



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

ANDERSON DOUGLAS MAIA DE FREITAS

**QUALIDADE DO EFLUENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
PONTA NEGRA – AVALIAÇÃO DAS GARANTIAS FUZZY E PROBABILÍSTICA
(DISTRIBUIÇÕES GAMA E LOGNORMAL)**

FORTALEZA

2020

ANDERSON DOUGLAS MAIA DE FREITAS

QUALIDADE DO EFLUENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS PONTA
NEGRA – AVALIAÇÃO DAS GARANTIAS FUZZY E PROBABILÍSTICA
(DISTRIBUIÇÕES GAMA E LOGNORMAL)

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

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

FORTALEZA

2020

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)

F936q Freitas, Anderson Douglas Maia de.
Qualidade do efluente da estação de tratamento de esgotos Ponta Negra - avaliação das garantias Fuzzy e probabilística (distribuições Gama e Lognormal) / Anderson Douglas Maia de Freitas. – 2020.
39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

1. Garantia Fuzzy. 2. Qualidade dos efluentes. 3. Distribuição gama. 4. Distribuição lognormal. I. Título.
CDD 628

ANDERSON DOUGLAS MAIA DE FREITAS

QUALIDADE DO EFLUENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS PONTA
NEGRA – AVALIAÇÃO DAS GARANTIAS FUZZY E PROBABILÍSTICA
(DISTRIBUIÇÕES GAMA E LOGNORMAL)

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dra. Marisete Dantas de Aquino (Examinadora Interna)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Ramon Jordão Gomes Barroso

À minha mãe, irmã e padrasto.

A meu pai, João Ismar (*in memoriam*).

À minha namorada e sua família.

À minha avó e tia, Elizabete e Francisca.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Ivanilde Maia, por todo o amor oferecido, pelo encorajamento nas horas mais difíceis e por ser o meu porto seguro.

À minha irmã e namorada por estarem sempre ao meu lado e por me apoiarem em minhas escolhas.

Ao meu padrasto Carlos Antônio, por ser sempre solícito e companheiro.

À minha família, em especial Elizabete Soares e Francisca das Chagas, por terem me acolhido em sua casa com afeto e por todo o suporte a mim oferecido.

Ao Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva, pela paciência e incentivo na execução deste trabalho.

Aos componentes da banca examinadora.

Aos professores da graduação, pela dedicação no exercício da profissão e por proporcionar experiências essenciais para minha trajetória acadêmica e profissional.

Ao PET Engenharia Ambiental por ter me dado a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos obtidos e de vivenciar diversos momentos de muito crescimento pessoal.

À Ciclo Júnior, por ter me proporcionado experiências no ramo do empreendedorismo e trabalho em equipe.

Aos amigos de graduação Pedro Henrique, Lucas Macário, Rômulo, Andrea Gisele, Ramon Jordão, Jefferson, Lucas Castro, João Pedro, João Paulo, Dante Guerra, Letícia Nunes por deixarem a experiência da graduação mais leve.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de acesso ao ensino superior gratuito e de qualidade.

*Há verdadeiramente duas coisas diferentes: saber
e crer que se sabe.
A ciência consiste em saber; em crer que se sabe
reside a ignorância.*

(Hipócrates)

RESUMO

O elevado crescimento da população brasileira vem acompanhado do aumento do consumo e da geração de diferentes tipos de resíduos, como o esgoto. Com isso, é cada vez mais importante que existam técnicas confiáveis de tratamento e disposição desses resíduos, para prevenir a contaminação dos recursos hídricos e evitar o comprometimento da disponibilidade de água potável para a população. Para avaliar a segurança da estação de tratamentos de esgotos (ETE) de Ponta Negra, localizada em Natal, no Rio Grande do Norte, o presente trabalho busca analisar os parâmetros de lançamento de efluentes em um período específico e determinar a garantia dada pela ETE em relação aos padrões de lançamento exigidos pela legislação. Para visualizar diferentes cenários, foram aplicadas três metodologias afim de obter as garantias dos parâmetros. Foram elas: garantia *Fuzzy*, a distribuição gama e a distribuição lognormal. Os parâmetros estudados foram: demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), amônia total (AMT), potencial hidrogeniônico (pH) e coliformes termotolerantes (CTT). Para alguns parâmetros, como o pH, as metodologias foram concordantes, para outros, discordantes. Os dados do estudo foram coletados entre 2014 e 2017, somando um total de 24 amostras. A partir dos resultados, é possível concluir que a maior parte das amostras analisadas estavam fora do padrão exigido pela legislação ambiental vigente.

Palavras-chave: Garantia Fuzzy. Qualidade dos efluentes. Distribuição Gama. Distribuição Lognormal.

ABSTRACT

The high growth of the Brazilian population is accompanied by the increase in consumption and the generation of different types of waste, such as sewage. As a result, it is increasingly important to have reliable techniques for the treatment and disposal of this waste, in order to prevent contamination of water resources and avoid compromising the availability of drinking water for the population. To evaluate the safety of the sewage treatment plant (STP) in Ponta Negra, located in Natal, Rio Grande do Norte, the present work seeks to analyze the parameters of effluent discharge in a specific period and determine the guarantee given by the STP in regarding the launch standards required by law. To observe different scenarios, three methodologies were applied in order to obtain the guarantees of the parameters. They were: Fuzzy warranty, gamma distribution and lognormal distribution. The parameters studied were: biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total ammonia nitrogen (TAN), potential of hydrogen (pH) and thermotolerant coliforms (TTC). For some parameters, such as pH, the methodologies were in agreement, for others, disagreements. The study data were collected between 2014 and 2017, adding up to a total of 24 samples. From the results, it is possible to conclude that most of the samples analyzed were outside the standard required by current environmental legislation.

Keywords: Fuzzy warranty. Effluent quality. Gamma distribution. Lognormal distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tratamento preliminar.....	18
Figura 2 - Representação gráfica de um conjunto <i>Fuzzy</i>	24
Figura 3 - Número <i>Fuzzy</i> Triangular (NFT)	25
Figura 4 - Localização da ETE Ponta Negra	27
Figura 5 - ETE Ponta Negra – Lagoas de Estabilização.....	28
Figura 6 - Etapas do tratamento na ETE Ponta Negra.....	28
Figura 7 - Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> entre um número difuso (D) e outro não difuso (H) contínuo à esquerda	29
Figura 8 - Índice de Concordância <i>Fuzzy</i> (I_{CF}) entre um número difuso e o VMP como número não difuso	30
Figura 9 - Representação das áreas de interseção entre Números <i>Fuzzy</i> Triangulares e os valores limites mínimo e máximo	31
Figura 10 - I_{CF} da DBO ao longo do período analisado.....	33
Figura 11 - I_{CF} da DQO ao longo do período analisado.....	34
Figura 12 - I_{CF} da AMT ao longo do período analisado.....	34
Figura 13 - I_{CF} do pH ao longo do período analisado	35
Figura 14 - I_{CF} do logCTT ao longo do período analisado	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores recomendados pela CONAMA nº 430/11 para cada parâmetro	33
Tabela 2 - I _{CF} dos parâmetros analisados	36
Tabela 3 - Grau de garantia dos parâmetros analisados na distribuição Gama	36
Tabela 4 - Grau de garantia dos parâmetros analisados na distribuição Lognormal	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMT	Amônia Total
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO _u	Demanda Última de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
I _{CF}	Índice de Concordância Fuzzy
NFT	Número Fuzzy Triangular
pH	Potencial Hidrogeniônico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivações de estudo	15
1.2	Objetivo	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Importância do tratamento de esgotos	16
2.2	Níveis de tratamento	17
2.2.1	Tratamento Preliminar	17
2.2.2	Tratamento Primário	18
2.2.3	Tratamento Secundário	18
2.2.4	Tratamento Terciário	18
2.3	Padrões de qualidade de efluente	19
2.3.1	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	20
2.3.2	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	20
2.3.3	AMT	21
2.3.4	pH	21
2.3.5	Coliformes Termotolerantes (CTT)	21
2.4	Monitoramento da qualidade dos efluentes	22
2.5	Lagoas de estabilização	22
2.5.1	Lagoas Anaeróbias	22
2.5.2	Lagoas Facultativas	23
2.5.3	Lagoas de Maturação	23
2.6	Lógica <i>Fuzzy</i>	23
2.6.1	Número Fuzzy Triangular	25
2.7	Análise de confiabilidade	26
3	METODOLOGIA	27
3.1	Abordagem do estudo	27
3.2	Enfoque do estudo	28
3.2.1	Índice de Concordância Fuzzy (ICF)	29
3.2.2	Simulação de Monte Carlo	31
3.2.2.1	<i>Distribuição Gama</i>	32
3.2.2.2	<i>Distribuição Lognormal</i>	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Garantias	33

