de remoção (%)	63,82	44,54	57,59	65,05	53,33	48,79	71,15	67,79	59,11
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-1,576	-1,08	0,3166	-1,601	-1,08	0,2369	-1,338	-0,803	0,5587
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	0,4993	0,4587	0,8782	0,1670	0,1831	0,5944	0,4548	0,8293	1,0032
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-3,0854	-1,9723	0,3166	-2,8865	-1,8121	0,2368	-2,6412	-1,7487	0,5586
CDC (Ceará)	0,5868	0,7594	1,1457	0,484	0,6678	1,6252	0,5986	0,8328	1,4814
CDC (Brasil)	1,3054	1,2116	1,351	1,272	1,2258	2,1453	1,3751	1,3041	1,8412
CDC (EU)	0,328	0,5671	1,1457	0,2397	0,4696	1,6252	0,327	0,6423	1,4814
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	35,2	149,9	171,9	29	133,6	243,8	35,9	166,6	222,2
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	102,2	266,9	130,9	124	299,5	92,3	100,2	240	101,2
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	261	545,2	270	254,4	551,6	429	275	586,9	368
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	153	371,4	148	157	367,1	93	145	345	108,6
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	8,2	71	171,9	6	58,7	243,8	8,2	80,3	222,2
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	76,2	220,4	130,9	104,3	266	92,3	76,4	194,6	101,2

Fonte: Autor, 2014

Tabela 36 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 05 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Itaperi			Conjunto Esperança			Conjunto Palmeiras		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	1255,42	2579,5	896,42	618	901,33	252,42	411	865,74	161
Conc. Média Effluente (mg/l)	673,15	1273,38	399,08	170,96	243,16	120,5	119,59	175,16	81,56
Eficiência de remoção (%)	48,18	55,01	52,32	71,05	73,57	55,33	72,47	79,86	48,41
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-3,513	-1,788	-0,641	-0,958	-0,083	0,6693	-0,753	0,5211	1,6404
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	-1,6061	-0,8212	-0,3202	0,5905	1,3975	1,0698	1,122	2,3785	2,3141
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-4,899	-2,3488	-0,6406	-2,0844	-0,9407	0,6632	-2,1171	-0,5553	1,6404
CDC (Ceará)	0,1021	0,3155	0,8581	0,7081	1,03	1,7682	0,7798	1,1386	1,4112
CDC (Brasil)	0,4062	0,7139	1,1695	1,4911	1,7037	2,2508	1,9514	1,6747	1,6126
CDC (EU)	0,0374	0,1965	0,8581	0,412	0,7695	1,7682	0,4	0,9104	1,4112
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	6,1	63	128,7	42,5	206	265,2	46,8	227,7	211,7
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	587,3	633,8	174,8	84,7	174,2	84,8	76,9	175,7	106,3
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	81	321,3	233,9	298	766,7	450	390	753,6	322,5
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	492	630,3	171	134	264	188,9	102,5	268,7	124
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	0,93	24,6	128,7	10,3	96,2	265,2	10	113,8	211,7
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	667,4	636	174,8	60,6	162,4	84,8	62,4	137,3	106,3

Fonte: Autor, 2014

Tabela 37 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 06 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	São Cristóvão			Conjunto Ceará			Parque Fluminense		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02			Sistema de Lagoas de Estabilização - 03 facultativas (paralelo)			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 01		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	578,75	1183,37	225,58	529,88	1011,33	276,08	485,17	974	218,75
Conc. Média Efluente (mg/l)	183,65	353,64	135	208,77	339,18	174,92	79,67	156,15	57,1
Eficiência de remoção (%)	67,83	70,55	40,37	60,93	67,35	37,16	83,45	84,48	75,32
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-1,405	-0,857	0,4652	-1,942	-0,69	0,0251	-0,379	0,7153	1,7662
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	0,4553	0,7259	0,997	0,204	0,7899	0,521	2,2164	2,0987	2,1915
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-2,7582	-1,7747	0,4652	-3,502	-1,5482	0,025	-2,267	-0,0865	1,7662
CDC (Ceará)	0,6446	0,8118	1,2319	0,6494	0,8379	1,0874	0,9357	1,4328	2,9924
CDC (Brasil)	1,2551	1,292	1,4688	1,0792	1,3858	1,3164	1,9091	2,4718	3,7625
CDC (EU)	0,3969	0,62	1,2319	0,4481	0,6259	1,0874	0,557	1,0445	2,9924
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	38,7	162,3	184,8	38,9	167,6	163	56	286,6	448,9
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	93,1	246,4	121,8	92,4	238,7	137,9	64,1	139,6	50
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	251	581,4	293,8	215,8	623,6	263	381,8	1112,3	725,5
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	159	348,3	136	185,3	324,7	152	104,8	182	53,15
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	9,9	77,5	184,8	11,2	78,3	163	13,9	130,6	448,9
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	63	201,6	121,8	55,7	199,7	137,9	44,8	119,7	50

