



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

MARIA FAYNA OLIVEIRA ABREU

**ANÁLISE DE GARANTIA *FUZZY* COM VARIAÇÃO DE VALORES CENTRAIS EM
PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO**

FORTALEZA

2018

MARIA FAYNA OLIVEIRA ABREU

**ANÁLISE DE GARANTIA *FUZZY* COM VARIAÇÃO DE VALORES CENTRAIS EM
PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

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

FORTALEZA

2018

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)

- A99a Abreu, Maria Fayna Oliveira.
Análise de garantia Fuzzy com variação de valores centrais em parâmetros de monitoramento de um sistema de lagoas de estabilização / Maria Fayna Oliveira Abreu. – 2018.
37 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.
1. Tratamento. 2. Garantia. 3. Número Fuzzy triangular. 4. Valor central. I. Título.

CDD 628

MARIA FAYNA OLIVEIRA ABREU

ANÁLISE DE GARANTIA *FUZZY* COM VARIAÇÃO DE VALORES CENTRAIS EM
PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 04/07/2018.

BANCA EXAMINADORA

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

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

Enga. Maria Patrícia Sales Castro, MEng. (Examinadora)
Convidada

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado forças e fé em todos os momentos.

Aos meus pais, que nunca pouparam esforços para realizar meus sonhos.

Aos meus padrinhos e irmãos, que foram de fundamental importância para minha formação.

À minha família, que de alguma forma esteve torcendo pelo meu sucesso.

Ao meu namorado, que esteve segurando minha mão em todos os momentos.

Ao Programa de Aprendizagem em Células Cooperativas Estudantis, que me proporcionou momentos incríveis de aprendizado e experiência.

À Ciclo Jr., que me fez entender o caminho que devo seguir.

Aos meus amigos, que sem eles essa jornada não teria sido tão prazerosa.

Ao meu professor orientador, que me orientou para a vida.

*“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende.”*

Leonardo da Vinci

RESUMO

Grande parte da população brasileira ainda não tem acesso ao saneamento básico e isso ainda é motivo para morte de muitas pessoas não só pelo Brasil como pelo mundo todo, devido as doenças que a falta de saneamento trás. Um dos fatores que contribui para esse cenário é o despejo de efluentes, sem o correto tratamento, em corpos hídricos. O padrão de lançamento de efluentes é definido nas resoluções nº 357/05 e nº 430/11 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Todas as águas residuárias deveriam passar por tratamento específico antes de serem lançadas. Esse tratamento é feito em estações de tratamento de esgotos. Existem diversos tipos de tratamento sendo um deles a lagoa de estabilização que será a forma de tratamento utilizada no estudo. Para garantir que os processos estejam de acordo com a norma, muitos índices podem ser utilizados, um deles é a análise da garantia que foi utilizada neste estudo. Sete parâmetros foram analisados, sendo eles: pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio Filtrada (DBOf), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Química de Oxigênio Filtrada (DQOf) e nitrogênio amoniacal. A garantia foi calculada utilizando o número *Fuzzy* triangular com variação do valor central pela mediana, média aritmética e média geométrica. Os dados foram retirados da estação de tratamento de esgoto de Caiçara do Rio dos Ventos localizada no estado do Rio Grande do Norte. As análises demonstraram que o tratamento tem um alto valor de garantia para o pH, DQO e DQOf e um alto grau de risco para o OD, sendo nula a garantia em algumas fases do tratamento. A influência do valor central foi praticamente inexistente. Correlacionando os valores obtidos com a utilização de número *Fuzzy* Triangular e com de outras distribuições estatísticas, observou-se grande equiparação de resultados.

Palavras-chave: Tratamento; Garantia; Número *Fuzzy* triangular; Valor central

ABSTRACT

A large part of the Brazilian population still does not have access to basic sanitation and this is still cause for death for many people, not only in Brazil but throughout the world, due to the diseases that lack sanitation. One of the factors that contributed to this scenario is the discharge of effluents, without proper treatment, into water bodies. The effluent release standard is defined in resolutions 357/05 and 430/11 of the National Environmental Council. All wastewater should undergo specific treatment before being released. This treatment is done in sewage treatment plants. There are several types of treatment being one of them the stabilization pond that will be the form of treatment used in the study. To ensure that the processes conform to the standard, many indexes can be used, one of which is the warranty analysis that was used in this study. The following parameters were analyzed: pH, Dissolved Oxygen (OD), Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Biochemical Filtered Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Filtered Oxygen Demand (DQOf) and ammonia nitrogen. The guarantee was calculated using the triangular *Fuzzy* number with variation of the central value by the median, arithmetic mean and geometric mean. The data were taken from the sewage treatment plant of Caiçara do Rio dos Ventos located in the state of Rio Grande do Norte. The analyzes showed that the treatment has a high guarantee value for pH, COD and DQOf and a high degree of risk for the DO, with no guarantee at some stages of treatment. The influence of the central value was practically non-existent. Correlating the values obtained with the use of Triangular *Fuzzy* Number and with other statistical distributions, a great match of results was observed.

Keywords: Treatment; Warranty; Diffuse triangular number; Central value

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.2 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO	10
1.3 OBJETIVOS	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Saneamento básico	11
2.2 Lançamento de efluentes	11
2.3 Lagoas de estabilização	12
2.4 Padrão de lançamento de efluentes	13
2.4.1 pH	14
2.4.2 Temperatura	14
2.4.3 Oxigênio Dissolvido (OD)	15
2.4.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	15
2.4.5 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	15
2.4.6 Nitrogênio Amoniacal	16
2.4.7 Coliformes Termotolerantes	16
2.5 Monitoramento da qualidade dos efluentes	16
2.6 Lógica <i>Fuzzy</i>	17
2.7 Representação de número <i>Fuzzy</i>	19
2.7.1 Número Fuzzy Triangular (NFT)	19
2.7.1.1 Operações com número Fuzzy triangular	20
2.8 Análise de Garantia	21
2.9 Valor mais provável	21
2.10 Valores centrais	22
3 Metodologia	23
3.1. Sistema em estudo	23
3.2 Parâmetros analisados no estudo	24
3.3 Cálculo da garantia	24
4 RESULTADOS OBTIDOS	25
4.1 Garantia <i>Fuzzy</i>	25
4.2 Análise em relação ao trabalho de BESSA (2017)	29
5 CONCLUSÃO	31
6 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTUROS	32
REFERÊNCIAS	33
APÊNDICE A – DADOS PARA ANÁLISE	35
APÊNDICE B – CALCULO DO NÚMERO <i>FUZZY</i> TRIANGULAR	37

1 INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico é um direito de toda a população brasileira, porém, de acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (2016), publicado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 90%, em média, da população brasileira é atendida por redes de água, porém, apenas 59,7%, em média, é atendida por rede de esgotos. A falta de saneamento básico traz diversos problemas à saúde da população, sendo doenças as principais, como a diarreia, a qual é grande responsável pela mortalidade de muitas crianças por todo o país.

Toda a água que é utilizada em casas, fábricas, comércio e etc. deveria ser levada para uma estação de tratamento de esgotos para passar por tratamento específico antes do lançamento nos corpos hídricos. Os padrões de lançamento são definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e, em alguns casos, pelas secretarias de cada estado.

Existem diversos tipos de tratamento, um deles são as lagoas de estabilização que constituem um processo de tratamento de esgoto que aproveita os fenômenos naturais. As lagoas de estabilização constituem um processo biológico de tratamento de águas residuárias que se caracterizam pela simplicidade, eficiência e baixo custo (MOTA, 2012).

Nas estações de tratamento de esgoto muitos parâmetros são acompanhados, como potencial Hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, coliformes termotolerantes e etc.

Um importante fator a ser monitorado nas estações é a garantia, ou seja, o risco de não falhar em cada um de seus processos. Quanto maior seja essa garantia menor serão os custos com reparo e, por conseguinte, maior a eficiência do processo como um todo.

Existem diversas formas de se calcular a garantia, uma delas é utilizando a lógica *Fuzzy*, que um modelo de lógica que tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano (MARRO et al., 2010). O número *Fuzzy* pode ser representado por diferentes formas, o número *Fuzzy* triangular será o modelo de representação utilizado no presente estudo.