5	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população brasileira vem acompanhado do aumento do consumo e da geração de resíduos de todos os tipos, dentre eles o esgoto. Porém não há proporcionalidade entre o aumento da população e o desenvolvimento da infraestrutura e do acesso ao esgotamento sanitário. Entende-se por esgoto a combinação de efluentes domésticos, industriais, de estabelecimentos comerciais, de atividades agropecuárias, entre outros. Devido ao seu elevado potencial poluidor, quase nunca é possível dispor o esgoto diretamente em corpos hídricos mesmo que este tenha elevado poder de autodepuração, que é a capacidade que um meio aquático possui de reestabelecer o equilíbrio encontrado antes da introdução de cargas poluidoras. Por isso, principalmente em centros urbanos onde são produzidos elevados volumes de esgotos, faz-se necessário tratá-los por meio de uma estação de tratamento de esgotos para reduzir a degradação ao corpo receptor.

O lançamento de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgotos é uma preocupação não só no Brasil, mas no mundo inteiro. O grande impacto gerado por essa atividade derivou na criação de uma série de leis e políticas ambientais que, criando padrões de qualidade, regulamentando locais de lançamento e exigindo elevados níveis de tratamento, procuram reduzir os impactos causados pela disposição desses efluentes.

Existem diversos tipos de tratamento que podem ser utilizados para reduzir o potencial poluidor dos efluentes como as lagoas de estabilização, os lodos ativados, sistemas anaeróbios, sistemas aeróbios com biofilmes e disposição no solo. A escolha do sistema deve levar em consideração questões como o clima local, o espaço disponível e as variáveis do esgoto bruto a ser tratado, como a DBO, a DQO, o pH, a AMT e o CTT. Quanto mais concentrados os valores, mais eficiente deve ser o sistema escolhido para que os parâmetros avaliados estejam sempre dentro do limite permitido pela legislação vigente. No Brasil, a CONAMA 357/05 determina em âmbito federal quais são esses limites, mas estados e municípios podem criar leis mais restritivas.

É de extrema importância que se faça o controle da qualidade do tratamento visto que podem ocorrer falhas operacionais ocasionando a redução do desempenho e, conseqüentemente, acarretando a poluição de corpos hídricos e prejuízos à saúde humana. Para auxiliar esse controle, ferramentas estatísticas podem ser usadas afim de se obter informações mais claras e inferências mais compreensíveis a respeito dos dados em estudo, além de auxiliar na tomada de decisão e alocação de recursos. Neste trabalho, os métodos utilizados para avaliar a garantia

oferecida pela estação de tratamento foram a Lógica *Fuzzy* e o Método de Monte Carlo, com as distribuições Gama e Lognormal.

1.1 Motivações de estudo

Considerando a necessidade da existência de estações de tratamento de esgotos capazes de atender todos os padrões de lançamento estabelecidos pela CONAMA 357/05, de modo a garantir a segurança dos corpos receptores e da saúde humana, faz-se necessária a aplicação de ferramentas capazes de avaliar o desempenho dos sistemas de tratamento.

Impactos diretos ao meio ambiente causados pela poluição de corpos hídricos, que reduz a qualidade das águas pondo em risco a vida aquática e causando danos à saúde humana, são consequência de um sistema incapaz de atender os padrões de lançamento exigidos por lei.

Objetivando reduzir a possibilidade de lançamentos fora dos padrões exigidos, podemos utilizar ferramentas estatísticas para analisar os dados de desempenho de estações de tratamento periodicamente, tornando possível identificar falhas no sistema e determinar a garantia oferecida por elas.

O método do Número *Fuzzy* Triangular (NFT) e o método da Simulação de Monte Carlo em conjunto com as distribuições Gama e Lognormal são ferramentas acessíveis que podem auxiliar na avaliação da garantia dada pela estação de tratamento de esgotos Ponta Negra. Este estudo utilizará estes métodos para obter o grau de garantia e posteriormente, compará-los.

1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho é analisar a garantia concedida pelos dados das análises de efluente a respeito dos parâmetros de DBO, DQO, pH, AMT, CCT, utilizando métodos estatísticos para tirar conclusões acerca da garantia e risco de falha da ETE Ponta Negra, localizada em Natal no estado do Rio Grande do Norte.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância do tratamento de esgotos

As águas residuárias, popularmente conhecidas como esgotos são assim denominadas por serem formadas em sua maioria de resíduos provenientes de variadas atividades humanas como o banho, lavagem de roupas ou descargas do vaso sanitário. Nas cidades, o esgoto normalmente tem sua maior parte formada pelos esgotos domésticos e uma menor parte formada por esgotos de outras fontes.

O esgoto doméstico é composto basicamente por 99,9% de água e 0,1% de sólidos, dentre eles partículas orgânicas, inorgânicas, suspensas, dissolvidas e também microrganismos. Apesar do pequeno percentual, esses sólidos são responsáveis por alterar significativamente as características naturais da água.

As concentrações típicas do esgoto doméstico são de aproximadamente 300 mg/L de DBO, 600 mg/L para DQO, 45 mg/L de nitrogênio total, 7 mg/L de fósforo total e 1100 mg/L de sólidos totais (VON SPERLING, 1996).

Quando o esgoto é despejado em corpos hídricos sem o devido tratamento, a decomposição da matéria orgânica reduz o oxigênio dissolvido prejudicando significativamente a vida aquática e produzindo gases com forte odor. Além disso, podem haver microrganismos causadores de doenças infecciosas que são riscos à saúde humana.

Para a maioria dos países, o impacto gerado pelo lançamento de efluentes em corpos hídricos ainda é motivo de grande preocupação. A criação de legislações ambientais, políticas e critérios tem o objetivo claro de controlar questões como a qualidade do efluente, a capacidade de autodepuração e os locais de lançamento para garantir que os impactos ambientais provocados pelo lançamento destes efluentes sejam pequenos (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS 2018 apenas 53% dos brasileiros têm acesso à coleta de esgoto e só 46% dos esgotos do país são tratados. Há também uma enorme desigualdade entre as regiões visto que o acesso nas regiões Norte e Nordeste é de apenas 10,49% e 28,01% respectivamente.

No Brasil, aproximadamente 65% das internações hospitalares de crianças menores de 10 anos estão associadas à insuficiência na coleta e no tratamento de esgotos (BNDES, 1998).

Grande parte das doenças e mortes nos países em desenvolvimento estão ligadas a doenças de veiculação hídrica como a febre tifoide, a diarreia e a desintéria.

A forte relação entre o investimento em saneamento básico e a redução de doenças de veiculação hídrica evidencia que o melhor a se fazer é investir na prevenção.