Fonte: Autor, 2014

Tabela 38 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 07 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	José Walter			Araturi I			Lagamar		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 02 facultativas			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	350,23	810,67	242,48	434,29	1390,08	227,25	739,42	1247,75	347,92
Conc. Média Effluente (mg/l)	138,24	297,23	138,92	104,66	381,66	141,75	196,56	338,33	138,83
Eficiência de remoção (%)	59,69	63,99	44,92	75,68	72,91	37,37	73,23	73,26	61,63
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-1,431	-0,488	0,4307	-1,417	-1,052	0,3602	-1,955	-0,752	0,2689
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	0,9917	1,0505	0,9026	2,0272	0,5799	0,9485	0,2994	0,8087	0,7066
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-3,1934	-1,3804	0,4306	-3,9209	-1,9981	0,3601	-3,5944	-1,6563	0,2688
CDC (Ceará)	0,7008	0,9015	1,3193	0,8394	0,7778	1,1396	0,5616	0,8336	1,302
CDC (Brasil)	1,3636	1,4575	1,6157	1,311	1,2178	1,3321	1,1594	1,3375	1,6247
CDC (EU)	0,4318	0,6823	1,3193	0,607	0,5997	1,1396	0,3315	0,6339	1,302
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	42	180,3	197,9	50	155,5	170,9	33,7	166,7	195,3
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	85,6	221,8	113,7	71,5	257,1	131,6	106,8	240	115,2
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	272,7	655,9	323	262	548	266,4	231,9	601,9	324,9
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	146,7	308,7	123,8	152,5	369,5	150	172,5	336,4	123
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	10,8	85,3	197,9	15,2	75	170,9	8,3	79,2	195,3
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	57,9	183,2	113,7	41,2	208,4	131,6	75,4	197,2	115,2

Fonte: Autor, 2014



Tabela 39 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 08 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Tupamirim			João Paulo II			Jereissati III		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	402,75	877,62	220,5	490,92	985,42	218,43	448,83	1031,33	231,83
Conc. Média Effluente (mg/l)	134,44	180,85	61,42	94,38	174,02	63,92	175,61	347,53	138,08
Eficiência de remoção (%)	66,98	79,63	71,97	79,95	82,36	64,58	62,69	66,55	41,52
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-1,319	0,4518	2,1264	-0,682	0,5284	1,7253	-1,237	-0,933	0,4251
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	1,0315	2,0587	2,7354	1,7805	2,187	2,2063	0,5314	0,7832	0,9502
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-3,0281	-0,4793	2,1264	2,4728	-0,433	1,7253	-2,5222	-1,9284	0,425
CDC (Ceará)	0,7088	1,1838	1,7399	0,8643	1,1916	2,2154	0,5905	0,8192	1,2241
CDC (Brasil)	1,4132	1,8689	2,0214	1,6611	1,8502	2,7009	1,5523	1,2511	1,4634
CDC (EU)	0,4291	0,9085	1,7399	0,5375	0,9234	2,2154	0,2925	0,6411	1,2241
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	42,5	136,8	261	51,9	283,3	332,3	35,4	163,9	183,6
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	84,7	168,9	86,2	69,4	167,8	67,7	101,6	244	122,5
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	282,6	841	404,3	332	832,6	540	310,5	562,5	292,7
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	141,5	240,8	98,9	120	243,2	74	129	360	136,7
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	10,7	113,6	261	13,4	115,4	332,3	7,3	80	183,6
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	58,3	137,6	86,2	46,5	135,4	67,7	85,4	195	122,5