Os valores foram obtidos por meio de fórmulas específicas para o número *Fuzzy* triangular variando os valores centrais pela mediana, média geométrica e média aritmética. Os resultados obtidos foram comparados com os obtidos por algumas distribuições estatísticas.

Por fim, observou-se que alguns parâmetros obtiveram valores de garantia bem abaixo do esperado, que a variação do valor central não influenciou tanto e que os resultados, em geral, estão bem equiparados se comparando com os obtidos pelas outras distribuições estatísticas.

1.2 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

Os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos são definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em suas resoluções nº 357 de 2005 e nº 430 de 2011. As estações de tratamento de esgotos devem ser constantemente monitoradas para que exista a certeza de que o efluente está saindo de acordo com os padrões pré-estabelecidos em resolução. Esta supervisão deve ser feita, principalmente, pelo acompanhamento dos indicadores de desempenho (JORDÃO;PESSÔA, 2011).

Além disso, o monitoramento constante é importante para minimizar o grau de falha na operação da estação, diminuindo os custos com reparação e maximizando a eficiência.

1.3 OBJETIVOS

Obter a garantia de alguns parâmetros em uma estação de tratamento de esgotos por meio da utilização da lógica *Fuzzy*, especificamente número *Fuzzy* triangular.

Observar a influência da mudança de valores centrais no cálculo da garantia de cada um dos parâmetros da estação e tratamento.

Correlacionar os valores de garantia obtidos por meio da utilização do número *Fuzzy* triangular e outras distribuições estatísticas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Saneamento básico

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), “saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social”.

De acordo com a Lei 11445/07 em seu artigo 3º, saneamento básico é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável, esgoto sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas.

Toda a população deveria ter acesso ao saneamento básico, mas essa ainda não é uma realidade no Brasil. De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (2016), publicado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 90%, em média, da população brasileira é atendida por redes de água, porém, apenas 59,7%, em média, é atendida por rede de esgotos.

Segundo a OMS (2014), para cada 1 dólar investido em água e saneamento, são economizados 4,3 dólares em custos com a saúde. Assim, pode-se perceber que saneamento e saúde estão intimamente ligados. A diretora executiva da UNICEF, Ann M. Veneman disse que “é trágico que a diarreia, apenas um inconveniente no mundo desenvolvido, mate cerca de 1,5 milhão de crianças a cada ano”.

Além da diarreia outras doenças podem estar ligadas pela falta de saneamento, como febre tifoide, hepatite A, amebíase, giardíase.

2.2. Lançamento de efluentes

Toda a água que é utilizada nas casas, indústrias, comércio, por toda a população transforma-se em efluente, comumente chamado de esgoto. Este deveria ser encaminhado para as estações de tratamento de esgoto para que, com tratamento específico, seja liberado nos corpos d’água de acordo com o padrão de lançamento.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 357, de 17 de março de 2005, complementada pela resolução n° 430, de 13 de maio de 2011, estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

Como dito anteriormente, boa parte da população não tem acesso ao saneamento, dificultando o tratamento do esgoto. Muitas vezes, os efluentes são lançados diretamente no corpo hídrico, poluindo e causando prejuízos à saúde de todos que dele se utiliza.

2.3 Lagoas de estabilização

Um efluente pode ser tratado por diversos processos, um deles consiste em utilização de lagoas de estabilização.

As lagoas de estabilização constituem um processo de tratamento de esgoto que aproveita os fenômenos naturais, sendo mais indicadas para as regiões de clima tropical. As lagoas de estabilização constituem um processo biológico de tratamento de águas residuárias que se caracterizam pela simplicidade, eficiência e baixo custo (MOTA, 2012).

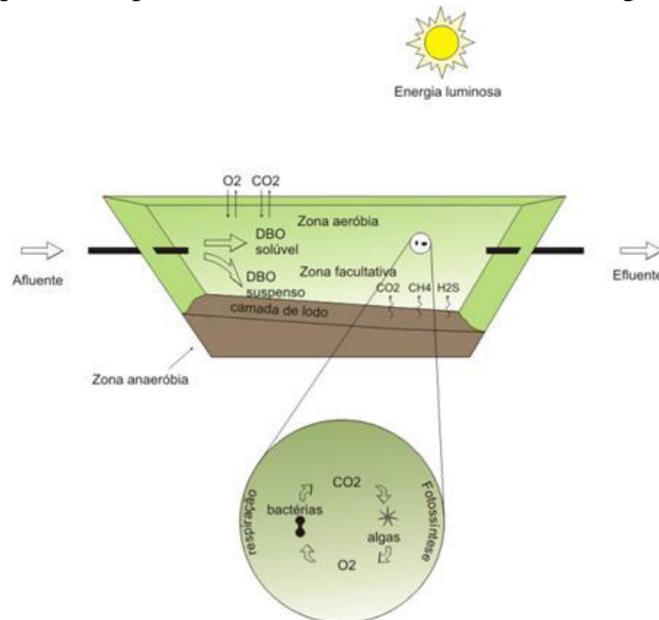
Existem sistemas de lagoas de estabilização diferentes, os quais dependem do objetivo de remoção. No quadro 1 abaixo estão listados os principais sistemas:

Quadro 1: Descrição dos principais sistemas de lagoas de estabilização

Tipo	Descrição
Lagoa facultativa	A DBO solúvel e particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo convertida anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio é fornecido pelas algas, através da fotossíntese, como pode ser visto na figura 1.
Lagoa anaeróbia	Em torno de 50% a 70% da DBO é removida nessa lagoa, que é mais profunda tem um menor volume. A DBO remanescente é removida na lagoa facultativa.
Lagoa de maturação	O objetivo principal dessa lagoa é a remoção de organismos patogênicos. Para que isso ocorra as bactérias são submetidas a condições ambientais adversas, como: Radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, baixas temperaturas e elevado OD. Essas lagoas constituem um pós-tratamento de processos que objetivem a remoção de DBO. A eficiência de remoção de coliformes é elevada.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2013)

Figura 1: Esquema simplificado do funcionamento de uma lagoa facultativa



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2013)

As

lagoas de estabilização também possuem uma ótima eficiência de remoção de DBO, DQO e coliformes. Von Sperling (2013) indica esses números no quadro 2 abaixo:

Quadro 2: Eficiência de remoção das lagoas de estabilização

Item Geral	Item Específico	Sistemas de lagoas		
		Facultativa	Anaeróbia-facultativa	Aerada facultativa
Eficiência	DBO (%)	75 – 85	75 – 85	75 – 85
	DQO (%)	65 – 80	65 – 80	65 – 80
	SS (%)	70 – 80	70 – 80	70 – 80
	Amônia (%)	< 50	< 50	< 30
	Nitrogênio (%)	< 60	< 60	< 60
	Fósforo (%)	< 35	< 35	< 35
	Coliformes (%)	90 – 99	90 – 99	90 – 99

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2012)

2.4 Padrão de lançamento de efluentes

Como dito, todo e qualquer efluente deve ser tratado antes de ser disposto em corpos hídricos, para que este não seja poluído e cause risco à saúde de quem dele se utiliza. A resolução n° 430/2011 do CONAMA, que complementou e alterou a resolução n° 357/2005,

traz as diretrizes dos padrões de lançamento em seu artigo 16. As condições de lançamento dos efluentes são:

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.

f) nitrogênio amoniacal: 20mg/l N

2.4.1 pH

A sigla pH corresponde à potencial Hidrogeniônico, isto é, a concentração dos íons Hidrogênio (H⁺) nas substâncias. Este índice indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de qualquer elemento.

Os valores de pH variam de 0 a 14, sendo que de 0 a 7 a substância é considerada ácida, valores em torno de 7 correspondem a substâncias neutras, já valores acima de 7 tem-se um elemento ácido.

Este índice é de severa importância, visto que se estiver alterado pode provocar corrosões ou entupimento nos tubos que levam o efluente e também podem causar alterações na vida marinha (MONTANO, 2017).

2.4.2 Temperatura

A temperatura é um parâmetro físico de grande importância pois pode afetar a quantidade de oxigênio dissolvido na água. A temperatura e a quantidade de oxigênio são

inversamente proporcionais. Valores extremos deste índice podem proporcionar problemas aos microrganismos presentes no corpo d'água. Por isso, a temperatura do efluente deve ser controlada antes do descarte do efluente.

