

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) OPERADA PELA
CAESB: ESTUDO DE CASO DA ETE PLANALTINA

BRUNA RODRIGUES ARAGÃO

ORIENTADORA: ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: MAIO/2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) OPERADA PELA
CAESB: ESTUDO DE CASO DA ETE PLANALTINA**

BRUNA RODRIGUES ARAGÃO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

Ariuska Karla Barbosa Amorim, DSc (ENC - UnB)
(ORIENTADOR)

Yovanka Pérez Ginoris, DSc (ENC- UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

Vinicius Mendes Bertolossi (CAESB)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 17 DE MAIO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAGÃO, BRUNA RODRIGUES

TÍTULO. Avaliação de Desempenho de Estação de tratamento de Esgoto (ETE)

Operada pela CAESB: Estudo de Caso da ETE Planaltina

ix, 68 p.210x297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Avaliação de Desempenho

2. Confiabilidade

3. Eficiência

4. Estabilidade

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAGÃO, B.R (2021). Avaliação de Desempenho de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Operada pela CAESB: Estudo de Caso da ETE Planaltina. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 67p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bruna Rodrigues Aragão

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação de Desempenho de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Operada Pela CAESB: Estudo de Caso da ETE Planaltina

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

NOME: Bruna Rodrigues Aragão

EMAIL: brunaaragaor@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos vão a Universidade de Brasília – UnB, por me acolher durante esses 6 anos de graduação, por me proporcionar momentos inesquecíveis, foi minha segunda casa durante todos esses anos. Lá me permite viver, chorei, sorri, me apaixonei, briguei, construí relações de amizade para a vida. Sei que vou sentir saudade dos pequenos momentos vivenciados no cotidiano, como ficar feliz que o almoço do dia no RU era carne de sol com mandioca, ou de marcar em tomar um cafezinho com os amigos na lanchonete da FT, até mesmo, cantar Evidências todos os anos RU, ir de rosa na quarta-feira do dia 03 de outubro, e de dormir/fofocar no CA. Esse texto, jamais será nossa despedida, é apenas um agradecimento, então, obrigada UnB, por promover anos incríveis e por me criar para vida. Nossa trajetória foi linda, mas ainda teremos grandes momentos para apreciar.

Também gostaria de agradecer a CAESB por fornecer todos os dados necessário para a concretização da pesquisa, além disso, ao Vinicius, gestor da ETE Planaltina, por disponibilizar seu tempo para realização da visita técnica à ETE. Gostaria de gratificar a Prof^a. Ariska Amorim, por me orientar e incentivar durante todo o período de produção do projeto. E a Prof^a. Yovanka e ao Vinicius por aceitar o convite de avaliadores da minha banca. Por fim, agradecer aos meus amigos e familiares que sempre me forneceram apoio e confortos.

RESUMO

Palavras-chave: Avaliação de Desempenho, Confiabilidade, Eficiência e Estabilidade,

No presente trabalho, foi realizado um estudo abrangente do desempenho do sistema operacional da Estação de Tratamento de Esgoto de Planaltina, apresentando uma análise de confiabilidade ao padrão de lançamento. Adotando o uso de estatísticas preliminares para caracterizar os conjuntos de dados das concentrações afluente e efluente dos constituintes de DBO, DQO, SST e CT, foi realizada, também, uma análise comparativa entre as concentrações usuais expostas na literatura com as concentrações médias, obtidas por meio da estatística descritiva, do esgoto bruto, do efluente tratado e também da eficiência de remoção da ETE Planaltina. Os resultados mostram que as concentrações dos afluentes apresentam valores elevados em relação às faixas usuais da literatura, entretanto, para o efluente tratado as médias das concentrações correspondem as variações esperadas, mostrada na literatura. A ETE Planaltina apresenta eficiências de remoção elevada para matéria orgânica e patógenos, e uma eficiência significativa para SST. Foram determinados, também, o modelo distributivo de probabilidade que melhor se ajusta aos comportamentos dos valores de concentração dos constituintes do efluente final, com o objetivo de avaliar a estabilidade e a confiabilidade do sistema operacional, considerando os padrões de lançamento estabelecido pela resolução CONAMA n° 357/2005 e 430/2011 e na literatura. Além disso, considerando uma análise da qualidade da água do Ribeirão Mestre D'Armas, corpo receptor da ETE Planaltina, os resultados apresentaram conformidade com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA n° 430/11 para classe III. A estação de tratamento de esgoto Planaltina apresentou uma alta eficiência em remoção dos constituintes e um desempenho satisfatório aos padrões de lançamento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL.....	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
3.1 CARACTERÍSTICAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS.....	10
3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	12
3.3 REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO – UASB.....	16
3.4 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	17
3.4.1 Lagoa Facultativa	18
3.4.2 Lagoa de Maturação	20
3.5 SISTEMA UASB + PÓS-TRATAMENTO	21
3.6 DESCRIÇÃO DE MODELOS ESTATÍSTICOS.....	22
3.6.1 Estatísticas descritivas	22
3.6.2 Distribuições de probabilidade	28
3.7 ESTUDO DE CASO: ETE PLANALTINA.....	30
4. METODOLOGIA	34
4.1 FASE 1: CARACTERIZAÇÃO DA ETE PLANALTINA.....	35
4.2 FASE 2: DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS	36
4.3 FASE 3: ANÁLISE DOS DADOS COM FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS.....	37
4.4 FASE 4: ANÁLISES E RECOMENDAÇÕES	39
5. RESULTADOS.....	40
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS	40
5.2 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO	45
5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DOS CONSTITUINTES	47
5.4 CONFIABILIDADE AO PADRÃO DE LAÇAMENTO	50
5.5 ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO MESTRE D’ARMAS	56
6. CONCLUSÃO.....	63
7. RECOMENDAÇÕES	65
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Digestão anaeróbia (adaptado de Chernicharo, 2009).....	15
Figura 3.2 - Desenho esquemático de um reator UASB (Chernicharo,2016).....	17
Figura 3.3 - Esquema simplificado da Lagoa Facultativa (Von Sperling, 2018).....	19
Figura 3.4 - Identificação dos quartis (Akanime, 2013).....	25
Figura 3.5 - Tipos de distribuição em relação à curtose (Akanime, 2013).....	27
Figura 3.6 - Fluxograma da ETE Planaltina (SIESG - 2014).....	31
Figura 3.7 - Mapa de Localizada da ETE Planaltina e do Ribeirão Mestre D'Armas.....	33
Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia de estudo.....	34
Figura 4.2 - Imagens dos sistemas operacionais da ETE Planaltina (Imagens obtidas em 09/02/2021).....	35
Figura 5. 1- Concentração média do afluente e efluente dos constituintes.....	41
Figura 5. 2 - Série Temporal dos Constituintes - Médias de cada mês dos anos (2017 – 2020)	44
Figura 5. 3 - Eficiências médias de remoção dos diversos constituintes.....	46
Figura 5. 4 - Eficiências médias de remoção CT em unidade log.....	46
Figura 5. 5 - Gráficos de Probabilidade para verificação de aderência à distribuição normal e lognormal.....	49
Figura 5. 6 - Gráficos de dispersão das concentrações das médias mensais (2017 até 2020) de DBO com representação dos limites adotados para lançamento de efluente no corpo receptor e do valor médio do conjunto de dados da variável analisada.	51
Figura 5. 7 - Gráficos de dispersão das concentrações das médias mensais (2017 até 2020) de DQO com representação dos limites adotados para lançamento de efluente no corpo receptor e do valor médio do conjunto de dados da variável analisada.	53
Figura 5. 8 - Gráficos de dispersão das concentrações das médias mensais (2017 até 2020) de SST com representação dos limites adotados para lançamento de efluente no corpo receptor e do valor médio do conjunto de dados da variável analisada.	54
Figura 5. 9 - Gráficos de dispersão das concentrações das médias mensais (2017 até 2019) de CT com representação dos limites adotados para lançamento de efluente no corpo receptor e do valor médio do conjunto de dados da variável analisada.	56
Figura 5. 10 - Localização dos pontos de monitoramento do Mestre D'Armas.....	58

Figura 5. 11 - Resultados do Monitoramento de Qualidade da Água realizado no ribeirão Mestre D'Armas, no ponto CRP.MDR.030	59
Figura 5. 12 - Proporção de dados em conformidade ao padrão estabelecidos para as variáveis determinadas.....	60
Figura 5. 13 - Resultados do Monitoramento de Qualidade da Água realizado no ribeirão Mestre D'Armas, no ponto CRP.MDR.040.	61
Figura 5. 14 - Proporção de dados em conformidade ao padrão estabelecidos para as variáveis determinadas.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Principais Parâmetros Qualitativos das Ágs Residuárias	10
Tabela 3.2 -Classificação da matéria sólida (von Sperling, 1986 - adaptado)	11
Tabela 3.3 – Principais tipos de tecnologias utilizados para tratamento de esgotos nível secundário (Campos, 1999)	13
Tabela 3.4 - Equilíbrio entre o consumo e produção de oxigênio dissolvido e gás carbônico nas lagoas (Von Sperling, 1996, adaptado)	18
Tabela 3.5 - Esgotamento sanitário do domicílio, Planaltina, Distrito Federal, 2018.....	30
Tabela 5. 1 - Estatísticas descritivas referente às concentrações dos constituintes.....	40
Tabela 5. 2 - Analogia entre concentrações afluentes típicas da literatura e reais da ETE Planaltina (Adaptado de von Sterling, 2005).....	43
Tabela 5. 3 - Analogia entre concentrações efluentes típica da literatura e reais da ETE Planaltina (Adaptado de von Sterling, 2005).....	43
Tabela 5. 4 - Coeficiente de Variação (CV) dos constituintes afluentes e efluentes.....	45
Tabela 5. 5 - Estatística descritiva referentes às eficiências de remoção dos constituintes	45
Tabela 5. 6 - Analogia entre concentrações eficiência de remoção literais e reais da ETE Planaltina (Adaptado von Sterling, 2005)	47
Tabela 5. 7 - Teste de Normalidade Shapiro-Wilk.....	48
Tabela 5. 8 - Teste de Normalidade D'Agostino-Pearson	48
Tabela 5. 9 - Percentual de confiabilidade de DBO para os padrões de lançamento adotados.	52
Tabela 5. 10 - Percentual de confiabilidade de DQO para os padrões de lançamento adotados	53
Tabela 5. 11 - Percentual de confiabilidade de SST para os padrões de lançamento adotados	55
Tabela 5. 12 - Percentual de confiabilidade de CT para os padrões de lançamento adotados	56

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3. 1 - Média Aritmética.....	23
Equação 3. 2 - Média Geométrica.....	23
Equação 3. 3 - Média Ponderada.....	23
Equação 3. 4 – Amplitude.....	24
Equação 3. 5 – Variância.....	24
Equação 3. 6 - Desvio Padrão.....	24
Equação 3. 7 - Coeficiente de Variação.....	25
Equação 3. 8 - Primeiro Quartil.....	26
Equação 3. 9 - Terceiro Quartil.....	26
Equação 3. 10 – Percentil.....	26
Equação 3. 11 - Coeficiente de Assimetria.....	27
Equação 3. 12 - <i>f_{dp}</i> da distribuição normal.....	29
Equação 3. 13 - Padronizando uma variável aleatória normal.....	29
Equação 3. 14 - <i>f_{dp}</i> Distribuição Lognormal.....	29
Equação 4. 1 - Concentração Média do constituinte.....	38
Equação 4. 2 - Coeficiente de Confiabilidade (CDC).....	38
Equação 4. 3 - Variável normal.....	39

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

1. CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
2. CH₄ – Metano
3. CO – Monóxido de Carbono
4. CO₂ – Dióxido de Carbono
5. CT – Coliformes Termotolerantes
6. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
7. DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
8. DQO – Demanda Química de Oxigênio
9. ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
10. H₂ - Hidrogênio
11. H₂O – Água
12. H₂S – Ácido Sulfídrico
13. NH₃ - Amônia
14. O₂ – Oxigênio
15. PDAD – Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios
16. PROSAB - Programa Nacional de Pesquisas em Saneamento Básico
17. pH – Potencial Hidrogeniônico
18. RA- Região Administrativa
19. SST – Sólidos Suspensos Totais
20. SIESG Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal
21. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
22. RAFA – Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo
23. UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico é conceituado como um conjunto de ações que possa propiciar qualidade de vida para a sociedade e proteção do meio ambiente, promovendo saúde, segurança e bem-estar para a população. O desenvolvimento de um país depende dos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de águas residuárias, drenagem urbana de águas pluviais e manejo dos resíduos sólidos, sendo atividades que exigem dos seus prestadores transparência, continuidade, qualidade, eficiência e eficácias.

A Lei nº 11.445 de 2007 atribuiu responsabilidades para entidades reguladoras, estabelecendo diretrizes nacionais para o saneamento básico. Com o objetivo de estabelecer padrões e normas para adequar a prestação dos serviços e garantir o cumprimento da legislação. Portanto, o objetivo é afirmar a eficiência e eficácia dos serviços de saneamento, a fim de assegurar o bem-estar da sociedade e um menor impacto ao meio ambiente.

O impacto gerado pelo lançamento dos efluentes tratados nos corpos receptores é de grande preocupação. Uma serie de critérios, normas e legislações ambientais são desenvolvidas com objetivo de controlar as condições das cargas poluidoras lançadas nos corpos d'águas, com o propósito de garantir um impacto aceitável, ou seja, menos nocivos ao ambiente aquático. Os padrões de lançamento e de qualidade do corpo receptor são quantificados por meio das medições de concentrações de matéria orgânica (DBO, DQO), sólidos suspensos, nutrientes (Fósforo e Nitrogênio) e patógenos.

Para certificar a conformidade dos lançamentos de efluentes nos corpos receptores, é de suma importância realizar estudos abrangentes em relação ao desempenho operacional das tecnologias utilizadas em uma determinada estação de tratamento de esgoto. De forma, a avaliar a eficiência de remoção, a estabilidade da ETE e confiabilidade do tratamento referente aos limites de lançamentos expostos na literatura e na resolução do CONAMA nº 430/11.

A avaliação de desempenho de uma ETE, baseia-se na caracterização dos conjuntos de dados dos constituintes selecionados, por meio de análises estatísticas preliminares, assim obtendo informações particulares de cada indicador de qualidade. Por fim, definido a distribuição de probabilidade dos conjuntos de dados, com o objetivo de encontrar o coeficiente de

conformidade para relacionar os valores de concentrações médias dos constituintes ao padrão a ser lançado nos corpos receptores, dessa forma, verificando a confiabilidade do sistema operacional da ETE, ou seja, definindo a probabilidade do cumprimento dos limites estabelecidos na resolução do CONAMA, portanto, verificando desempenho adequado por um período de tempo (IWA, 2020).