Fonte: Autor, 2014

Tabela 40 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 09 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Nova Metrópole			Lago A zul			Pindorama		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	631,88	1240,83	311,96	646,58	992,67	329,42	607,08	1143,65	481,04
Conc. Média Effluente (mg/l)	168,36	371,28	149,33	168,33	286,53	88	154,58	365,18	118,5
Eficiência de remoção (%)	73,36	69,19	53,91	71,51	69,81	64,14	76,71	71	74,95
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-1,637	-0,806	0,3007	-1,866	-0,432	1,1907	-0,774	-0,426	1,0517
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	0,5888	0,6225	0,7915	0,597	1,1285	1,6717	0,7224	0,6526	1,6217
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-3,2549	-1,6344	0,3007	-3,6563	-1,3365	1,1907	-1,8625	-1,051	1,0516
CDC (Ceará)	0,6146	0,7956	1,2167	0,6314	0,9202	1,7776	0,7411	0,3645	1,4038
CDC (Brasil)	1,2833	1,3445	1,4765	1,2135	1,4736	2,1671	2,3692	1,9514	1,6507
CDC (EU)	0,3599	0,5869	1,2167	0,3927	0,6983	1,7776	0,3182	0,6177	1,4038
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	36,9	159	182,5	37,9	184	266,6	44,5	72,9	210,6
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	97,6	251,4	123,3	95	217,3	84,4	81	548,6	106,8
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	257	605	295	242,7	663	433,4	473,9	878	330
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	156	334	135,5	164,8	305	92,3	84,4	230,6	121
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	9	73,4	182,5	9,8	87,3	266,6	8	77,2	210,6
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	69,4	213	123,3	63,7	179	84,4	78,5	202,4	106,8

Fonte: Autor, 2014

Tabela 41 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 10 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Lagoa da Zeza			Sumaré			Curió		
Processo de Tratamento	Sistema 03 Lagoas de Estabilização em Série			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração			REATOR UASB + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	745,58	1560,38	465,02	673,33	1407,35	247,33	689,5	1448,31	311,83
Conc. Média Effluente (mg/l)	257,25	572,63	196,13	224,92	355,66	109,46	341,58	553,9	152,13
Eficiência de remoção (%)	65,46	63,72	58,47	66,46	74,69	56,96	48,35	58,69	53,02
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-3,116	-1,832	-0,128	-3,045	-0,702	0,8217	-2,85	-1,511	0,3148
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	-0,3582	-0,2253	0,3393	-0,0852	0,6956	1,2936	-0,8172	-0,0822	0,7431
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-5,121	-2,7637	-0,1283	-5,1964	-1,5126	0,8216	-4,3288	-2,3393	0,3148
CDC (Ceará)	0,5348	0,8529	1,0406	0,5899	0,6017	1,5605	0,3438	0,6056	1,3602
CDC (Brasil)	0,9485	0,9766	1,2771	1	1,408	1,9111	0,7802	1,0379	17,071
CDC (EU)	0,3526	0,4747	1,0406	0,4017	0,6013	1,5605	0,1894	0,453	1,3602
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	32,1	170,6	156,1	35,4	120,4	234	20,6	121	204
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	112,2	234,5	144,1	101,7	332,4	96,1	174,4	330,2	110
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	189,7	439,5	255,4	200	633,6	382	156	467	341,4
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	210,6	460,8	156,6	199,9	319,6	104,6	256	433	117
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	8,8	59	156,1	10	75,2	234	4,7	56,6	204
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	70,9	263,3	144,1	62,2	207,8	96,1	131,9	275,9	110

