



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

DÁLETE MARIA LIMA DE SOUSA

**Índice de Qualidade de Efluente em Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Baldo e
ETE Ponta Negra.**

FORTALEZA

2019

DÁLETE MARIA LIMA DE SOUSA

Índice de Qualidade de Efluente em Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Baldo e ETE Ponta Negra.

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

FORTALEZA

2019

DÁLETE MARIA LIMA DE SOUSA

Índice de Qualidade de Efluente em Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Baldo e ETE Ponta Negra.

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

Aprovada em: 28/11/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marisete Dantas de Aquino (Examinador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Gustavo Ross Ribeiro Lima (Mestre em Engenharia Civil)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S696Í Sousa, Dálete Maria Lima de.
Índice de Qualidade de Efluente em Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Baldo e ETE Ponta Negra /
Dálete Maria Lima de Sousa. – 2019.
48 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.
1. Discretização. 2. Qualidade Efluente. 3. Baldo. 4. Ponta Negra. I. Título.

CDD 620

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por ele ter me concedido forças para superar todas as adversidades que cruzaram meu caminho, fé para confiar nos seus planos e propósito para me manter fiel aos seus caminhos.

Agradeço aos meus pais e meu irmão por todo o amor que me devotaram, todo o suporte e apoio em todas as minhas escolhas, por terem me ensinado a lutar pelos meus sonhos e me orientado em todos os momentos.

Aos meus avós, por todos os princípios, amor, fé e esperança que me transmitiram durante toda a minha vida.

Aos meus tios Isabel e Francisco, que me acolheram em sua casa como filha, cuidaram e zelaram por mim durante todo o período da faculdade. Assim como os primos Alex, Werica e Theo que sempre estiveram presentes na minha formação.

Ao meu orientador Fernando, por toda a atenção, paciência e dedicação ao projeto.

Aos meus amigos, colegas de curso Larissa Alves, Raul Teixeira, Melina Paiva, Paulo Henrique, Greyson Aguiar, Arthur Carlos, Rafael Wendell, por todos os momentos compartilhados juntos, todo apoio, dificuldades superadas, comprometimentos, choros e risos.

Aos amigos Artur Canela, Ivanilda Oliveira, Mariana, Milena, Anne Karolyne, Carlos Mauricio e Yan Brasil por toda ajuda e estímulo durante os momentos mais difíceis da faculdade.

As minhas amigas e companheiras de profissão Thais Fontenele, Karem Gonçalves, Evelyne Torres e Dalva Lima por todo o suporte, compreensão e motivação durante o curso.

Não tema, pois eu estou contigo.
Não tenha medo, eu sou o teu Deus
Eu o fortalecerei e o ajudarei,
Eu o segurarei com minha mão direita vitoriosa (Isaías 41:10)

RESUMO

O crescimento acelerado da população em grandes centros urbanos elevou a necessidade de serviços fundamentais como o saneamento básico. Esse cenário torna-se bastante preocupante visto o decréscimo da disponibilidade hídrica de qualidade em todo o mundo, fenômeno esse comprovado pelas crises hídricas em diversos países e o desenvolvimento de técnicas mais avançadas para o tratamento da água. O presente estudo busca propor um Índice de Qualidade de Efluentes (IQE), partir de dados de monitoramento de estações de tratamento de esgoto (ETEs) em escala real visando a redução dos impactos no lançamento desses efluentes em corpos hídricos. Nesse caso é uma pesquisa aplicada, uma vez que se trata da criação de um IQE para as duas estações duas ETEs do Rio Grande do Norte Baldo e Ponta Negra, dados obtidos por meio de dados secundários. As coletas abrangem os anos de 2014 a 2017. Por meio do uso de ferramentas estatísticas e embasados nas normativas vigentes delimitou-se quatro classes de enquadramento do efluente que variam de 1 a 4 e representam respectivamente muito bom, bom, regular e ruim. Sendo assim 4 cenários foram criados, caso 1 (IQE somatório, com dados discretizados), caso 2 (IQE somatório e sem discretização dos dados), caso 3 (IQE produtivo com dados discretizados, caso 4 (IQE produtivo, sem discretização dos dados). Na ETE Ponta Negra nos casos 1, 2 e 4 as amostras do efluente tratado foram considerados como regular visto que classificam como Classe 3, nessa estão os limites previstos em norma. No que tange a ETE do Baldo os cenários dos casos 1, 2 e 4, classificou o efluente tratado da ETE como Classe 2, afirmando que os dados estão num intervalo considerado um efluente de boa qualidade.

Palavras-chave: Baldo; Ponta Negra; Discretização; Estatística.

ABSTRACT

Rapid population growth in large urban centers has increased the need for fundamental services such as sanitation. This scenario is very worrying given the decline in quality water availability worldwide, a phenomenon confirmed by water crises in several countries and the development of more advanced techniques for water treatment. The present study seeks to propose an Effluent Quality Index (EQF), based on real-time sewage treatment station (STS) monitoring data to reduce impacts on the discharge of these effluents into water bodies. In this case it is an applied research, since it is the creation of an EQF for the two stations two STS of Rio Grande do Norte Baldo and Ponta Negra, data obtained from a secondary base. The collections cover the years 2014 to 2017. Through the use of statistical and blurry tools in the current regulations, four classes of effluent framing were defined, ranging from 1 to 4 and representing respectively very good, good, regular and bad. Thus, 4 scenarios were created, case 1 (sum total IQE, with discretized data), case 2 (sum total IQE, without data discretization), case 3 (productive IQE with discretized data, case 4 (Product IQE, without data discretization)). In the Ponta Negra STS in cases 1, 2 and 4 the treated effluent samples were considered regular as they classify as Class 3, in this case the limits provided for in the standard. Regarding the Baldo STS, scenarios 1, 2 and 4 classified the treated STS effluent as Class 2, stating that the data are in a range considered to be a good effluent.

Keywords: Baldo; Ponta Negra; Discretization; Statistic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tratamento Preliminar.....	16
Figura 2 - Localização das ETEs em estudo	22
Figura 3 - Tratamento ETE Ponta Negra	23
Figura 4 - ETE Ponta Negra - Lagoas de Estabilização.....	23
Figura 5 - Prancha de locação da ETE Baldo	24
Figura 6 - Tratamento ETE de Baldo.....	25
Figura 7 - ETE de Baldo (a) Reator UASB (b) Decantador Secundário.....	25
Figura 8 - Remoção de DBO_5 na ETE Baldo.....	33
Figura 9 - Remoção de DBO_5 na ETE Ponta Negra	33
Figura 10 - Box-plot do IQE do conjunto com modelos agregados aditivo e produtivo	41
Figura 11 - Correlação entre modelos somatório (IQE SOMAT.) e produtivo (IQE PROD.) dos dados originais	41
Figura 12 - Correlação entre modelos somatório (IQE SOMAT.) e produtivo (IQE PROD.) dos dados transformados.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentrações e eficiência médias de remoção dos diversos constituintes.	17
Tabela 2 - Composição Típica do Esgoto Sanitário.....	17
Tabela 3 - Poluentes, parâmetros e eventuais efeitos do lançamento em corpos receptores.....	27
Tabela 4 - Padrões de Lançamentos nas Unidades Federativas	30
Tabela 5 - Classes de enquadramento dos parâmetros.	32
Tabela 6 - Frequência Absoluta das Amostragens ETE do Baldo	34
Tabela 7 - Frequência Absoluta das Amostragens ETE Ponta Negra.....	34
Tabela 8 – Estatística descritiva do efluente da ETE Baldo	35
Tabela 9 - Parâmetros Estatísticos amostra linearizada - ETE Baldo	35
Tabela 10 - IQE ETE Baldo.....	36
Tabela 11 - Parâmetros Estatísticos da ETE Ponta Negra	37
Tabela 12 - Parâmetros Estatísticos amostra linearizada - ETE Ponta Negra.....	37
Tabela 13 - IQE ETE Ponta Negra.....	38
Tabela 14 - Parâmetros Estatísticos do conjunto de ETES.....	39
Tabela 15 - Parâmetros Estatísticos amostra linearizada do conjunto de ETES.....	39
Tabela 16 - IQE do conjunto de ETES.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Considerações Iniciais	11
1.2. Motivação do estudo.....	13
1.3. Hipótese do estudo.....	13
1.4. Objetivos.....	13
1.4.1. Objetivo Geral	13
1.4.2. Objetivos Específicos	14
1.5. Estrutura do trabalho	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. Importância do tratamento de esgotos	15
2.1.1. Tratamento Preliminar.....	15
2.1.2. Tratamento Secundário	16
2.1.3. Tratamento Terciário	18
2.2. Monitoramento de efluentes.....	18
2.3. Lançamento de efluentes - aspectos normativos	19
2.4. Desempenho de ETE	20
3. METODOLOGIA	21
3.1. Características do estudo	21
3.2. Abordagem do Estudo.....	21
3.3. Estações de tratamento de esgotos consideradas no estudo	22
3.4. Modelos empregados	25
3.4.1. Coeficiente de Variação	25
3.4.2. Discretização dos dados	26
3.5. Parâmetros analíticos do monitoramento.....	27

3.6. Classes dos Parâmetros	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Qualidade do efluente tratado	33
4.2. Classificação das amostras nas classes ETE individuais.....	33
4.3. Classificação das amostras ETEs combinadas	39
5. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

1.1.Considerações Iniciais

O crescimento acelerado da população em grandes centros urbanos elevou a necessidade de serviços fundamentais como o saneamento básico. Esse cenário resultou em aumentos no consumo de água, elevada produção de esgotos domésticos e de lixo urbano, o que se tornou um problema visto que a infraestrutura urbana de saneamento como a distribuição de água e as coberturas dos sistemas de esgotamento sanitário não cresceram na mesma proporção o que sucedeu em uma sobrecarga desses sistemas, tanto da cobertura como do tratamento desses efluentes.

A Política Nacional de Saneamento Básico na lei 11.445 de 2007 estabelece em seu artigo segundo a universalização do acesso (Art. 1, Inciso I), o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, realizados de forma adequadas à saúde pública e à proteção ao meio ambiente, além da disponibilidade em todas as áreas urbanas de serviços de drenagem e limpeza das redes.

Nesse contexto houve um crescimento do volume de águas residuais que tomou imensas proporções, tornando necessária a expansão da cobertura das redes de esgotamento e de seu tratamento, tanto em escala quantitativa quanto qualitativa para uma adequada manutenção do ambiente. Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986), define-se como esgoto sanitário todo e qualquer “Despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Podendo resultar de usos domésticos, como para higiene humana e necessidades fisiológicas, uso industrial resultando de processos industriais, entre outros.

Uma série de tratamentos pode ser utilizada visando a redução do potencial poluidor desses efluentes ou até seu reuso em usos menos nobres. Após esse tratamento os esgotos são lançados principalmente em corpos hídricos, mas também podem ser lançados no solo nesse caso em ambientes mais rurais podendo impactar diretamente a saúde da população e dos corpos hídricos próximos ao lançamento (LEAL, 2015). Além disso, esse efluentes tratados podem ter usos agrícolas, energéticos, construção civil, entre outros.

Esse cenário torna-se bastante preocupante visto o decréscimo da disponibilidade hídrica de qualidade em todo o mundo, fenômeno esse comprovado pelas crises hídricas em diversos países e o desenvolvimento de técnicas mais avançadas para o tratamento da água.

O controle operacional da qualidade desse efluente tratado é de vital importância pois o lançamento irregular dos esgotos em locais não apropriados ou de efluentes com

tratamento inadequado podem causar prejuízo a saúde humana e a contaminação e poluição em corpos aquáticos, resultando em casos de eutrofização dos corpos hídricos e degradação da sua qualidade. Essas contaminações podem acarretar uma série de doenças de veiculação hídrica, contaminação de gêneros alimentícios, redução do oxigênio dissolvido na água e posterior *bloom algal* com morte de espécies da fauna aquática, entre outros (DO VALE, 2006).