2.4.3 Oxigênio Dissolvido (OD)

Este parâmetro trata-se da quantidade de oxigênio dissolvido na água. Ele pode ser proveniente da atmosfera bem como pela fotossíntese das algas, este último acontece, em maior extensão, em águas poluídas ou eutrofizadas.

O oxigênio dissolvido é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais ou os reatores para tratamento biológico de esgotos (PIVELI, 2005). No tratamento de efluentes, a deterioração de matéria orgânica pelas bactérias só acontece na presença de OD.

2.4.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Este índice corresponde à quantidade de oxigênio necessária para degradação biológica da matéria orgânica presente no efluente. Os corpos de água que possuem um valor elevado de DBO, que são poluídos ou eutrofizados, demandam muito OD para degradação da matéria orgânica ali presente, causando assim uma mortandade dos animais que ali habitam, pois não existirá um saldo de oxigênio para eles. A DBO é um excelente índice para indicar a eficiência do tratamento de esgotos (PIVELI, 2005).

A DBO filtrada (DBOf) corresponde à análise de DBO de uma amostra de efluente anteriormente filtrada.

2.4.5 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Assim como a DBO, a DQO corresponde à quantidade necessária de oxigênio para degradação da matéria orgânica presente no efluente, porém nesta trata-se da degradação por processos químicos e não biológicos. A análise deste índice pode ser feita em algumas horas e também é de fundamental importância para a determinação do grau de poluição e, por conseguinte, do tratamento a ser utilizado.

É importante ressaltar que a DQO é sempre maior que a DBO. Isto acontece porque a DBO está relacionada apenas à matéria biodegradável, enquanto a DQO está relacionada a qualquer material presente no meio que possa sofrer uma oxidação. (MONTANO, 2017)

A DQO filtrada (DQOf) corresponde à análise de DQO de uma amostra de efluente anteriormente filtrada.

2.4.6 Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio está presente em efluentes sob quatro formas, que são o nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrito e nitrato. Em águas residuárias domésticas, o nitrogênio está presente principalmente como nitrogênio amoniacal (em torno de 60%) e nitrogênio orgânico (em torno de 40%) (MONTANO, 2017).

O nitrogênio é um importante nutriente para o desenvolvimento de seres vivos, porém caso exista um excesso de sua presença, ocorrerá um crescimento exagerado de microrganismos, levando o corpo d'água a ser eutrofizado. Além disso, a amônia livre é tóxica aos peixes.

2.4.7 Coliformes Termotolerantes

De acordo com a resolução CONAMA n° 375, de 17 março de 2005, coliformes termotolerantes são: Bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal

Uma das bactérias mais conhecidas é a *Escherichia coli* (*E. Coli*). A presença desse microrganismo no efluente ou na água pode ser indicativo de contaminação por fezes, assim, a avaliação da presença desta bactéria é muito importante para que exista a prevenção de doenças transmitidas pelo meio hídrico.

2.5 Monitoramento da qualidade dos efluentes

As estações de tratamento de esgotos devem ser constantemente monitoradas para que exista a certeza de que o efluente está saindo de acordo com os padrões pré-estabelecidos em resolução. Esta supervisão deve ser feita, principalmente, pelo acompanhamento dos indicadores de desempenho (JORDÃO;PESSÔA, 2011).

Ter a certeza de que o efluente está saindo na qualidade correta é de fundamental importância, pois a lei 9605, de 12 de fevereiro de 1998, diz que:

Art. 33. Provocar, pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais, o perecimento de espécimes da fauna aquática existentes em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras:

Pena - detenção, de um a três anos, ou multa, ou ambas cumulativamente.

2.6 Lógica *Fuzzy*

A lógica traz como significado a ciência do raciocínio, muitas vezes ligada como a forma correta de raciocinar. Ela se faz presente na humanidade há muitos anos e à medida que o tempo foi passando e outras necessidades surgindo a lógica foi se reinventando.

Um dos primeiros pensadores que introduziu o assunto foi Aristóteles com a Lógica Aristotélica, que, resumidamente, diz que é possível obter conclusões a partir de noções prévias do assunto. Uma frase do pensador que ficou bastante conhecida e exemplifica bem a sua teoria é: “Todos os homens são mortais. Sócrates é homem. Logo, Sócrates é mortal”.

Com o surgimento da era dos computadores surgiu também a Lógica Binária, conhecida também como Booleana, que é um sistema que permite a construção de modelos matemáticos para o uso computacional. Nesse modelo apenas existe o verdadeiro e o falso que em termos matemáticos computacionais vira 1 e 0, respectivamente.

Porém, nem tudo é verdadeiro ou falso. Entre essas duas afirmações existe um longo caminho. Por exemplo, se for considerado que uma pessoa alta é aquela que tem por altura 1,71m e fulano tem por altura 1,69m, fulano também é considerado alto ou não? Para indagações como esta surgiu a Lógica *Fuzzy* que tenta especificar conceitos vagos como alto, baixo, maior ou menor, por exemplo.

A primeira noção da lógica dos conceitos “vagos” foi desenvolvida por Jan Lukasiewicz (1878-1956) em 1920 que introduziu conjuntos com graus de pertinência sendo 0, $\frac{1}{2}$ e 1 e, mais tarde, expandiu para um número infinito de valores entre 0 e 1.

Lotfi Asker Zadeh, professor em Berkeley, Universidade da Califórnia, criou a lógica *Fuzzy*, combinando os conceitos de lógica existentes com os de Lukasiewicz. A primeira publicação sobre lógica *Fuzzy* data de 1965, quando recebeu este nome.

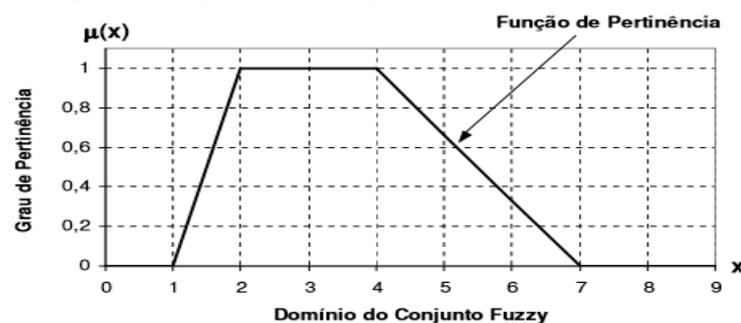
Na lógica *Fuzzy*, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto *Fuzzy* de qualquer conjunto parcialmente ordenado, ao contrário dos sistemas lógicos binários, onde o valor verdade só pode assumir dois valores: verdadeiro (1) ou falso (0) (COSTA, 2012).

Ao contrário da lógica convencional, a lógica *Fuzzy* utiliza a ideia de que todas as coisas admitem (temperatura, altura, velocidade, etc.) graus de pertinências. Com isso, a lógica *Fuzzy* tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano (MARRO et al, 2010).

Retomando como exemplo o caso das pessoas com 1,69m e 1,71m. Supondo que no intervalo de 1,50m \leq altura $<$ 1,70m alguém seja considerado baixo, no intervalo de 1,70m \leq altura $<$ 1,80m alguém seja considerado mediano e no intervalo de 1,80m \leq altura $<$ 2,00m alguém seja considerado alto. Na lógica convencional o sujeito com altura de 1,69m é considerado baixo e o sujeito com altura de 1,71m é considerado mediano. Porém, na vida real, dificilmente duas pessoas com diferença de altura como a deste caso estariam em classes diferentes.

Na lógica *Fuzzy*, devido aos graus de pertinência, isso não aconteceria. Ou seja, poderia ser determinado o quanto as alturas de 1,69m e a de 1,71m pertencem ao conjunto baixo ou ao conjunto alto. A figura 2 a seguir ilustra um conjunto *Fuzzy*.