Fonte: Autor, 2014

Tabela 42 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 11 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	Por do Sol			Jangurussu			Marechal Rondon		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 02 anaeróbias + 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 02 facultativa		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	744,25	1687,47	326	1098,58	2216,94	237,83	440,42	625,52	246,25
Conc. Média Effluente (mg/l)	315,42	641,67	191,83	247,87	363,03	45,67	107,84	182,77	76,94
Eficiência de remoção (%)	57,33	63,26	44,65	77,97	83,86	80,85	76,21	71,22	67,98
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-2,935	-1,549	0,0557	-1,711	-0,641	2,3401	-0,634	0,4425	1,6291
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	-0,6169	-0,2536	0,4346	0,034	0,6428	2,836	1,3054	1,8713	2,2274
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-4,6186	-2,2994	0,0557	-2,9791	-1,3856	2,3401	-2,0447	-0,3856	1,629
CDC (Ceará)	0,4303	0,8283	1,3178	0,4474	1,3673	2,6531	0,8223	0,0851	1,5673
CDC (Brasil)	0,8684	0,9882	1,7112	1,1939	1,5004	3,2116	1,9797	2,1269	1,8264
CDC (EU)	0,2584	0,3893	1,3178	0,2192	0,5855	2,6531	0,4432	0,9285	1,5673
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	25,8	165,7	197,7	26,8	273,5	397,9	50	17	235
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	139,4	241,4	113,8	134,1	146,2	56,5	72	2349,7	95,7
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	173,7	444,7	342	238,8	675	642	396	957	365
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	230,3	455	116,8	167,5	300	62,3	101	211,6	109,5
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	6,4	48,7	197,7	5,5	73,2	397,9	11,1	116	235
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	96,7	321	113,8	114	213,5	56,5	56,4	134,6	95,7

Fonte: Autor, 2014

Tabela 43 – Condições de operação real das ETEs do Ceará – Grupo 12 (2011).

SIMULAÇÃO DE CONDIÇÃO ATUAL - 2011									
ETEs	SIDI			Novo Mondubim			Itaperussú		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 03			REATOR UASB + cloração			Sistema de Lodos Ativados - reator aeração prolongada + decantador secundário		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	586,08	1108,64	325,42	987,58	1984,67	349,67	767,17	1469,32	261
Conc. Média Effluente (mg/l)	183,17	662,87	66,92	347,92	581,92	116,98	112,42	180,41	47,23
Eficiência de remoção (%)	68,8	40,15	79,49	65,67	70,35	61,58	84,54	87,7	81,64
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Valor $Z_{1-a}$ (CEARÁ)	-3,461	-6,892	2,2351	-2,55	-1,155	0,2455	-1,34	0,4599	2,2476
Valor $Z_{1-a}$ (BRASIL)	0,439	-2,1756	2,9611	-0,5924	-0,0094	0,63	1,6194	1,9784	2,7333
Valor $Z_{1-a}$ (EUROPA)	-6,2965	-9,6261	2,2351	-3,9726	-1,8195	0,2454	-3,4918	-0,4201	2,2475
CDC (Ceará)	0,7342	0,9663	1,4792	0,3601	1,567	1,4727	0,7998	1,2099	2,6835
CDC (Brasil)	1,0499	0,9372	1,672	0,8491	1,186	1,9041	1,3567	1,9892	3,2638
CDC (EU)	0,5362	0,7495	1,4792	0,1931	0,4049	1,4727	0,5446	0,92	2,6835
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	44	193,3	221,9	21,6	313,4	220,9	48	242	402,5
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	81,7	207	101,4	166,6	127,6	101,8	75	165,3	55,9
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	210	421,7	334,4	169,8	533,7	380,8	271,3	895	652,8
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	190	480	119,6	235,4	379,4	105	147,4	226,2	61,3
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	13,4	93,7	221,9	4,8	50,6	220,9	13,6	115	402,5
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	46,6	166,7	101,4	129,5	308,7	101,8	45,9	135,9	55,9

Fonte: Autor, 2014

## ANEXOS D: Análise de confiabilidade das ETEs em 2011– Logística 02

Tabela 44 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 02 (2011).