2.2 Níveis de tratamento

Hoje são conhecidos diversos métodos de tratamento de esgotos. Para escolher o método mais adequado faz-se necessário o estudo do corpo receptor, da sua capacidade de autodepuração e também das características do efluente gerado.

No tratamento de esgotos existem três níveis de tratamento básicos. São eles: o preliminar, o secundário e terciário.

2.2.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros como materiais plásticos, embalagens, papelão e areias que podem causar obstruções e defeitos nos equipamentos dos tratamentos posteriores. Esta etapa é basicamente constituída do gradeamento e da desarenação onde o primeiro tem como alvo os sólidos de maior porte e o segundo a remoção de areia.

Os sólidos grosseiros podem ser removidos por meio de grades, peneiras rotativas e trituradores. As grades são o meio mais utilizado por conta de sua simplicidade e custo. O material que possui dimensões maiores do que o espaçamento entre as barras fica retido no gradeamento e pode ser removido de forma manual ou mecanizada. Há diferentes tipos de grades, das mais grossas até as mais finas, e o espaço entre elas também varia para reter os diferentes tamanhos de resíduos (VON SPERLING, 1996).

A areia é removida através da sedimentação, os grãos de areia vão para o fundo do tanque por possuírem maior tamanho e densidade que a matéria orgânica. Esta segue para as próximas etapas do tratamento por permanecerem em suspensão.

Figura 1 - Tratamento preliminar.



Fonte: Santos (2012).

2.2.2 Tratamento Primário

O tratamento primário objetiva reduzir parte da matéria orgânica juntamente com os sólidos em suspensão sedimentáveis visto que mesmo depois de passar pelo tratamento preliminar os esgotos ainda possuem sólidos em suspensão que não são grosseiros o bastante para serem removidos no tratamento preliminar. Esses sólidos são compostos em grande parte de matéria orgânica e a remoção por sedimentação implica na redução de DBO para os processos posteriores que são mais complexos e mais dispendiosos. Os tanques de decantação e as fossas sépticas são exemplos de tratamento primário.

2.2.3 Tratamento Secundário

No tratamento secundário a matéria orgânica é removida a partir de processos biológicos através de microrganismos como bactérias aeróbias e anaeróbias. Como o principal alvo dessa etapa de tratamento é a matéria orgânica, os processos são criados objetivando acelerar a degradação que acontece naturalmente nos corpos hídricos. Lodos ativados (convencional, por aeração prolongada ou de fluxo intermitente), filtros biológicos, tratamento anaeróbio e lagoas de estabilização são exemplos de tratamento secundário.

2.2.4 Tratamento Terciário

Por serem seguros e de baixo custo, os processos de desinfecção de esgotos são a melhor forma de controlar os agentes transmissores de doenças infecciosas transmitidas pela água. O controle acontece através da inativação dos organismos patogênicos.

O tratamento terciário objetiva remover poluentes não retidos nos tratamentos anteriores como micronutrientes, compostos não biodegradáveis, patógenos e metais pesados. Ao usar o tratamento terciário dá-se ao esgoto uma maior qualidade de tratamento. Porém por elevar o custo do tratamento e ter usos mais específicos o tratamento terciário é bastante raro no Brasil. A desinfecção com cloro, ozônio e radiação ultravioleta são exemplos de tratamentos terciários.

2.3 Padrões de qualidade de efluente

O conselho nacional do meio ambiente (CONAMA) é o órgão que regula os padrões de lançamento de efluentes no Brasil através da resolução 357/05 que determina que a disposição final dos efluentes nos corpos hídricos devem obedecer aos padrões de lançamento estabelecidos. Em 2011 foi lançada a resolução complementar CONAMA nº 430/2011 que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão de lançamento de efluentes.

O artigo 21 da resolução nº 430/11 estabelece as condições específicas para o lançamento de efluentes oriundos de estações de tratamento de esgotos sanitários:

- a) pH entre 5 e 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) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;
- e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
- f) ausência de materiais flutuantes.

Além da regulação federal, alguns órgãos ambientais estaduais e municipais, por terem características específicas como disponibilidade de água e condições climáticas, elaboram legislação própria a respeito do lançamento de efluentes usando a regulação federal como base para que não seja possível implementar critérios menos restritivos.

Morais (2019) realizou um estudo que analisou os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reuso de águas residuárias em vários estados do Brasil e no caso do Rio Grande do Norte, não foram obtidas informações sobre a existência ou não de legislação

específica sobre esse tema. Assim, foi adotada como referência para este estudo, a legislação nacional.

2.3.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica por meio de processos bioquímicos. Portanto ela acusa a presença do carbono orgânico biodegradável.

A completa estabilização da matéria orgânica para esgotos domésticos demora aproximadamente 20 dias e é referente à Demanda Última de Oxigênio (DBO_u). Por conta da elevada quantidade de tempo para estabilização, convencionou-se que o procedimento fosse até o 5º dia, pois o consumo pode ser correlacionado com o consumo total final desde que as condições que permitem esse relacionamento sejam atendidas. A temperatura, que deve ser de 20°C para a realização do teste, é uma dessas condições por conta de sua interferência no metabolismo bacteriano (VON SPERLING, 1996).

Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. Segundo Azzolini e Fabro (2013), a presença de um teor elevado de matéria orgânica pode levar ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando a morte de peixes e outras formas de vida aquática.

2.3.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio mede a quantidade de oxigênio que é consumida durante a oxidação química da parte orgânica de uma amostra.

De acordo com Von Sperling (1996), das vantagens do teste da DQO podem ser citadas: demora um curto período de tempo, entre 2 a 3 horas, para ser realizado e o resultado traz uma indicação do oxigênio requerido para a estabilização da matéria orgânica; o teste não é afetado pela nitrificação, dando uma indicação da oxidação apenas da matéria orgânica carbonácea (e não da nitrogenada). Já dentre as limitações estão: no teste da DQO são oxidadas, tanto a fração biodegradável, quanto a fração inerte do despejo, logo há uma superestimação do oxigênio a ser consumido no tratamento biológico; o teste não fornece informações sobre a taxa de consumo da matéria orgânica ao longo do tempo; alguns constituintes inorgânicos podem ser oxidados e interferir no resultado.

2.3.3 *AMT*

O nitrogênio varia entre diversas formas e estados de oxidação dentro de seu ciclo. O nitrogênio orgânico e a amônia são as formas mais encontradas nos esgotos domésticos brutos enquanto suas outras formas detêm menor importância nos esgotos afluentes a uma ETE. O nitrogênio é um elemento fundamental para o crescimento das algas e dos organismos cuja função é tratar os esgotos (VON SPERLING, 1996).

Como qualquer nutriente, o nitrogênio pode causar problemas de superprodução de algas nos corpos receptores de estações de tratamento como rios, lagos e lagoas. Essa superprodução é o resultado de sistemas de tratamento de esgotos cujo projeto e a execução são mal realizadas (SILVA, 2004).

2.3.4 *pH*

O potencial hidrogeniônico, representado pela sigla pH, representa a concentração de íons hidrogênio H⁺ (em escala anti-logarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (VON SPERLING, 1996).

O pH pode ser determinado utilizando um medidor de pH (pHmetro), pela adição de um indicador de pH na solução ou com um papel de tornassol que é o método mais utilizado nos laboratórios. O pH é medido dentro de uma escala de 0 a 14 e a interpretação dos resultados baseia-se na comparação com o valor 7. Se for menor que 7 tem-se pH ácido, se for igual tem-se pH neutro e se for maior o pH é básico.

No tratamento de esgotos o pH é comumente utilizado para controle das estações de tratamento quando há digestão anaeróbia e também para caracterização das águas residuárias brutas.

2.3.5 *Coliformes Termotolerantes (CTT)*

A dificuldade na detecção de agentes patogênicos como bactérias, protozoários e vírus é superada através do estudo dos organismos indicadores de contaminação fecal. Estes organismos não são patogênicos, porém acusam satisfatoriamente a contaminação da água por fezes humanas ou de animais. As bactérias do grupo coliforme são as mais usadas para esse propósito.