Figura 2: Representação gráfica de um conjunto *Fuzzy*



Fonte: Renteria (2006)

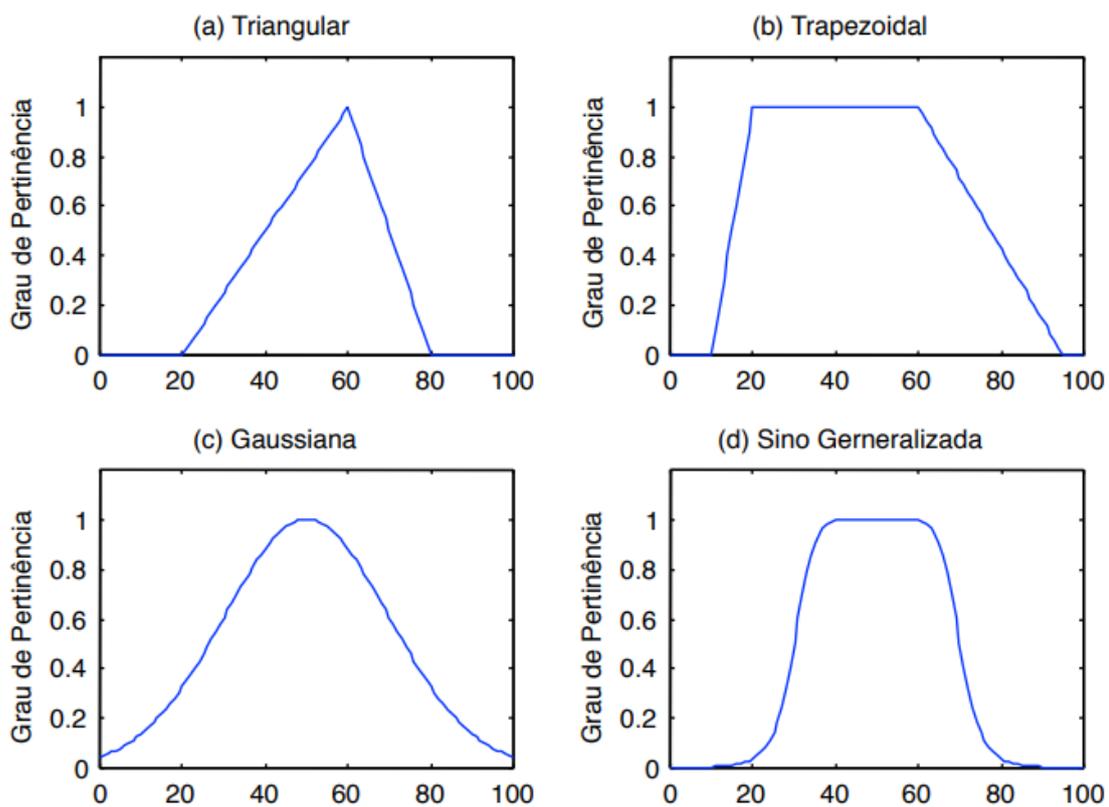
Como pode ser visto, na figura 2, cada função de pertinência estabelece um conjunto *Fuzzy*, \tilde{A} , do conjunto universal, U , através da atribuição de um grau de pertinência, $\mu_A(x)$, entre 0 e 1 para cada elemento x de U . Este grau de pertinência representa o quanto é possível que x pertença ao conjunto \tilde{A} .

2.7 Representação de número *Fuzzy*

Um número *Fuzzy* pode ser representado de diversas formas, as quais dependem da escolha da função de pertinência a ser utilizada. Essa escolha depende do problema que será tratado e, também, dos recursos computacionais disponíveis. As funções não-lineares são as mais indicadas para problemas complexos mas exigem uma maior utilização computacional.

Os números *Fuzzy* triangular e o trapezoidal são os dois mais utilizados e formam funções de pertinência simples. Existem também as representações gaussianas e seno generalizadas. Neste trabalho será utilizada a representação triangular que será tratada posteriormente. Na figura 3 abaixo pode-se perceber algumas formas de representação de números *Fuzzy*.

Figura 3: Algumas formas de representação de números *Fuzzy*

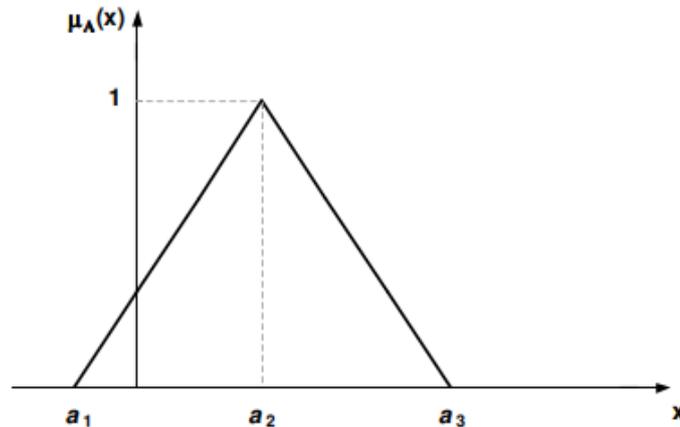


Fonte: PRATI (2011)

2.7.1 Número *Fuzzy* Triangular (NFT)

Como dito anteriormente, a forma de representação triangular é uma das mais utilizadas. É representado por três pontos, onde cada um tem um grau de pertinência correspondente. A figura 4 abaixo representa graficamente o NFT:

Figura 4: representação gráfica de um NFT



Fonte: Renteria (2006)

No eixo x estão os valores da variável e no eixo y o grau de pertinência correspondente. Neste caso, as funções de pertinência poderiam ser representadas pelas seguintes equações:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 & (1) \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 & (2) \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 & (3) \\ 0, & x > a_3 & (4) \end{cases}$$

2.7.1.1 Operações com número Fuzzy triangular

Pode-se fazer as quatro operações básicas com números *Fuzzy* triangulares, porém elas têm algumas diferenças. Nas operações de adição e subtração tem-se que o resultado também é um número *Fuzzy* triangular. Porém, nas operações de multiplicação e divisão tem-se como resultado um número *Fuzzy* não triangular. Neste último caso, o resultado da operação é aproximado de forma que se obtenha números *Fuzzy* triangulares.

Essas operações são definidas da seguinte forma:

a) Adição:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (5)$$

b) Subtração:

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (6)$$

c) Multiplicação:

$$\tilde{A}(\bullet)\tilde{B} = [\min(a_1 \bullet b_1, a_1 \bullet b_3, a_3 \bullet b_1, a_3 \bullet b_3), a_2 \bullet b_2, \max(a_1 \bullet b_1, a_1 \bullet b_3, a_3 \bullet b_1, a_3 \bullet b_3)] = (a_1 \bullet b_1, a_2 \bullet b_2, a_3 \bullet b_3) \quad (7)$$

d) Divisão:

$$\tilde{A}/\tilde{B} = [\min(a_1/b_1, a_1/b_3, a_3/b_1, a_3/b_3), a_2/b_2, \max(a_1/b_1, a_1/b_3, a_3/b_1, a_3/b_3)] \quad (8)$$

2.8 Análise de Garantia

Para a implantação de qualquer estação de tratamento é necessário que as incertezas sejam praticamente nulas, para que seja obtido um efluente nos padrões exigidos por lei. A eficiência da ETE é um número muito importante para ter a certeza de que tudo está correndo da melhor maneira possível. Quanto maior a eficiência melhor o tratamento.

De acordo com os parâmetros exigidos em lei, a ETE estará falhando se o tratamento do efluente não estiver atingindo tais valores. A garantia de um processo está inteiramente ligada com o grau de falha, quanto menor o grau de falha, maior o grau de atendimento, e, portanto, maior a confiabilidade.

Existe um conceito em estatística que permite relacionar duas variáveis aleatórias X e Y. Esse conceito é chamado de função marginal. A função marginal é constituída pelos valores da variável aleatória e suas respectivas probabilidades marginais. A probabilidade para cada valor é obtida da seguinte forma:

$$\text{para X: } P(X = x_i) = P(x_i) = \sum_{j=1}^r P(x_i, y_j) \quad (9)$$

$$\text{para Y: } P(Y = y_j) = P(y_j) = \sum_{i=1}^r P(x_i, y_j) \quad (10)$$

Assim, torna-se possível definir a probabilidade de um parâmetro estar ou não dentro dos parâmetros exigidos.

2.9 Valor mais provável

Ao fazer experimentos em uma estação de tratamento, muitos valores são obtidos que, na maioria das vezes, são diferentes. Assim, é necessário que exista um estudo para saber qual o valor mais provável de um parâmetro e determinar o tipo de tratamento a ser feito.

De acordo com o postulado de Gauss: "O valor mais provável que uma série de medidas de igual confiança nos permite atribuir a uma grandeza é a média aritmética dos valores individuais da série."