Nesse trabalho, foi realizado o estudo de desempenho da estação de tratamento de esgoto Planaltina (ETE Planaltina), localizada na DF 230, Km 07, Planaltina-DF, em frente ao Morro da Capelinha, que atende a população da região administrativa de Planaltina. O sistema de tratamento da ETE é composto por tratamento preliminar, Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB), lagoas facultativas e lagoas de maturação. De acordo com a Sinopse do sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal (SIESG, 2014), a ETE foi projetada para atender 138 mil habitantes com uma vazão de projeto de 255 L/s.

O efluente tratado na ETE Planaltina é lançado na Bacia São Bartolomeu, especificamente, no corpo receptor Ribeirão Mestre D'Armas. As resoluções nº 357/05 e 430/11 do CONAMA exigem uma padronização das condições de lançamento do efluente tratado e diretrizes para o enquadramento do corpo hídrico. Portanto, cada corpo receptor é enquadrado de acordo com as atividades exercidas pela a sociedade, assim estabelecendo um nível de qualidade da água para ser mantido ao longo do tempo. O Ribeirão Mestre D'Armas é enquadrado como classe 3, portanto, a água pode ser destinada a pescas amadoras, irrigação de culturas arbóreas e entre outras, recreação secundária, sendo um contato esporádico com a água como na navegação e pesca. Dessa forma o presente trabalho tem como objetivo principal a avaliação do desempenho operacional da ETE Planaltina visando a adequação aos padrões de lançamento.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo principal avaliar o desempenho operacional da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Planaltina.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o funcionamento operacional das unidades do tratamento biológico com relação às eficiências de remoção de agentes poluentes e patogênicos, e efetuando um comparativo com os valores previstos na literatura e os valores alcançados atualmente;
- Definir os constituintes, para verificar a confiabilidade e estabilidade do sistema operacional da ETE Planaltina com relação aos padrões de lançamento;
- Levantar o desempenho da ETE Planaltina com base nas análises e avaliações das variáveis selecionadas através de ferramentas estatísticas;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CARACTERÍSTICAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS

O esgoto sanitário é composto, principalmente, pelos despejos domésticos e comerciais, mas também é constituído pelas águas pluviais, água de infiltração e também, algumas vezes, uma quantidade pequena de esgoto industrial. Para determinar as substâncias que constituem nos esgotos, é preciso definir quantitativamente e qualitativamente como é o uso da água. Os esgotos industriais provêm de qualquer utilização da água para fins industriais, portanto, cada esgoto tem características próprias devido o processo industrial aplicado. Já os esgotos domésticos são provenientes de residências, comércios, ou de qualquer lugar que possui instalações de banheiro e cozinha. Essas águas são provenientes de banho, descargas, lavagem de louças e pisos, portanto, é um efluente constituído de urina, fezes, comida, sabão e águas de lavagem (Jordão e Pessôa, 2011).

Os parâmetros químicos, físicos e biológicos, apresentado na Tabela 3.1, são as principais características qualitativas das águas residuárias, sendo importante a determinação desses parâmetros para definição do tipo de sistema de tratamento esperado (Jordão e Pessôa, 2011).

Tabela 3.1- Principais parâmetros qualitativos das águas residuárias

Químico	Físico	Biológico
<ul style="list-style-type: none">● Matéria Orgânica (Demanda Bioquímica de Oxigênio; Demanda Química de Oxigênio; Carbono Orgânico Total)● Nitrogênio total● pH● Fósforo● Alcalinidade● Óleos e graxas	<ul style="list-style-type: none">● Temperatura● Cor● Odor● Turbidez● Sólidos	<ul style="list-style-type: none">● Coliformes totais e fecais● Microorganismos

Cada parâmetro representa um aspecto do efluente à ser analisado para determinação do sistema de tratamento adequado para a estação e para avaliar o monitoramento do desempenho das unidades. Por exemplo, é importante verificar a temperatura pois ela influencia na velocidade das reações biológicas e na solubilidade dos gases, repercutindo nas dimensões das unidades de tratamento. Com o estudo dos parâmetros químicos como a matéria orgânica, é possível determinar quais substâncias estão presentes no efluente, como a proteína, carboidratos, gorduras e ureia. Portanto, a avaliação dos parâmetros garanti a

melhor concepção do tipo de sistema de tratamento de maneira a atender aos padrões de lançamento de efluente e ao enquadramento do corpo receptor (Jordão e Pessôa, 2011).

Entre os parâmetros mencionados, para o esgoto doméstico, os sólidos, os indicadores de matéria orgânica, os nutrientes e os indicadores de contaminação fecal destacam-se em termos de dimensionamento e controle de operações das unidades de tratamento (Jordão e Pessôa, 2011). Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Os sólidos são classificados de acordo com o seu tamanho, estado, sedimentação e características químicas como mostrado na Tabela 3.2 (von Sperling, 1986).

Tabela 3.2-Classificação da matéria sólida (von Sperling, 1986 - adaptado)

Classificação por tamanho e estado	Sólidos em Suspensão (SS) - Resíduos não filtráveis por membranas Sólidos Dissolvidos (SD) - Resíduos filtráveis por membrana
Classificação pelas características químicas Resistentes a altas temperaturas (550°C)	Sólidos Voláteis (SV) - Matéria orgânica Sólidos Fixos (SF) - Matéria inorgânica e minerais
Classificação pela descartabilidade	Sólidos em Suspensão sedimentáveis (SSS) - Sedimenta em um período de tempo, entre 1 e 2 h Sólidos em Suspensão não sedimentáveis

Existem relações entre os parâmetros que caracterizam o efluente e viabilizam o tratamento biológico. A relação de sólidos voláteis (SV) e sólidos totais (ST) indica a porcentagem da matéria orgânica presente nos sólidos totais. Deste modo, resultados baixos da razão entre sólidos voláteis e totais (SV/ST) significam alta concentração de matéria inorgânica dissolvidos, podendo causar dificuldades nas aplicações do tratamento biológico (Jordão e Pessôa, 2011).

Como mencionado, a avaliação dos os parâmetros da matéria orgânica são fundamentais para medir a eficiência da ETE e são ótimos indicadores de qualidade da água residuária tratada e da contaminação dos corpos receptores. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) retrata o potencial de consumo de oxigênio, através dos microrganismos decompositores da matéria orgânica. Já a Demanda química de Oxigênio (DQO) corresponde à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a fração orgânica em uma amostra com que seja oxidável pelo permanganato ou dicromato de potássio em soluções ácidas (Jordão e Pessôa, 2011).

A relação DQO/DBO é muito útil para obter uma definição das características de biodegradabilidade do esgoto, sendo o valor próximo de 2 para esgotos sanitários. Valores na faixa 0,3 a 0,8 da razão de DBO/DQO representa a carga orgânica no esgoto sanitário bruto. Com uma razão de DBO/DQO maior ou igual 0,5, significa uma maior parcela de matéria biodegradável, portanto, um tratamento biológico seria mais adequado. Para uma relação menor ou igual a 0,3, é indicativo que contém uma alta concentração de matéria não biodegradável no esgoto bruto, logo, a utilização de tratamento físico-químico é recomendado (PROSAB, 2019).

Em relação ao dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Esgoto, o consumo de água potável é proporcional à geração de águas residuárias. Essa condição possibilita a determinação da vazão de projeto de uma ETE, um dos parâmetros quantitativos de análise. Contudo, para uma melhor representatividade do funcionamento da Estação de Tratamento de Esgoto é necessária a determinação das vazões máxima, média e mínima da unidade de projeto. Além da vazão, existem outras variáveis relevantes para o dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto, por exemplo, se destacam o tempo de detenção hidráulico (tempo médio de permanência de efluente líquidos em um sistema) e a idade do lodo (Jordão e Pessôa, 2011).

3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os sistemas de tratamento do esgoto são compostos por vários processos e operações unitárias para a remoção e/ou alteração da carga orgânica e substâncias indesejáveis. Os processos de tratamento são classificados em níveis de eficiência de remoção de constituintes específicos visando a adequação do efluente final aos padrões de lançamento e ao enquadramento (Jordão e Pessôa, 2011). Esses sistemas são classificados de acordo com os níveis: preliminar, primário, secundário e/ou terciário, sendo dependentes de diversos fatores como o orçamento de projeto de uma ETE, a vazão de projeto, o enquadramento e a vazão do corpo receptor.

O tratamento preliminar é responsável pela remoção de sólidos grosseiros e areia presentes no esgoto afluente à ETE, deste modo, evitando o acúmulo de sólidos nas tubulações e obstruções nas etapas subsequentes. Essa etapa do tratamento é caracterizada por operações

mecanizados ou manuais, como o gradeamento, desarenadores (com caixa de areia), caixa de retenção de óleo e gorduras e peneiras. O material retirado nessa etapa do tratamento usualmente é direcionado para aterro sanitário ou incinerados (Jordão e Pessôa, 2011).

O sistema de gradeamento é composto por grades com barras metálicas, organizadas na inclinação ideal para permitir o fluxo do esgoto. As barras deverão ser suficientemente robustas para suportar os impactos e esforços devidos aos procedimentos operacionais e possíveis acúmulos de materiais retidos. Já a caixa de areia é projetada para a retenção de areia e matérias, como cabelo, plástico, entrou outras (Jordão e Pessôa, 2011).

As próximas etapas do tratamento de esgoto são responsáveis por remover os sólidos inorgânicos e matéria orgânica em suspensão. O tratamento primário remove os sólidos em suspensão sedimentáveis, portanto, nessa etapa consiste na sedimentação dos sólidos, processo realizado nos decantares primários. No nível secundário, ocorrem os processos bioquímicos aeróbios e anaeróbios, com o objetivo de remover a matéria orgânica restante da etapa anterior. Essa etapa é caracterizada, por exemplo, pela filtração biológica, UASB, processos de lodo ativados e lagoas de estabilização aeróbias (facultativas, aeradas). Por fim, o tratamento terciário é responsável pela remoção de organismos patogênicos e remoção de nutrientes, além de realizar processos avançados, como por exemplo, a filtração por membranas.

Portanto, é realizado o tratamento biológico nas operações unitárias de cada grau do tratamento, além de que, cada processo tem diferentes tipos de sistema para o tratamento adequado do efluente, a Tabela 3.3 exibi tecnologias existentes e os processos envolvidos.

Tabela 3.3 – Principais tipos de tecnologias utilizados para tratamento de esgotos nível secundário (Campos, 1999)

Tipo	Processo dominante
Disposição no solo	Aeróbio e anaeróbio
Lagoas facultativas	Aeróbio e anaeróbio
Sistemas de lagoas tipo australiano	Aeróbio e anaeróbio
Lagoa aerada + lagoa de sedimentação	Aeróbio e anaeróbio
Lodos ativados convencionais	Aeróbio
Lodos ativados (aeração prolongada)	Aeróbio

Tipo	Processo dominante
Valas de oxidação	Aeróbio
Lodos ativados em reator do tipo batelada	Aeróbio
Poço profundo aerado	Aeróbio
Filtro biológico aeróbio	Aeróbio
Reator aeróbio de leito fluidificado	Aeróbio
Filtro anaeróbio	Anaeróbio
Reator anaeróbio por batelada	Anaeróbio
Decanto-digestor	Anaeróbio
Decanto-digestor + filtro anaeróbio	Anaeróbio
Reator anaeróbio de fluxo ascendente	Anaeróbio
Reator anaeróbio compartimentado	Anaeróbio
Reator anaeróbio de leito expandido	Anaeróbio
Combinações de processos anaeróbio-aeróbio e biológico-físico-químicos	Anaeróbio e aeróbio

O tratamento biológico pode ser realizado em diferentes ambientes, sendo no meio aeróbio, com presença de oxigênio, ou meio anaeróbio, sem a presença do oxigênio livre na água. Para o tratamento aeróbio, o objetivo principal é a oxidação da matéria orgânica carbonácea, e também pode ser realizada a oxidação da matéria nitrogenada. Esse processo de degradação da matéria orgânica pode ser rápido ou lento, dependendo do tamanho da molécula da matéria orgânica. Assim, a estabilização da matéria carbonácea acontece por causa do consumo de oxigênio pelos microrganismos e, conseqüentemente, a formação de gás carbono e água (Chernicharo, 2016).

O processo biológico anaeróbio, através da fermentação, na ausência de oxigênio livre, transforma matérias orgânicas complexas em moléculas mais simples, formando, principalmente, metano, gás carbônico e gás sulfúrico no produto final da reação.

A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, onde cada microrganismo tem uma função essencial. As arqueas metanogênicas desempenham duas funções primordiais: elas produzem um gás insolúvel (metano - CH₄), possibilitando a remoção do carbono do meio anaeróbio, além de utilizarem o hidrogênio, favorecendo o ambiente para que as bactérias acidogênicas fermentem compostos orgânicos com a produção de ácido acético, o qual é convertido em metano (Chernicharo, 2016).

Como no esquema da Figura 3.1, a digestão anaeróbia de compostos orgânicos complexos é normalmente considerada um processo de dois estágios. No primeiro estágio, um grupo de bactérias facultativas e anaeróbias, denominadas formadoras de ácidos ou fermentativas, convertem os orgânicos complexos em outros compostos mais simples. No segundo estágio ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, o metano e o gás carbônico. Esta conversão é efetuada por um grupo especial de arqueas, denominadas formadoras de metano, as quais são estritamente anaeróbias. As arqueas metanogênicas dependem do substrato fornecido pelas acidogênicas. As bactérias metanogênicas são responsáveis pela maior parte da degradação do resíduo, a sua baixa taxa de crescimento e de utilização dos ácidos orgânicos normalmente representa o fator limitante ao processo de digestão como um todo (Chernicharo, 2016).