Os coliformes termotolerantes ou fecais, como a *E. coli*, são bastante empregados na

análise da qualidade da água e também são parâmetros estabelecidos na legislação brasileira, utilizados para classificar o lodo de esgoto conforme a presença de agentes patogênicos (LOPES, 2015).

Os mecanismos envolvidos na remoção de coliformes termotolerantes nas lagoas de estabilização são: o pH, a ação dos raios solares, o oxigênio dissolvido, a predação, e a falta de substrato (DA SILVA, 2010).

2.4 Monitoramento da qualidade dos efluentes

Para avaliar o desempenho e a confiabilidade de uma estação de tratamento é necessário o estudo e monitoramento da mesma. A confiabilidade pode ser explicada como a probabilidade de se obter um resultado dentro do esperado no período avaliado. Sendo assim, denomina-se falha quando os limites definidos pela legislação são excedidos (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2007).

O Brasil é considerado um avançado em relação à legislação de proteção de águas. A CONAMA 357/05 trata os corpos hídricos de forma restritiva traçando padrões de lançamento e de uso das águas, objetivando sua proteção (MATOS et al, 2011).

Além disso, os padrões de qualidade da água devem ser estabelecidos de acordo com os diferentes usos para os quais a água se destina - como consumo humano, suporte à vida aquática, irrigação de safras e assim por diante - ou de acordo com um conjunto de objetivos definidos (SCHULTZ, 2001).

2.5 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são unidades que têm a finalidade de tratar os esgotos e possuem um ecossistema autossuficiente, não sendo necessárias grandes interferências humanas para seu funcionamento. Sua concepção é simples e por isso, possui um baixo custo de construção e de operação.

2.5.1 Lagoas Anaeróbias

As lagoas anaeróbias são normalmente usadas como um método de tratamento primário de esgoto bruto e seu efluente costuma seguir para uma lagoa facultativa ou uma série de lagoas. Levam esse nome pois são projetadas para funcionar em condições anaeróbias ou anóxicas,

ainda que existam pequenas quantidades de oxigênio dissolvido devido às algas superficiais.

As taxas metabólica e de reprodução das bactérias anaeróbias são mais lentas do que as taxas das bactérias aeróbias. Mesmo para um período de permanência de 3 a 5 dias na lagoa anaeróbia, a remoção da DBO é cerca de 50 a 60%. Apesar de ser insuficiente, essa remoção representa um grande abrandamento da carga para a lagoa facultativa a jusante (VON SPERLING, 1996).

2.5.2 Lagoas Facultativas

O processo das lagoas facultativas é bastante simples e depende apenas de fenômenos naturais. No percurso de uma extremidade a outra da lagoa, onde o esgoto passa vários dias, uma série de eventos é responsável pela purificação dos esgotos. Parte da matéria orgânica sedimenta formando o lodo de fundo que sofre decomposição por microrganismos anaeróbios, transformando-se em gás carbônico, água, metano e outros. A decomposição da matéria orgânica que não sedimenta acontece através de bactérias facultativas que podem sobreviver na presença e na ausência de oxigênio. Para a respiração aeróbia, o oxigênio é disponibilizado pelas algas ao realizarem a fotossíntese. Portanto, há um equilíbrio entre o consumo e a disponibilidade de oxigênio e matéria orgânica (VON SPERLING, 1996).

2.5.3 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação são utilizadas quase sempre após as lagoas facultativas e, em alguns casos, após reatores anaeróbios e são responsáveis pelo “refinamento” dos esgotos, visto que recebem afluente cuja DBO está praticamente estabilizada. As lagoas de maturação são completamente aeróbias, caracterizando-se pela penetração da radiação solar ao longo de toda a coluna d’água (VON SPERLING, 1996).

Normalmente as lagoas de maturação são bastante rasas, variando de 1,0 a 1,5 m de profundidade, para que haja melhor penetração dos raios solares que são responsáveis por potencializar o processo de desinfecção.

2.6 Lógica Fuzzy

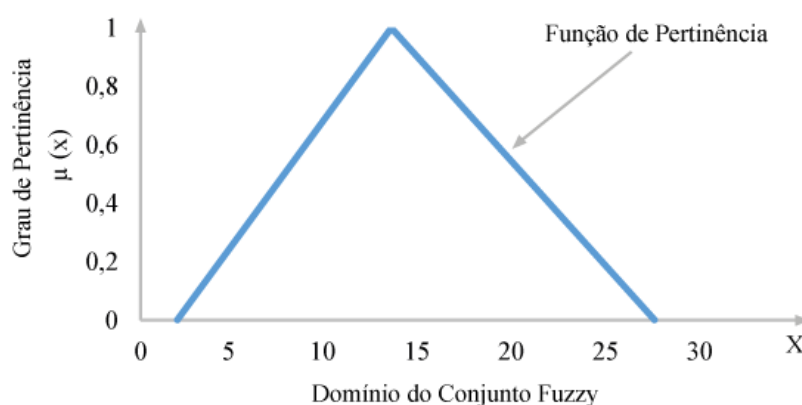
Diferente dos sistemas lógicos clássicos, a teoria dos conjuntos *fuzzy* objetiva modelar os modos imprecisos de raciocínio que desempenham um papel importante na capacidade

humana de tomar decisões racionais em um ambiente de incerteza e imprecisão. Essa capacidade depende, por sua vez, de nossa habilidade de inferir uma resposta aproximada para uma pergunta baseada em uma reserva de conhecimento que é inexato, incompleto ou não totalmente confiável. Os sistemas clássicos não são capazes de abranger problemas subjetivos pois não conseguem representar proposições expressas em linguagem natural e mesmo quando conseguem uma representação simbólica, como um gráfico de dependência, não há mecanismo de inferência (ZADEH, 1988).

O mapeamento convencional das características de um conjunto clássico leva apenas dois valores: um, quando um elemento pertence ao conjunto; e zero, quando não pertence. Na teoria dos conjuntos *fuzzy*, um elemento pode pertencer a um conjunto com seu grau de pertinência variando de zero a um. Conjuntos difusos são geralmente identificados com essas funções de associação. Para uma variável ambiental X , por exemplo, podemos considerar o conjunto difuso A de valores aceitáveis. Se x é um valor possível de X , então $A(x)$ denota seu grau de associação no conjunto difuso A (ADRIAENSSENS ET AL., 2004).

A habilidade de expressar transições graduais de pertinência para não pertinência permite registrar o sentido de expressões em linguagem natural que, normalmente, são vagas (RENTERÍA, 2006). A figura a seguir ilustra as componentes de um conjunto *fuzzy*.

Figura 2 - Representação gráfica de um conjunto *Fuzzy*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para analisar o gráfico entende-se que quanto mais próximo de 1, mais pertinente é a característica avaliada. Caso o grau de pertinência seja exatamente 0 ou 1, podemos classificar a característica como totalmente falsa ou totalmente verdadeira, respectivamente.