2.10 Valores centrais

As funções de pertinência de um número *Fuzzy* triangular dependem de três variáveis, como pode ser visto no item 4.7.1. Um desses valores, o a_2 , é um valor central. No presente estudo esse valor central será variado pela média aritmética, média geométrica e mediana.

A média aritmética é calculada pela divisão da soma de todos os valores da amostra pela quantidade de valores:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} \quad (11)$$

A média geométrica de um conjunto de n dados é calculada pela raiz n -ésima da multiplicação desses dados:

$$\bar{X} = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \dots \cdot X_n} \quad (12)$$

A mediana é o número central de um conjunto de dados ordenados numericamente. Para encontrá-la basta ordenar os valores em ordem crescente, se o conjunto de dados for ímpar basta observar o valor central, que divide o conjunto ao meio, caso seja par, encontra-se os dois números centrais e calcula-se a média obtendo, assim, a mediana.

3 Metodologia

3.1. Sistema em estudo

O estudo deste trabalho foi realizado em uma série real de lagoas de estabilização localizadas na cidade de Caiçara do Rio do Vento no estado do Rio Grande do Norte. O sistema era composto por três tipos de lagoa, sendo essas, uma lagoa facultativa primária, seguida por uma lagoa de maturação primária e, por fim, uma lagoa de maturação secundária. A representação gráfica deste sistema pode ser observada na figura 5 abaixo:



Caiçara do Rio do Vento, município no estado do Rio Grande do Norte, localizado na microrregião de Angicos, distante 95 km da capital Natal. A figura 6 mostra a posição do município em relação ao estado.

Figura 6: Localização de Caiçara do Rio do Vento no Rio Grande do Norte



Fonte: Wikipedia (2018)

A série de lagoas em estudo estava localizada nas coordenadas geográficas: 5°45'27"S - 35°59'44"W, tinha uma vazão de 108 m³/dia e uma área superficial de aproximadamente 1120m². Esse sistema foi escolhido devido a disponibilidade de dados para o estudo.

3.2 Parâmetros analisados no estudo

O estudo realizado nas lagoas de estabilização foi feito sobre alguns parâmetros de monitoramento, que foram: Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Bioquímica de Oxigênio Filtrada (DBO_F), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Química de Oxigênio Filtrada (DQO_F), e nitrogênio amoniacal.

Os dados das amostras dos efluentes foram apanhados entre os meses de maio de 2009 e julho de 2010, com temperatura média de, aproximadamente 30°C. As análises foram feitas de acordo com os procedimentos especificados pela CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte).

3.3 Cálculo da garantia

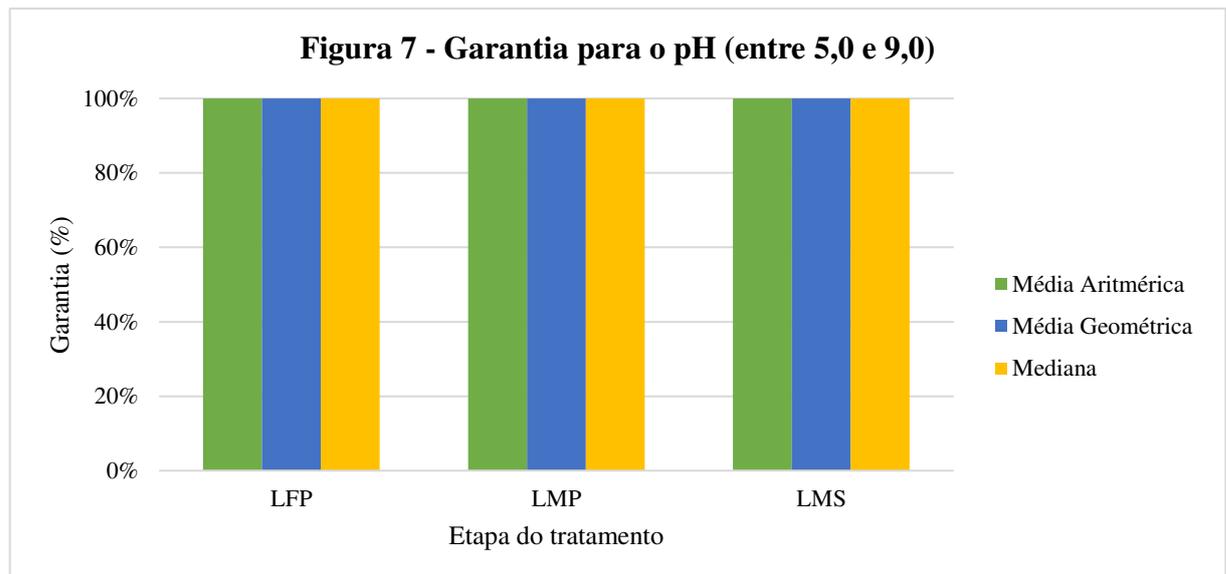
Para o cálculo da garantia, foram utilizadas as expressões mostradas no item 4.7.1, variando o valor central, a_2 , pela mediana, média aritmética e média geométrica.

4 RESULTADOS OBTIDOS

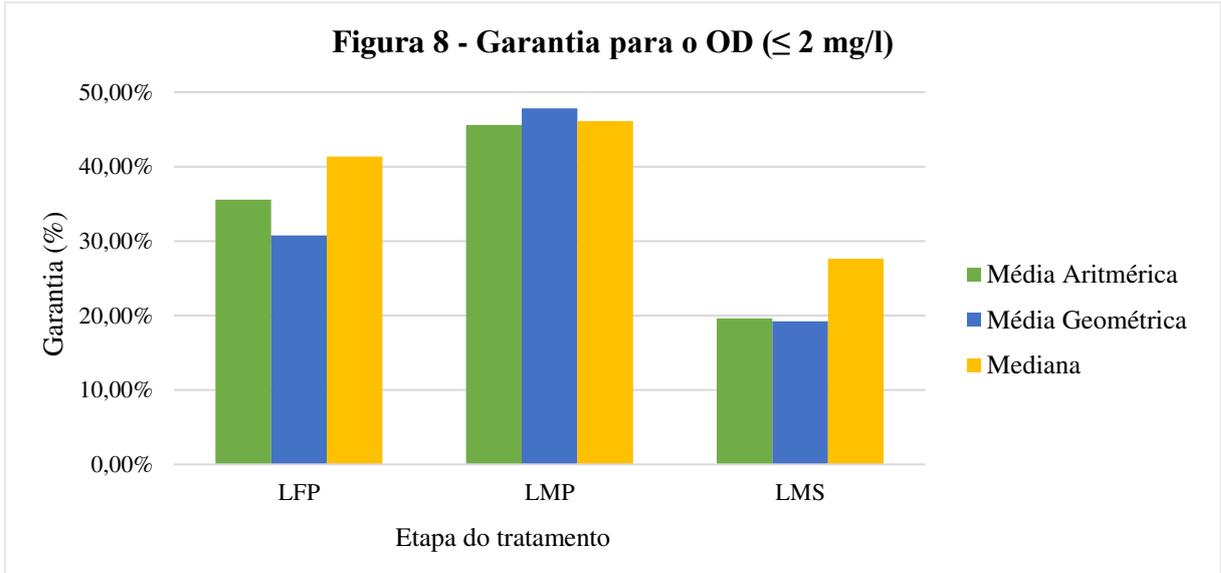
4.1 Garantia *Fuzzy*

De acordo com o que foi descrito no item 5.3 e utilizando os valores descritos no apêndice A foram obtidos os resultados apresentados no apêndice B.