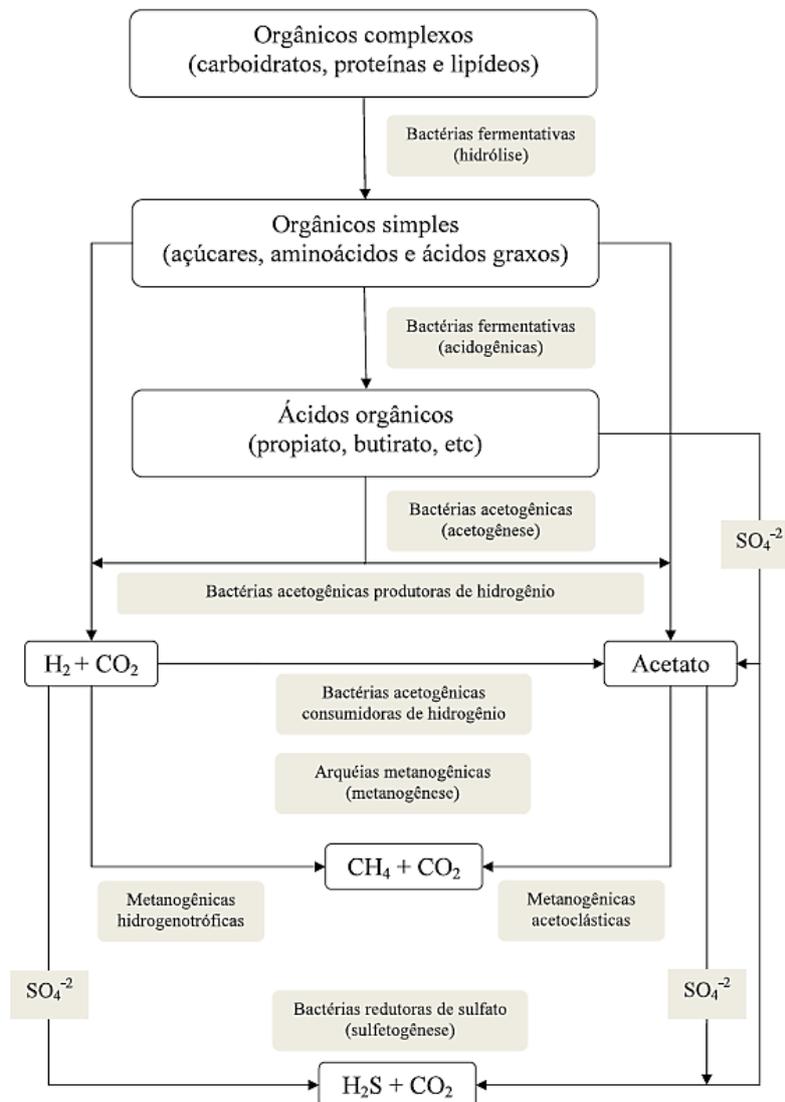


Figura 3.1 - Digestão anaeróbia (adaptado de Chernicharo, 2009)

3.3 REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO – UASB

No Brasil, o processo anaeróbio com o reator UASB é utilizado desde a década de 1980 no estado do Paraná e, atualmente, é a tecnologia mais usada no país por causa de suas vantagens comparando com os sistemas aeróbios convencionais. Destaca-se o baixo custo de implementação do sistema e de operação, baixa demanda por área, consumo de energia reduzido e pequena produção de lodo, além de oferecer uma eficiência satisfatória de remoção de DBO/DQO em torno de 65%. Entretanto, o sistema possui desvantagens, como necessitar de pós tratamento para o efluente, e a possibilidade de manifestar maus odores e corrosão devidos às substâncias tóxicas (PROSAB,2019).

No reator anaeróbio de manta de lodo o efluente é alimentado pela parte inferior, seguindo um fluxo ascendente, atravessando o leito de lodo formado por flocos e/ou grânulos com uma elevada atividade microbiológica. A matéria carbonácea em suspensão possui uma grande variação no seu perfil, constituindo altas concentrações de biomassa, com estruturas mais densas que sedimentam para o fundo, formando o leito de lodo. E outras estruturas menos densas criando uma manta de lodo, sendo um lodo mais disperso e leve. No reator, a região que inclui o leito e a manta de lodo é denominada de zona de digestão, essas regiões podem ser observadas na Figura 3.2 (Chernicaró,2016).

No reator UASB, existe um separador trifásico dos gases, sólidos e líquidos. Este fica localizado na parte superior do reator, para permitir a retenção do lodo. Na zona de digestão, ocorre a estabilização da matéria orgânica, o qual é um processo que gera gases. Logo, as bolhas de gases promovem o fluxo ascendente. Esse movimento faz com que haja carreamento de lodo, por isso, há a necessidade do dispositivo trifásico, permitindo que essas partículas retornem para a zona de digestão. No final do processo, o lodo mais denso é mantido na câmara de sedimentação e o restante da matéria orgânica é arrastada do sistema com o efluente final (Chernicaró,2016).

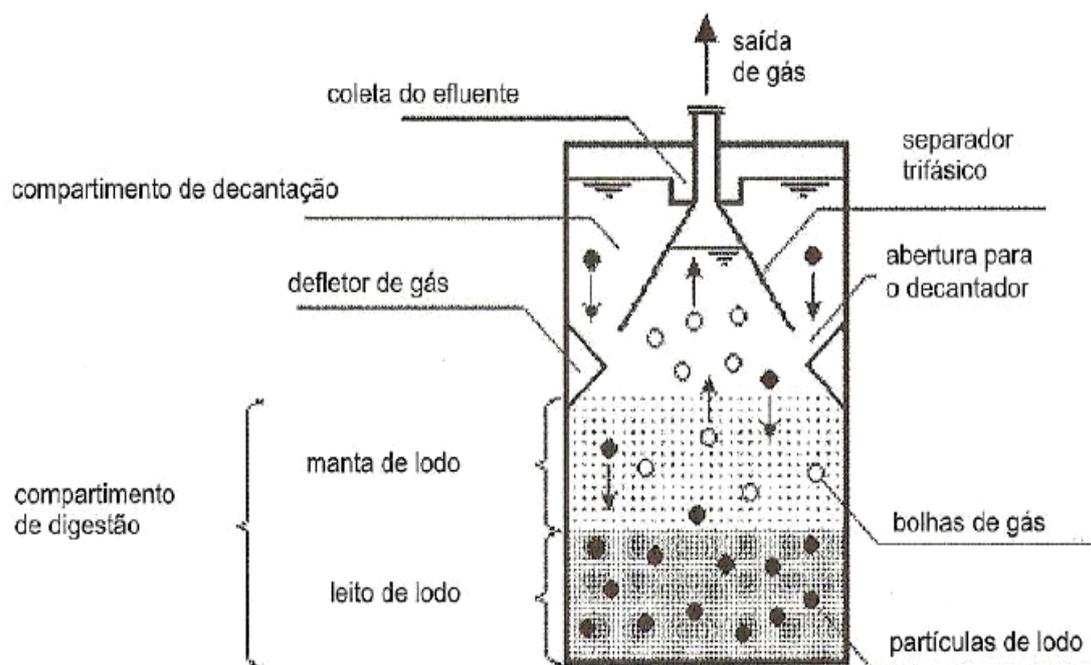


Figura 3.2 - Desenho esquemático de um reator UASB (Chernicharo,2016)

Os reatores UASB são caracterizados por operar com o tempo de detenção hidráulica curto e um elevado tempo de retenção celular, possibilitando um crescimento da biomassa no sistema. Permitindo, então, um alto rendimento no processo de estabilização da matéria orgânica (Chernicharo, 2007).

O uso combinado de reatores anaeróbios e tratamentos aeróbios apresenta um grande potencial para polimento ou pós-tratamento dos efluentes, com remoção complementar da matéria orgânica e remoção de outros poluentes. Um sistema que tem ganhado destaque é a utilização de reator UASB seguido de lagoas de estabilização, com a lagoa efetuando polimento em relação à DBO remanescente e possível remoção de nutrientes e organismos patogênicos (Campos, 1999).

3.4 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização são tecnologias desenvolvidas para o tratamento de efluentes, projetadas para promover a remoção de matéria carbonácea, sólidos e coliformes. As lagoas de estabilização são sistemas que representam o tratamento de esgoto no modelo mais simples, exibindo diversas variantes. Pode-se ter sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas (sistema australiano), lagoas aeradas facultativas e sistema de lagoas

aeradas de mistura completa seguidas por lagoas de decantação, além das lagoas de maturação, direcionadas à remoção de patógenos. Há também arranjos de lagoas que complementam tratamentos iniciados em reatores, por exemplo as lagoas facultativas (von Sperling, 2005).

O tratamento do efluente nas lagoas tem como base a reciclagem dos corpos lânticos, ou seja, um processo semelhante com o meio natural, com os fatores físicos, químicos, biológicos e bioquímicos, este último refere-se à temperatura e à intensidade da luz solar. Nas lagoas de estabilização, as bactérias são essenciais no processo de reciclagem dos elementos, pois são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Contudo, as algas também são fundamentais no processo aeróbio, sendo que sua principal função é a produção de oxigênio, além de ajudar na remoção dos nutrientes, como nitrogênio, fósforo e carbono, pois essas variáveis são fundamentais para o seu desenvolvimento (Von Sperling, 2005). Na Tabela 3.7 são apresentadas, de forma esquematizada, as atividades realizadas pelas bactérias e as algas.

Tabela 3.1 - Equilíbrio entre o consumo e produção de oxigênio dissolvido e gás carbônico nas lagoas (Von Sperling, 1996, adaptado)

BACTÉRIAS → <i>RESPIRAÇÃO</i>	ALGAS → <i>FOTOSÍNTESE</i>
<ul style="list-style-type: none"> ● Consumo de oxigênio ● Produção de gás carbônico ● Assimilação de matéria orgânica 	<ul style="list-style-type: none"> ● Produção de oxigênio ● Consumo de gás carbônico ● Síntese de matéria orgânica

3.4.1 Lagoa Facultativa

O processo de tratamento por lagoas facultativas é essencialmente natural, não necessitando de nenhum equipamento. Por esta razão, a estabilização da matéria orgânica se processa em taxas mais lentas, implicando na necessidade de um elevado período de detenção na lagoa, usualmente, superior a 20 dias. A fotossíntese, para que seja efetiva, necessita de uma elevada área de exposição para o melhor aproveitamento da energia solar pelas algas, dessa forma implicando na necessidade de unidades de grandes dimensões. Em decorrência disto, a área total requerida pelas lagoas facultativas é a maior dentre todos os processos de tratamento dos esgotos, excluindo-se os processos de disposição sobre o solo. Por outro lado, o fato de ser um processo totalmente natural está associado a uma maior simplicidade

operacional, fator de fundamental importância para a realidade brasileira (Von Sperling, 2005).

Para a operação das lagoas facultativas ocorrerem corretamente, é necessário evitar profundidades excessivas, para não ter limitação da incidência de luz solar, e evitar sobrecargas. Além disso, é de suma importância a avaliação da condição climática da região, pois, para a implementação da lagoa, são necessárias elevada radiação solar e baixa nebulosidade, para ocorrer a fotossíntese. Na superfície, predomina-se a incidência de luz solar durante o período do dia, mas à medida que se aprofunda na lagoa a penetração da luz é menor, isso significa que existem diferentes concentrações de oxigênio dissolvido de acordo com a profundidade do lago. No período noturno não há atividade fotossintética e, portanto, ausência de oxigênio, nessas condições vai prevalecer a atividade das bactérias facultativas (Von Sperling, 2005).

Por causa da profundidade, a lagoa é separada em três zonas de tratamento, sendo zona aeróbia, anaeróbia e facultativa, como apresentado na Figura 3.3. De modo que na zona facultativa ocorre o processo de anaerobiose e, segundo Falco (2005), as lagoas que desenvolvem anaerobiose recebem uma grande quantidade de carga de matéria orgânica, resultando em uma taxa de consumo superior à de produção.

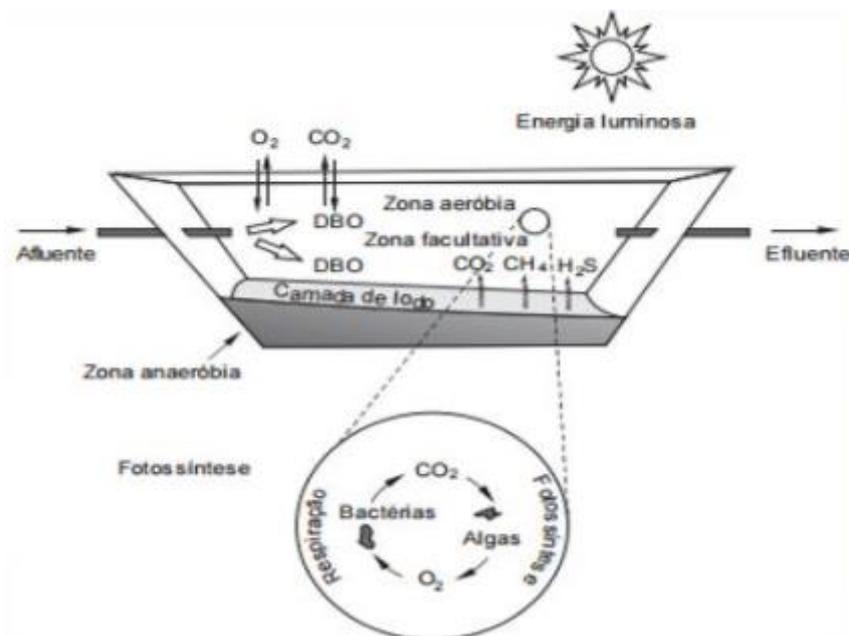


Figura 3.3 - Esquema simplificado da Lagoa Facultativa (Von Sperling, 2018)

O efluente que chega na lagoa facultativa é dividido em matéria orgânica em suspensão e dissolvida. A matéria particulada sedimenta e forma o lodo no fundo da lagoa, na chamada zona anaeróbia, onde os microrganismos anaeróbios realizam a degradação desse lodo de uma forma lenta, gerando metano, gás carbono, água e outras substâncias. Mas a matéria orgânica dissolvida e a suspensa, com pequenos diâmetros, é degradada na zona aeróbia, fazendo com que a oxidação ocorra em uma camada mais superficial.

Na lagoa facultativa as algas e bactérias são fundamentais para a decomposição da matéria orgânica. Suas atividades metabólicas são caracterizadas com a presença ou ausência do oxigênio dissolvido no meio, portanto, na zona aeróbia as bactérias metabolizam a matéria orgânica formando gás carbono e água, mas as algas usam o dióxido de carbono e outras substâncias para sua síntese celular, assim produzindo oxigênio para o meio líquido. As atividades das biotas presentes na lagoa geram um equilíbrio no sistema.

As bactérias aeróbias degradam a matéria carbonácea complexa presente no efluente rapidamente, como proteína, carboidratos e lipídios, transformando-a em novas substâncias, como por exemplo em dióxido de carbono, nitrito, fosfatos e entre outros componentes, sendo esses essenciais para o desenvolvimento e crescimento das algas. As algas têm um papel fundamental na lagoa facultativa, pelo fato de serem organismos dotados de clorofila e pigmentos fotossintético, assim são responsáveis pela produção do oxigênio dissolvido na zona aeróbia, permitindo a degradação da matéria orgânica. Além disso, auxiliam na remoção dos nutrientes solúveis, principalmente, o fósforo e o nitrogênio (Kellner e Pires, 1998).