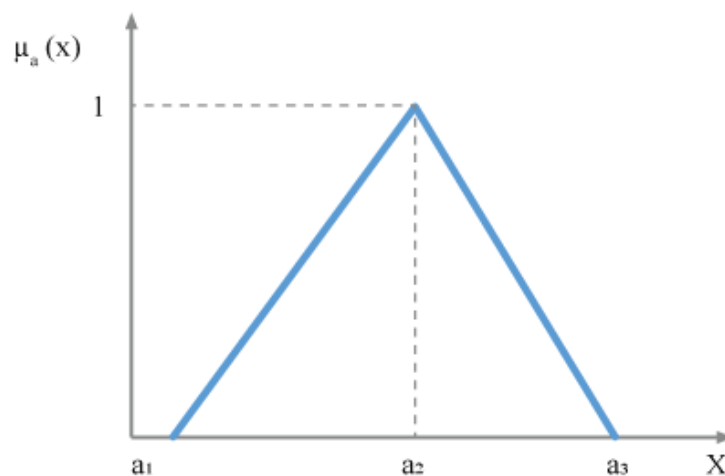
2.6.1 Número Fuzzy Triangular

É preciso que se mantenha interseção suficiente entre conjuntos adjacentes na construção e representação dos conjuntos *fuzzy* para que a transição entre eles aconteça de forma suave. Os conjuntos *fuzzy* podem ter uma variedade de formas, porém as formas triangular ou trapezóide normalmente fornecem uma representação adequada do conhecimento e simplifica significativamente o processo de computação. O número *fuzzy* triangular é a aplicação mais comum, sendo representado por três pontos que são apresentados como $A = (a_1, a_2, a_3)$ (MARRO et al, 2010). Esta representação é interpretada como funções de pertinência:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (\text{Eq. 1})$$

A Figura 3 ilustra um número *fuzzy* triangular. Os valores da variável, a_1 , a_2 e a_3 , se encontram no eixo x , enquanto o grau de pertinência se encontra no eixo y . Neste caso, é possível observar que a variável a_2 é a que detém maior possibilidade de ocorrência.

Figura 3 - Número Fuzzy Triangular (NFT).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

2.7 Análise de confiabilidade

A confiabilidade de um sistema pode ser definida como a probabilidade de se obter um desempenho satisfatório por determinado período de tempo. Para uma estação de tratamento, a confiabilidade significa a porcentagem de tempo em que as concentrações dos parâmetros do efluente cumprem com os padrões de lançamento. Uma ETE será completamente confiável se não houver descumprimento dos limites exigidos pelas legislações ambientais. Para definir a confiabilidade de uma ETE é necessário conhecer o comportamento do processo pois, por conta das variações na qualidade do efluente tratado, a estação deve ser projetada para ter desempenho superior ao exigido por lei. (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2007).

Caracteriza-se falha quando um efluente apresenta concentrações fora dos parâmetros exigidos. Nesse caso a garantia será definida como o evento complementar à probabilidade de falha.

3 METODOLOGIA

3.1 Abordagem do estudo

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica para a análise da estação de tratamento em questão, tendo em vista os parâmetros e metodologias de análise definidos previamente. A análise utilizou dados extraídos da ETE Ponta Negra, localizada na cidade de Natal, Rio Grande do Norte.

Figura 4 - Localização da ETE Ponta Negra.



Fonte: Google Earth Pro (2020).

A estação de tratamento de esgoto (ETE Ponta Negra) está localizada na zona sul da cidade do Natal/RN. Atende à população do bairro de Ponta Negra, Via Costeira e algumas residências do bairro de Mãe Luiza, existindo uma previsão para ampliar sua área de atendimento incluindo o bairro de Cidade Jardim e Capim Macio. A estação possui um tratamento preliminar com uma calha Parshall contendo medidor de vazão, gradeamento e duas caixas de areia em paralelo funcionando alternadamente (OLIVEIRA, 2005).

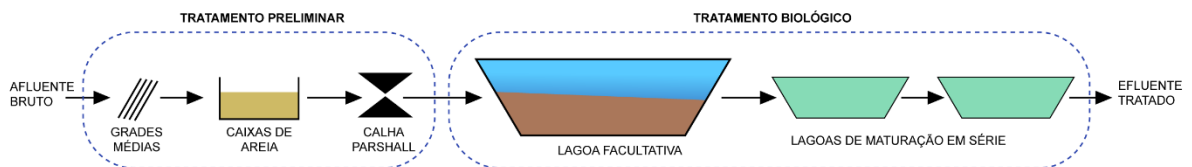
Figura 5 - ETE Ponta Negra – Lagoas de Estabilização.



Fonte: Oliveira (2005).

A ETE de Ponta Negra tem uma área de 510.000m² e uma vazão de 95L/s. Seu sistema de tratamento é composto por um sistema de lagoas de estabilização em série sendo uma lagoa facultativa seguida de duas lagoas de maturação, precedidas por gradeamento, desarenadores e calha parshall.

Figura 6 - Etapas do tratamento na ETE Ponta Negra.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os dados foram coletados bimestralmente de janeiro de 2014 a novembro de 2017, totalizando 24 amostragens. O sistema teve sua qualidade definida de acordo com a garantia verificada de adequação às normas vigentes.

3.2 Enfoque do estudo

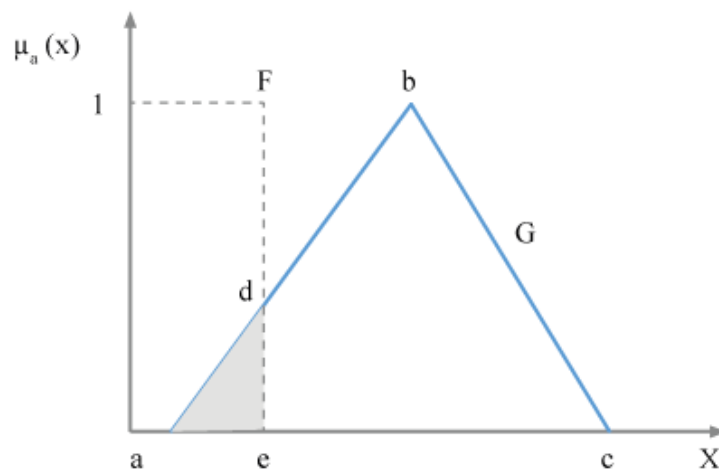
As garantias do sistema de lagoas de estabilização da ETE Ponta Negra foram analisadas de acordo com o método do Índice de Concordância *Fuzzy* (ICF) através de Números Difusos *Fuzzy* e com as distribuições Gama e Lognormal a partir da Simulação de Monte Carlo.

3.2.1 Índice de Concordância Fuzzy (I_{CF})

A concordância entre números *fuzzy* é uma relação entre as áreas de interseção entre dois números difusos, ou entre um difuso e um não difuso (KAUFMANN; GUPTA, 1991 *apud* DA SILVA, 2010). Dessa forma, é possível tirar conclusões de um conjunto de dados que seriam de difícil interpretação através da lógica convencional.

O I_{CF} é uma boa opção para a verificação dos riscos de falha ou da garantia pois ele permite identificar o quão próximo do ideal se encontram os parâmetros do sistema de tratamento analisado, não apenas se eles estão ou não dentro do padrão. Foi empregado neste trabalho o número fuzzy triangular (NFT) formados pelos valores mínimos (a_1), médios (a_2) e máximos (a_3) de cada parâmetro. Esses valores delimitam uma área de altura $\mu = [0,1]$ que é dividida pelo valor limite estabelecido pela norma criando diferentes intervalos. Neste caso o valor limite exerce o papel do número não difuso.