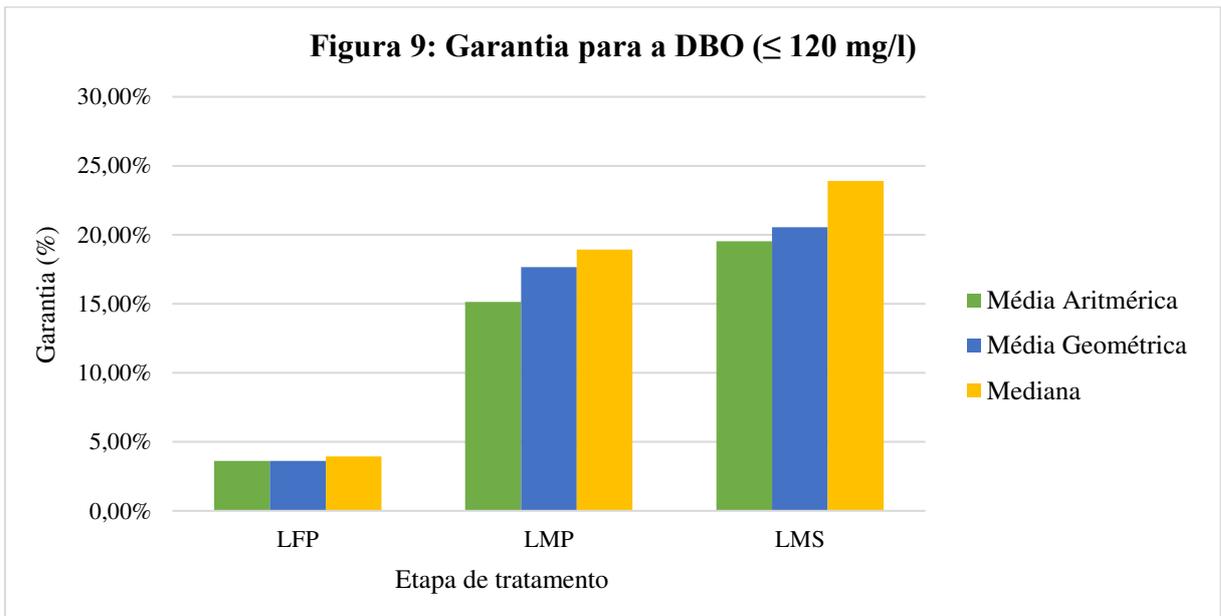
Afim de obter uma melhor visualização dos valores obtidos, seguem, em forma de gráfico, os valores obtidos para a Lagoa Facultativa Primária (LFP), Lagoa de Maturação Primária (LMP) e Lagoa de Maturação Secundária (LMS) com as variações dos valores centrais pela média aritmética, média geométrica e mediana.



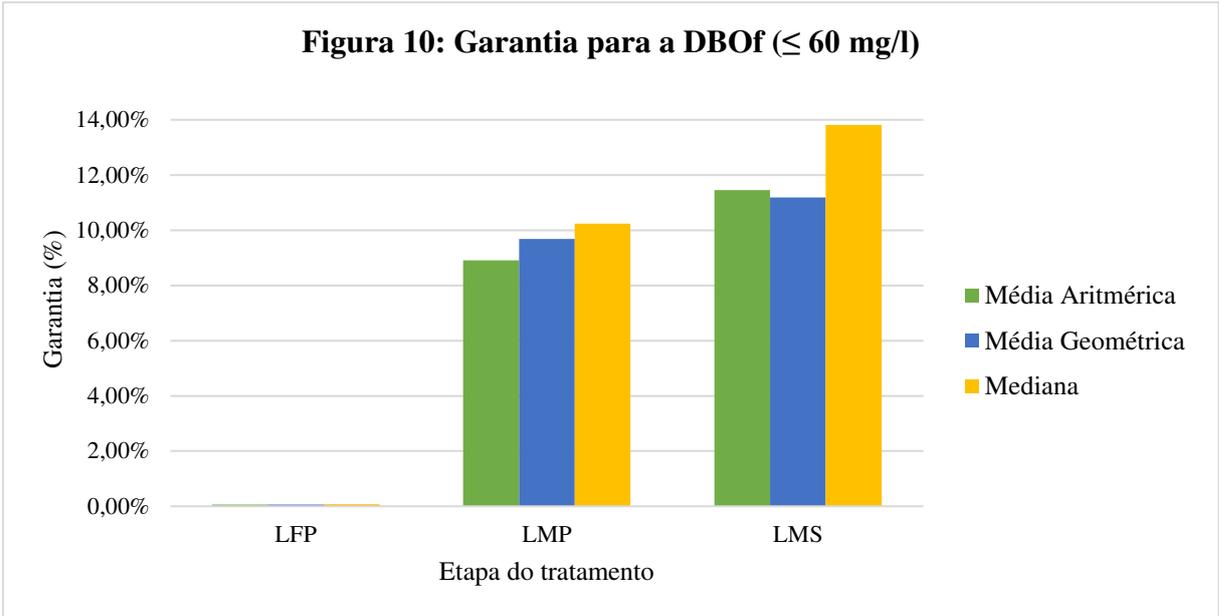
Fonte: elaborado pela autora (2018)



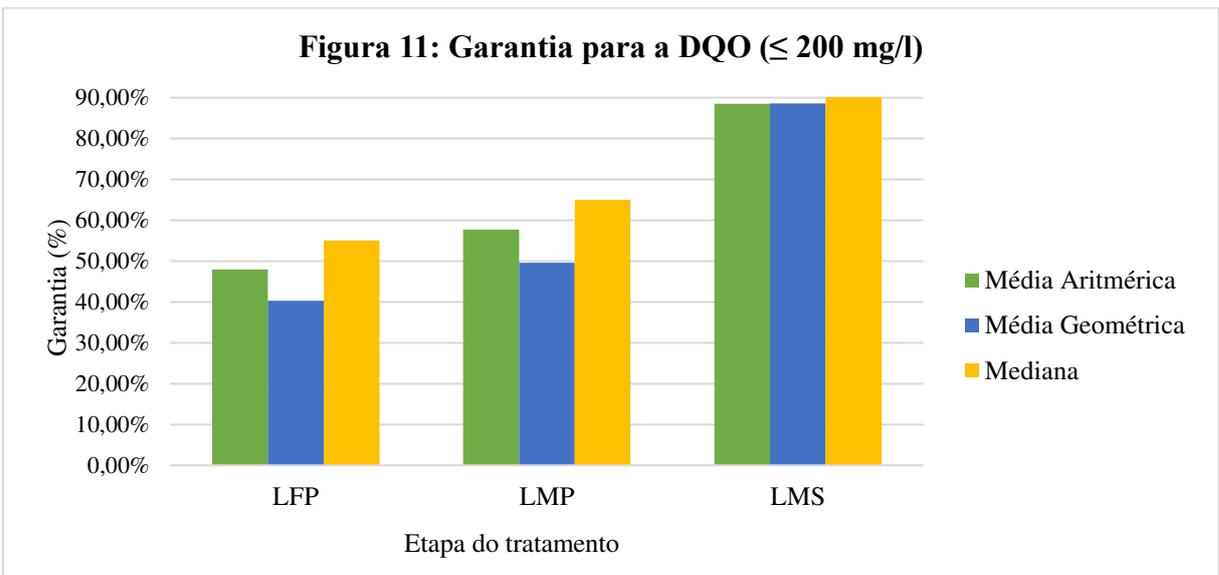
Fonte: elaborado pela autora (2018)



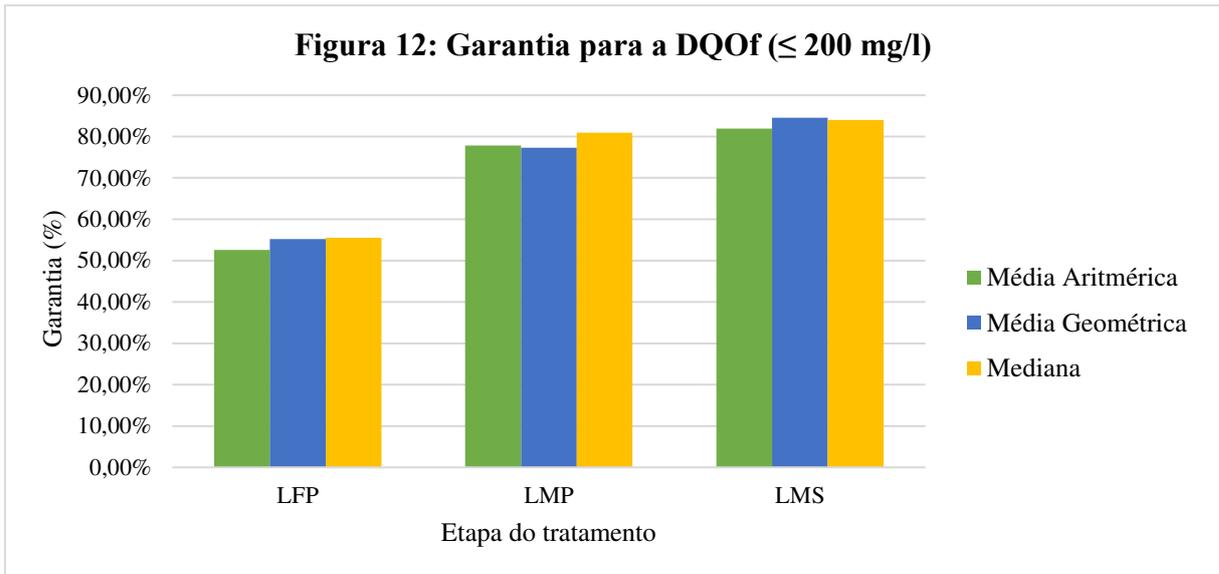
Fonte: elaborado pela autora (2018)