3.4.2 Lagoa de Maturação

Os sistemas de tratamento de esgotos têm o intuito de diminuir a carga orgânica antes de seu lançamento em um corpo receptor. Em sistemas de tratamento que não possuem um polimento, o efluente tratado pode apresentar ainda elevada carga de nutrientes e patógenos, o que pode representar risco à saúde pública. Uma alternativa viável seria acrescentar um sistema de lagoas de maturação para remover a carga de patógenos (Jungles, 2007).

As lagoas de maturação têm como função principal a remoção de patógenos, também realiza a remoção parcial de nutriente. Entre os organismos nocivos à saúde humana a serem

removidos, incluem-se bactérias, vírus, cistos de protozoários e entre outros. Quando o efluente se encontra nas lagoas anaeróbias, facultativas e aeradas ocorrer uma remoção dos patógenos, mas a remoção significativa acontece nas lagoas de maturação, pois são projetadas com esse propósito. Além disso, as lagoas de maturação são econômicas, pois todo seu processo é natural (Von Sperling, 2005).

As lagoas de maturação têm um papel fundamental na remoção de patógenos. Esses microrganismos desenvolvem-se em ambientes ideais, considerando o pH, temperatura, insolação e alimentação específicos, sendo o intestino humano o meio ideal para o crescimento desses agentes.

O dimensionamento de uma lagoa de maturação analisa os requisitos para desenvolver um ambiente imperfeito para o crescimento dos agentes patógenos (coliformes). O mecanismo encontrado foi na construção de lagoas com profundidades rasas e com grandes áreas superficiais, portanto, aumentando a incidência de luz solar, favorecendo a produção de algas e elevando a concentração de oxigênio dissolvido na água. Esse efeito provoca a desinfecção dos patógenos existentes, e as algas consomem os nutrientes para o desenvolvimento celular das mesmas (Von Sperling, 2005).

3.5 SISTEMA UASB + PÓS-TRATAMENTO

A maioria dos processos de tratamento de esgoto (biológicos, aeróbios, anaeróbios, físico-químico ou adição de coagulantes) podem ser usados como pós-tratamento dos efluentes do reator UASB. A eficiência do sistema de pós-tratamento é similar ao processo aplicado ao esgoto bruto, mas os requisitos de área, volume, produção de lodo, são bem menores. As lagoas de pós-tratamento, são definidas como lagoas de polimentos (LP), e estas recebem o esgoto digerido, diferente das lagoas de estabilização que tratam esgoto bruto. As lagoas de polimento apresentam-se como alternativas atrativas para os processos de pós-tratamento do efluentes de reatores UASB (PROSAB, 2001).

O pós-tratamento com lagoas de polimento tem como função adequar a qualidade do efluente do reator anaeróbio (UASB) à qualidade exigida pelas normas e resoluções do CONAMA, de acordo com o enquadramento do corpo receptor. O efluente com um pré-tratamento eficiente no reator UASB, apresenta concentrações do material orgânico e dos sólidos em

suspensão reduzidos, portanto, diminuindo o trabalho nas lagoas, ou seja, o processo de digestão pode ocorrer com um tempo de detenção bastante reduzido. Além disso, devido ao baixo material orgânico nas lagoas de polimento, permite-se uma redução na geração de CO₂, resultando em uma maior atividade fotossintetizante (PROSAB, 2001).

Mesmo com uma alta eficiência na remoção da matéria orgânica e dos sólidos em suspensão na digestão anaeróbica (UASB), é necessário o pós-tratamento para atingir os limites vigentes nas normas. Portanto, as lagoas de polimento é uma alternativa para completar o tratamento do efluente de modo que o sistema favoreça a para redução da concentração de DBO e SST e concentração de patógenos.

Para a remoção de patógenos no pós-tratamento, a lagoa de maturação é uma ótima alternativa natural e econômica, causando efeitos letais sobre os microrganismos patogênicos favorecendo a incidência de raios ultravioletas. Também apresenta elevada concentração de oxigênio dissolvido e elevados valores de pH, o que ajuda na remoção parcial dos nutrientes (Chernicharo,2007).

3.6 DESCRIÇÃO DE MODELOS ESTATÍSTICOS

Para realizar uma avaliação do desempenho de processos de tratamento de águas residuárias são necessárias análises estatísticas para obter todas as informações potências contidas nos dados e encontrar a eficiência de remoção, a confiabilidade e estabilidade do sistema em operação de uma estação de tratamento de esgoto (Oliveira, 2006).

3.6.1 Estatísticas descritivas

As estatísticas descritivas se constituem na etapa inicial da análise dos dados, são utilizadas para resumir e compreender os dados estudados. Logo, são partes importantes do estudo quantitativo de avaliações de desempenho de estações de tratamento e também na avaliação da qualidade da água em corpos hídricos, portanto, a análise estatística apresenta uma visão geral do desempenho operacional do sistema em estudo (IWA, 2020). As medidas de tendência central e as medidas de variação são os modelos fundamentais das estatísticas descritivas. No entanto, existem outras medidas, por exemplo, variância e desvio padrão, para auxiliar nas análises.

a) Medidas de tendência central

Para realizar a avaliação das concentrações de parâmetros, carga e eficiência de remoção é necessário calcular e interpretar os resultados das medidas de tendências centrais.

- Média Aritmética é a soma de todos os valores da base de dados é dividida pelo número de elementos no total, como representado pela equação 3.1 (Akanime, 2013).

$$x = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Equação 3. 1}$$

- A Média Geométrica de um conjunto de dados positivos é definida como à raiz n-ésima do produto dos n dados, de acordo com a equação 3.2 (Akanime, 2013).

$$\sqrt[n]{x_1 * x_2 * \dots * x_n} \quad \text{Equação 3. 2}$$

- A Mediana de uma amostra de n medidas é o número do meio quando as medições são organizadas crescentes ou decrescentes. Mas se o número de medidas do conjunto for ímpar, então, a mediana é o número do meio dos dados organizados. Se for par, então, a mediana é a média dos dois números do meio da sequência ordenada (Akanime, 2013).
- A moda de uma amostra de n medidas é o valor que ocorre em maior frequência (Akanime, 2013).
- A média ponderada de X de uma amostra com n medidas é a soma das medidas multiplicada por seus pesos respectivos e dividido pela a soma dos pesos (Akanime, 2013).

$$x_w = \frac{x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad \text{Equação 3. 3}$$

A média aritmética é um ponto de equilíbrio dos dados analisados, de modo que o lado esquerdo e direito estão em perfeito equilíbrio em torno do ponto médio. A média sofre influência de valores extremos(outliers), tanto de valores muito alto ou muito baixos, isso pode comprometer a interpretação dos resultados, principalmente, em dados ambientais que sofrem dos dois extremos, contudo, esses outliers são significativos no balanço de massas. Já a mediana não é afetada pelos extremos que os dados de monitoramento podem apresentar (IWA, 2020).

Variáveis cujo os valores variam em ordens de magnitude, é indicado o uso da média geométrica, pois os outliers podem distorcer os resultados da média aritmética. Por exemplos, dados de patógenos normalmente variam com alta amplitude estando entre 10^6 e 10^9 MPN/100 mL. Importante mencionar, que a média geométrica está relacionada ao logaritmo dos valores originais dos dados, portanto, a média geométrica é igual a média aritmética do \log_{10} (IWA, 2020).

b) Medidas de variação

O grau de variabilidade dos dados em torno do valor central da amostra é dado pela as medidas de variação ou da dispersão.

- Amplitude é uma medida de dispersão. Para obter a amplitude deve-se fazer o cálculo da diferença entre o maior e menor valor dos dados em estudos, como mostrado na equação 3.4 (Akanime, 2013).

$$\textit{Amplitude} = (\textit{Máximo}) - (\textit{Mínimo}) \quad \text{Equação 3. 4}$$

- Variância é uma medida de dispersão, portanto, mostra à distante que cada valor do conjunto de dados estar da média (valor central). Sendo que resultados baixos representam que os dados estão próximos da média. Para calcular a variância utiliza-se a equação 3.5(Akanime, 2013).

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Equação 3. 5}$$

- O desvio padrão é a extração da raiz quadrada positiva da variância, sendo a medida de variação mais amplamente usada, com uma interpretação mais simples, pois ao calcular a variância os resultados obtidos são valores quadrados, portanto, tirando a raiz quadrada da variância obtemos valores com as mesmas dimensões e unidades dos valores originais (Akanime, 2013).

$$S = \sqrt{S^2} \quad \text{Equação 3. 6}$$

- O coeficiente de variação (CV) é a razão entre o desvio padrão e a média aritmética. O CV é um número positivo adimensional e deve ser aplicado quando a média é diferente de zero e positiva.

$$CV = \frac{s}{x} \quad \text{Equação 3.7}$$

A variância é uma medida que indica quanta variação foi encontrada nos resultados dos dados, além disso, comunica-se com as mesmas informações do desvio padrão. Contudo, o desvio padrão é uma medida de variação mais utilizada nos estudos de processos de tratamento e qualidade da água, pois fornece resultados com a mesma dimensão dos dados (IWA, 2020). O desvio padrão pode ser utilizado como um indicador de estabilidade para os sistemas em operação de uma estação. O coeficiente de variação pode ser utilizado para indicar a variabilidade dos constituintes, afluente e efluentes, de modo preliminar (Oliveira, 2006).

c) Medidas de Posição Relativa

As medidas de posição relativa descrevem a localização de um ponto observado relativo a outros pontos de análises dentro de um conjunto de dados (Akanime, 2013).

- Os quartis ocorrem quando um conjunto de dados é dividido em quatro partes iguais, sendo que cada parte contém 25% dos dados. Portanto, essa divisão é feita por três valores que são identificados por Q₁, Q₂ e Q₃, com representado na figura 3.4 abaixo (Akanime, 2013).

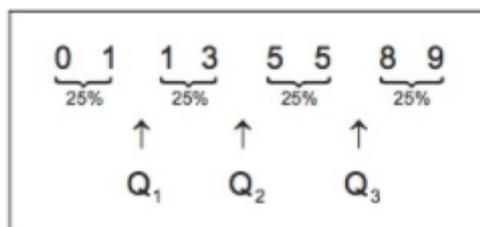


Figura 3.4 - Identificação dos quartis (Akanime, 2013)

De acordo com a representação da figura 3.4 o primeiro quartil (Q₁) que 25% dados estão na esquerda e 75% à direita. O segundo quartil (Q₂) é igual a mediana, ou seja, 50% dos dados estão à esquerda e 50% a direita. E terceiro quartil (Q₃) informa que 75% dos dados

estão à esquerda e 25% a direita (Akanime, 2013). Para definir a posição do primeiro e terceiro quartil dever utilizar as equações 3.8 e 3.9, respectivamente.

$$i_{Q1} = (n + 1)x \frac{1}{4} \quad \text{Equação 3. 8}$$

$$i_{Q3} = (n + 1)x \frac{3}{4} \quad \text{Equação 3. 9}$$

Sendo que:

n : é o número de dados

Depois de calcular a posição do percentil é necessário identificar os dados correspondente a posição obtida e realizar o cálculo, utilizando a parte decimal da posição do percentil (Akanime, 2013).

- O percentil tem a função de separar os dados em cem partes iguais contendo a mesma quantidade de dados. Por exemplo o percentil de 10% (P_{10}) indica que 10% dos dados estão à esquerda e 90% à direita de P_{10} . A posição de um percentil será dado pela equação 3.10.

$$i_p = (n + 1)x \frac{P}{100} \quad \text{Equação 3. 10}$$

Sendo que:

n : é o número de dados

p : é o percentil a ser analisado

Logo após, calcular a posição do percentil, deve identificar os dados correspondente a posição obtida e realizar o cálculo, utilizando a parte decimal da posição do percentil (Akanime, 2013).

Para analisar os dados de estações de tratamento e de qualidade da água, os percentis e quartis são utilizados para avaliar a conformidade dos constituintes e efluentes com relação aos padrões estabelecidos na legislação, e também valores definidos como metas das entidades gestoras (IWA, 2020).

d) Medidas de assimetria e curtose

Os dados ambientais apresentam características que não atendem às condições normais, pois são dados que manifestam uma relação complexa de causa e efeito, uma correlação serial (não independente), presença de valores atípicos e uma distribuição assimétrica. Desse

modo, é necessário realizar uma verificação da normalidade dos dados, utilizando os coeficientes de assimetria e curtose (Oliveira & von Sperling 2007).

- O coeficiente de assimetria representa a medida do desvio, ou seja, o afastamento da simetria de uma distribuição, portanto, uma curva simétrica o valor tende ser próximo de zero, e para uma curva assimetria o valor é positivo à direita ou negativo à esquerda. Para calcular a assimetria dos dados utiliza-se o coeficiente de Pearson apresentado pela equação 3.3.11 (Akanime, 2013).

$$A_p = \frac{(média - moda)}{desvio\ padrão} \quad \text{Equação 3. 11}$$

Sendo que:

- Se $A_p < 0$, então a distribuição é assimétrica negativa.
- Se $A_p = 0$, então a distribuição é simétrica.
- Se $A_p > 0$, então a distribuição é assimétrica positiva.

A assimetria frequentemente ocorre por causa da extensão de uma das caudas da distribuição, e esses valores da cauda afetam a média, mas não afeta a mediana e a moda, isso porque a média acompanha o lado em que a cauda prevalece na distribuição (Akanime, 2013).

- O coeficiente de curtose mede o grau de achatamento de uma distribuição, portanto, o achatamento da curvatura. Desse modo, se uma distribuição for semelhante com a distribuição normal é denominada de mesocúrtica. Mas se a distribuição for mais achatada que a normal é chamada de platicúrtica, e se a distribuição apresentar uma forma mais pontiaguda é conhecida como leptocúrtica. A figura 3.5 mostra as formas das curvaturas das distribuições (Akanime, 2013).

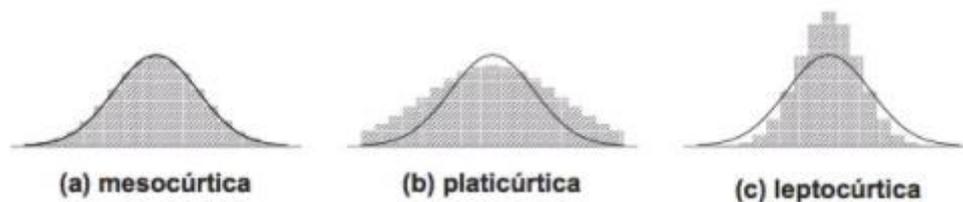


Figura 3.5 - Tipos de distribuição em relação à curtose (Akanime, 2013).