<b>DADOS BÁSICOS DAS ETEs - 2011</b>									
<b>ETEs</b>	<b>Sítio Santana</b>			<b>Riacho Doce</b>			<b>Aracapé III</b>		
<b>Processo de Tratamento</b>	<b>REATOR UASB + cloração</b>			<b>REATOR UASB + cloração</b>			<b>REATOR UASB + cloração</b>		
<b>Parâmetros</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>
<b>Conc. Média Afluente (mg/l)</b>	628,75	948,67	374,92	490,92	718,92	328,75	670,08	941,5	333,25
<b>Eficiência de remoção (%)</b>	50,6	46,92	48,37	64,9	66,38	73,77	64,43	64,76	65,59
<b>DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC</b>									
<b>Parâmetros</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>
<b>Conc. Média Efluente (mg/l)</b>	319,17	522,96	187,17	173,03	248,97	89,29	233,15	336,45	116,64
<b>Desvio padrão (mg/l)</b>	125,42	207,51	73,84	94,66	114,69	49,08	66,46	110,42	56,65
<b>Coefficiente de variação (CV)</b>	0,39	0,4	0,39	0,55	0,46	0,55	0,3	0,33	0,49
<b>1-<math>\alpha</math></b>	90	90	90	90	90	90	90	90	90
<b><math>\alpha</math></b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Z</b>	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28
<b>CDC</b>	0,6631	0,6577	0,6631	0,591	0,6282	0,591	0,717	0,6997	0,6149
<b>Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)</b>	39,78	13,55	99,46	35,46	125,65	88,65	43,02	139,55	92,24
<b>Conc. Operação CEARÁ (mg/L)</b>	90,48	304,6	226,21	101,51	318,34	253,79	83,68	286,62	243,91
<b>Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)</b>	132,61	295,99	132,61	118,2	282,71	118,2	143,4	314	122,99
<b>Conc. Operação BRASIL (mg/L)</b>	301,61	684,13	301,61	338,39	716,27	338,39	278,93	644,9	278,93
<b>Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)</b>	16,57	82,22	99,46	14,77	78,53	88,65	17,92	87,22	92,24
<b>Conc. Operação EUROPA (mg/L)</b>	37,7	190,03	226,21	42,29	198,96	253,79	34,86	179,13	243,91

Fonte: Autor, 2014

Tabela 45 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 03 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	Zeza Tijolo			Pajuçara			Rosa Luxemburgo		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema - reator DAFA + filtro anaeróbio submerso aerado + decantador lamelar + cloração			Sistema - reator UASB + filtro submerso aerado + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	623	1167	373,33	539,5	1044,47	177,92	590,67	1272,67	288,67
Eficiência de remoção (%)	56,2	65,39	58,22	87,03	88,34	87,32	83,37	85,04	72,58
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Efluente (mg/l)	278,58	406,03	165,58	73,93	134,59	22,63	95,98	191,97	76
Desvio padrão (mg/l)	120,51	219,71	87,5	50,72	142,23	9,57	35,13	59,27	46,32
Coefficiente de variação (CV)	0,43	0,54	0,53	0,81	1,06	0,42	0,37	0,31	0,61
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,6424	0,5947	0,5986	0,5184	0,4798	0,6474	0,6741	0,7104	0,5702
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	38,55	118,95	89,79	31,11	95,97	97,11	40,44	142,09	85,53
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	93,38	336,25	250,56	115,72	416,68	231,06	89	281,51	263,06
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	128,49	267,65	119,72	103,69	215,93	129,49	134,82	319,7	114,04
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	311,28	756,56	311,28	385,75	937,76	385,75	296,68	633,39	296,68
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	16,06	74,34	89,79	12,96	59,98	97,11	16,85	88,8	85,53
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	38,91	210,15	250,56	48,21	260,49	231,67	37,08	175,94	263,03

Fonte: Autor, 2014

Tabela 46 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 04 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	Paupina			Novo Barroso			Dias Macedo		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração			REATOR UASB + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	483,33	735,67	342,92	600,5	1026,83	339	611,58	1033,42	302,58
Eficiência de remoção (%)	63,82	44,54	57,59	65,05	53,33	48,79	71,15	67,79	59,11
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Efluente (mg/l)	177,13	406	145,42	225,08	491,62	171,34	184,63	337,18	128,83
Desvio padrão (mg/l)	70,49	130,66	43,31	133,48	252,46	156,27	91,07	95,16	67,36
Coefficiente de variação (CV)	0,4	0,32	0,3	0,59	0,51	0,91	0,49	0,28	0,52
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,6577	0,704	0,717	0,5768	0,6066	0,5002	0,6149	0,7305	0,6025
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	39,46	140,8	107,55	34,61	121,32	75,04	36,89	146,11	90,38
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	91,22	284,07	209,2	104,01	329,69	299,82	97,56	273,75	248,92
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	131,55	316,82	143,4	115,36	272,97	100,05	122,99	328,76	120,51
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	304,06	639,16	304,06	346,72	741,81	346,72	325,21	615,95	325,21
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	16,44	88	107,55	14,42	75,82	75,04	15,37	91,32	90,38
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	38	177,54	209,2	43,34	206,06	299,82	40,65	171,09	248,92