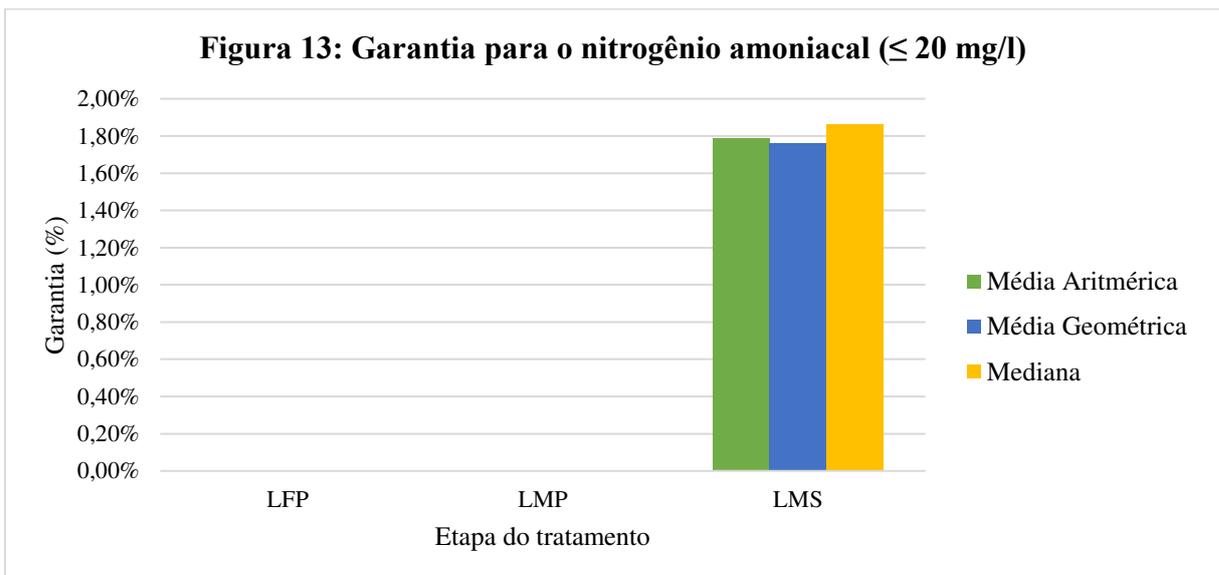
Fonte: elaborado pela autora (2018)



Fonte: elaborado pela autora (2018)



Fonte: elaborado pela autora (2018)



Fonte: elaborado pela autora (2018)

O esgoto bruto não foi analisado no estudo visto que é a fase do efluente que ainda não obteve nenhum tipo de tratamento.

O primeiro parâmetro analisado foi o pH e como pode ser visto, pelo gráfico 1, obteve um grande sucesso de confiabilidade, totalizando os 100% de garantia. Observa-se que por mais que os valores centrais sejam alterados a garantia permanece a mesma e isso ocorre em todas as etapas de tratamento.

O segundo parâmetro analisado foi o OD e, pelo gráfico 2, a garantia não passou de 50%. O melhor resultado foi o obtido na LMP com a média geométrica sendo o valor central, garantia essa de 47,83%. A variação do valor central teve pouca influência, sendo a maior diferença na LFP de 10,60% entre o maior e o menor valor de confiabilidade.

O terceiro parâmetro analisado foi a DBO e, pelo gráfico 3, observa-se que a remoção da matéria orgânica não foi eficiente, chegando ao valor máximo de 23,90% na LMS com a mediana sendo o valor central. A variação do valor central teve pouquíssima influência neste parâmetro.

O quarto parâmetro analisado foi a DBO_f e, pelo gráfico 4, observa-se que a garantia foi baixíssima em todas as etapas de tratamento. Na LFP existe um risco de praticamente 100%, nos tratamentos subsequentes a garantia não passou de 14,0%. A variação do valor central teve uma influência menor ainda que a da DBO.

O quinto parâmetro analisado foi a DQO e, pelo gráfico 5, observa-se que o grau de risco diminui para este parâmetro, obtendo uma confiabilidade de 90,17% na LMS com a mediana sendo o valor central. A variação do valor central teve alguma influência nas duas primeiras fases do tratamento, na LFP obteve-se uma diferença de 14,72% entre o cálculo feito com a mediana e com a média geométrica e na LMP obteve-se uma diferença de 15,43% entre o cálculo feito com a mediana e com a média geométrica.

Assim como na DQO a DQO_f obteve bons resultados de confiabilidade, sendo este o sexto parâmetro analisado. Observa-se, pelo gráfico 6, que o melhor resultado foi na LMP com a média geométrica sendo o valor central, garantia essa de 84,56%. A variação do valor central teve uma pouca influência.

O sétimo e último parâmetro analisado foi o nitrogênio amoniacal e, pelo gráfico 7, observa-se que o grau de risco é altíssimo. Nas duas primeiras fases de tratamento houve falha total na remoção do mesmo. Na LMS a garantia não chegou a 2,0%. A variação do valor central teve pouquíssima influência, sendo praticamente inexistente.

4.2 Análise em relação ao trabalho de BESSA (2017)

A garantia de um sistema de tratamento também pode ser calculada com base em distribuições estatísticas como a Normal, Log Normal, Gama e Weibull. Fazendo um paralelo

com o trabalho de conclusão de Bessa (2017) pode-se comparar os resultados obtidos pelas distribuições estatísticas e por número *Fuzzy* triangular.

Bessa (2017) utilizou a mesma estação de tratamento, mesmos dados, parâmetros e padrões de lançamento considerados neste estudo.

Em relação ao primeiro parâmetro do estudo, o pH, os valores estão bem equiparados. Bessa (2017), encontrou valores próximos à 100%, os mesmos encontrados utilizando NFT.

O segundo parâmetro do estudo foi o OD, Bessa (2017) encontrou valores acima de 50,0% para as três fases do tratamento, já utilizando a abordagem do NFT a garantia não passou de 48,0%.

A garantia para a DBO foi praticamente a mesma nos dois estudos. Bessa (2017) encontrou garantia de 5,44%, 21,37% e 25,03% para a LFP, LMP, LMS, respectivamente. Valores esses bem próximos aos encontrados pela abordagem do NFT. A DBO_f também manteve essa configuração.

O quinto parâmetro em estudo foi a DQO que também obteve valores aproximados nos dois estudos. Em relação a DQO_f o único valor destoante foi na LFP. Bessa (2017) encontrou 81,25% de garantia, pela abordagem do NFT a garantia foi de 55,5%.

O sexto e último parâmetro abordado foi o nitrogênio amoniacal que pela abordagem do NFT obteve valor 0,0% nas duas primeiras fases e 2,0% na última. Bessa (2017) encontrou valores 1,3%, 2,2% e 3,8% para cada uma das fases de tratamento, respectivamente.

5 CONCLUSÃO

Com o presente estudo foi possível obter os valores de garantia e, por conseguinte, o grau de falha dos sete parâmetros, já mencionados, na estação de tratamento de Caiçara. Dos sete parâmetros, o pH foi o que obteve melhores resultados nas três fases de tratamento. O OD obteve valores razoáveis de garantia, a DBO, DBO_f apresentaram risco consideráveis e, por fim, a garantia no processo de remoção de nitrogênio amoniacal foi de 0,0% nas duas primeiras fases do tratamento e de 1,8% na última, demonstrando um alto risco de falha para esse parâmetro.

A mudança dos valores centrais não teve grande influência no resultado final da garantia em praticamente todos os parâmetros. A maior influência foi na análise da DQO em suas duas primeiras fases do tratamento, na LFP obteve-se uma diferença de 14,72% entre o cálculo feito com a mediana e com a média geométrica e na LMP obteve-se uma diferença de 15,43% entre o cálculo feito com a mediana e com a média geométrica.