O saneamento deve ser comum a toda a população, sua universalização vem sendo tema de vários acordos, eventos e projetos. A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu para 2015 oito metas internacionais de desenvolvimento sustentável, a sexta delas afirmava “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos”. No que tange ao Brasil dentre as oito metas estabelecidas, duas não atingiram de forma mais crítica, foram elas a igualdade de gênero e o saneamento básico.

A indisponibilidade desse serviço em abrangência e qualidade para a população é um problema ambiental crítico, incide diretamente em prejuízos nos setores de saúde, social, econômico, entre outros. Logo, em vista que o saneamento básico é ferramenta fundamental na manutenção da vida da sociedade e saúde pública, a disponibilidade desse serviço em proporção e qualidade estão intrinsecamente ligados à condição de bem-estar da população, tornando-se elemento decisório na sua qualidade de vida.

Ferreira (2009) afirma que essa crítica ausência em serviços de saneamento de qualidade no Brasil principalmente no que tange serviços de coleta e tratamento dos esgotos domésticos, impõe a grande parte da população elevados riscos de exposição a organismos patogênicos que muitas vezes se desenvolvem nesses ambientes de exposição de esgoto a céu aberto disseminando várias doenças de veiculação hídrica.

Após pesquisas acerca do tema, a Organização Mundial de Saúde (OMS) afirma que a relação entre investimentos em saneamento básico e a economia em saúde no tratamento de doenças causadas pela ausência de tratamento de água e esgoto equivale a um para quatro.

Tendo em vista a importância de uma coleta eficaz e tratamento de qualidade desse efluente é fundamental que haja um bom controle operacional do sistema tanto de coleta como de tratamento por meio de uma série de indicadores de desempenho desses processos/sistemas.

O uso de indicadores pode ter vantagens, como a identificação de áreas ou atividades que necessitem de uma atenção/reparo/melhorias, obtenção de dados de referência para comparação entre outras entidades gestoras de sistemas similares, tomada de decisão para a criação de políticas para o setor, alocação de recursos, de investimentos e desenvolvimento de novos instrumentos ao setor, criação de um banco de dados com as opiniões dos usuários do sistema, a quem o serviço é prestado visando o cumprimento da qualidade do nível de serviço

disposto na contratação e verificação da adequação dos desempenhos ambientais previstos nas legislações vigentes.

1.2. Motivação do estudo

Diversos foram os estudos e metodologias para avaliar os Índices de Qualidade da Água (IQA) e seus graus tróficos, sejam de águas superficiais ou subterrâneas (ABBASI, 2002). No entanto, com a redução das disponibilidades de recursos hídricos, torna-se indispensável uma avaliação e controle de efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), uma vez que função do seu tratamento pode ser utilizado para diversos fins.

Segundo Von Sperling (2005) é uma grande preocupação em diversos países, os impactos do lançamento de efluentes de ETE em corpos hídricos, logo torna-se fundamental o estabelecimento de legislações ambientais cada vez mais severas em função das características de cada local, definindo assim critérios de descargas e qualidade do efluente de forma a não comprometer a qualidade do recurso hídrico.

Para tal, é vital o estabelecimento de parâmetros capazes de mensurar e avaliar a qualidade desse efluente, enquadrando-o assim no seu uso devido, porém há uma deficiência em relação a parâmetros de controle, aplicando assim conceitos de IQA para mensurar a qualidade desses efluentes. Sendo assim o presente estudo visa contribuir para o desenvolvimento de índice de avaliação dessa qualidade de efluentes, inseridos no contexto climático do Nordeste, tornando assim o modelo mais fidedigno a realidade local.

1.3. Hipótese do estudo

O presente estudo irá propor um método de monitoramento e caracterização em função dos parâmetros obtidos nos efluentes de ETEs inseridas no Nordeste brasileiro, visando assim atuar na tomada de decisões além de intensificar o controle técnico nessas estações. É necessário construir um IQE a partir de dados de monitoramento de ETEs em escala real.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

O presente estudo busca propor um Índice de Qualidade de Efluentes (IQE), visando a redução dos impactos no lançamento desses efluentes em corpos hídricos uma vez que propõe uma ferramenta de monitoramento e gestão desses parâmetros analisados.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estruturar uma escala de relevância dos parâmetros analisados para o desempenho da ETE.
- Criar um Índice de Qualidade do Efluente para as ETEs in foco.
- Analisar a eficiência das ETEs.

1.5. Estrutura do trabalho

O presente estudo é composto de uma etapa de uma análise bibliográfica sobre o assunto, visando estabelecer os parâmetros mais relevantes ao estudo. Seguindo de uma exposição da metodologia proposta e posterior discussão dos resultados obtidos nesse estudo.

Foi então subdividido em Referencial Teórico, suas peculiaridades além das diversas metodologias de monitoramento e tratamento dos efluentes, assim como os aspectos normativos dos mesmos para lançamento em corpos hídricos.

Subsequente encontra-se a etapa de Metodologia na qual está contida a caracterização das ETEs, seus tipos de tratamento, quais são os modelos e parâmetros analisados. Em sequência há a Discussão dos Resultados obtidos pela análise e posterior a Conclusão do estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.Importância do tratamento de esgotos

Na maior parte dos países os efeitos da indisponibilidade de água qualitativa e quantitativamente próprias para o consumo humano, já são sentidos, agravados pelo rápido crescimento da população e sua demanda por água.

O atlas de esgotos da Agência Nacional de Águas (ANA) afirma que atualmente cerca de 9,1 toneladas de esgotos são geradas por dia e apenas 43% da população possui seu esgoto coletado e tratado, 12% utilizam fossa séptica, 18% são coletados, mas não tratados e 27% não possuem coleta e nem tratamento, ou seja, sem serviços de coleta sanitário.

No Brasil, há regiões com dados ainda mais alarmantes, em regiões do Sul cerca de 65% dos da população possui esgotamento sanitário adequado, já no Norte apenas 33% e no cenário do Nordeste 48% da população.

Países como Inglaterra, Austrália e Israel, devido a problemas de estresse hídrico investiram em tecnologias mais avançadas de tratamento da água, como usinas de dessalinização.

2.1.1. *Tratamento Preliminar*

Segundo Piveli (2006), o tratamento preliminar de esgotos busca a remoção física de sólidos grosseiros, trata-se de uma etapa inicial de preparo do esgoto para os próximos tratamentos, evitando que esse venha a causar problemas nos equipamentos eletromecânicos. Composto principalmente de gradeamento e desarenação, o primeiro visa remover sólidos grosseiros como plásticos, papelões, madeira entre outros, enquanto a etapa da desarenação também usualmente chamada de caixa de areia é usada para a remover partículas sedimentáveis semelhantes a areia.

A remoção dos materiais na etapa de gradeamento pode ocorrer de forma manual ou mecanizada por meio de um rastelo mecânico que remove o material e deposita em uma esteira rolante que leva até a caçamba. As grades podem ser caracterizadas em função do seu espaçamento em grades grossas (4cm-10cm), média (2cm-4cm) e finas (1cm-2cm) (JORDÃO & PESSOA, 1995).

“As grades são projetadas para que ocorra uma velocidade de passagem entre 0,6 e 1,0m/s, tomando-se por referência a velocidade máxima horária de esgotos sanitários. A obstrução máxima admitida é de 50% da área da grade” (PIVELI, 2006).

Quanto as partículas de areia que adentam nas ETEs possuem diâmetros de 0,2 a 0,4mm e nas caixas de areia individualmente com velocidade média de 2 cm/s. Em novas ETEs estima-se que haja cerca de 30 a 40L/1000m³ de esgoto em situações desfavoráveis. Geralmente essas caixas são projetadas para velocidades de 0,3m/s, velocidades inferiores da ordem de 0,15m/s levam a deposição de matéria orgânica na caixa causando odores, já velocidades superiores leva ao arraste de particular de areia. Essa etapa é muitas vezes precedida por um medidor de vazão do tipo Calha Parshall como na figura 1 (PIVELI, 2006).

Figura 1 - Tratamento preliminar



Fonte: Santos (2012).

2.1.2. Tratamento Secundário

Nessa etapa de tratamento há a remoção de matéria orgânica do esgoto, podem ocorrer de forma biológica aeróbia ou anaeróbia. Subdividem-se em Lagoas de Estabilização Convencional, Lagoas aeradas mecanicamente (facultativas e mistura completa), Tratamento por Lodos Ativados (Convencional, por Aeração Prolongada, de Fluxo intermitente), Tratamentos anaeróbios (UASB) nesses casos necessitam de um tratamento complementar com Lagoas de Polimento, Biofiltros, Lodos Ativados, por Tratamento Físico-Químico, Disposição Controlada no Solo (SANTOS, 2007).

Na Tabela 1 possuímos os principais sistemas de tratamento secundário, a saber:

- FS+FA: fossa séptica + filtro anaeróbio
- LF: lagoas facultativas
- LAN+LF: lagoas anaeróbias + lagoas facultativas
- LA: lodos ativados
- UASB: reator UASB sem pós-tratamento
- UASB+POS: reator UASB + pós-tratamento

Tabela 1 - Concentrações e eficiência médias de remoção dos diversos constituintes.

	CONSTITUINTE	UNIDADE	FS+FA	LF	LAN+LF	LA	UASB	UASB+POS
DBO	Afluente	(mg/L)	665	553	510	315	371	362
	Efluente	(mg/L)	292	136	89	35	98	42
	Ef. Remoção	(%)	59	75	82	85	72	88
DQO	Afluente	(mg/L)	1398	1187	1095	575	715	713
	Efluente	(mg/L)	730	525	309	92	251	141
	Ef. Remoção	(%)	51	55	71	81	59	77
SST	Afluente	(mg/L)	479	430	411	252	289	334
	Efluente	(mg/L)	165	216	153	57	85	51
	Ef. Remoção	(%)	66	48	62	76	67	82
NTK	Afluente	(mg/L)	78	69	78	47	43	
	Efluente	(mg/L)	61	38	45	22	48	
	Ef. Remoção	(%)	24	44	39	50	-13	24
PT	Afluente	(mg/L)	9	9	11	3	7	7
	Efluente	(mg/L)	7	4	7	1	6	5
	Ef. Remoção	(%)	30	46	36	46	-1	23
CTT (*)	Afluente	(org/100mL)	2,6.10 ⁷	5,3.10 ⁷	2,0.10 ⁸	3,7.10 ⁷	1,2.10 ⁸	1,8.10 ⁸
	Efluente	(org/100mL)	5,3.10 ⁶	1,2.10 ⁶	4,3.10 ⁵	1,3.10 ⁵	3,4.10 ⁷	9,7.10 ⁶
	Ef. Remoção	Unid. Log.	0,9	1,6	2,2	2,0	0,6	2,8

Fonte: Oliveira e Sperling (2005).

(*) Para coliformes, os valores referem-se à média geométrica das concentrações.

Ao analisar a tabela 1 o sistema UASB+POS é o que possui maior remoção de DBO e SST, seguindo do LA. Quando a remoção de DQO destaca-se as LA, seguindo de UASB+POS. Quanto a remoção de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e do fósforo total todos os sistemas apresentados não possuem boa remoção desse parâmetro, sendo assim necessário um tratamento terciário para sua efetiva remoção. Os coliformes termotolerantes (CTT) destaca-se a remoção do conjunto UASB+POS seguida da remoção do conjunto LAN+LF.

Na Tabela 2 temos os principais constituintes do esgoto sanitário, apresentado valores médio de referência assim como seus valores de efluentes após a saída do reator UASB e posterior tratamento na lagoa de polimento.

Tabela 2 - Composição Típica do Esgoto Sanitário

PARÂMETRO	UNIDADE	BRUTO	EFLUENTE DO UASB	EFLUENTE LAGOA DE POLIMENTO
DQO	mg/L	500-800	150-200	60-120
DBO5	mg/L	200-350	50-100	30-50
SST	mg/L	300-400	60-120	40-80
NTK	mg N/L	35-50	30-45	10-40
P	mg P/L	06-10	06-10	5-8
COLIFORMES FECAIS	CF/100mL	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁶ -10 ⁸	10 ² -10 ⁴
OVOS DE HELMINTOS	Nº/L	10-200	5-50	~0
PH		7,0-8,0	6,8-7,2	7,5-9,0
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS	mL/L	10-20	1-2	~0,1

Fonte: Cavalcante et. al. (2001).