Fonte: Autor, 2014



Tabela 47 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 05 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	Itaperi			Conjunto Esperança			Conjunto Palmeiras		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02 maturação		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	1255,42	2579,5	896,42	618	901,33	252,42	411	865,74	161
Eficiência de remoção (%)	48,18	55,01	52,32	71,05	73,57	55,33	72,47	79,86	48,41
DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Effluente (mg/l)	673,15	1273,38	399,08	170,96	243,16	120,5	119,59	175,16	81,56
Desvio padrão (mg/l)	559,07	1293,97	495,32	86,71	83,93	78,69	62,41	37,16	15,99
Coefficiente de variação (CV)	0,83	1,02	1,24	0,51	0,35	0,65	0,52	0,21	0,2
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,5144	0,4846	0,4632	0,6066	0,6856	0,5578	0,6025	0,7832	0,7914
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	30,86	96,92	69,48	36,4	137,13	83,67	36,15	156,64	118,71
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	116,62	412,68	323,83	98,9	291,68	268,88	99,57	255,35	189,52
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	102,89	218,08	92,64	121,32	308,55	111,57	120,51	352,45	158,29
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	388,74	928,53	388,74	329,69	656,28	329,69	331,9	574,54	331,9
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	12,86	60,57	69,48	15,16	85,71	83,64	15,06	97,9	118,71
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	48,59	257,92	323,83	41,21	182,3	268,88	41,48	159,59	189,52

Fonte: Autor, 2014

Tabela 48 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 06 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	São Cristóvão			Conjunto Ceará			Parque Fluminense		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 03 facultativas (paralelo)			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 01 maturação		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	578,75	1183,37	225,58	529,88	1011,33	276,08	485,17	974	218,75
Eficiência de remoção (%)	67,83	70,55	40,37	60,93	67,35	37,16	83,45	84,48	75,32
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Effluente (mg/l)	183,65	353,64	135	208,77	339,18	174,92	79,67	156,15	57,1
Desvio padrão (mg/l)	68,45	105,24	45,4	49,66	119,49	70,7	22,6	63,55	33,09
Coefficiente de variação (CV)	0,37	0,3	0,34	0,24	0,35	0,4	0,28	0,41	0,58
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,6741	0,717	0,6916	0,7596	0,6856	0,6577	0,7305	0,6525	0,5802
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	40,44	143,4	103,74	45,58	137,13	98,66	43,83	130,51	87,03
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	89	278,93	216,86	78,98	291,68	228,04	83,12	306,49	258,5
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	134,82	322,65	138,33	151,92	308,55	131,55	146,11	283,64	116,05
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	296,68	627,6	296,68	263,28	656,28	263,28	273,75	689,59	273,75
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	16,85	89,62	103,74	18,99	85,71	98,66	18,26	81,56	87,03
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	37,08	174,33	216,86	32,91	182,3	228,04	34,21	191,55	258,5

Fonte: Autor, 2014

Tabela 49 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 07 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	José Walter			Araturi I			Lagamar		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 02 facultativas			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	350,23	810,67	242,48	434,29	1390,08	227,25	739,42	1247,75	347,92
Eficiência de remoção (%)	59,69	63,99	44,92	75,68	72,91	37,37	73,23	73,26	61,63
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Effluente (mg/l)	138,24	297,23	138,92	104,66	381,66	141,75	196,56	338,33	138,83
Desvio padrão (mg/l)	38,15	94,78	63,18	13,19	107,32	37,78	64,63	105,37	84,94
Coefficiente de variação (CV)	0,28	0,32	0,45	0,13	0,28	0,27	0,33	0,31	0,54
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,7305	0,704	0,6329	0,8544	0,7305	0,7376	0,6977	0,7104	0,5947
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	43,83	140,81	94,93	51,26	146,11	110,63	41,86	142,09	89,21
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	83,12	284,07	237	70,22	273,75	203,36	85,98	281,51	252,18
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	146,11	316,82	126,57	170,88	328,76	147,51	139,55	319,7	118,95
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	273,75	639,16	273,75	234,07	615,95	234,07	286,62	633,39	286,62
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	18,26	88	94,93	21,36	91,32	110,63	17,44	88,8	89,21
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	34,21	177,54	237	29,25	171,09	203,36	35,82	175,94	252,18