A análise da correlação entre a obtenção dos valores de garantia pela abordagem da lógica *Fuzzy* e distribuições estatísticas mostra que na maioria dos parâmetros os resultados obtidos são praticamente os mesmos. A maior diferença foi na DQO_f, na etapa de LFP, Bessa (2017) encontrou 81,25% de garantia e, pela abordagem do NFT, a garantia foi de 55,5%.

Assim, observa-se que os objetivos propostos foram alcançados.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTUROS

Para os trabalhos futuros sugere-se que sejam utilizados uma maior quantidade de dados e que sejam utilizadas outras formas de representação de número *Fuzzy* afim de entender a que melhor se adequa à distribuição dos dados utilizados.

REFERÊNCIAS

- 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, **Resolução CONAMA nº430**, de 30 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicado no D.O.U.
- BESSA, Nicolas. **Distribuições Estatísticas Dominantes em Parâmetros de Monitoramento de um Sistema de Lagoas de Estabilização**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2017.
- COSTA, Claudiene Gomes da. **Probabilidades imprecisas; intervalar, Fuzzy, e Fuzzy intuicionista**. Natal, RN, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15202/1/ClaudileneGC_TESE.pdf>. Acessado em: 10/03/2018.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de Esgotos Doméstico**. 4. ed. Rio de Janeiro: S.n., 2005. 932 p.
- MARRO, A. A.; SOUZA, A. M. C.; CAVALCANTE, E. R. S.; BEZERRA, G. S.; NUNES, R. O. **Lógica Fuzzy: Conceitos e aplicações**. Natal, 2010.
- MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2012. 524 p.
- MONTANO, JULIANO. **Principais parâmetros de análise de efluentes para lançamento em corpos d'água**. 2017. Disponível em: <<http://ambientesst.com.br/principais-parametros-de-analise-de-efluentes/>>. Acessado em: 16/05/2018.
- PRATI, RONALDO. **Inteligência artificial – aula Fuzzy**. Universidade Federal do ABC, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://professor.ufabc.edu.br/~ronaldo.prati/InteligenciaArtificial/AulaFuzzy.pdf>>. Acesso em: 20/03/2018
- PIVELI, ROQUE PASSOS. **Curso: “Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos” - Aula 10 oxigênio dissolvido e matéria orgânica em águas**. 2005. Disponível em: <[http://www.esalq.usp.br/departamentos/le b/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%2010z%20-%20Oxigenio%20Dissolvido%20e%20Materia_Organica.pdf](http://www.esalq.usp.br/departamentos/le%20b/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%2010z%20-%20Oxigenio%20Dissolvido%20e%20Materia_Organica.pdf)> Acessado em: 23/05/2018.
- RENTERIA, A. R. **Estimação de probabilidade Fuzzy a partir de números imprecisos**. 2006. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SNSA. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Águas e Esgoto – 2015**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p. : il.

VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP**. Eclética Química. Fundação Editora da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, v. 22, p. 49-66, 1997. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/27643>>.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade da água e ao tratamento de esgoto**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2013. 240p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

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

APÊNDICE A – DADOS PARA ANÁLISE

Quadro 3: dados para lagoa facultativa primária

Lagoa Facultativa Primária							
	pH	OD Frasco (mg/L)	DBO (mg/L)	DBO filtrada (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO filtrada(mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
Média	7,82	2,25	237,35	144,67	457,23	124,17	29,43
Mediana	7,82	2,60	237,38	147,50	529,26	103,95	28,76
Média Geométrica	7,82	1,93	223,74	137,31	396,60	101,45	29,03
Mínimo	7,37	0,00	76,55	57,00	76,92	24,19	21,91
Máximo	8,30	5,00	402,10	222,22	840,16	471,31	41,23

Fonte: elaborado pela autora (2018)

Quadro 4: dados para lagoa de maturação primária

Lagoa de Maturação Primária							
	pH	OD Frasco (mg/L)	DBO (mg/L)	DBO filtrada (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO filtrada(mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
Média	7,60	1,69	198,93	124,65	405,54	111,42	29,42
Mediana	7,59	1,55	173,17	116,00	469,63	116,48	28,67
Média Geométrica	7,59	1,66	162,67	104,49	325,36	78,29	29,01
Mínimo	7,13	0,00	18,63	16,00	78,43	15,00	20,38
Máximo	8,06	5,50	395,22	229,61	790,32	317,62	40,40

Fonte: elaborado pela autora (2018)

Quadro 5: dados para lagoa de maturação secundária

Lagoa de Maturação Secundária							
	pH	OD Frasco (mg/L)	DBO (mg/L)	DBO filtrada (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO filtrada(mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
Média	7,77	2,85	178,73	107,91	270,33	123,01	27,16
Mediana	7,71	2,90	171,00	110,00	269,12	95,00	27,27
Média Geométrica	7,77	2,05	149,71	92,34	215,94	102,02	26,82
Mínimo	7,38	0,10	19,65	17,00	34,78	32,00	18,35
Máximo	8,40	6,80	343,61	194,70	594,26	286,89	35,66

Fonte: elaborado pela autora (2018)

Quadro 7: padrão de lançamento para cada parâmetro

Parâmetro	Padrão de lançamento
pH	5 a 9
OD	$\geq 2\text{mg/l}$
DBO	$\leq 120\text{mg/l}$
DBOf	$\leq 60\text{mg/l}$
DQO	$\leq 450\text{mg/l}$
DQOf	$\leq 200\text{mg/l}$
Nitrogênio amoniacal	$\leq 20\text{mg/l}$

Fonte: elaborado pela autora (2018)

APÊNDICE B – CALCULO DO NÚMERO FUZZY TRIANGULAR

Quadro 7: Garantia para o pH (entre 5 a 9)

Etapa do monitoramento	Medida central	Média Aritmética	Média Geométrica	Mediana
Lagoa facultativa primária		100,00%	100,00%	100,00%
Lagoa de maturação primária		100,00%	100,00%	100,00%
Lagoa de maturação secundária		100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Quadro 8: Garantia para o OD (≥ 2 mg/l)

Etapa do monitoramento	Medida central	Média Aritmética	Média Geométrica	Mediana
Lagoa facultativa primária		35,56%	30,77%	41,37%
Lagoa de maturação primária		45,62%	47,83%	46,11%
Lagoa de maturação secundária		19,59%	19,24%	27,63%

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Quadro 9: Garantia para a DBO (≤ 120 mg/l)

Etapa do monitoramento	Medida central	Média Aritmética	Média Geométrica	Mediana
Lagoa facultativa primária		3,61%	3,61%	3,94%
Lagoa de maturação primária		15,13%	17,66%	18,94%
Lagoa de maturação secundária		19,54%	20,54%	23,90%

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Quadro 10: Garantia para a DBO_f (≤ 60 mg/l)

Etapa do monitoramento	Medida central	Média Aritmética	Média Geométrica	Mediana
Lagoa facultativa primária		0,06%	0,06%	0,07%
Lagoa de maturação primária		8,91%	9,68%	10,24%
Lagoa de maturação secundária		11,45%	11,19%	13,81%

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Quadro 11: Garantia para a DQO (≤ 450 mg/l)

Etapa do monitoramento	Medida central	Média Aritmética	Média Geométrica	Mediana
Lagoa facultativa primária		47,95%	40,32%	55,04%
Lagoa de maturação primária		57,72%	49,58%	65,01%
Lagoa de maturação secundária		88,52%	88,56%	90,17%

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Quadro 12: Garantia para a DQOf (≤ 200 mg/l)

Etapas do monitoramento	Medida central	Média Aritmética	Média Geométrica	Mediana
Lagoa facultativa primária		52,58%	55,19%	55,49%
Lagoa de maturação primária		77,83%	77,27%	80,90%
Lagoa de maturação secundária		81,93%	84,56%	83,98%

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Quadro 13: Garantia para o nitrogênio amoniacal (≤ 20 mg/l)

Etapas do monitoramento	Medida central	Média Aritmética	Média Geométrica	Mediana
Lagoa facultativa primária		0,00%	0,00%	0,00%
Lagoa de maturação primária		0,00%	0,00%	0,00%
Lagoa de maturação secundária		1,79%	1,76%	1,86%

Fonte: Elaborado pela autora (2018)