2.1.3. Tratamento Terciário

Uma etapa complementar os tratamentos supracitados é a etapa de tratamento terciários, que tem como principal objetivo complementar o tratamento anterior no qual sucedeu a remoção de sólidos e matéria orgânica. Nessa etapa busca-se a remoção de organismos patogênicos, nutrientes não removidos de forma eficiente na etapa anterior como fósforo e nitrogênio, remoção de compostos não biodegradáveis, metais pesados, além da desinfecção do efluente tratado (VON SPERLING, 1996).

Para esse nível de tratamento, o processo de desinfecção pode ocorrer de forma natural, com o uso de lagoas de maturação ou de forma artificial, por meio da cloração, radiação ultravioleta, adsorção por carvão ativado, osmose reversa, ozonização, entre outros. A presença ou ausência de patógenos em águas são identificadas a partir de microrganismos indicadores como *Coliformes termotolerantes* e *Escherichia coli* (CAVINATTO, 2007).

De forma geral, esses tratamentos terciários são empregados quando se deseja usos mais nobres a esses efluentes, como reuso agrícola, ou quando o efluente é de baixa qualidade ou gera riscos à saúde humana, como por exemplo com a presença de metais pesados, ou ainda para a remoção de nutrientes que podem potencializar a eutrofização em águas receptoras. Fazendo assim uso dessas metodologias para atender aos padrões de lançamento (MELLO, 2007).

2.2. Monitoramento de efluentes

Para que haja o correto monitoramento da ETE deve haver uma avaliação e controle seu desempenho na remoção de poluentes ao longo da vida útil da estação em função de determinados períodos de tempo. Sendo assim um importante conceito é o de confiabilidade do sistema, segundo Oliveira e Von Sperling (2007) é a probabilidade de se conseguir um desempenho adequado em um específico período, sob determinadas condições, pode ser entendida como a porcentagem de tempo em que as concentrações da ETE cumprem os padrões de lançamentos. Enquanto isso a falha do tratamento ocorrerá quando os padrões da legislação vigente forem excedidos.

Sendo assim deve haver a coleta dos efluentes do tratamento, geralmente no início e no final do seu processo operacional, podendo ainda ser coletado antes e depois de cada etapa do processo. Diversas são as condicionantes que interferem diretamente nesses resultados, que podem variar em função do horário, do clima, cultura local, tecnologias de tratamento, das atividades gerados, entre outros. O desempenho da estação é diretamente relacionado com os

parâmetros de monitoramento escolhidos e sua interpretação deve ocorrer em função dos condicionantes supracitados. Sendo assim a eficiência global do sistema deve se dar em função da remoção alcançada e a esperada para cada tecnologia de tratamento em questão.

Além disso, um aspecto importante a ser considerado é a capacidade de diluição do corpo receptor uma vez que o padrão de lançamento não deve ser superior a capacidade de autodepuração do rio função de condições de qualidade iniciais do corpo receptor e o regime hidrológico local (MARÇAL, 2017).

2.3.Lançamento de efluentes - aspectos normativos

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) lançou a resolução número 430, de maio de 2011, que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA.

Segundo o Art. 16º do CONAMA, os efluentes de qualquer fonte poluidora devem obedecer às condições e padrões seguintes:

I - Condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) 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;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas:
 1. óleos minerais: até 20 mg/L;
 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) ausência de materiais flutuantes; e
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

O CONAMA também dispõe da classificação dos corpos de água e dá as diretrizes ambientais para o seu enquadramento na resolução 357/2005.

Em parágrafo único afirma que eventuais interações entre substâncias não podem conferir as águas características que a tornem letais ou modifiquem o comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como restringir os usos prioritário das águas.

Para casos de esgotos de origem domésticas não foram encontrados registros de legislações estaduais, sendo assim segundo estudos de Morais (2019) permitiu-se analisar uma

série de parâmetros de monitoramento em dezesseis unidades federativas sendo assim atuando na tomada de decisão quanto a análise desses parâmetros. Adotou-se como referência principalmente a legislação nacional e as legislações do nordeste brasileiro.

2.4.Desempenho de ETE

Em grandes centros urbanos como é o caso do presente estudo, os esgotos são provenientes de fontes domésticas, industriais e infiltração. Sendo assim é fundamental mensurar e analisar uma série de parâmetros operacionais e do efluente qualitativos e quantitativos. Dentre as características básicas dos efluentes tem-se a carga orgânica do esgoto (kg DBO/hab.dia), as vazões unitárias média (L/hab.dia) e vazões instantâneas (L/s), além disso deve ser considerada uma contribuição da infiltração de água subterrânea da ordem de 0,2L/s.km (SANTOS, 2007). Esses parâmetros variam com as condições locais, densidade demográfica, clima, cultura, renda, tipo de uso do solo, turismo, entre outros (MACIEL, 2017).

Para a avaliação em termos de Eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes, patógenos em uma ETE é importante mensurar a eficiência dessa remoção do poluente, por meio da equação

$$E = \left(\frac{C_a - C_e}{C_a} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

E = eficiência do sistema (%)

Ca = concentração afluente do poluente (mg/L)

Ce = concentração efluente do poluente (mg/L)

Sendo assim, através das análises físico-químicas e microbiológicas obtidas durante as coletas de esgoto bruto e tratado, realizadas nas ETE em estudo pode-se então mensurar a eficiência global de todo o sistema ou de cada etapa do mesmo, além de verificar o enquadramento dos esgotos aos parâmetros estabelecidos pelo CONAMA 357.

Logo esse valor de eficiência atua diretamente nas tomadas de decisões, visto que caso a eficiência do sistema esteja abaixo da esperada deve-se avaliar de forma local onde encontra-se a criticidade do tratamento e propor medidas que solucione o problema exposto.

3. METODOLOGIA

3.1. Características do estudo

O presente estudo é uma pesquisa aplicada, uma vez que se trata da criação de um Índice de Qualidade de Efluentes para as duas estações em estudo. No que tange os objetivos é uma Pesquisa Descritiva pois o estudo analisa os dados obtido por meio de uma base documental não divulgada, resultado de um processo de monitoramento dessas estações. Além disso possui a classificação de estudo de caso em relação aos procedimentos abordados.

3.2. Abordagem do Estudo

Para a análise das estações de tratamento de esgoto primeiramente houve uma revisão bibliográfica acerca do tema, os parâmetros mais relevantes aos estudos e metodologias de análise a serem empregadas.

O estudo trata-se de uma análise probabilística para avaliar os parâmetros mais relevantes da análise de ETEs, é um estudo qualitativo e quantitativo visa fornecer uma ferramenta que atuará na tomada de decisão e administração de ETEs no Nordeste brasileiro e mensurar o nível de desempenho das mesmas, respectivamente.

Os dados foram coletados mensalmente entre os anos de 2014 a 2017, totalizando 48 amostragens para a ETE do Baldo e 25 para ETE Ponta Negra, tanto de esgoto bruto como de efluente tratado, permitindo assim a análise da eficiência global do sistema, em função da sazonalidade, essa pode variar em função do mês do ano caso seja mais ou menos chuvoso, função de meses onde o turismo é mais intenso como mês de férias escolares, além de uma análise temporal ao longo desses quatro anos coletados, entre outros.

Para tal, adotou-se a metodologia IQE fundamentado na metodologia de Brown et. al. (1970) na qual definiu que o índice de qualidade seria baseado em parâmetros químicos, físicos e biológicos do tratamento. Sendo assim por meio dessa metodologia de ponderamento o presente estudo tem por fim propor um índice de qualidade do efluente (IQE) representativo as ETEs em estudo. Após escolher os parâmetros relevantes que iria compor o IQE, obteve-se os pesos de cada um e os critérios de pontuação seguido da aplicação de um produtório e somatório.

$$IQE = \prod_{i=1}^n I_i^{p_i} \quad (4)$$

$$IQE = \sum_{i=1}^n I_i \cdot p_i \quad (5)$$

Onde:

I_i = escores dos critérios definidos;

p_i = peso de cada parâmetro;

i = parâmetro ;

n = número de parâmetros.

3.3. Estações de tratamento de esgotos consideradas no estudo

A análise ocorreu em duas Estações de Tratamento de Esgoto as ETE Ponta Negra e Estação de Tratamento de Esgoto Dom Nivaldo Monte conhecida como ETE de Baldo, ambas na cidade de Natal estado do Rio Grande do Norte como apresentado na Figura 4. Essas ETEs atendem as zonas Sul e Leste da cidade de Natal recebendo cerca de 92 mil ligações de esgoto e cerca de 360 mil pessoas atendidas. Os dados analisados foram coletados entre os anos de 2014 a 2017. Nessas coletou-se valores na entrada e na saída do processo, ou seja, o esgoto bruto e o esgoto tratado, analisando assim um conjunto de 12 parâmetros visando assim analisar a qualidade do efluente na saída e mensurar a eficiência dos tratamentos nas estações.

Figura 2 - Localização das ETEs em estudo



Fonte: Google Earth Pro (2014).

A ETE de Ponta Negra possui uma vazão de 95L/s, ou seja, 342m³/h. Essa possui uma área de 510.000m². Seu sistema de tratamento é composto de um tratamento preliminar com grade, desarenadores e calha Parshall e um tratamento secundário com um sistema de lagoas de estabilização em série composta de uma lagoa facultativa seguida de duas lagoas de maturação. O efluente da ETE Ponta Negra é infiltrado através de valões em terrenos adjacentes à última lagoa de maturação.

Figura 3 - Tratamento ETE Ponta Negra



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007).

Essa estação recebe 3.000 ligações de esgoto e este é o maior sistema de lagoas de estabilização do estado, atendendo a uma população de 23.000 habitantes, no fim de plano serão 33.514 habitantes e sua operação é realizada pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN).

Figura 4 - ETE Ponta Negra - Lagoas de Estabilização

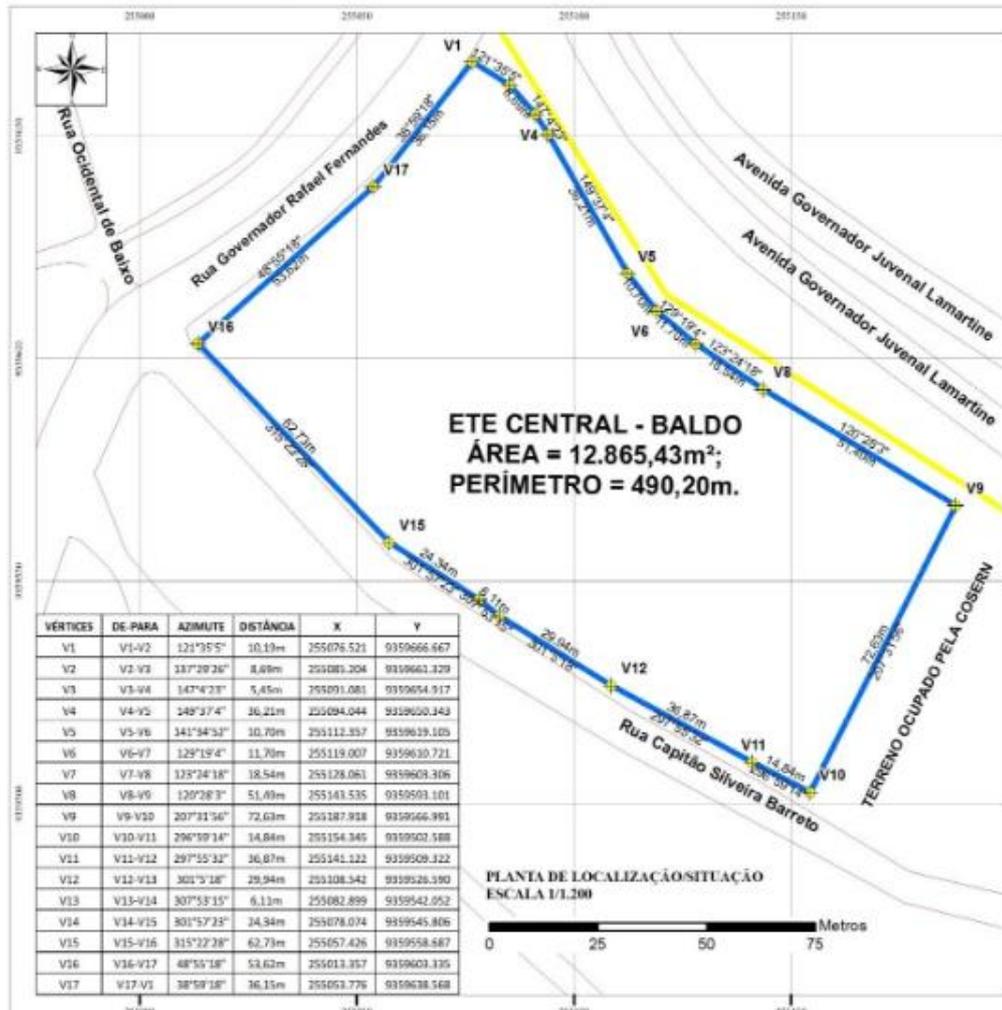


Fonte: Oliveira (2005).