A classificação do grau da curtose de acordo com uma distribuição é:

- $K < 3$, então a distribuição é platicúrtica
- $K = 3$, então a distribuição é mesocúrtica
- $K > 3$, então a distribuição é leptocúrtica

Logo, algumas estatísticas básicas, como o coeficiente de curtose e de assimetria, servem para avaliar a distribuição do conjunto de dados. Com resultados positivos para o coeficiente de assimetria, significa uma distribuição assimétrica para à direita. Sendo que esses valores são esperados em conjunto de dados referentes aos processos de tratamento de esgoto, pois não existe valores negativos para dados de concentração afluentes. Portanto, as distribuições lognormal e gama são as que se adequam melhor aos dados com assimetria positiva (Oliveira, 2006).

3.6.2 Distribuições de probabilidade

As distribuições normais e lognormais são as mais utilizadas no monitoramento ambiental. Os dados ambientais na maioria das vezes apresentam características assimétricas, assim a lognormal é mais usada por fornecer um melhor ajuste aos dados.

a) Distribuição Normal

A distribuição normal também conhecida como distribuição gaussiana, é uma curva simétrica em torno do seu ponto médio, apresentando-se em um formato de sino. Como característica de uma distribuição normal a média, moda e mediana são iguais, além disso, a curva apresenta dois pontos de inflexão, que correspondem a X valores, localizados à uma distância do desvio padrão acima e abaixo da média. A área sob curva é igual a 1 (100%), portanto, a média da área total equivale 50% para à esquerda e 50% à direita (Montgomery,2021).

Existem dois parâmetros com relação a função de densidade de probabilidade (fdp) da distribuição normal. Sendo que, a média (μ) representa a localização e não influencia na forma da distribuição. O desvio padrão (σ) é o parâmetro de escala, influencia no formato da curva, além disso, indica o grau de dispersão entorno do valor central (IWA, 2020). A função de densidade de probabilidade da distribuição normal é apresentada na equação 3.12 para uma variável aleatório X e a padronização da variável aleatória normal na equação 3.13.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < \infty \quad \text{Equação 3. 12}$$

$$z = \frac{X-\mu}{\sigma} \quad \text{Equação 3. 13}$$

Z é uma nova variável aleatória a para padronização e representa a distância que X tem da média em termos do desvio padrão.

b) Distribuição lognormal

Existe uma relação entre a distribuição normal e lognormal. Os dados provenientes de uma distribuição lognormal podem ser analisados de acordo com uma distribuição normal, se considerarmos o logaritmo dos dados ao invés dos valores originais (Montgomery,2021). A função densidade de probabilidade da distribuição lognormal é dada de acordo com a equação 3.14 (Oliveira, 2006).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x}\sigma_y} e^{-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad x > 0 \quad \text{Equação 3. 14}$$

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

Sendo que:

- $\mu_y = \ln \left(\frac{\mu_x^2}{\sqrt{\mu_x^2 \sigma_x^2}} \right)$
- $\sigma_y^2 = \ln \left(1 + \frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} \right)$

Além das distribuições normais e lognormais existem diversas outras distribuições que podem ser aplicadas para dados de monitoramento ambiental e de qualidade da água, por exemplo, a distribuição gama, não utiliza valores negativos, pode ser aplicada para as variáveis com baixa concentração e alto desvio padrão.

Com o conhecimento característico de uma variável aleatória, seu modelo distributivo, possibilita calcular as probabilidades dos eventos definidos. Portanto, o modelo de distribuição de probabilidade fornece uma síntese do comportamento da variável, assim

permitindo uma análise da variabilidade, confiabilidade do sistema em operação, além de viabilizar o prognóstico de uma estação de tratamento de esgoto (Oliveira,2006).

3.7 ESTUDO DE CASO: ETE PLANALTINA

O núcleo urbano Planaltina teve origem com as incursões realizadas pelos bandeirantes paulistas, criado em 1859, construído antes da transferência da capital para Brasília. A região de Planaltina era um dos municípios de Goiás, mas seu território foi dividido, o Distrito Federal ficou com o quadrilátero e a outra extensão permaneceu no Goiás, conhecida como Planaltina de Goiás (Brasilinha) (Codeplan/PDAD, 2018).

O Distrito Federal foi dividido em oito Regiões Administrativas, de acordo com a Lei nº.4.545. de 10 de dezembro de 1964, sendo Planaltina denominada RA VI, com 1.537,16 quilômetros quadrados. Em 2018 a CODEPLAN realizou uma pesquisa distrital por amostras de domicílios – PDAD com o objetivo de caracterizar a população urbana das regiões administrativas do DF. A PDAD aponta que a população urbana da RA Planaltina era de aproximadamente 177.492 habitantes. No que diz respeito ao esgotamento sanitário, verificou-se que: 89,3% dos domicílios estavam ligados à rede geral da CAESB; 14,8% declararam ter fossa séptica; 2% tinham fossa rudimentar (Codeplan/PDAD, 2018), como mostra a Tabela 3.8.

Tabela 3.8- Esgotamento sanitário do domicílio, Planaltina, Distrito Federal, 2018

Resposta	Total	%
Rede Geral (CAESB)	46.227	89,3
Fossa séptica	7.680	14,8
Fossa rudimentar (buraco ou fossa negra)	1.060	2,0

Fonte: Codeplan/DIEPS/GEREPS/PDAD 2018

A ETE Planaltina foi construída para atender a população da região administrativa de Planaltina (RA VI), sendo gerenciada pela a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB desde 1998, a estação de tratamento foi projetada para tratar o esgoto gerado por aproximadamente 138.000 habitantes com uma capacidade de vazão média de 255 L/s, com o tratamento à nível secundário. A ETE fica localizada na estrada DF 230, km 07 de Planaltina, o mapa da Figura 3.7 possibilita uma visualização ampliada da ETE.

Como apresentado na Sinopse do Sistema de esgotamento Sanitário do Distrito Federal – 2014 (SIESG), o sistema de tratamento de esgoto adotado para a ETE Planaltina consiste no tratamento preliminar com gradeamento e desarenação, para a retirada de sólidos grosseiros e areia. Após o tratamento preliminar, o efluente é conduzido para os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) acoplados no interior das lagoas facultativas, os gases gerados pelo processo de estabilização da matéria orgânica são capturados através de campânulas. O efluente sai dos reatores e escoam para as lagoas facultativas, iniciando o tratamento aeróbio/anaeróbio. Por último, a água residuária chega na lagoa de maturação para a remoção de coliformes fecais e posteriormente é lançado no corpo receptor, o Ribeirão Mestre D'Armas. Para a ETE Planaltina, de acordo com seu fluxograma (Figura 3.6) sequencial do processo de tratamento de esgotos, a eficiência esperada para a remoção de DBO está na faixa de 75–85% (von Sperling e Chernicharo, 2005).

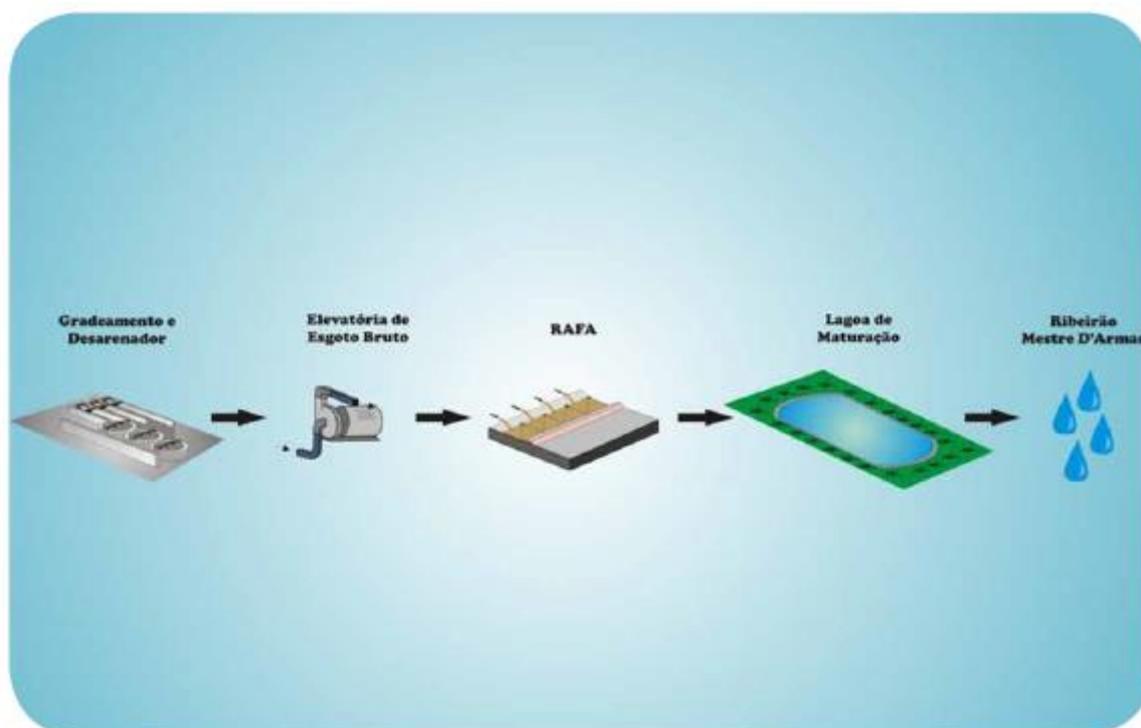


Figura 3.6 - Fluxograma da ETE Planaltina (SIESG - 2014)

O sistema operacional da ETE Planaltina apresenta uma eficiência de remoção de DBO em torno de 90%, devido à alta carga orgânica e uma baixa carga hidráulica com relação ao projeto. Atualmente, a estação trata uma vazão de aproximadamente 120 L/s correspondente à 50 % da sua carga hidráulica, portanto, compatível com a capacidade do projeto (SIESG,2014).

O ribeirão Mestre D'Ármas fica na unidade hidrográfica (UH) Alto Rio São Bartolomeu de acordo com a Figura 3.7, sua nascente Lagoa Bonita encontra-se na Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESEC-AE), seu curso d'água recebe contribuição dos córregos Sarandi, Corguinho e Pindaíba na margem direita e os córregos Fumal e Atoleiro na margem esquerda, ainda recebendo a influência do ribeirão Pípiripau, formando a bacia São Bartolomeu. O ribeirão Mestre D'Ármas é o corpo receptor da ETE Planaltina, sendo que o ponto de lançamento fica localizado à uma distância de 1,7 km do córrego Atoleiro na margem esquerda. Segundo enquadramento realizado pelo CRH-DF em 2014, de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, o ribeirão é classificado como classe 3, portanto, com os limites de concentrações de $DBO \leq 10$ mg/L e de $OD \geq 4$ mg/L.

A ocupação e uso do solo na bacia ribeirão Mestre D'Armas vem sofrendo modificações há anos com o adensamento urbano e loteamento irregular. A bacia também possui regiões rurais e de preservação ambiental. A pressão antrópica altera toda a característica da região, e influencia na capacidade de diluição e autodepuração do ribeirão Mestre D'Armas. Nessa situação, há um aumento nos geradores de poluição pontual na bacia. Além disso, o crescimento urbano irregular prejudica o tratamento de esgoto, por exemplo, com instalações clandestinas na rede de esgoto da CAESB.

Mapa de Localização da ETE Planaltina e do Ribeirão Mestre D'Ármas

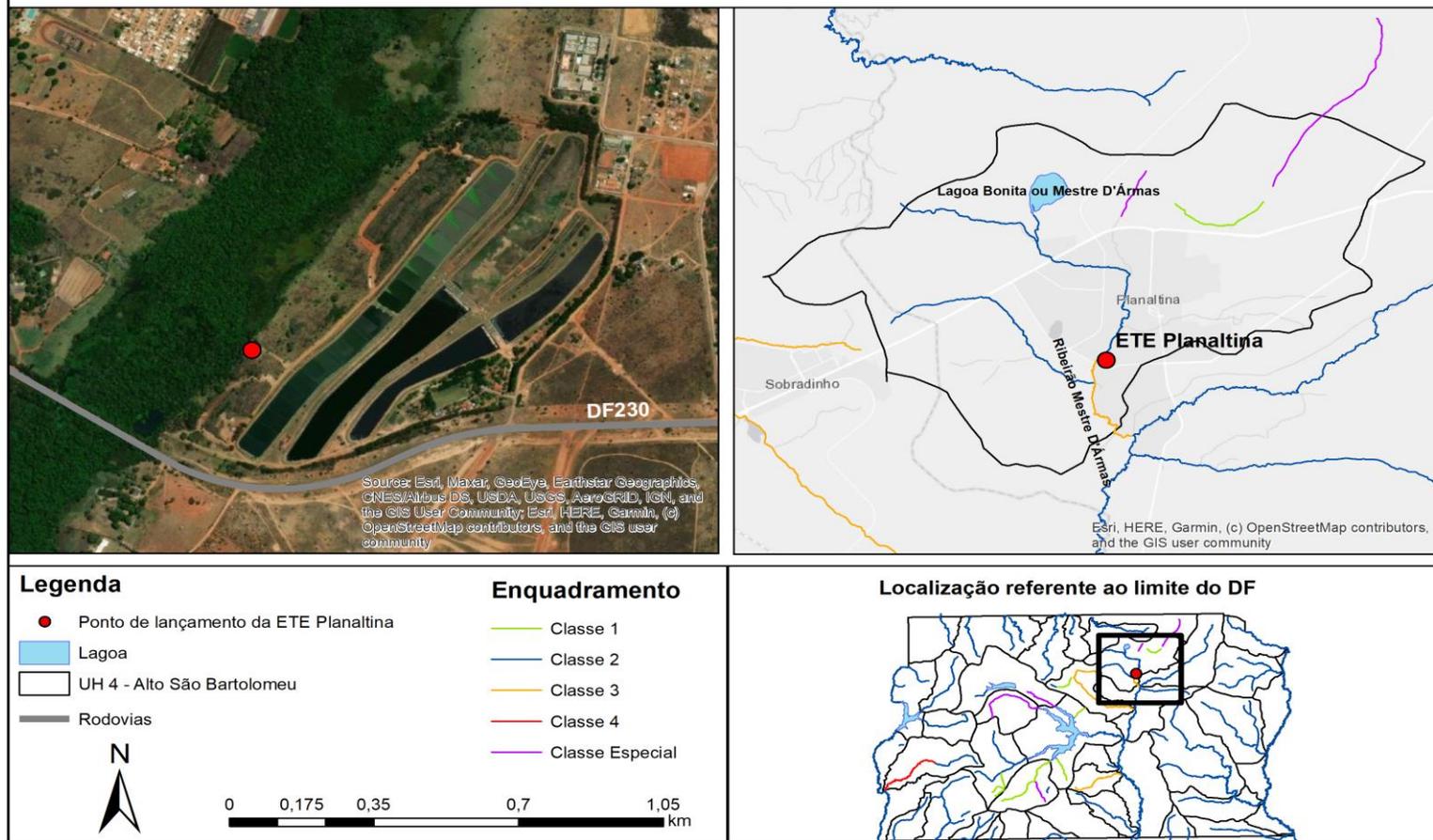


Figura 3.7 - Mapa de Localizada da ETE Planaltina e do Ribeirão Mestre D'Armas

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento da avaliação do desempenho da ETE Planaltina, iniciou-se com uma revisão literária das características do sistema sanitário, recordando os processos de cada sistema de tratamento biológico. Com base nesse estudo, foi possível o desenvolvimento das próximas etapas do projeto. As etapas subsequentes do trabalho estão representadas no fluxograma apresentado na Figura 4.1.