Fonte: Autor, 2014

Tabela 50 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 08 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	Tupamirim			João Paulo II			Jereissati III		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 02 maturação			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização - 01 facultativa		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	402,75	877,62	220,5	490,92	985,42	218,43	448,83	1031,33	231,83
Eficiência de remoção (%)	66,98	79,63	71,97	79,95	82,36	64,58	62,69	66,55	41,52
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Efluente (mg/l)	134,44	180,85	61,42	94,38	174,02	63,92	175,61	347,53	138,08
Desvio padrão (mg/l)	39,69	51,82	15,16	25,88	46,99	27,31	103,22	86,38	47,77
Coefficiente de variação (CV)	0,3	0,29	0,25	0,27	0,27	0,43	0,59	0,25	0,35
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,717	0,7237	0,7521	0,7375	0,7376	0,6424	0,5768	0,7521	0,6856
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	43,02	144,74	112,81	44,25	147,52	96,37	34,6	150,42	102,85
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	83,68	276,35	199,43	81,34	271,15	233,46	104,01	265,91	211,76
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	143,4	325,67	150,42	147,51	331,91	128,49	115,36	338,45	137,13
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	278,93	621,79	278,93	271,15	610,08	271,15	346,72	598,3	346,72
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	17,92	90,46	112,81	18,43	92,19	96,37	14,42	94,01	102,85
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	34,86	172,71	199,43	33,89	169,46	233,46	43,34	166,19	211,76

Fonte: Autor, 2014

Tabela 51 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 09 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	Nova Metrópole			Lago A zul			Pindorama		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabiliza�o - 01 facultativa			REATOR UASB + clora�o			REATOR UASB + clora�o		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	631,88	1240,83	311,96	646,58	992,67	329,42	607,08	1143,65	481,04
Eficiência de remo�o (%)	73,36	69,19	53,91	71,51	69,81	64,14	76,71	71	74,95
DETERMINA�O DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Efluente (mg/l)	168,36	371,28	149,33	168,33	286,53	88	154,58	365,18	118,5
Desvio padrão (mg/l)	56,71	142,9	61,6	45,76	89,6	37,84	140,7	276,89	29,12
Coefficiente de varia�o (CV)	0,34	0,38	0,41	0,27	0,31	0,43	0,91	0,76	0,29
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,6916	0,6685	0,6525	0,7376	0,7104	0,6424	0,5002	0,5292	0,7237
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	41,5	133,7	97,88	44,25	142,09	96,37	30,01	105,84	108,55
Conc. Opera�o CEARÁ (mg/L)	86,74	299,15	229,86	81,34	281,51	233,46	110,92	377,9	207,26
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	138,33	300,84	130,51	147,51	319,7	128,49	100,05	238,15	144,74
Conc. Opera�o BRASIL (mg/L)	289,15	673,1	289,15	271,15	633,39	271,15	399,76	850,27	399,76
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	17,29	83,56	97,88	18,43	88,8	96,37	12,5	66,15	108,55
Conc. Opera�o EUROPA (mg/L)	36,14	186,97	229,86	33,89	175,94	233,46	49,97	236,18	207,26

Fonte: Autor, 2014

Tabela 52 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 10 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	Lagoa da Zeza			Sumaré			Curió		
Processo de Tratamento	Sistema 03 Lagoas de Estabilização em Série			Sistema Decanto - digestor + filtro anaeróbio + cloração			REATOR UASB + cloração		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	745,58	1560,38	465,02	673,33	1407,35	247,33	689,5	1448,31	311,83
Eficiência de remoção (%)	65,46	63,72	58,47	66,46	74,69	56,96	48,35	58,69	53,02
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Efluente (mg/l)	257,25	572,63	196,13	224,92	355,66	109,46	341,58	553,9	152,13
Desvio padrão (mg/l)	53,42	166,84	89,8	40,52	142,44	49,29	153,25	210,33	87,08
Coefficiente de variação (CV)	0,21	0,29	0,46	0,18	0,4	0,45	0,42	0,38	0,57
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,7832	0,7237	0,6282	0,8084	0,6577	0,6329	0,6474	0,6685	0,5837
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	46,99	144,74	94,23	48,5	131,55	94,93	38,84	133,7	87,56
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	76	276,35	238,75	74,21	304,6	237	92,67	299,15	256,95
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	156,64	325,67	125,65	161,69	295,99	126,57	129,49	300,84	116,75
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	255,35	621,79	255,35	247,38	684,13	247,38	308,89	673,1	308,89
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	19,58	90,46	94,23	20,21	82,22	94,93	16,18	83,56	87,53
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	31,91	172,71	238,75	30,92	190,03	237	38,61	186,97	256,95