A ETE Baldo conta com uma área de 12mil m² e um perímetro de 490m. O acesso a essa ETE pode se dar por 3 vias, as ruas Capitão Silveira Barreto e Governador Rafael Fernandes assim como pela Avenida Governador Juvenal Lamartine. Encontra-se no bairro

Cidade Alta como apresentada na figura 7. Essa ETE, atende toda a zona oeste da cidade de Natal, com uma vazão de 400L/s, ou seja, 1440m³/dia.

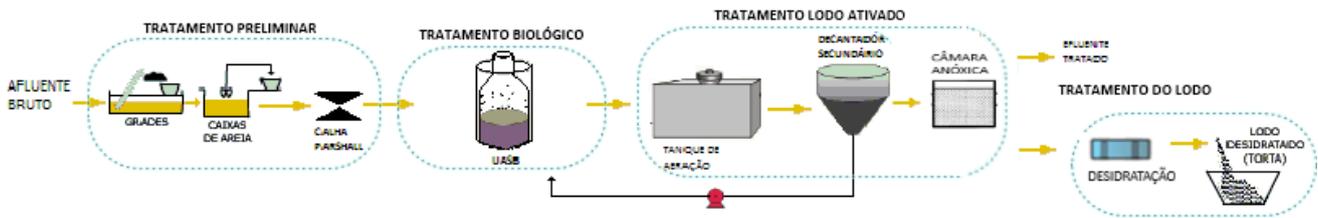
Figura 5 - Prancha de locação da ETE Baldo



Fonte: CAERN.

Composta de um tratamento preliminar com grades grossas mecanizadas, peneiras finas, caixa de areia, um tratamento secundário biológico com 4 reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) como na figura 6 (a), câmaras anóxicas que recebe os efluentes do UASB e o recirculo do lodo, as câmaras são seguidas de Tanques de aeração onde ocorre a desnitrificação com um conjunto de 6 sopradores para garantir a aeração desses, após os tanques de aeração há os decantadores secundários como na figura 6 (b), em seguida há uma desinfecção por radiação ultravioleta.

Figura 6 - Tratamento ETE de Baldo



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007).

O efluente tratado é lançado no canal do baldo e o lodo resultante do processo passa por uma desidratação por centrifugação e posterior possuem como destinação final os aterros sanitários. Há ainda um sistema de controle de odores formado por dutos que destinam esses gases a uma lavagem.

Figura 7 - ETE de Baldo (a) Reator UASB (b) Decantador Secundário



Fonte: Oliveira (2005)

3.4. Modelos empregados

No presente estudo realizou-se um comparativo entre o coeficiente de variação dos dados analisados bruto e normatização dos valores antes da análise, sendo assim delimitado classes e posterior calculado o peso de cada um dos parâmetros para o enquadramento das estações, obtendo assim o IQE proposto para as estações.

3.4.1. Coeficiente de Variação

Nesse método deve-se realizar uma análise probabilística do espaço amostral do efluente tratado, obtendo valores de média (μ), desvio padrão (σ), máximo, mínimo e variância (s^2) visando assim obter os coeficientes de variação de cada um dos parâmetros como proposto

na equação 6. O Coeficiente de Variação (CV) mede a dispersão dos dados em relação à média, sendo esse em percentagem.

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{\mu} \quad (6)$$

Uma vez obtidos os CVs de todos os parâmetros analisados devem-se levar em consideração as ordens de grandezas dos mesmos, uma vez que essa ordem de grandeza pode influenciar consideravelmente no valor do CV podendo esta torna-se uma limitação para o método caso não seja considerada.

Uma vez obtidos o CV de cada parâmetro deve-se calcular o peso de cada um dos parâmetros analisados como na equação 7.

$$Peso = \frac{CV_i}{\sum CV} \quad (7)$$

Sendo assim obtém-se o valor do IQE por meio do ponderamento entre cada peso e classe de cada parâmetro.

3.4.2. Discretização dos dados

O foco principal desse método é minimizar problemas acerca de ordem de grandeza de unidades de medida e dispersões distintas entre as variáveis realizando uma padronização da via normal. Sendo assim, o processo de linearizar a base amostral ajusta as escalas para o logaritmo natural visando obter a normalidade dos os valores dos atributos para o mesmo intervalo, reduzindo dados *outliers* que possam distorcer a análise das amostras. Logo todas as amostras devem ser normalizadas antes de proceder as demais análises, em cada uma das amostras deve ser aplicado o logaritmo natural (LN) como apresentado na equação 8.

$$f(x) = LN(X) \quad (8)$$

Onde:

X - Amostra observada.

A partir daí calcula-se o valor do desvio padrão das amostras do efluente tratado previamente normalizadas. Posterior deve-se obter a variância das amostras que é a média dos desvios quadráticos como na equação 9.

$$\sigma^2 = \frac{\sum(X - \mu)}{n - 1} \quad (9)$$

Sendo assim os pesos são obtidos pela razão da variância de cada parâmetro e o somatório das variâncias.

$$Peso = \frac{\sigma_i^2}{\sum \sigma^2} \quad (10)$$

Onde:

σ_i^2 - variância de cada parâmetro

$\sum \sigma^2$ – Somatório das variâncias de todos os parâmetros.

3.5. Parâmetros analíticos do monitoramento

Diante das metodologias propostas e fundamentados em Brown (1970), Maciel (2017), Oliveira (2005) e na Resolução do CONAMA 430/2011 definiu-se como fundamentais da análise dos principais parâmetros, a saber: pH, Temperatura, Materiais sedimentáveis, Vazão máxima de lançamento, Óleos e graxas, Materiais flutuantes, DBO 5 dias e Nitrogênio Amoniacal. Na tabela 3 são apresentados os principais parâmetros e seus efeitos adversos quando lançados nos corpos hídricos receptores.

Segundo Von Sperling (2005), a parcela de sólidos do efluente é formada pela contribuição de todos os contaminantes presentes na água, exceto os gases dissolvidos, sendo assim os sólidos um dos principais parâmetros relativo a monitoramento dos efluentes, principalmente domésticos. De acordo com Cavinatto (2007) e Ortega et. al. (2009), a *Escherichia coli* é um indicador específico de poluição fecal, estando diretamente relacionado com a presença de outras bactérias patogênicas do trato intestinal.

Tabela 3 - Poluentes, parâmetros e eventuais efeitos do lançamento em corpos receptores

POLUENTES DO ESGOTO	PARÂMETROS RELACIONADOS	EFEITOS ADVERSOS
ÁCIDOS E ÁLCALIS	pH/alcalinidade	Interfere na decomposição biológica e provoca morte dos organismos aquáticos
SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	SST	Aumento da turbidez; decomposição de lodo no fundo do corpo aquático e nas canalizações de esgoto; proteção de organismos patogênicos; produção de maus odores devido à decomposição anaeróbia da fração orgânica.
MATÉRIA ORGÂNICA	DBO e DQO	Redução do oxigênio dissolvido na água dos corpos receptores; prejuízos à biota; decomposição anaeróbia que se inicia a seguir e causa a produção de maus odores
NUTRIENTES	N e P	Proliferação de algas e macrófitas aquáticas levando a um estado de eutrofização; depleção de oxigênio
MICROORGANISMOS PATOGÊNICOS	<i>E.coli</i>	Transmissão de doenças

Fonte: Adaptados Jordão e Pessoa (2005).

Outro aspecto importante é o cloro residual livre, parâmetro esse que serve de controle de eficiência do sistema de cloração, segundo U.S.EPA (1986) o cloro remanescente destrói os microrganismos.

O presente estudo terá o enfoque em oito principais parâmetros irão compor o supracitado índice de qualidade do efluente (IQE), buscando parâmetros de maior criticidade e analisando-os como indicadores de desempenho. Os fatores em foco são: Condutividade, DBO, DQO, Amônia Total, pH, Óleos e Graxas, Sólidos Suspensos e Coliformes Termotolerantes.

Uma vez delimitados os parâmetros em foco e conhecidos seus impactos na vida dos seres humanos é importante analisar a natureza de cada um desses para adaptar a melhor forma de remoção e controle dos mesmos.

3.5.1. Parâmetros Físicos

Segundo Santos (2007), os parâmetros de fácil percepção a cor, turbidez, odor, presença de sólidos em suspensão e temperatura.

Define-se como sólidos a matéria que permanece como resíduo após levados a temperatura entre 103°C e 105°C, pode-se apresentar como sólidos fixos totais (STF), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos dissolvidos voláteis (SDV), sólidos dissolvidos fixos (SDF) e sólidos suspensos totais (SST).

O odor é geralmente produzido pela decomposição de matéria orgânica, formando sulfeto de hidrogênio (H₂S) e metano (CH₄), mercaptanas e ácidos orgânicos. A temperatura impacta diretamente na manutenção da vida aquática, na cinética das reações, nas reações químicas e na redução de oxigênio dissolvido. A cor e turbidez conferem a água aspecto desagradável, a cor é proveniente de compostos orgânicos dissolvidos ou inorgânicos enquanto a turbidez é provocada por partículas em suspensão.

3.5.2. Parâmetros Químicos

Os principais parâmetros químicos analisados são DBO, DQO, Fósforo, Nitrogênio, pH e Alcalinidade

As águas residuárias contém uma grande variedade de compostos orgânicos, podendo estar suspensos ou dissolvidos, são compostas de matéria orgânica carbonácea e microrganismos. Esse material orgânico é consumido pelos microrganismos uma parte para respiração e mobilização das células e outra para o crescimento de novas células. Para tanto, são realizados os testes para obter a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) quantificada de

oxigênio dissolvido (OD) para estabilizar bioquimicamente a matéria orgânica por meio de bactérias aeróbias. Já a Demanda Química de Oxigênio (DQO) mede o oxigênio equivalente ao conteúdo de matéria orgânica de uma amostra que pode ser oxidada por um forte oxidante químico em meio ácido.

Nitrogênio é um importante composto inorgânico indispensável ao desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela depuração biológica, além de possibilitar o crescimento de algas responsáveis pela eutrofização reduzindo assim a qualidade do corpo receptor, podendo atuar como indicador para despejos de esgotos. Fósforo assim como o nitrogênio além de essencial aos microrganismos que degradam a matéria orgânica ele permite a proliferação do processo de eutrofização.

O pH é o quão ácido ou básico o meio se encontra, de modo geral em esgotos sanitários são da ordem de 6,7 a 7,5. Esse parâmetro é extremamente importante para possibilitar as reações químicas ou bioquímicas do processo. Já a alcalinidade é a capacidade do líquido de neutralizar ácidos, sendo resultante de sais derivados, ácidos fracos e bases, atuando contra a queda do pH podendo se apresentar na forma de carbonato, bicarbonato e hidróxidos.