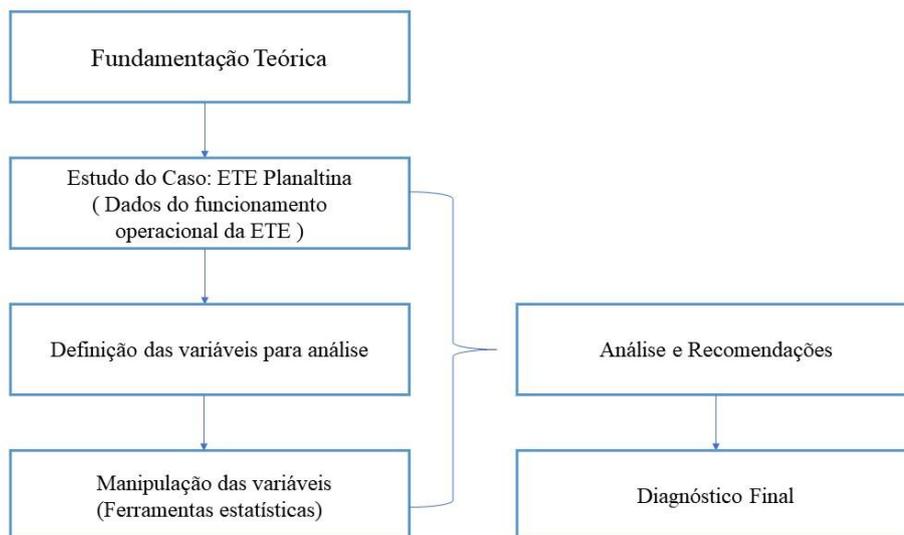


Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia de estudo

Portanto, para obter os resultados finais desejados, a metodologia do projeto apresentou quatro fases, sendo que a primeira fase processa o diagnóstico do funcionamento operacional da ETE Planaltina. Em seguida, com as informações sobre o funcionamento da ETE, as variáveis para análise estatísticas foram definidas. Portanto, na terceira etapa, os conjuntos de dados foram estudados e avaliados com auxílio da estatística descritiva e com a distribuição normal e lognormal. Por fim, obter os resultados finais, como a eficiência de remoção de agentes poluidores, confiabilidade e estabilidade do processo operacional, assim sugerindo recomendações para o melhoramento do desempenho da ETE Planaltina.

4.1 FASE 1: CARACTERIZAÇÃO DA ETE PLANALTINA

A primeira fase envolveu, a revisão bibliográfica, e também à visita técnica na ETE Planaltina no dia 09 de fevereiro de 2021, sendo realizado o diagnóstico operacional do sistema da ETE Planaltina, portanto, foi observado as instalações que dispõe em cada etapa do sistema de tratamento do esgoto, com objetivo de caracterizar as unidades e os processos referentes ao tratamento. Além disso, foi possível avaliar as condições dos equipamentos e das estruturas das lagoas de estabilização, como apresentado na Figura 4.2.



Figura 4.2 - Imagens dos sistemas operacionais da ETE Planaltina (Imagens obtidas em 09/02/2021)

O sistema de esgotamento sanitário de planaltina possui 3 elevatórias de esgoto, que efetuam o bombeamento do esgoto até a entrada da estação. A ETE dispõe de um sistema de gradeamento de aço, com o espaçamento de 5 cm entre as barras inclinadas e a limpeza é manual, e o gradeamento fino com limpeza automática, lançando os detritos na caçamba, para disposição no aterro sanitário. Além disso, contém a desarenação, um sistema que funciona com ação da gravidade. O desarenador possui paletas mecânicas para controlar o fluxo do afluente, pois melhora a decantação da areia. O efluente segue para a calha Parshall (medidor de vazão), e é conduzido para o canal com fluxo dividido, por fim é direcionado para as 3 bombas em funcionamento, assim o efluente é distribuído entre os reatores UASB acoplados nas lagoas facultativas.

A ETE está com três lagoas facultativas em operação, sendo que em 2019 e 2020, duas lagoas facultativas passaram pelo processo de limpeza do fundo, com a retirada do lodo. No final do tratamento, o efluente das lagoas facultativas segue para a lagoa de maturação, são duas em funcionamento. As lagoas de maturação são compostas por chicanas longitudinais, com o objetivo de evitar caminhos preferenciais, portanto, garantido o comportamento hidráulico de reatores de fluxo pistão (PFR). O concreto presente nas estruturas está em um bom estado, mesmo sofrendo deterioração dos gases liberados no processo anaeróbio.

Com relação ao monitoramento da ETE Planaltina, as coletas das amostras são efetuadas de forma composta e manual. Logo, para o afluente após o tratamento preliminar, são realizadas coletas de amostras compostas, ou seja, as amostras são coletadas de forma automática de hora em hora. As amostras do efluente das lagoas facultativas e das lagoas de maturação são coletadas manualmente.

4.2 FASE 2: DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Na segunda fase, ocorreu a avaliação dos dados históricos monitorados pela CAESB, portanto, foi verificada a frequência do monitoramento de cada variável, ausência de dados e presença de outliers, afim de determinar as variáveis para o estudo estatístico.

Como apresentado nos fundamentos teóricos, a remoção de matéria orgânica, sólidos totais, patógenos do esgoto bruto são fundamentais para assegurar a qualidade do corpo receptor,

além de, garantir o cumprimento dos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação, de acordo com o enquadramento do corpo hídrico. Conseqüentemente, as variáveis definidas para avaliar o desempenho da ETE Planaltina foram: DBO, DQO, SST (Sólidos Suspensos Totais), CT (Coliformes Termotolerantes). O nitrogênio e fósforo não foram incluídos nas variáveis de análises, dado que a ETE Planaltina é nível secundário, não remove nutrientes, assim respeitando o sistema operacional da estação de tratamento.

A CAESB forneceu um conjunto de dados com uma série histórica de 4 anos, entre 2017 a 2020. A frequência do monitoramento dos dados, DBO, DQO, e SST ocorre semanalmente. O período do conjunto de dados do Coliformes Termotolerantes é de 2017 até 2019, e são monitorados em 15 e 15 dias.

Os conjuntos de dados dos constituintes apresentaram ausência de dados e outliers. Em estações de tratamento é comum a presença de outliers no conjunto de dados. Outliers são pontos fora da curva, ou seja, valores atípicos grandes ou pequenos em relação aos outros valores do conjunto de dados. Esses outliers, para uma ETE são elementos importantes, portanto, é necessário investigar a causa desses pontos fora da curva. Desse modo, pode se observar que os outliers presentes nos conjuntos de dados ocorreram em períodos chuvosos, inferindo que a precipitação pode alterar as características do afluente e efluente. Os outliers detectados foram mantidos no conjunto de dados.

4.3 FASE 3: ANÁLISE DOS DADOS COM FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

Os dados experimentais de monitoramento da ETE Planaltina foram analisados por meio de estudos estatísticos preliminares. As variáveis definidas, DBO, DQO, SST e CT, tanto de entrada e saída (afluente e efluente), foram submetidas as estatísticas descritivas como a média aritmética, média geométrica, mediana, moda, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria.

O estudo com a estatística descritiva tem objetivo de fornecer a eficiência de remoção da ETE, desta forma avaliar os resultados observados em comparação com as bases literárias e também com os padrões estabelecidos pela legislação. Além de viabilizar a confiabilidade e estabilidade do sistema operacional da Estação de Tratamento de Esgoto Planaltina.

A confiabilidade do sistema operacional de uma ETE refere-se à probabilidade de adquirir o cumprimento adequado dos padrões de lançamentos do efluente, por um período de tempo determinado e sob condições variadas que o sistema pode sofrer, portanto, a confiabilidade representa a porcentagem do tempo em que a estação de tratamento consegue obter um bom desempenho na operação de acordo com os padrões determinados na legislação. A estabilidade é definida como a capacidade de ajuste dos dados com relação às normas e referências bibliográficas (Oliveira, 2006).

Nesse contexto, foram aplicados testes de normalidade aos conjuntos de dados dos constituintes efluentes (DBO, DQO, SST e CT) para caracterizar as distribuições de probabilidades das concentrações efluentes de esgotos. Os testes utilizados para verificar a distribuição normal das variáveis foram Shapiro Wilk, D' Agostino – Pearson e teste gráfico de probabilidade normal, utilizando o suplemento Real Statistics do Excel.

O conhecimento da distribuição de probabilidade dos constituintes permitiu realizar os testes de confiabilidade da ETE referente ao padrão de lançamento. Para isso, foram determinados os coeficientes de confiabilidade (CDC), que por sua vez, relaciona valores das concentrações efluentes médias aos limites de lançamento, com base probabilística (Oliveira, 2007). De modo que, o valor médio dos constituintes m_x é obtido por meio da equação 4.1 (IWA, 2020).

$$m_x = (CDC) * X_s \quad \text{Equação 4. 1}$$

Sendo que:

- m_x : Concentração média do constituinte:
- X_s : Meta de qualidade ou padrão fixado

O cálculo do coeficiente de confiabilidade para uma distribuição normal é fornecido através da equação 4.2 (IWA, 2020).

$$CDC = \frac{1}{1+(Z_{1-\alpha}) * CV} \quad \text{Equação 4. 2}$$

Sendo que:

- CV: Coeficiente de variação
- $Z_{1-\alpha}$: Variável normal com correspondência à probabilidade $(1-\alpha)$

Para obter o percentual esperado do cumprimento ao padrão de lançamento estabelecido pela legislação foi encontrado o valor de $Z_{1-\alpha}$, portanto, o nível de confiabilidade da estação de tratamento é determinado, para uma distribuição normal, por meio da equação 4.3 (IWA, 2020).

$$Z_{1-\alpha} = \frac{\left(\frac{1}{m_x/X_s} - 1\right)}{CV} \quad \text{Equação 4.3}$$

Após encontrar os valores de $Z_{1-\alpha}$, devesse obter os resultados correspondentes à probabilidade cumulativa da distribuição normal. Sendo, que o Excel oferece a função DIST.NORM para o cálculo (IWA, 2020). O valor obtido é correspondente à área da curva normal, logo, equivale ao percentual de atendimento alcançado dos constituintes analisados.

4.4 FASE 4: ANÁLISES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados obtidos por meio da estatística descritiva foi possível realizar uma análise geral da estação de tratamento de esgoto Planaltina. De modo que foi verificado e observado as características dos constituintes, além disso, a comparação dos resultados com base ao esperado da literatura. Os métodos aplicados nos conjuntos de dados dos indicadores (DBO, DQO, SST e CT) viabilizou a estabilidade operacional da ETE e a confiabilidade ao atendimento dos limites de lançamento estabelecidos na legislação. As análises e recomendações são expostas nos próximos itens.

5. RESULTADOS

Os cálculos e gráficos apresentados foram realizados no EXCEL[®], com auxílio da extensão Real Statistics, esse suplemento fornece recursos estatísticos com ampla variedade de análises.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados relativos os constituintes de DBO, DQO, SST e CT do afluente e do efluente foram analisados por meio de modelos estatísticos preliminares, com o objetivo de obter a caracterização do sistema em operação da ETE Planaltina. Portanto, para as variáveis mencionadas, foram calculados o número de dados, médias aritméticas, medianas e desvios padrões. Os resultados referentes às estatísticas descritivas das concentrações afluente e efluente são apresentados na Tabela 5.1. Foram plotados gráficos diagrama de caixa (*box plot*) para auxiliar as análises dos conjuntos de dados, como mostrado na Figura 5.1.