Fonte: Autor, 2014

Tabela 53 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 11 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	Por do Sol			Jangurussu			Marechal Rondon		
Processo de Tratamento	REATOR UASB + cloração			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 02 anaeróbias + 01 facultativa			Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 02 facultativa (paralelo) + 01 maturação (paralelo)		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	744,25	1687,47	326	1098,58	2216,94	237,83	440,42	625,52	246,25
Eficiência de remoção (%)	57,33	63,26	44,65	77,97	83,86	80,85	76,21	71,22	67,98
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Efluente (mg/l)	315,42	641,67	191,83	247,87	363,03	45,67	107,84	182,77	76,94
Desvio padrão (mg/l)	99,16	306,71	149,21	150,04	181,04	18,46	50,4	69,7	19,98
Coefficiente de variação (CV)	0,31	0,48	0,78	0,61	0,49	0,4	0,47	0,38	0,26
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,7104	0,6192	0,5247	0,5702	0,6149	0,6577	0,6237	0,6685	0,7447
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	42,62	123,85	78,71	34,21	122,99	98,66	37,42	133,7	111,71
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	84,45	322,94	285,83	105,22	325,1	228,04	96,19	299,15	201,4
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	142,09	278,68	104,95	114,04	276,73	131,55	124,74	300,84	148,95
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	281,51	726,63	281,51	350,74	731,74	350,74	320,65	673,1	320,65
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	17,76	77,41	78,71	14,25	76,87	98,66	15,59	83,56	111,71
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	35,18	201,84	285,83	43,84	203,26	228,04	40,08	186,97	201,4

Fonte: Autor, 2014

Tabela 54 – Estimativa de confiabilidade e previsões operacionais das ETEs do Ceará – Grupo 12 (2011).

DADOS BÁSICOS DAS ETES - 2011									
ETEs	SIDI			Novo Mondubim			Itaperussú		
Processo de Tratamento	Sistema de Lagoas de Estabilização em série - 01 anaeróbia + 01 facultativa + 03 maturação			REATOR UASB + cloração			Sistema de Lodos Ativados - reator aeração prolongada + decantador secundário		
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Afluente (mg/l)	586,08	1108,64	325,42	987,58	1984,67	349,67	767,17	1469,32	261
Eficiência de remoção (%)	68,8	40,15	79,49	65,67	70,35	61,58	84,54	87,7	81,64
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONFIABILIDADE - CDC									
Parâmetros	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST
Conc. Média Efluente (mg/l)	183,17	662,87	66,92	347,92	581,92	116,98	112,42	180,41	47,23
Desvio padrão (mg/l)	18,41	20,01	11,2	160,49	377,93	124,5	20,4	60,02	19,6
Coefficiente de variação (CV)	0,1	0,03	0,17	0,46	0,65	0,75	0,18	0,33	0,42
1- $\alpha$	90	90	90	90	90	90	90	90	90
$\alpha$	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	0,8845	0,9627	0,8172	0,6282	0,5578	0,5315	0,8084	0,6977	0,6474
Conc. de Projeto CEARÁ (mg/L)	53,07	192,55	112,58	37,69	111,57	79,73	48,5	139,55	97,11
Conc. Operação CEARÁ (mg/L)	67,83	207,73	183,54	95,5	358,51	282,19	74,21	286,62	231,67
Conc. de Projeto BRASIL (mg/L)	176,9	433,24	163,45	125,65	251,03	106,31	161,69	314	129,49
Conc. Operação BRASIL (mg/L)	226,11	467,4	226,11	318,34	806,66	318,34	247,38	644,9	247,38
Conc. de Projeto EUROPA (mg/L)	22,11	120,34	122,58	15,7	69,73	79,73	20,21	87,22	97,11
Conc. Operação EUROPA (mg/L)	28,26	129,83	183,54	39,79	224,07	282,19	30,92	179,13	231,67

Fonte: Autor, 2014