Figura 7 - Índice de Concordância *Fuzzy* entre um número difuso (G) e outro não difuso (F).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

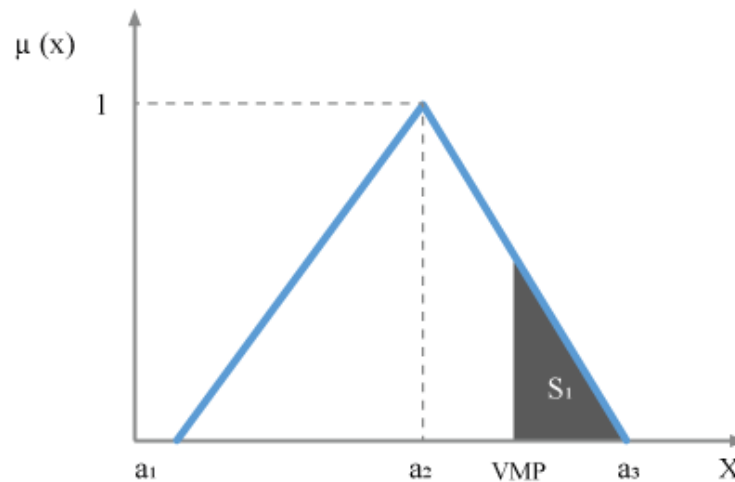
A definição do Índice de Concordância *Fuzzy* (I_{CF}) é dada pela expressão da Equação 2, com base na Figura 7:

$$I_{CF} = \frac{\text{Área do } \Delta ade}{\text{Área do } \Delta abc} \quad (\text{Eq. 2})$$

Para os parâmetros de DBO, DQO, AMT e CTT que possuem apenas limites máximos determinados pela norma, os Números *Fuzzy* Triangulares foram formados pelos valores

mínimos (a_1), médios (a_2) e máximos (a_3), e delimitaram uma área triangular de altura $\mu=[0,1]$ no eixo das ordenadas, dividida pelo valor limite definido pela CONAMA nº 430/11, Art. 21. O Índice de Concordância *Fuzzy* foi calculado pela razão entre a área que excede o limite permitido (S_1) e a área total do triângulo (S_t) segundo a Equação 3:

Figura 8 - Índice de Concordância *Fuzzy* (I_{CF}) entre um número difuso e o VMP como número não difuso.

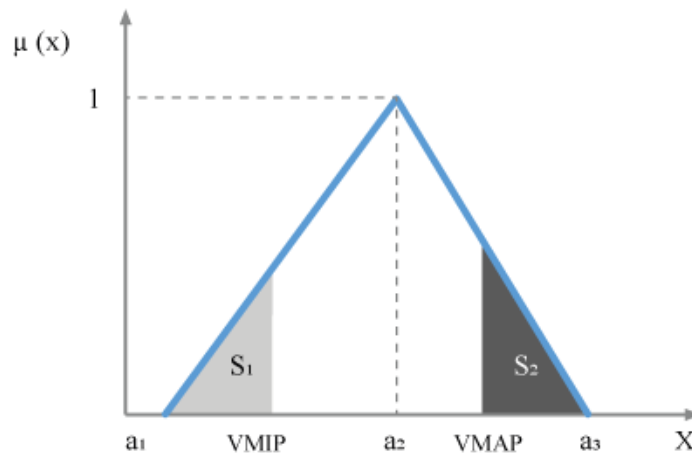


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

$$I_{CF} = 1 - \left(\frac{S_1}{S_t} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

O parâmetro de pH possui limites mínimos e máximos de acordo com a norma. Dessa forma, caso houvesse algum dado fora dos limites, os Números *Fuzzy* Triangulares seriam compostos pelo valor mínimo permitido (VMIP) e o valor máximo permitido (VMAP), conforme a Figura 9:

Figura 9 - Representação das áreas de interseção entre Números *Fuzzy* Triangulares e os valores limites mínimo e máximo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nesse caso, calcula-se do I_{CF} a partir da divisão da soma das áreas que excederam o limite (S_1 e S_2) pela área total do triângulo (S_t) conforme a Equação 4:

$$I_{CF} = 1 - \left(\frac{S_1 + S_2}{S_t} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

3.2.2 Simulação de Monte Carlo

A simulação computacional pode ser considerada uma ferramenta extremamente importante na obtenção de respostas para problemas que não permitem uma solução analítica. O método Simulação de Monte Carlo envolve uma amostragem aleatória de uma distribuição probabilística (DONATELLI; KONRATH, 2005).

A amostragem de Monte Carlo usa números aleatórios para retirar amostras de uma distribuição de probabilidades. A simulação gera valores aleatórios para variáveis incertas centenas ou milhares de vezes, de modo a simular um modelo. Essas simulações são extremamente úteis para imitar sistemas reais principalmente quando há pouca disponibilidade de dados ou quando outros métodos de análises são de difícil reprodução (CARDOSO; AMARAL, 2000).

Cada variável incerta do modelo, exige uma a definição de valores possíveis com base em uma distribuição de probabilidades.

3.2.2.1 Distribuição Gama

A distribuição Gama é uma família de distribuição de probabilidade contínua de dois parâmetros. É considerada uma das mais gerais pois existem várias distribuições que são dependentes ou são casos específicos dela. A distribuição Qui-quadrado e a distribuição exponencial são exemplos particulares da distribuição Gama. Ela modela valores de dados positivos e é bastante usada em estudos de confiabilidade, como neurociência, oncologia, requisições de seguro e variáveis meteorológicas.

Segundo Wasserman (2004) uma variável aleatória X tem distribuição Gama com parâmetros α (parâmetro de forma) e β (fator de escala), denotando-se quando sua função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)} & \text{se } x \geq 0 \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (\text{Eq. 5})$$

onde $\alpha, \beta > 0$ e

$$\alpha = \mu / \beta \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\beta = \sigma^2 / \mu \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (\text{Eq. 8})$$

3.2.2.2 Distribuição Lognormal

A distribuição lognormal comumente aparece como o produto de muitas variáveis independentes e é possível considerá-la com dois, três ou quatro parâmetros.

Diversas aplicações práticas são apresentadas pela distribuição lognormal e ela é muito usada na caracterização do tempo de vida de produtos e materiais, como fadiga de metais, semicondutores, isolamento elétrica e também na área de avaliação de imóveis.

Segundo Crow e Shimizu (1987), uma variável aleatória x tem distribuição lognormal quando o $\ln(x)$ tem distribuição normal. A fórmula da distribuição lognormal para os parâmetros μ (média) e σ (desvio padrão) pode ser vista na equação a seguir:

$$f(x; \mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2\right], & \text{para } x > 0; \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{Eq. 9})$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Garantias

Para verificar a garantia da qualidade dos efluentes da ETE Ponta Negra, foram utilizados nesse estudo os limites estipulados pela CONAMA nº 430/11, Art. 21. Os valores limite para a DBO, a DQO, a AMT, o pH, e os CTT estão descritos a seguir.

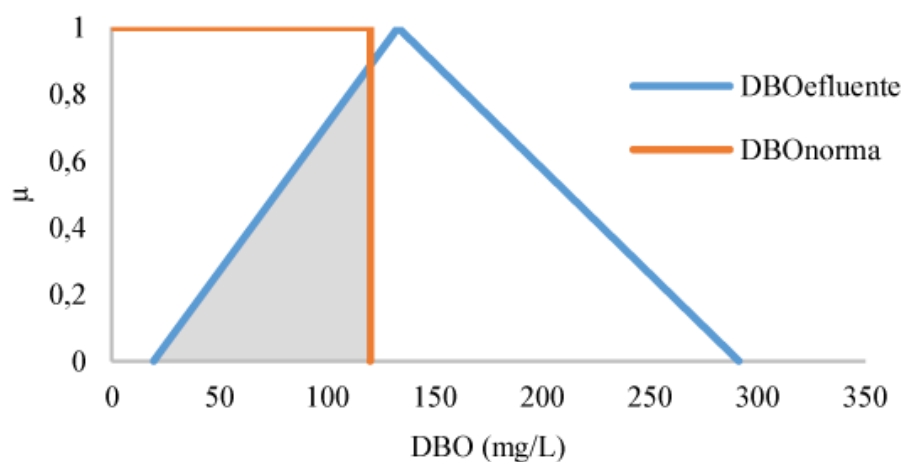
Tabela 1 - Valores recomendados pela CONAMA nº 430/11 para cada parâmetro.