Tabela 5. 1 - Estatísticas descritivas referente às concentrações dos constituintes

Constituintes	Parâmetros	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CT (NMP/100 mL)
Afluente	Média Aritm.	653	1139	457	3,43E+07
	D. Padrão	157	277,70	123,61	2,03E+07
	Média Geom.	633,72	1105,99	440,07	2,87E+07
	Mediana	659	1118	446	2,89E+07
Efluente	Média Aritm.	22	209	88	1,53E+05
	D. Padrão	9,5	45,54	20,63	8,94E+04
	Média Geom.	19,46	203,76	85,17	1,17E+05
	Mediana	20	205	88	1,44E+05

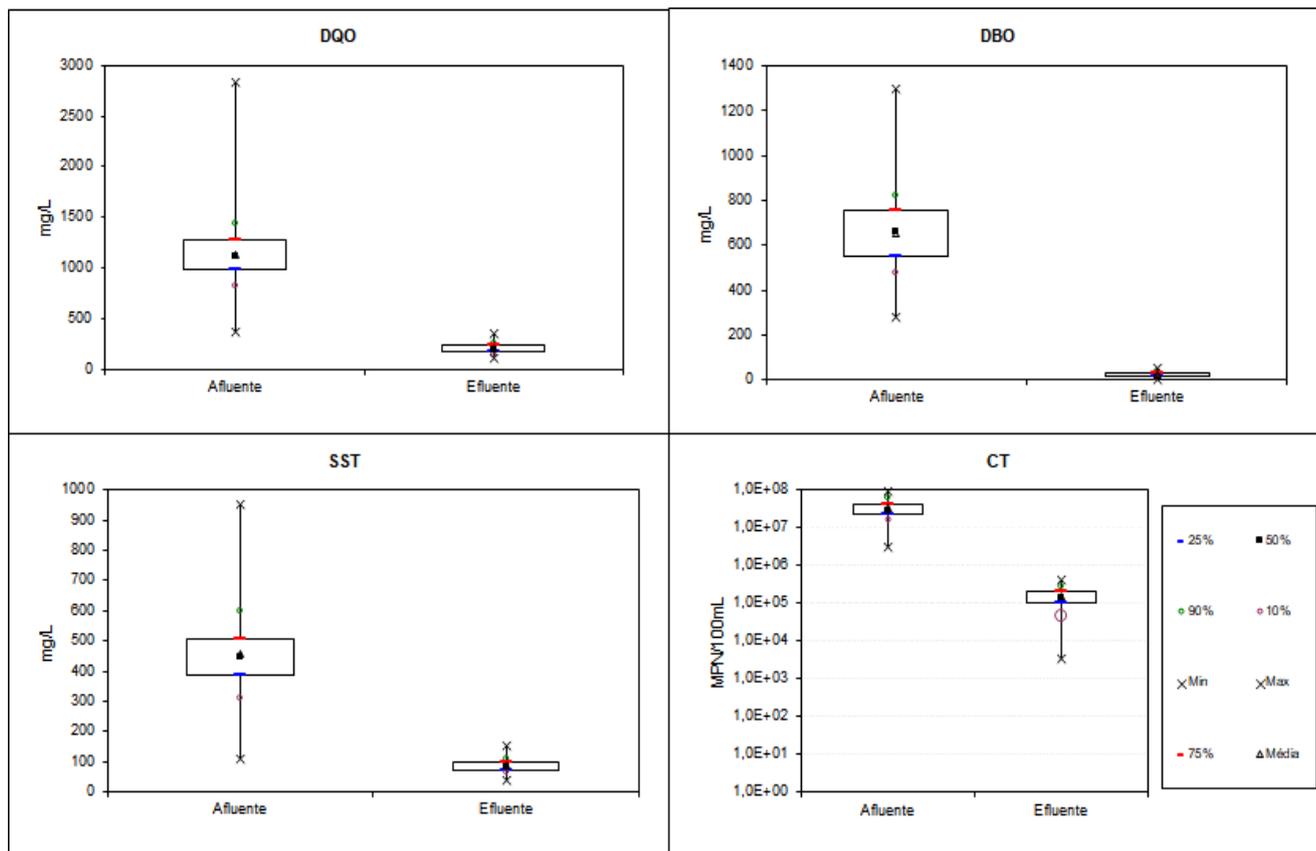


Figura 5. 1- Concentração média do afluente e efluente dos constituintes

Os valores apresentados da DBO afluente mostram que 50%, relação do 1º quartil e 3º quartil, os dados estão entorno de 549 a 756 mg/L, os percentis de 10% e 90% indica que 80% dos dados estão variando entre 477 a 820 mg/L, outra informação observada no gráfico é a mediana próxima da média. Além disso, conseguimos visualizar uma distância entre o percentil 90% com o valor máximo, portanto, indicação de um valor discrepante no conjunto de dados de DBO afluente. E por fim, foi diagnosticado uma assimetria dos dados. Com relação ao efluente de DBO, apresentou características semelhantes com o afluente, portanto, mediana próxima da média, uma assimetria do conjunto dos dados, além disso, 80% dos valores de concentração estão entre 35 a 10 mg/L.

Observando os gráficos das concentrações afluente DQO é verificada uma mediana próxima da média, o percentil 90% encontra-se distante do valor máximo, logo sugerindo a presença de outliers, e 50% dos dados estão variando entre 994 a 1283mg/L. O efluente DQO mostrou características similares com o afluente.

Com relação ao constituinte SST, o gráfico mostra valores da média e mediana próximos. Sendo que, 50% dos dados estão entre 384 a 509 mg/L, além disso, apresenta uma cauda extrema com relação ao percentil de 90%, ou seja, indicativo de outliers. As concentrações do efluente de SST apresentaram os mesmos valores para a média e mediana, como exibido na Tabela 5.1. E o gráfico indica que 80% dos valores dos dados variam de 65 a 111 mg/L.

As concentrações de CT apresentam uma ampla variação, conforme o esperado, mas observando os valores da média geométrica e a mediana notamos uma proximidade dos resultados, além disso, nas caudas de máximo e mínimo apresentam uma distância significativa dos percentis de 90% e 10%, respectivamente. As concentrações efluentes apresentam características similares aos valores afluentes.

Comparado os valores de entrada dos constituintes da ETE Planaltina com as faixas de concentrações reportadas na literatura, constatou-se valores altos nas concentrações dos afluentes dos constituintes da ETE em estudo. As faixas de concentração estão representadas na Tabela 5.2 de acordo com von Sperling (2005). Nesse contexto, foi observado um alto valor de entrada de DBO na ETE Planaltina, com uma média de 653mg/L, bem acima dos valores da literatura apresentados na Tabela 5.2. Contudo, a alta concentração de matéria orgânica do afluente da ETE Planaltina é justificada pelo fato do baixo consumo per capita de água na região administrativa, como reportado nos Painéis Interativos – Consumo de Água tratada (ADASA, 2021), a RA de Planaltina apresentou 114 (L/hab.dia) de consumo per capita anual em 2020, considerando-se um baixo consumo, as regiões como Lago Sul e Lago Norte que mostraram valores de 389 e 225 (L/hab.dia), respectivamente, sendo valores de alto consumo per capita anual.

Os valores de sólidos suspensos totais no afluente também estão fora dos limites observados na literatura, mas os valores das concentrações do indicador CT, estão entre os valores esperados. Portanto, as concentrações afluentes da ETE Planaltina apresentaram valores elevados, conseqüentemente, não correspondendo as faixas das concentrações usuais expostas na literatura. Outra explicação possível para os altas concentrações dos constituintes, podem estar relacionadas com a sazonalidade, de modo que o período seco pode influenciar nas características do afluente.

Tabela 5. 2 - Analogia entre concentrações afluentes típicas da literatura e reais da ETE Planaltina (Adaptado de von Sterling, 2005)

Constituintes	Concentração usuais (literatura) Faixa	Concentração média observada (ETE Planaltina)
DBO (mg/L)	200 – 500	653
DQO (mg/L)	400 – 800	1139
SST (mg/L)	200 – 450	457
CT (NMP/100 mL)	$10^6 - 10^9$	2,87E+07

Fazendo a mesma analogia para os dados efluentes, podemos observar, com base na Tabela 5.3, que a concentração média dos efluentes dos constituintes estão de acordo com a faixa apresentada na literatura. Para concentração de SST apesar de alguns valores estão fora da faixa preconizada pela literatura, o valor da média está próximo do limite esperado. Entretanto, realizando uma comparação com os resultados dos valores de máximo e mínimo, foi observado resultado extremo para a concentração mínima de DBO, sendo detectado uma concentração de 1 mg/L, um resultado de remoção superior ao esperado. O valor máximo da concentração de DBO foi de 50 mg/L, inferior ao limite máximo estabelecido na literatura. Contudo, as concentrações máximas de DQO e SST ultrapassam o recomendado na literatura.

Tabela 5. 3 - Analogia entre concentrações efluentes típica da literatura e reais da ETE Planaltina (Adaptado de von Sterling, 2005)

Constituintes	Concentração usuais (literatura) Faixa	Concentração média observada (ETE Planaltina)
DBO (mg/L)	20 – 80	22
DQO (mg/L)	60 – 200	209
SST (mg/L)	10 – 90	88
CT (NMP/100 mL)	$10^3 - 10^7$	1,53E+05

Na Figura 5.2 são apresentados os valores das séries temporais dos parâmetros afluente e efluente avaliados a partir dos dados fornecidos pela CAESB. Nos gráficos são apresentadas as médias de cada um dos 12 meses do ano, por exemplo, é realizado o cálculo da média do mês de janeiro nos quatro anos analisados. Logo, de acordo com os gráficos, foi constatado uma estabilidade nas concentrações do efluente. Os constituintes afluentes apresentam uma oscilação ao longo dos meses, senso assim, nos meses de abril a outubro, pode ser observado

um aumento na concentração de DBO, DQO e SST. Como esses meses representam o período seco em Brasília, por hipótese a concentração do afluente esteja mais alta, porque a população da região administrativa de Planaltina tem um consumo baixo de água, portanto, na época de seca o afluente da ETE Planaltina fica mais concentrado.

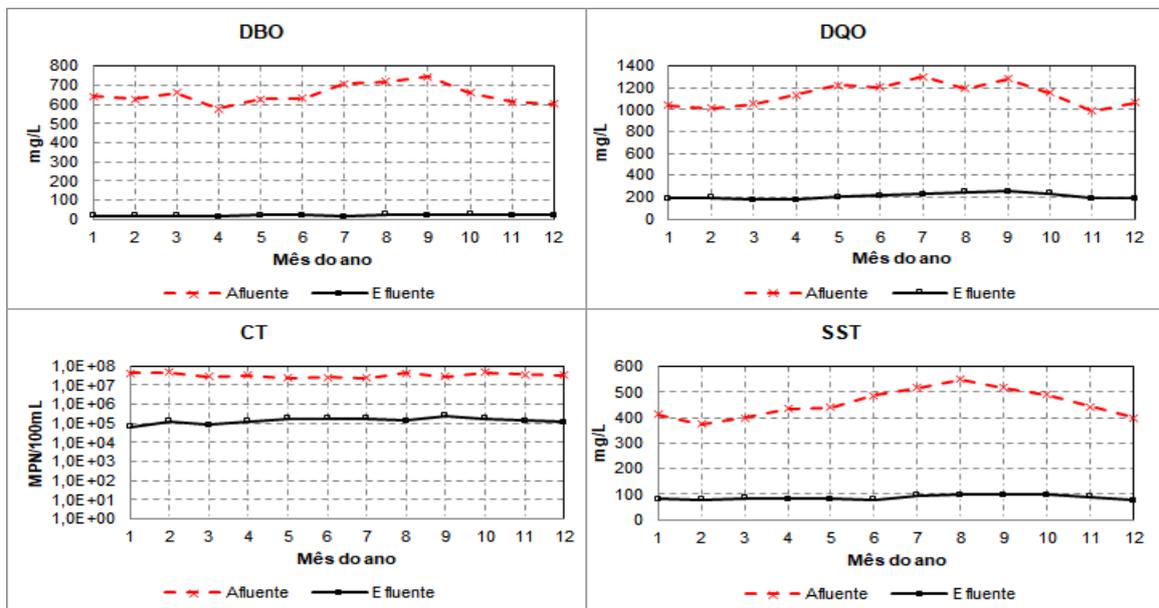


Figura 5. 2 - Série Temporal dos Constituintes - Médias de cada mês dos anos (2017 – 2020)

A variabilidade das concentrações do afluente e efluente dos constituintes foi avaliada com a relação entre o desvio padrão e a média aritmética calculada, assim determinando o coeficiente de variação (CV). De acordo, como os resultados obtidos, foi analisado cada constituinte. Os valores de CV para os coliformes termotolerantes tanto para o afluente e efluente apresentaram valores altos, conforme esperado, pois os dados de CT apresentam uma alta amplitude. Para os demais constituintes os valores do coeficiente de variabilidade exibiram uma relação baixa, portanto, indicando uma estabilidade do sistema operacional da ETE Planaltina. Entretanto, com relação a DBO efluente o CV de 0,44 é considerado um resultado razoável, mas poderia denotar a instabilidade em alguma fase operacional do tratamento. Os resultados dos coeficientes são mostrados na Tabela 5.4.

Tabela 5. 4 - Coeficiente de Variação (CV) dos constituintes afluentes e efluentes

Constituintes	CV – Afluente	CV - Efluente
DBO (mg/L)	0,24	0,44
DQO (mg/L)	0,24	0,22
SS (mg/L)	0,27	0,24
CT (NMP/100 mL)	0,59	0,58

5.2 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

A eficiência de remoção calculada a partir da diferença entre o afluente e o efluente final, assim gerando a eficiência em percentual. O cálculo de eficiência de remoção dos coliformes termotolerantes foi estimado em unidades logarítmicas removidas, pois oferece uma melhor avaliação dos resultados, como apresentado na Figura 5.4. Nesse caso, as remoções variam de, no mínimo -1, a no máximo a 6 (Oliveira, 2006). As estatísticas descritivas das eficiências de remoção dos constituintes são apresentadas na Tabela 5.5 e na Figura 5.3.

Tabela 5. 5 - Estatística descritiva referentes às eficiências de remoção dos constituintes

Parâmetros	DBO Eficiência (%)	DQO Eficiência (%)	SST Eficiência (%)	CT Unid .log de remoção
Média	96,5	80,6	79,3	2,4
D. Padrão	1,7	7,1	9,5	0,6
Mediana	96,9	82,0	81,0	2,3
Percentil 10%	94,0	73,5	70,9	2,0
Percentil 90%	98,3	87,1	87,3	2,8

Observado os valores médios de eficiência dos constituintes verificamos resultados superiores para remoção de DBO e CT, 97% e 2,4 unid. Log (correspondente à 99,16%), respectivamente, e para DQO e SST o resultado da eficiência foi adequado ao sistema de tratamento. Além disso, o desvio padrão foi indicativo de pouca variação das eficiências em relação à média, e também, medianas próximas das médias, portanto, significando que todo o sistema operacional da ETE Planaltina está funcionando de forma satisfatória.