3.6. Classes dos Parâmetros

Uma vez delimitados os parâmetros em análise devem-se estabelecer as classes nas quais serão categorizadas, para isso, realizou-se uma série de revisões bibliográficas sobre os parâmetros de diferentes regiões brasileiras para a delimitação dos intervalos contidos em cada classe de parâmetro. Para tal foram analisadas as normativas em nível nacional e estadual, em âmbito nacional como supracitado obedece a CONAMA 430/2011 já no que tange o âmbito estadual não foram encontradas normativas que delimitem os esgotos de origem doméstica no estado do Rio Grande do Norte.

Diante disso, foram criados intervalos visando obedecer às normas estaduais com enfoque nas legislações do Ceará visto a ausências de normas no estado do Rio Grande do Norte.

Tabela 4 - Padrões de Lançamentos nas Unidades Federativas

UF	Legislação	Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos						Eficiência de Remoção (%)		
		DQO (mg O ₂ /L)	DBO (mg O ₂ /L)	SST (mg/L)	N (mg-N/L)	P (mg/L)	C Term (NMP/100mL)	DQO	DBO	SST
BR	CONAMA 430/2011	-	120 ⁽⁵⁾	-	20 ⁽³⁾⁽⁵⁾⁽¹¹⁾⁽¹⁸⁾	-	-	-	20 ⁽¹⁹⁾	-
AM	Resolução Comdema 34/2012	100 ⁽¹⁸⁾ 150 ⁽⁵⁾	60 ⁽¹⁸⁾ 90 ⁽⁵⁾	100 ⁽¹⁾ 60 ⁽²⁾	-	-	-	-	75 ⁽¹⁸⁾ 85 ⁽²⁾	20 ⁽¹⁹⁾
RO	Decreto 7.903/1997	-	-	-	5 ⁽³⁾	-	-	-	-	-
AL	Decreto 6.200/1985	150	60	-	0,5 ⁽³⁾	-	-	-	-	-
BA	Resolução Cepram 2.228/2000	-	-	-	-	-	106	-	80 - 95 ⁽⁴⁾	70-90 ⁽⁴⁾
CE	Resolução Coema 02/2017	200 ⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾ 600 ⁽²¹⁾	120 ⁽⁵⁾	100 ⁽⁵⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾ 150 ⁽⁶⁾⁽²¹⁾	5 ⁽³⁾⁽¹⁸⁾ 20 ⁽³⁾⁽⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽²¹⁾	-	5000	-	-	20 ⁽¹⁹⁾
MA	Portaria Sema 79/2013	-	-	-	-	-	-	-	90	90
PE	NT 2001/2002/2007 da CPRH	360 (C ≤ 2) ⁽⁸⁾⁽¹⁸⁾ 160 (2 < C ≤ 6) 120 (6 < C ≤ 50) 60 (C > 50)	180(C ≤ 2) ⁽⁸⁾⁽¹⁸⁾ 80(2 < C ≤ 6) 60(6 < C ≤ 50) 30(C > 50)	-	-	-	10 ⁶ a 10 ⁴ ⁽⁹⁾	60-90 (10)(18)	40(C ≤ 2) ⁽⁸⁾⁽¹⁸⁾ 70 (2 < C ≤ 6) 80(6 < C ≤ 50) 90(C > 50)	-
GO	Decreto 1.745/1979 Regulamento	-	60	-	-	-	-	-	80	-
MS	Deliberação Ceca 36/2012	-	100 ⁽¹⁸⁾ 120 ⁽⁵⁾	-	20 ⁽³⁾⁽¹¹⁾⁽¹⁸⁾	-	-	-	-	-
ES	Resolução Comdema 02/1991	200	-	100	5 ⁽³⁾	-	-	-	90 (C ≥ 100) ⁽⁸⁾	-
MG	Deliberação Normativa	180 250 ⁽¹²⁾	60	100 150 ⁽⁶⁾	5 ⁽³⁾⁽¹¹⁾	-	-	70	75	-
RJ	Deliberação Ceca nº 1007/86 - NT FEEMA 202. R10/1986	-	180 (C ≤ 5) ⁽⁸⁾ 100 (5 < C ≤ 25) 65 (25 < C ≤ 80) 40 (C > 80)	-	5 ⁽³⁾ 10 ⁽¹³⁾⁽¹⁶⁾	1 ⁽¹³⁾	-	-	30 (C ≤ 5) ⁽⁸⁾ 65 (5 < C ≤ 25) 80 (25 < C ≤ 80) 85 (C > 80)	-
SP	Decreto 8.468/1976	-	60	-	-	-	-	-	80	-
PR	Resolução Sema 21/2009 e Resolução Cema 70/2009	225 200 ⁽¹⁰⁾⁽¹⁴⁾	90 50 ⁽¹⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-
RS	Resolução Consenma 128/2006	400(Q < 20) ⁽¹⁵⁾ 360(20 ≤ Q < 100) 330(100 ≤ Q < 500) 300(500 ≤ Q < 1000) 260(1000 ≤ Q < 3000) 200(3000 ≤ Q < 7000) 180(7000 ≤ Q < 10 ⁴) 150(Q ≥ 10 ⁴)	180 (Q < 20) ⁽¹⁵⁾ 150 (20 ≤ Q < 100) 110 (100 ≤ Q < 500) 80(500 ≤ Q < 1000) 70(1000 ≤ Q < 3000) 60(3000 ≤ Q < 7000) 50(7000 ≤ Q < 10 ⁴) 40(Q ≥ 10 ⁴)	-	20(Q < 100) ⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾ 20(100 < Q ≤ 10 ³) 15(10 ³ < Q < 10 ⁴) 10(Q ≥ 10 ⁴) 20 ⁽³⁾	4(Q < 100) ⁽¹⁵⁾ 3(100 ≤ Q < 10 ³) 2(10 ³ ≤ Q < 10 ⁴) 1(Q ≥ 10 ⁴)	10 ⁵ (Q < 100) ⁽¹⁵⁾) 10 ⁴ (100 ≤ Q < 10 ⁴) 10 ³ (Q ≥ 10 ⁴)	-	-	-
SC	Decreto Nº 14.250/1981 e Lei 14.675/2009	-	60	-	10 ⁽¹³⁾⁽¹⁶⁾	4 ⁽¹³⁾⁽¹⁷⁾	-	-	80	-

Fonte: Adaptados Moraes e Santos (2019).

- 1- Valor máximo diário.
- 2- Média Aritmética Mensal
- 3- Nitrogênio Amoniacal
- 4- Variável de acordo com o padrão socioeconômico do empreendimento imobiliário habitacional.
- 5- Para efluentes sanitários (domésticos).
- 6- Para efluentes de Lagoas de Estabilização.
- 7 – Somente para pH abaixo de 8 (Resolução Coema nº02/2017)
- 8 – Variável de acordo com a Carga Orgânica diária bruta (kg/dia)
- 9 – Variável de acordo com classes de enquadramento do corpo d'água receptor.
- 10 – De acordo com o tipo de indústria.

- 11 – O padrão para Nitrogênio Amoniacal não é exigível para Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários e deve atender ao padrão da classe de enquadramento do corpo receptor.
- 12 – Para indústria têxtil.
- 13 – Lançamentos em corpos hídricos contribuintes de lagoas ou lagunas ou estuários.
- 14 – Para indústrias de laticínios.
- 15 – Variável de acordo com a vazão diárias (m³/dia)
- 16 – Nitrogênio Total.
- 17 – A legislação prevê eficiência mínima de remoção de 75%.
- 18 – Para efluentes industriais.
- 19 – A legislação prevê eficiência mínima de remoção após desarenação, em casos de lançamentos de efluentes por meio de emissário submarino.
- 20 – Para efluentes advindos de lavagem de filtro de ETA.
- 21 – Para lançamentos indiretos de efluentes (em sistema coletor das operadoras de serviços de esgoto).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa etapa houve a análise de um conjunto de amostras das ETEs do Baldo e Ponta Negra, totalizando 48 amostragens analisadas na ETE do Baldo e 25 na ETE Ponta Negra. Foram obtidos dados físicos, químicos e biológicos como DBO₅, DQO, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Óleos e Graxas, pH, Sólidos Suspensos, Sólidos Sedimentáveis, Sulfato, Sulfeto, Temperatura e *E.Coli*.

Essa coleta de dados permite avaliar se as ETEs em questão estão se comportando de acordo com os valores estipulados na legislação vigente. As categorias foram baseadas no trabalho de Moraes e Santos (2017) que realizaram um levantamento de todas as legislações vigentes em território nacional.

Sendo assim ao analisar as legislações foram delimitadas classes de 1 a 4 para cada um dos parâmetros em foco de análise, essas classes estão apresentadas na tabela 5, nas quais a classe 1 é de melhor qualidade, categorizada como muito bom, classe 2 como bom, classe 3 como regular visto que nessa faixa estão inseridos os limites preconizados nas normativas, já a classe 4 é categorizada como ruim visto que encontra-se em limites superiores aos normativos.

Tabela 5 - Classes de enquadramento dos parâmetros.

Parâmetros	Classes			
	1	2	3	4
Condutividade (µs.cm-1)	< 600	601 a 1500	1501 a 2500	> 2500
DBO (mg/L)	< 60	61 a 100	101 a 150	> 150
DQO (mg/L)	< 100	101 a 200	201 a 300	>300
Fósforo Total (mg/L)	<1	1 a 2,5	2,5 a 4	>4
NTK (mg-N/L)	< 5	5 a 10	11 a 15	>15
Óleos / Graxas	< 5	6 a 25	26 a 50	> 50
ΔpH	<± 0,3	± 0,3 a 0,8	± 0,9 a 1,5	>± 1,6
SST (mg/L)	< 60	61 a 100	101 a 150	> 150
SS	< 0,25	0,25 a 0,5	0,5 a 1	> 1
Sulfato	< 200	201 a 400	401 a 500	> 500
Sulfeto	<1	1 a 5	5,1 a 10	>10
Temperatura (°C)	23° a 27°	28° a 32°	33° a 40°	> 40°
CTT (NMP p/100mL)	< 1000	1001 a 3000	3001 a 5000	>5000

Fonte: Própria autora

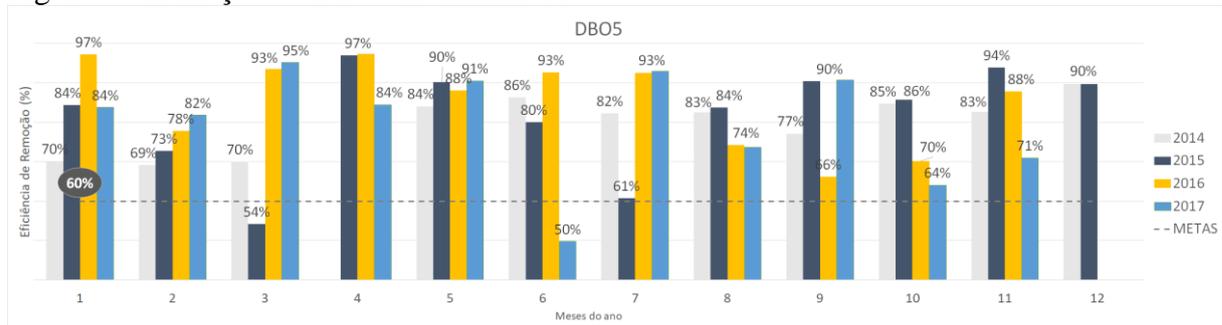
A partir das delimitações das classes para os parâmetros em foco deve-se analisar os efluentes das ETEs do Baldo e de Ponta Negra buscando enquadrá-los nas classes descritas acima, utilizando para tal, os métodos da normatização e compará-lo com o coeficiente de variação.

4.1. Qualidade do efluente tratado

Com o processo de análise da adequabilidade do sistema aos padrões ambientais analisou-se cada um dos parâmetros dispostos nas Figuras a seguir.

Quanto a remoção de DBO aos 5 dias, a uma temperatura de 20°C a CONAMA estabelece uma remoção maior ou superior a 60%. Na ETE do Baldo essa condição essa atendida em todos os meses do ano 2014 e 2016. Nos anos de 2015 e 2017 uma amostra foi inferior ao limite estabelecido na norma, em março e junho respectivamente.