Parâmetro	Valor Máximo	Valor Mínimo
DBO (mg/L)	200	-
DQO (mg/L)	250	-
AMT (mg/L)	20	-
pH	9	6
CTT células/100 mL	5000	-

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

As amostras de efluente analisadas são referentes ao período de janeiro de 2014 a novembro de 2017. Após a aplicação dos procedimentos para obter o Índice de Concordância *Fuzzy* foram obtidos os seguintes resultados de garantia (Tabela 2):

Figura 10 - I_{CF} da DBO ao longo do período analisado.

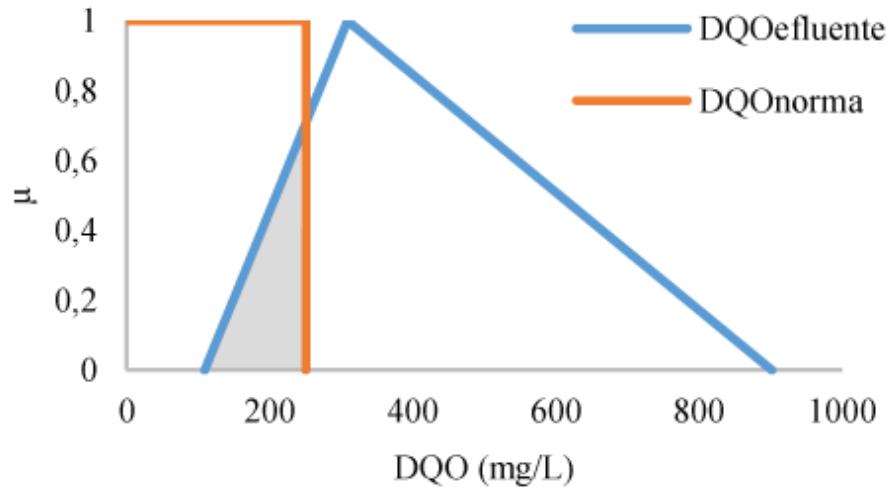


Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

O parâmetro da DBO apresentou um I_{CF} de 32,66% no período analisado. É possível visualizar graficamente o NFT da DBO na Figura 10. Pode-se perceber que uma grande área

excede o limite permitido pela norma representado pela linha laranja. A média (NFT) foi de aproximadamente 133 mg/L.

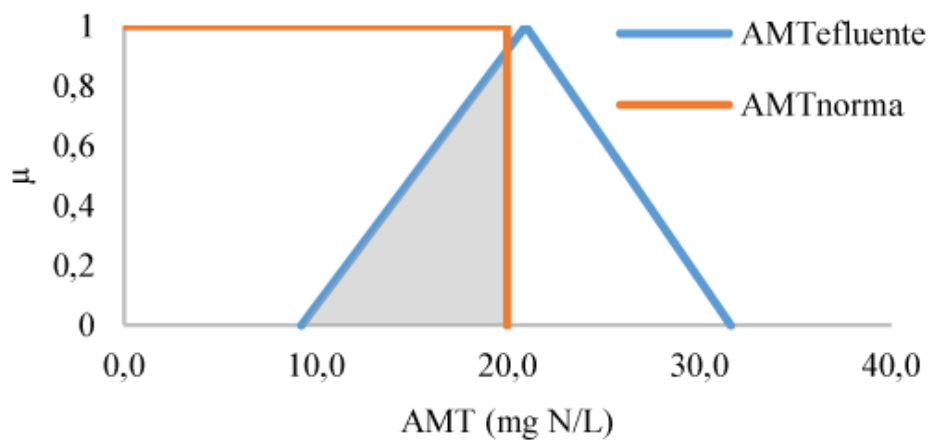
Figura 11 - I_{CF} da DQO ao longo do período analisado.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

As amostras estudadas apresentaram um I_{CF} de 12,60% em relação ao parâmetro de DQO entre 2014 e 2017. A partir da Figura 11, observa-se que uma pequena área está tingida de cinza e se encontra dentro do limite permitido pela norma. A média calculada (NFT) foi de 308 mg/L.

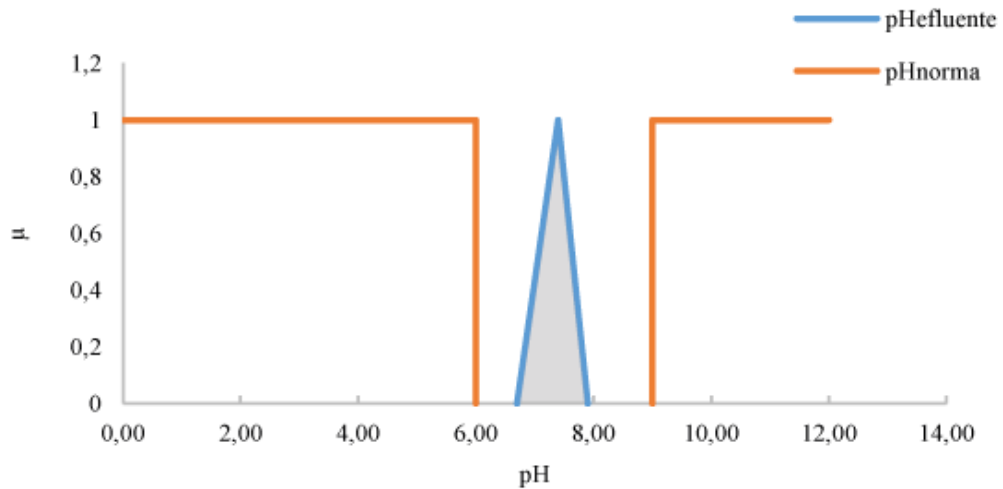
Figura 12 - I_{CF} da AMT ao longo do período analisado.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Para o parâmetro AMT, as amostras apresentaram um I_{CF} de 44,13% no período estudado e tiveram o segundo melhor desempenho dentre os parâmetros analisados. A partir da Figura 12, é possível observar que quase metade da área total está tingida de cinza e se encontra dentro do limite permitido pela norma. A média calculada (NFT) foi de 21 mg-N/L.

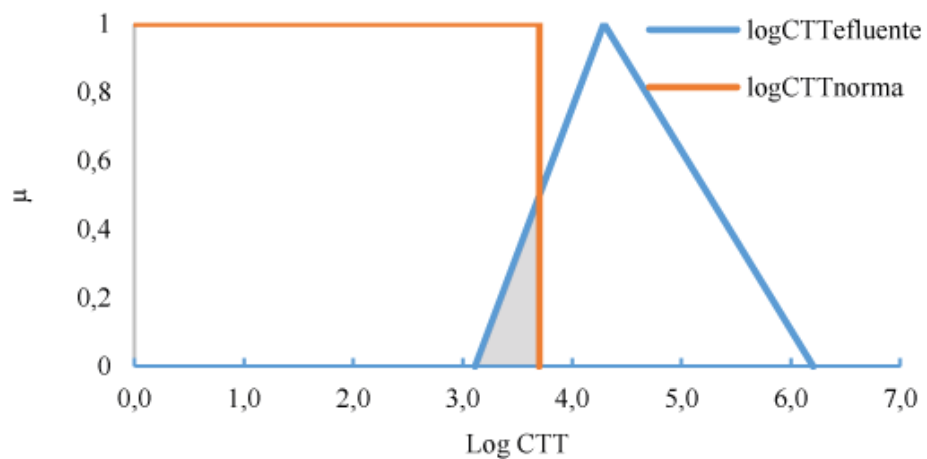
Figura 13 - I_{CF} do pH ao longo do período analisado.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

As amostras estudadas apresentaram um I_{CF} de 100% em relação ao parâmetro de pH no período estudado e foi o único parâmetro a estar completamente dentro da norma. A partir da Figura 13 observa-se que toda a área está tingida de cinza e que se encontra em sua totalidade dentro do limite permitido pela norma.