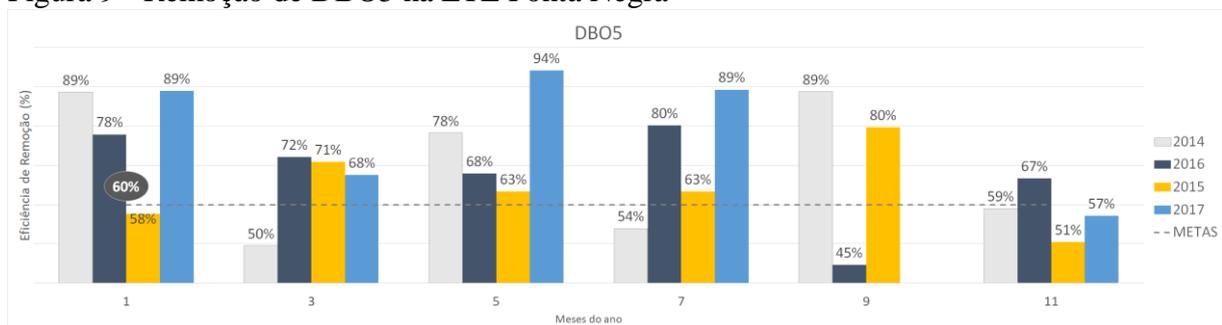
Figura 8 - Remoção de DBO5 na ETE Baldo



Fonte: Própria autora (2019).

Quanto a DBO₅ na ETE Ponta Negra a eficiência mínima de remoção preconizada não foi obedecida nos anos de 2014 nos meses de abril, julho e novembro assim como nos meses de janeiro e novembro de 2015, em novembro de 2014 e de 2017 totalizando 7 amostras coletadas que não atenderam aos padrões nacionais de remoção.

Figura 9 - Remoção de DBO5 na ETE Ponta Negra



Fonte: Própria autora (2019).

4.2. Classificação das amostras nas classes ETE individuais

Uma vez definidos os parâmetros foco inicia-se o enquadramento dos resultados das amostragens nas diferentes classes pré-estabelecidas. Primeiramente foram enquadradas nas classes os dados dito originais, que são aqueles que não sofreram manipulações estatísticas

para a sua análise. Nas tabelas 6 e 7, observa-se a distribuição da frequência absoluta das ETEs do Baldo e de Ponta Negra, respectivamente.

Tabela 6 - Frequência Absoluta das Amostras ETE do Baldo

Parâmetros	Classes			
	1	2	3	4
Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	24,4%	66,7%	6,7%	2,2%
DBO (mg/L)	-	-	-	100,0%
DQO (mg/L)	28,9%	35,6%	22,2%	13,3%
NTK (mg-N/L)	100,0%	-	-	-
ΔpH	72,9%	25,0%	2,1%	-
SST (mg/L)	86,7%	8,9%	2,2%	2,2%
CTT (NMP/100mL)	6,7%	2,2%	4,4%	86,7%

Fonte: Própria autora (2019).

Uma vez agregada em classes, tem-se que os parâmetros de condutividade e DQO da ETE do Baldo apresentaram-se de forma mais recorrente na classe 2, na qual a condutividade varia de 601 a 1500 enquanto a demanda química de oxigênio varia de 101 a 200, seguida de 29% das amostras coletadas serem menor que 100 mg/L.

Já parâmetros como a DBO, Nitrogênio Amônia, ΔpH e sólidos suspensos possuem sua maior relevância na classe 1 enquadrando respectivamente em $\text{DBO} < 60\text{mg/L}$; $\text{N} < 5\text{mg/L}$; $\Delta\text{pH} < \pm 0,3$; $\text{SS} < 60$. O único coeficiente que teve sua maioria enquadrada na classe 4 foram os Coliformes Termotolerantes (CTT). Sendo assim por meio das coletas dos dados de efluentes tratados apenas os CTT não estariam adequados a disposição de em corpos hídricos se fazendo necessário um tratamento complementar para remoção desse parâmetro.

Tabela 7 - Frequência Absoluta das Amostras ETE Ponta Negra

Parâmetros	Classes			
	1	2	3	4
Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	75,0%	25,0%	-	-
DBO (mg/L)	25,0%	12,5%	16,7%	45,8%
DQO (mg/L)	-	25,0%	50,0%	25,0%
NTK (mg-N/L)	-	8,3%	4,2%	87,5%
ΔpH	44,0%	52,0%	4,0%	-
SST (mg/L)	-	25,0%	37,5%	37,5%
CTT (NMP/100mL)	-	4,2%	20,8%	75,0%

Fonte: Própria autora (2019).

No que diz respeito a ETE Ponta Negra como apresentada na tabela 7, a Condutividade e o ΔpH encontram-se majoritariamente presentes na classe 1, $C < 600\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; $\Delta\text{pH} < \pm 0,3$; Pertencentes a classe 3 estão a DQO (201 a 300) mg/L e SS (101 a 150) mg/L; Os

demais parâmetros enquadrados principalmente na classe 4, a saber: DBO (>150) mg/L; N (>15) mg/L; CTT (>5000 NMP p/ 100ml). Sendo assim a ETE encontra-se numa condição alarmante visto que seus parâmetros não segue os limites normativos e consequentemente podem ser danosos ao meio ambiente.

Uma vez analisado as amostras coletadas do esgoto tratado, os dados estatísticos do conjunto são apresentados na tabela 8, a saber: média, mediana, média geométrica, desvio padrão, primeiro e terceiro quartil, mínima, máxima e coeficiente de variação dessas amostras.

Tabela 8 – Estatística descritiva do efluente da ETE Baldo

BALDO	CE	DBO	DQO	AMT	O&G	Δ pH	SST	CTT
Média	868	73	168	11,0	9,8	0,32	30	1,61E+05
Mediana	742	54	152	9,3	6,8	0,30	19	9,20E+04
Média Geométrica	776	53	137	5,2	1,9	0	1	5,52E+04
Desvio Padrão	506	63	103	9,7	13,4	0,22	46	3,20E+05
1º Quartil	606,9	28,5	93	3,0	2,3	0,20	5	2,80E+04
3º Quartil	890,7	84,1	228	15,7	12,1	0,48	37	1,60E+05
Mínimo	281	7	24	0,0	0,0	0,10	0	4,90E+02
Máximo	3020	273,7	430	41,9	68,1	1,10	269	1,60E+06
Coeficiente de Variação	0,582	0,866	0,614	0,886	1,371	0,691	1,518	1,987
PESO	6,8%	10,2%	7,2%	10,4%	16,1%	8,1%	17,8%	23,3%

Fonte: Própria autora (2019).

Esses valores estatísticos foram obtidos a partir dos dados originais coletados, ou seja, sem tratamento prévio das amostras obtidas na ETE do Baldo. O coeficiente de variação foi obtido pela razão entre o desvio padrão e a média do sistema e a partir desse calculado o peso referente a cada um dos parâmetros, dessa forma o mais relevante foi o de CTT e os SST.

Houve então o tratamento dos dados por meio da linearização dos mesmos visando assim sua padronização com o logaritmo natural em cada amostra para uma análise de menor flutuação em relação ao comportamento desses parâmetros e foram calculados o desvio padrão e a variância desse conjunto e apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros Estatísticos amostra linearizada - ETE Baldo

BALDO	CE	DBO	DQO	AMT	O&G	Δ pH	SST	CTT
Média	6,65	3,97	4,92	1,89	1,70	0,27	3,08	10,92
Desvio Padrão	0,45	0,83	0,68	1,20	1,34	0,24	1,13	1,82
Variância	0,20	0,68	0,47	1,44	1,80	0,06	1,27	3,32
Coeficiente de Variação	0,07	0,21	0,14	0,63	0,79	0,87	0,37	0,17
PESO	2,1%	6,4%	4,3%	19,6%	24,4%	26,8%	11,3%	5,2%

Fonte: Própria autora (2019).

Dentre os valores observados e previamente tratados por linearização no logaritmo de base dez, tem-se que o parâmetro com maior coeficiente de variação foi os Óleos e Graxas, seguidos a Amônia Total e Sólidos Suspensos Totais, esses três parâmetros correspondendo a aproximadamente 75% do peso total do conjunto. Os parâmetros que sofreram menor variação foram pH e Condutividade representando 5% do peso total.

Uma vez obtidos todos os pesos dos parâmetros realizaram-se uma ponderação de cada uma das análises como observados na tabela 10 a seguir. Cada amostra foi classificada na respectiva classe de enquadramento conforme a tabela 5 para um conjunto de quatro cenários, a saber:

- Caso 1: IQE por Somatório, dados discretizados com LN (TRANSFORMADOS).
- Caso 2: IQE por Somatório e sem discretização dos dados (ORIGINAIS).
- Caso 3: IQE por Produtório, dados discretizados com LN (TRANSFORMADOS).
- Caso 4: IQE por Produtório, sem discretização dos dados (ORIGINAIS).

Tabela 10 - IQE ETE Baldo

ETE BALDO				
Data	Somatório		Produtório	
	IQE	IQE	IQE	IQE
	(TRANSF.)	(ORIG.)	(TRANSF.)	(ORIG.)
01/14	1,8	2,3	1,6	2,0
02/14	2,0	2,5	1,3	1,8
03/14	2,6	3,2	2,2	2,9
05/14	1,7	2,0	1,2	1,6
06/14	1,3	1,5	1,2	1,4
07/14	1,7	2,1	1,5	1,8
09/14	1,9	2,5	1,6	2,1
10/14	3,1	3,0	2,0	2,4
11/14	1,2	1,8	1,1	1,5
12/14	1,6	2,0	1,1	1,5
01/15	1,5	2,1	1,3	1,8
02/15	1,9	2,5	1,3	1,9
03/15	2,0	2,5	1,4	2,0
04/15	1,2	1,8	1,1	1,5
05/15	2,4	2,8	2,0	2,4
06/15	0,9	1,7	1,1	1,5
07/15	2,6	2,8	1,3	1,9
08/15	1,7	2,2	1,2	1,6
09/15	2,5	2,5	1,6	1,8
10/15	2,2	2,3	1,6	1,7
11/15	1,2	1,8	1,1	1,4
12/15	2,1	2,2	1,7	1,8
01/16	1,5	1,9	1,1	1,4

ETE BALDO				
Data	Somatório		Produtório	
	IQE	IQE	IQE	IQE
	(TRANSF.)	(ORIG.)	(TRANSF.)	(ORIG.)
02/16	2,1	2,5	1,6	2,1
03/16	1,4	1,3	1,1	1,1
04/16	1,2	1,6	1,1	1,4
05/16	1,8	2,1	1,5	1,7
06/16	1,6	2,0	1,1	1,5
07/16	1,8	2,1	1,5	1,7
08/16	2,2	2,4	1,8	2,0
09/16	2,3	2,3	1,6	1,7
10/16	2,3	2,3	1,6	1,7
11/16	1,9	2,2	1,6	1,8
01/17	1,7	2,2	1,8	2,1
02/17	1,6	2,1	1,7	1,9
03/17	1,7	2,0	1,6	1,7
04/17	0,9	1,7	1,1	1,5
05/17	1,5	1,3	1,5	1,2
06/17	1,9	2,3	1,8	2,1
07/17	1,2	1,8	1,4	1,7
08/17	1,5	1,3	1,5	1,3
09/17	1,8	2,1	1,7	1,8
10/17	1,8	2,2	1,8	2,0
11/17	2,1	2,5	1,9	2,2
Média	1,8	2,2	1,5	1,8

Fonte: Própria autora (2019).

Ao analisar os quatro casos observa-se que o mais crítico é o caso 1, no qual o IQE é igual a 3 e obtido pela combinação do método do somatório e o tratamento prévio dos dados por logaritmo natural, uma vez que todos os dados passaram por um tratamento de equalização na base dez. Sendo assim os dados normalizados possuem classificações dos efluentes, fichando o efluente como de qualidade inferior ao que possuiriam casos analisados apenas os dados brutos como observado no caso 2.

Assim como no somatório dos casos 1 e 2, realizou-se a análise do produtório presente nos casos 3 e 4, nesses casos assim como nos anteriores tem-se que a análise dos dados normalizados são mais conservadores uma vez que possuem IQE do efluente com uma qualidade inferior àquela avaliada com os dados originais.

Assim como a análise anterior deve-se avaliar as amostras da ETE Ponta Negra, em primeiro plano realizar toda o estudo estatístico da mesma das amostras originais, sem tratamento prévio dos dados obtidos, essa observação é apresentada na tabela 12 a seguir:

Tabela 11 - Parâmetros Estatísticos da ETE Ponta Negra

PONTA NEGRA	CE	DBO	DQO	AMT	O&G	Δ pH	SST	CTT
Média	521,0	133,0	308,0	20,9	23,3	0,4	143,0	9,93E+04
Mediana	522,0	141,0	242,0	21,2	16,0	0,4	133,0	1,50E+04
Média Geométrica	513,0	107,0	269,0	20,2	11,4	0,3	134,0	1,96E+04
Desvio Padrão	96,0	77,0	195,0	5,0	25,9	0,2	53,0	3,23E+05
1º Quartil	469	72	206	20	3	0,3	101	6,48E+03
3º Quartil	577	167	307	22	28	0,6	173	3,85E+04
Mínimo	351,0	20,0	109,0	9,2	0,2	0,10	80,0	1,30E+03
Máximo	762,3	291,3	902,0	31,6	100,2	0,9	260,0	1,60E+06
Coefficiente de Variação	0,185	0,577	0,632	0,240	1,112	0,529	0,370	3,256
PESO	2,7%	8,4%	9,2%	3,5%	16,1%	7,7%	5,4%	47,2%

Fonte: Própria autora (2019).

Uma vez analisado os dados brutos como na tabela 12, obtiveram-se o parâmetro com maior coeficiente de variação e conseqüentemente o peso, os Coliformes Termotolerantes correspondendo a cerca de 50% do peso total dos parâmetros.

Tabela 12 - Parâmetros Estatísticos amostra linearizada - ETE Ponta Negra

PONTA NEGRA	CE	DBO	DQO	AMT	O&G	Δ pH	SST	CTT
Média	6,24	4,67	5,59	3,01	2,43	0,40	4,90	9,88
Desvio Padrão	0,19	0,76	0,50	0,28	1,50	0,23	0,36	1,55
Variância	0,04	0,57	0,25	0,08	2,25	0,05	0,13	2,40
Coefficiente de Variação	0,03	0,16	0,09	0,09	0,62	0,58	0,07	0,16
PESO	1,7%	9,0%	5,0%	5,2%	34,2%	32,1%	4,0%	8,7%

Fonte: Própria autora (2019).

No entanto, com a equalização dos dados como mostra a tabela 13, por meio do tratamento com logaritmo natural temos que o parâmetro considerado de maior relevância é o pH com quase 26% do peso total, seguido da DBO do 5 dia e após o CTT. Como na anterior na ETE Ponta Negra também foram simulados quatro cenários pré delimitados e apresentados na tabela 14.

Tabela 13 - IQE ETE Ponta Negra

ETE PONTA NEGRA				
Data	Somatório		Produtório	
	IQE (TRANSF.)	IQE (ORIG.)	IQE (TRANSF.)	IQE (ORIG.)
01/14	2,6	2,7	2,3	2,5
03/14	2,7	3,1	2,4	2,5
05/14	2,6	3,1	2,2	2,8
09/14	2,5	3,4	2,0	2,7
11/14	2,9	3,4	2,5	2,9
01/15	3,0	3,6	2,6	2,9
03/15	3,1	3,2	2,7	3,0
05/15	3,0	3,5	2,6	2,9
07/15	3,0	3,8	2,6	2,9
09/15	2,0	2,9	1,8	2,2
11/15	2,9	3,2	2,5	2,9
01/16	2,7	3,5	2,3	2,7
03/16	3,0	3,5	2,6	3,0
05/16	2,5	2,3	2,2	2,1
07/16	2,1	3,0	1,8	2,4
09/16	2,8	3,4	2,4	2,9
11/16	2,3	2,9	1,9	2,5
01/17	2,2	2,3	1,8	2,2
03/17	2,6	2,9	2,2	2,8
05/17	2,3	2,8	1,9	2,5
07/17	2,2	2,7	1,8	2,5
09/17	2,8	2,9	2,4	2,8
11/17	2,4	2,8	2,1	2,6
Média	2,6	3,1	2,2	2,7

Fonte: Própria autora (2019).

Dentre os cenários analisados o mais crítico foram os casos 1, 2 e 4, ou seja, analisando os casos de produtório ou somatório das amostras de dados originais, sem tratamento prévio do logaritmo e no caso do cenário 1 o somatório dos dados tratados pelo logaritmo. Sendo assim ambos os cenários classificaram a amostra como Classe 3.

4.3. Classificação das amostras ETEs combinadas

Uma vez analisadas as ETEs individualizadas, surge a necessidade da padronização de um IQE para o conjunto, visando tornar a análise globalizada. Sendo assim ao unir as amostras realizou-se a análise estatística do sistema como apresentado das tabelas 15 e 16. Ao analisar os dados originais do conjunto o parâmetro de maior relevância foi o SST, seguido da DBO e AMT.

Tabela 14 - Parâmetros Estatísticos do conjunto de ETEs.

	CE	DBO	DQO	AMT	Δ pH	SST	CTT
Média	1,65	2,14	2,48	2,84	1,03	1,87	3,71E+00
Mediana	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	4,00E+00
Média Geométrica	1,54	1,80	2,25	2,45	1,02	1,59	3,58E+00
Desvio Padrão	0,64	1,25	0,99	1,30	0,24	1,14	7,30E-01
1º Quartil	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	4,00E+00
3º Quartil	2,00	3,00	3,00	4,00	1,00	3,00	4,00E+00
Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00E+00
Máximo	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00E+00
Coefficiente de Variação	0,386	0,584	0,401	0,458	0,234	0,608	0,197
PESO	14,7%	22,2%	15,2%	17,4%	8,9%	23,1%	7,5%

Fonte: Própria autora (2019).

Ao analisar os dados discretizados o cenário de relevância permanece com o SST como principal parâmetro, com o peso de 66% das amostras do sistema, seguindo de AMT com apenas 19%.

Tabela 15 - Parâmetros Estatísticos amostra linearizada do conjunto de ETEs.

	CE	DBO	DQO	AMT	Δ pH	SST	CTT
Média	6,51	4,21	5,15	2,13	1,97	1,85	10,56
Desvio Padrão	0,43	0,86	0,70	1,77	0,05	5,25	1,79
Variância	0,18	0,75	0,49	3,12	0,00	27,60	3,21
Coefficiente de Variação	0,07	0,21	0,14	0,83	0,03	2,85	0,17
PESO	1,5%	4,8%	3,2%	19,4%	0,6%	66,5%	4,0%

Fonte: Própria autora (2019).

Uma vez analisado o sistema deve-se categorizar as amostras de acordo com as classes pré-estabelecidas, através da aplicação de um produtório e somatório nessas amostras, formando assim quatro blocos de IQE como apresentados na tabela 17.

Tabela 16 - IQE do conjunto de ETEs.

ETEs Combinadas			
Somatório		Produtório	
IQE (TRANSF.)	IQE (ORIG.)	IQE (TRANSF.)	IQE (ORIG.)
2,5	3,2	2,4	2,8
2,6	3,7	2,4	2,7
3,8	3,2	3,7	2,7
2,6	3,5	2,4	2,7
3,1	3,4	3,0	2,5
3,2	3,6	3,2	2,9
3,3	4,0	3,2	3,2
3,9	3,6	3,9	3,3
3,9	3,9	3,8	3,1
3,9	4,2	3,8	3,1
2,7	3,0	2,6	2,0
3,2	3,4	3,2	2,9
3,8	3,7	3,7	2,8
3,9	4,0	3,9	3,5
3,0	3,3	3,0	2,8
2,4	2,6	2,2	1,8
3,9	3,6	3,8	2,9
3,7	2,9	3,6	2,2
3,7	2,8	3,6	2,2
3,2	3,0	3,1	2,8
3,1	2,6	3,0	2,2
2,4	2,4	2,3	2,0
2,6	3,0	2,4	2,8
2,8	2,5	2,7	2,3
1,5	2,6	1,3	2,1
1,4	2,8	1,2	1,9
3,8	3,8	3,7	3,4
1,2	2,3	1,1	1,7
1,2	1,9	1,1	1,5
1,4	2,2	1,3	1,7
1,3	2,5	1,2	1,8
1,6	2,9	1,4	2,3
2,5	3,4	2,4	2,6
1,1	1,6	1,1	1,2
1,2	1,8	1,1	1,2

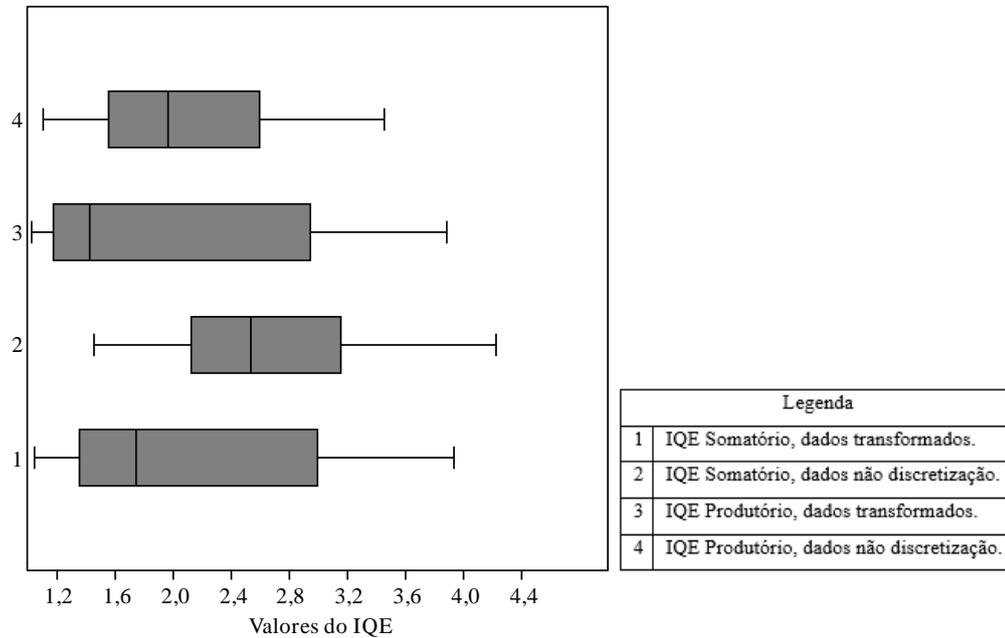
ETEs Combinadas			
Somatório		Produtório	
IQE (TRANSF.)	IQE (ORIG.)	IQE (TRANSF.)	IQE (ORIG.)
2,5	3,2	2,4	2,8
1,3	2,2	1,2	1,7
1,3	2,9	1,2	2,1
2,0	2,7	1,8	2,0
1,1	1,6	1,1	1,2
3,1	3,1	3,0	2,5
1,1	1,5	1,1	1,2
1,3	3,2	1,2	2,0
1,2	2,1	1,1	1,5
1,6	2,5	1,4	1,7
1,6	2,3	1,4	1,6
1,1	1,5	1,1	1,1
1,7	2,3	1,4	1,7
1,1	1,7	1,1	1,1
2,1	2,6	2,0	2,1
1,0	1,8	1,0	1,2
1,1	1,6	1,1	1,2
1,5	2,1	1,3	1,6
1,2	1,8	1,1	1,2
1,5	2,0	1,3	1,5
1,8	2,7	1,5	2,0
1,7	2,2	1,4	1,4
1,7	2,3	1,4	1,6
1,6	2,3	1,4	1,8
2,3	2,3	2,2	2,1
1,6	2,2	1,4	1,9
1,7	2,0	1,4	1,6
1,1	1,5	1,1	1,2
1,6	1,9	1,3	1,6
1,8	2,5	1,5	2,2
1,4	1,8	1,2	1,5
1,6	1,9	1,4	1,6
1,7	2,1	1,4	1,7
1,8	2,4	1,5	2,0
1,9	3,0	1,5	2,5
2,2	2,6	2,0	2,1

Fonte: Própria autora (2019).