Figura 14 - I_{CF} do logCTT ao longo do período analisado.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

O parâmetro CTT apresentou um I_{CF} de 9,4% e, conseqüentemente, o pior rendimento dentre os parâmetros analisados. É possível visualizar graficamente que apenas uma pequena área se encontra dentro do limite permitido pela norma representado pela linha laranja.

Tabela 2 - I_{CF} dos parâmetros analisados.

Parâmetro	I_{CF}
DBO (mg/L)	0,327
DQO (mg/L)	0,126
AMT (mg/L)	0,441
pH	1,0
CTT células/100 mL	0,094

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

É possível observar que dos parâmetros analisados, o que apresenta menor garantia são os coliformes termotolerantes, com um índice de concordância de apenas 9,4%. A demanda química de oxigênio (DQO) tem o segundo pior desempenho apresentando um índice de concordância de 12,6%, enquanto a demanda bioquímica de oxigênio tem desempenho melhor com um índice de concordância de 32,7%. A amônia total apresentou bom desempenho com um índice de concordância de 44,1% ficando abaixo apenas do pH que não teve nenhuma falha, ou seja, teve um índice de concordância de 100%.

As tabelas 3 e 4 mostram o desempenho dos parâmetros obtidos com a distribuição Gama e Lognormal ao aplicar a Simulação de Monte Carlo.

Tabela 3 - Grau de garantia dos parâmetros analisados na distribuição Gama.

Parâmetro	Garantia
DBO (mg/L)	0,510
DQO (mg/L)	0,438
AMT (mg/L)	0,459
pH	1,0
CTT células/100 mL	0,637

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Aqui percebemos uma mudança no desempenho dos parâmetros analisados e é possível notar que houve um aumento em todos excetuando-se o pH. O que apresenta menor garantia é a DQO, com um índice de concordância de apenas 43,8%. A AMT tem o segundo pior desempenho apresentando um índice de concordância de 45,9% enquanto a DBO tem desempenho melhor com um índice de concordância de 51,0%. Os coliformes termotolerantes apresentaram bom desempenho com uma garantia de 63,7% ficando abaixo apenas do pH que assim como no I_{CF}, teve um índice de concordância de 100%. Ao comparar com os resultados obtidos no I_{CF} Apenas dois parâmetros tiveram garantias semelhantes, o de pH, que apresentou a mesma garantia, e a AMT, onde a diferença foi de apenas 1,8%.

Tabela 4 - Grau de garantia dos parâmetros analisados na distribuição Lognormal.

Parâmetro	Garantia
DBO (mg/L)	0,566
DQO (mg/L)	0,441
AMT (mg/L)	0,485
pH	1,0
CTT células/100 mL	0,187

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Já a distribuição Lognormal, apresentou poucas diferenças em relação à distribuição Gama. A DBO, a DQO e a AMT tiveram um pequeno aumento de 5,6%, 0,3% e 2,4% respectivamente. O CTT teve uma grande redução e foi o parâmetro que mais se diferenciou da distribuição Gama, visto que apresentou um índice de concordância de 18,7%, uma redução de 45%. O pH continuou com índice de garantia de 100%. Ao comparar com os resultados obtidos no I_{FC}, três parâmetros apresentaram resultados semelhantes, o pH, que mais uma vez apresentou garantia de 100%, a AMT, com uma diferença de 4,4%, e o CTT, com uma diferença de 9,3%.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram propostas e comparadas três abordagens para avaliação do grau de garantia da estação de tratamento de esgotos Ponta Negra, em Natal, cuja tecnologia de tratamento é um conjunto de lagoas de estabilização. Analisando os resultados obtidos ao aplicar esses métodos e comparando-os, foi possível verificar grandes discrepâncias em alguns parâmetros enquanto outros permaneceram com o mesmo grau de garantia. O único parâmetro que se manteve exatamente igual foi o pH, com grau de garantia de 100% nas três metodologias. O parâmetro de AMT se manteve semelhante, com variações de apenas 1,8% (ICF-Gama), 2,6% (Gama-Lognormal) e 4,4% (ICF-Lognormal). Entre os demais parâmetros não se pôde observar conformidade entre as três metodologias ao mesmo tempo. Com exceção do CTT, as distribuições Gama e Lognormal apresentaram garantias bem semelhantes entre todos os parâmetros, com baixas variações de percentual. Comparando a DBO e a DQO obtidas pelo ICF, foram observados valores muito desiguais em relação as distribuições Gama e Lognormal.

A partir dos resultados, é possível perceber que a garantia oferecida pela ETE em relação a todos os parâmetros analisados, com a exceção do pH, não é considerada satisfatória entre os anos de 2014 e 2017.

Dadas as divergências e oscilações nos resultados, faz-se necessária uma análise mais ampla de cada parâmetro bem como do funcionamento da ETE para identificação dos possíveis problemas presentes na estação, visto que, com exceção do pH, os parâmetros não apresentaram garantia satisfatória em nenhuma das metodologias aplicadas.

REFERÊNCIAS

- ADRIAENSSENS, V. et al. Fuzzy rule-based models for decision support in ecosystem management. **Science of the Total Environment**, v. 319, n. 1-3, p. 1-12, 2004.
- AZZOLINI, J. C.; FABRO, L. F. Monitoramento da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de um laticínio da região meio-oeste de Santa Catarina. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 4, n. 1, p. 43-60, 2013.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL BNDES: Modelagem de desestatização do setor de saneamento básico (trabalho realizado por um consórcio de empresas contratadas). Rio de Janeiro, Maio de 1998, IV volumes. Mimeo.
- 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 13 de setembro de 2020;
- CARDOSO, D.; AMARAL, H.F. O uso da simulação de Monte Carlo na elaboração do fluxo de caixa empresarial: uma proposta para quantificação das incertezas ambientais. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP**, Anais..., ABEPRO, São Paulo, 2000.
- CROW, E. L.; SHIMIZU, K. **Lognormal distributions**. New York: Marcel Dekker, 1987.
- DA SILVA, F. J. A. **Índice de concordância e Risco Fuzzy na avaliação do desempenho de sistemas de lagoas de estabilização**. 2010. Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- DONATELLI, G. D; KONRATH, A. C. Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição. **REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA**, v. 13, n 25-26, p. 5-15, 2005.
- KAUFMANN, A.; GUPTA, M. M. **Introduction of fuzzy arithmetic: theory and applications**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 384 p.
- LOPES, T. R. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbio e de lagoas de estabilização para avaliação da eficiência na remoção de contaminantes**. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.
- MARRO, A. A. et al. Lógica fuzzy: conceitos e aplicações. **Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)**, 2010.
- MATOS, A.S.A.T. de et al. Monitoramento ambiental da qualidade da água no Rio Macaé associado ao lançamento de efluentes de termelétrica: um estudo de caso do lançamento de efluentes da UTE Mário Lago no rio Macaé, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 4, n. 1, p. 127-140, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em 25 de setembro de 2020.

MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B. dos. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista Dae**, v. 67, n. 215, p. 40-55, jan./mar. 2019. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.004>.

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. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 389-398, 2007.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.

RENTERÍA, A. R. **Estimación de probabilidade fuzzy a partir de dados imprecisos**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SANTOS, A.S.P., Tratamento Preliminar. Notas de Aula – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

SCHULTZ, M. T. A critique of EPA's index of watershed indicators. **Journal of environmental management**, v. 62, n. 4, p. 429-442, 2001.

SILVA, G. H. **Sistema de alta eficiência para tratamento de esgoto residencial – estudo de caso na lagoa da conceição**. 2004. Monografia. Programa de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

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.

WASSERMAN, L. (2004). **All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference** 1. ed. New York: Springer – Verlag, 2004.

ZADEH, L. A. Fuzzy logic. **IEEE Transaction on Computers**, v. 21, n. 4, p. 83-93, 1988.