Ao analisar o conjunto das amostras das ETEs pelas regras do produtório e somatório verificou-se uma semelhança entre as mesmas, onde todas permaneceram numa mesma faixa de valores, variando de 2 a 2,6 sendo assim categorizados como Classe 2, sendo assim considerados efluentes de boa qualidade na saída da ETE. A redução de escala na

discretização torna as medidas de valor central menos sensíveis às variações relativas aos parâmetros de maior peso. A Figura 10 apresenta o box-plot que a faixa de variação diminui.

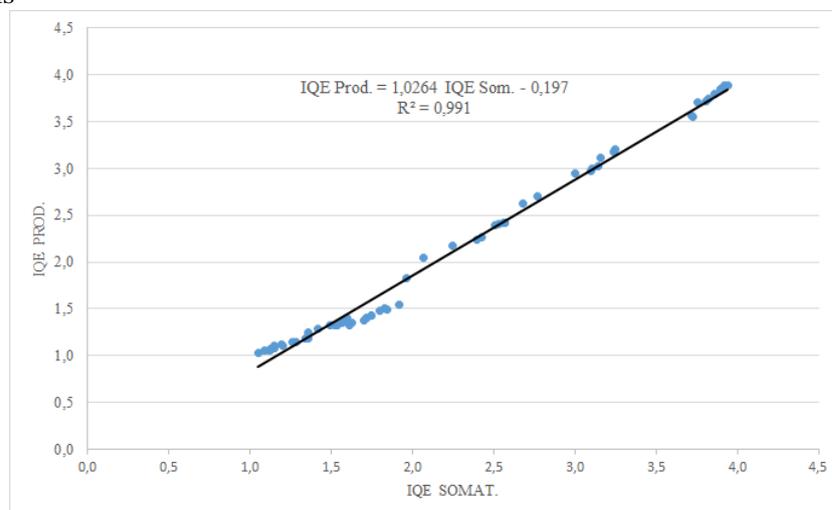
Figura 10 - Box-plot do IQE do conjunto com modelos agregados aditivo e produtivo



Fonte: Própria autora (2019).

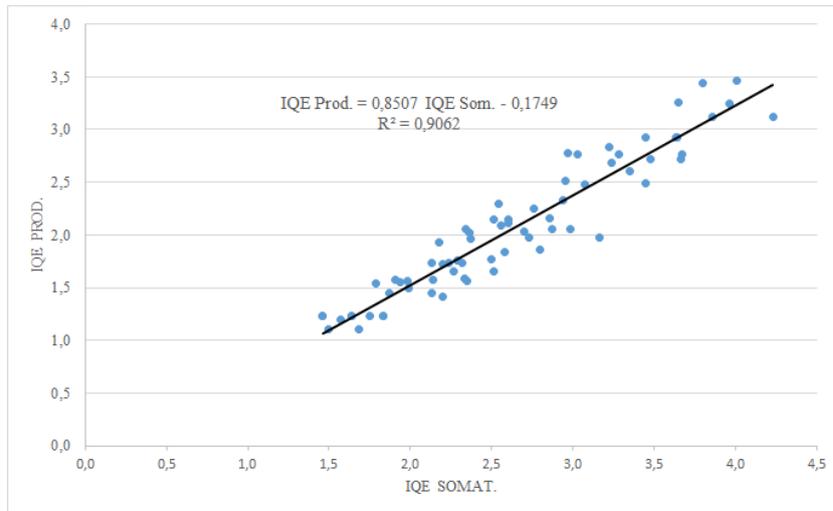
Ao analisar as figuras 11 e 12, observa-se uma correlação entre os modelos de somatório e produtivo, tanto nas análises como os dados originais, como com os dados discretizados existe uma tendência linear

Figura 11 - Correlação entre modelos somatório (IQE SOMAT.) e produtivo (IQE PROD.) dos dados originais



Fonte: Própria autora (2019).

Figura 12 - Correlação entre modelos somatório (IQE SOMAT.) e produtivo (IQE PROD.) dos dados transformados



Fonte: Própria autora (2019).

Nos dados originais seu R quadrático, conhecido como o coeficiente de Pearson é superior ao observado nos dados discretizados sugerindo assim uma melhor distribuição de pesos entre os pesos dos parâmetros para os dados originais.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo objetivou analisar os dados das ETE do Baldo e da ETE Ponta Negra, nesses casos analisou-se de forma temporal como os parâmetros de remoção de DBO₅, Fósforo Total no efluente tratado, flutuações de pH, Nitrogênio Amoniacoal no efluente tratado, assim como de Sólidos Total, Sólidos Sedimentáveis, flutuação da Condutividade, valores de temperatura, sulfato e sulfeto, verificando sua adequação ao CONAMA e os parâmetros da CAERN.

Uma vez definidos duas macros análises, a do somatório e do produtório foram simulados um conjunto de quatro cenários como supracitado, nos quais cada amostra foi categorizada em 4 classes distintas. A classe 1 como efluente de excelente qualidade, Classe 2 de boa qualidade, Classe 3 como regular visto que nessa estão os limites das normas e Classe 4 como ruim.

No que tange a ETE do Baldo os cenários dos casos 1, 2 e 4, classificou o efluente tratado da ETE como Classe 2, afirmando que os dados estão num intervalo considerado um efluente de boa qualidade, no entanto uma vez que não houve equalização desses dados tem-se que um parâmetro de elevada variação como os CTT, que representam 25% do peso total da amostra. No caso 3 a amostra foi classificada como Classe 1, considerando assim um efluente de excelente qualidade.

Na ETE Ponta Negra nos casos 1, 2 e 4 as amostras do efluente tratado foram considerados como regular visto que classificam como Classe 3, nessa estão os limites previstos em norma. Apenas o cenário do caso 3 classificou o efluente do sistema como Classe 2, ou seja, de boa qualidade.

Dentre todos os cenários observaram-se o cenário 3 com uma tendência de classificação mais branda, uma vez que, em ambas as ETEs, classificou a amostra como uma qualidade superior ao que foram classificadas nos outros cenários.

Por fim ressalta-se a necessidade de continuação do presente estudo para outras ETEs no Nordeste brasileiro, uma que vez busca-se entender a importância do fator regionalidade na operação dessas estações. Além disso, sugere-se para trabalhos futuros a análise do fator tempo de forma mais fidedigna analisando por um conjunto de séries temporais a vida útil dessas ETEs.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, PA; SOLTANI, N; CUPPELS, DA; LAZAROVITS, G. **Reduction of bacterial spot disease severity on tomato and pepper plants with foliar applications of ammonium lignosulfonate and potassium phosphate.** Plant Disease 86, 2002. p. 1232-1236.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9648 – **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário** – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- Atlas Brasil – Abastecimento Urbana de Água. Disponível em < <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx> > Acesso: 05 janeiro 2019
- BOYACIOGLU, H. **Development of a water quality index based on a European classification scheme.** Water SA, v.33, n.1, 2007, p.101-106.
- BRASIL, **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução 430 de 13 de maio de 2011.** Publicada no Diário Oficial da União em 16 de maio de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 03 de janeiro de 2013;
- BRASIL **Lei nº. 11.445** de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências
- BROWN, RM., MCCLELLAND, NI., DEININGER, RA. And TOZER, RG. **A water quality index: do we dare?** Water & Sewage Works, vol. 117, 1970. p. 339-343.
- CAERN – COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. Disponível em < <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/DOC/DOC000000000017757.PDF> >. Acesso em 15 de julho de 2019
- CAVALCANTI, Marcos; GOMES, Elisabeth. **Inteligência empresarial: um novo modelo de gestão para a nova economia.** Revista da Produção, v. 10, n. 2, p.53-64, 2001.
- CAVINATTO, A.S. **Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo – Estudo de caso.** Vol.12 – Nº1 – Jan/Mar 2007. 42-51p.
- CHERNICHARO, C.A.L.; HAANDEL, A. Van; AISSÉ, M.M.; CAVALCANTI, P.F.F. Reatores anaeróbios de manta de lodo, In: CAMPOS, J.R. (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES/ PROSAB, 1999. p.155-98.
- CHERNICHARO, C.A.L. (Coordenador). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios.** PROSAB. Belo Horizonte, 2001. 544p.
- CONAMA. Resolução número 357. 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salgadas do Território Nacional.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Brasília, 18 de março de 2005.
- DEVORE, J.L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências.** São Paulo: Cengage Learning, 2011. 692 p. Tradução de: Joaquim Pinheiro Nunes da Silva.
- DO VALE, M. B. **Avaliação da Eficiência da Remoção de Matéria Orgânica e Microbiológica de três sistemas de lagoas de estabilização em série na grande Natal-RN: Beira Rio, Jarfim Lola I e Jardim Lola II.** 2006. 110 f. Tese (Mestrado em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- FERREIRA, R. G. **Eficiência do sistema de tratamento de esgoto sanitário de um condomínio residencial no município de Rio Branco,** 2009.
- Google Earth-Mapas. Disponível em: <<http://mapas.google.com>>. Acesso em: 22 outubro 2019

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento 2000.** Disponível em: < <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>> Acesso em: 4 de dezembro de 2017.

Indicadores de qualidade – Índice de Qualidade das Águas (IQA). Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/>> Acesso em: junho 2019.

JORDÃO, E.P. E PESSOA, C.A. “**Tratamento de Esgotos Domésticos**”. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 3a. ed. 1995.

LEAL, A.B, *et. al.*, **Destinação Final do Esgoto das Residências na Comunidade de Retiro, Zona Rural, Itapemirim-ES.** In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2015, Porto Alegre-RS.

MACIEL, M.S., **Um índice de Performance de Estação de Tratamento de Esgotos.** Fortaleza, 2017 – 43f.

MARÇAL, D. A. Avaliação do Impacto do Efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). **Eng Sanit Ambient.** V.22 n.4 jul/ago 2017, p 761-772.

MELLO, E. J. R. **Tratamento de esgoto sanitário – Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari – MG.** Dissertação do Curso de Pós-Graduação lato sensu em Engenharia Sanitária, UNIMINAS. Uberlândia, 2007.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MORAES, N.W.S; SANTOS, A.B. **Análise de Padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reuso de águas residuárias de diversos estados do Brasil.** DAE. V. 67. n° 215.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** Edgard Blucher: São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, E. C. A., **Avaliação da Remoção de matéria Orgânica na Estação de Tratamento de Esgotos de Ponta Negra – Natal (RN), 2005.**

OLIVEIRA, S.C.; VON SPERLING, M. **ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.** Eng. Sanit. Ambient. Vol.12 - N° 4 - out/dez 2007, 389-398.

ORTEGA, C.; SOLOGABRIELE, H.M.; ABDELZAHER, A.; WRIGHT, M.; DENG, Y (2009) **Correlations between microbial indicators, pathogens, and environmental factors in a subtropical estuary.** Marine Pollution Bulletin, v.58, n.9.

PIVELI, R.P. **Tratamento de Esgotos Sanitários. Apostila do curso de tratamento de Esgotos Sanitários.** EP-USP, SP, 2006, 71 p.

SANTOS, A.S.P., **Tratamento de Águas Residuárias.** Notas de aula – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

DOS SANTOS, A. B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos.** Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007.

U.S.EPA. **Design Manual: Municipal Wastewater Disinfection. EPA/625/1-86/021.** Cincinnati,OH. 1986.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Princípios Básicos do Tratamento de Esgoto.** Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Vol. 1. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. DESA-UFMG. 3ª Ed. 2005. 456p.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 3 – Lagoas de Estabilização.** 1ª Edição. Editora UFMG - Belo Horizonte, 1996. 140 p.

WEF (1998). **Standard methods for the examination of water and esgoto sanitário. 20th edition.** Washington. 1998