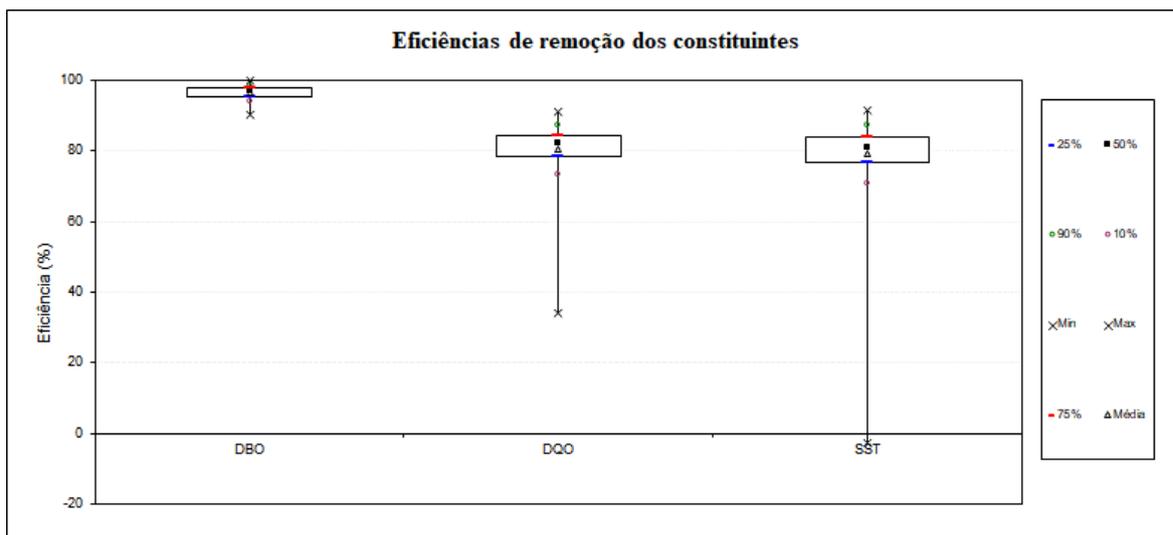


Figura 5. 3 - Eficiências médias de remoção dos diversos constituintes

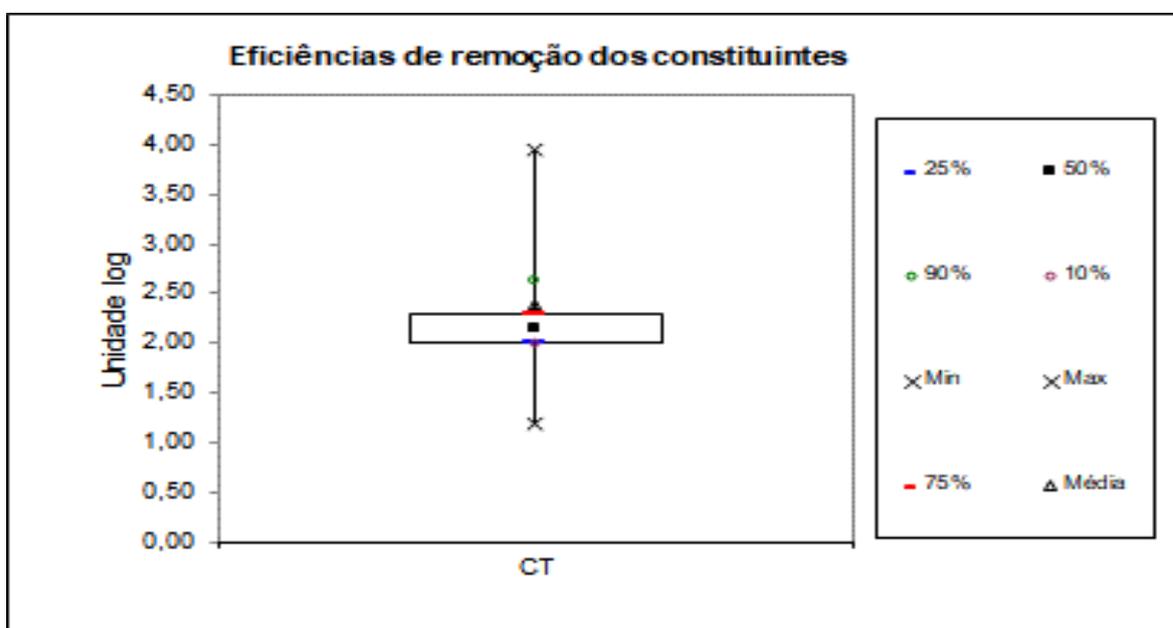


Figura 5. 4 - Eficiências médias de remoção CT em unidade log

Na Figura 5.3 é apresentado o gráfico BoxPlot das eficiências médias dos indicadores analisados, é possível avistar o valor mínimo negativo para sólidos suspensos. Em estações de tratamento é comum encontrar eficiências negativas, isso ocorre porque a concentração do efluente é maior que do afluente (IWA, 2020). Com relação a ETE Planaltina esse episódio, possivelmente, pode estar relacionado com a presença das algas nas lagoas de estabilização. Além disso, a eficiência negativa é um ponto discrepante do restante do conjunto dos dados, pois o valor mínimo encontra-se distante do percentil 10%. Dessa forma, 80% das eficiências do SST corresponde ao intervalo 71 a 87 %, sendo um resultado plausível.

Com as eficiências médias e os percentis de 10% e 90% foi observado que os resultados de eficiência da ETE Planaltina correspondem ao limite máximo e mínimo da faixa recomendada pela literatura. Portanto, foi realizado uma comparação entre as faixas preconizadas na literatura e as faixas observadas, assim os limites dos percentis de 10% e 90% dos constituintes encontram-se longe dos limites mínimos, como mostrado na Tabela 5.6.

Tabela 5. 6 - Analogia entre concentrações eficiência de remoção literais e reais da ETE Planaltina (Adaptado von Sterling, 2005)

Constituintes	Eficiência usuais (literatura) Faixa	Eficiências média observada (ETE Planaltina)
DBO (mg/L)	75 – 93	94 – 98
DQO (mg/L)	65 – 90	73 – 87
SST (mg/L)	70 – 97	71 – 87
CT (NMP/100 ml)	1 – 3	2 – 2,8

5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DOS CONSTITUINTES

Para verificar a conformidade do lançamento do efluente da ETE Planaltina no ribeirão Mestre D'Armas com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA n° 430/2011, é preciso descobrir a distribuição que se adequa melhor aos conjuntos de dados dos constituintes. Com o conhecimento do modelo distributivo que define a variável aleatória, possibilita calcular as probabilidades relacionadas com qualquer evento definido pela a variável em análise (Oliveira, 2006).

Para verificação da forma da distribuição dos constituintes DBO, DQO, SST e CT do efluente foi realizada a exclusão dos outliers do conjunto de dados. Posteriormente, com o objetivo de verificar a normalidade dos dados, foram avaliados os coeficientes de assimetria e curtose, além disso, também por meio da utilização dos testes de normalidade de Shapiro Wilk, D' Agostino – Pearson e teste gráfico de probabilidade normal, foram obtidos os resultados sobre a distribuição dos conjuntos de dados dos efluentes. Os testes foram realizados através da extensão do Excel Real Statistics.

Os resultados dos coeficientes de assimetria foram próximos do valor para uma curva normal, portanto, os resultados ficaram perto de 0. Logo, para o coeficiente de assimetria os valores deram positivos e na faixa de 0,17 a 0,74 com isso, a distribuição tende à direita. O coeficiente de curtose apresentou resultados negativos, significando que a curva da distribuição tem um topo achatado.

Para os testes de Normalidade Shapiro - Wilk e D'Agostino-Pearson foi utilizado o nível de significância de $\alpha = 0,05$, implicando em um nível de confiança de 0,95, ou seja, 95%. Visualizando os p-valores obtidos nos testes, como apresentados nas Tabelas 5.7 e 5.8, é observado resultados maiores que 0,05, portanto, confirmando que os constituintes DBO, DQO, SST e CT efluente seguem uma distribuição normal.

Tabela 5. 7 - Teste de Normalidade Shapiro-Wilk

Shapiro-Wilk Test				
	DBO	DQO	SST	CT
p-valor	0,059	0,179	0,089	0,259
Alpha	0,05	0,05	0,05	0,05
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela 5. 8 - Teste de Normalidade D'Agostino-Pearson

D'Agostino-Pearson				
	DBO	DQO	SST	CT
p-valor	0,101	0,251	0,512	0,090
Alpha	0,05	0,05	0,05	0,05
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim

Outro teste realizado para verificar a normalidade dos conjuntos de dados foi o teste gráfico de probabilidade normal. Nesse teste é plotada distribuição observada *versus* a distribuição teórica, assim é verificado a aderência da distribuição teórica aos dados. A Figura 5.5 possibilita apurar o ajuste dos dados a uma distribuição normal e a distribuição lognormal.

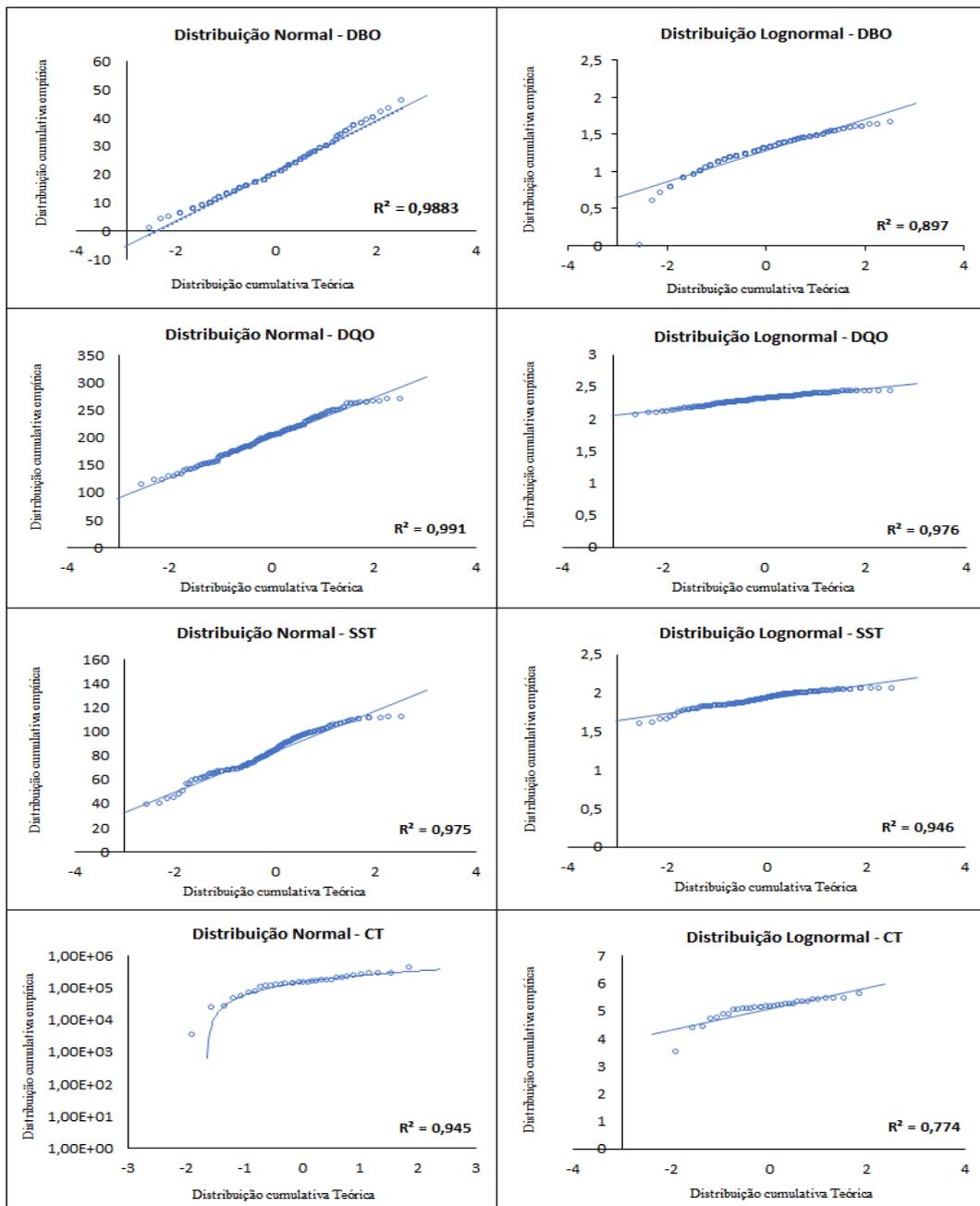


Figura 5. 5 - Gráficos de Probabilidade para verificação de aderência à distribuição normal e lognormal

Os gráficos apresentados na Figura 5.5 mostraram que através do coeficiente de determinação (R^2), os conjuntos de dados dos indicadores se ajustam melhor na distribuição normal. Ademais, os constituintes de DQO e SST apresentaram um elevado coeficiente de determinação (R^2), portanto, também indica uma aderência à distribuição logonormal.

5.4 CONFIABILIDADE AO PADRÃO DE LAÇAMENTO

De acordo com o item 5.3, os conjuntos de dados dos constituintes DBO, DQO, SST e CT seguem uma distribuição normal, o que permitiu empregar a metodologia de confiabilidade apresentada no item 4.3. Os valores obtidos dos coeficientes de confiabilidade (CDC), considerando os coeficientes de variação apresentados pela ETE, e resultados das variáveis normais ($Z_{1-\alpha}$) foram calculados para um nível de confiabilidade de 95%, portanto, com o α igual à 0,05.

As análises dos padrões de lançamento dos efluentes líquidos foram baseadas nas Resoluções CONAMA n° 357 de 2005 e CONAMA n° 430 de 2011, que foram criadas para garantir os usos previstos dos corpos hídricos e estabelecer um controle dos efluentes líquidos lançados pelas estações de tratamento de esgoto. Desse modo, para realizar os testes de confiabilidade foi necessário adotar limites, de acordo com os valores dos conjuntos dos dados das variáveis analisada.

Entretanto, para as variáveis DQO e SST os limites padrões não são considerados na resolução do CONAMA. Na tese de doutorado da Silva Oliveira (2006), foi realizado um estudo amplo das legislações estaduais e também leis da comunidade Europeia referente aos limites estabelecidos para lançamento de DQO e SST, assim possibilitando definir uma faixa adequada das concentrações das variáveis em análise para o lançamento do efluente tratado no corpo receptor. Portanto, para adotar os limites para a verificação da confiabilidade foram utilizadas as faixas de limites padrões definidos por Oliveira (2006).

a. Confiabilidade ao padrão de lançamento do efluente de DBO

De acordo com a resolução CONAMA n° 430/2011, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5 dias}), o limite máximo de lançamento no corpo receptor é de 120 mg/L, contudo, o limite máximo pode ser ultrapassado caso o sistema de tratamento do efluente apresente uma eficiência mínima de 60%, ou de acordo com estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove os limites do enquadramento.

Com base nos resultados das estatísticas descritivas da eficiência de remoção foi observado que a remoção mínima de DBO é aproximadamente 91%, portanto, para avaliação a

confiabilidade do sistema da ETE Planaltina consistiu no critério de limite máximo. Foi adotado limites de concentrações de 20 mg/L, 40 mg/L, 60 mg/L, 80 mg/L e 100 mg/L para realizar os cálculos da confiabilidade ao padrão de lançamento estabelecido.

Com a Figura 5.6 é possível verificar a estabilidade e confiabilidade do tratamento de DBO na ETE Planaltina. Com os gráficos conseguimos visualizar uma variação das concentrações mensais entorno da média, indicando uma instabilidade no sistema operacional da ETE, correspondendo a análise do coeficiente de variação. Entretanto, o sistema é confiável para os padrões de lançamento maiores que 40 mg/L, pois todos os valores estão conforme ao padrão adotado.

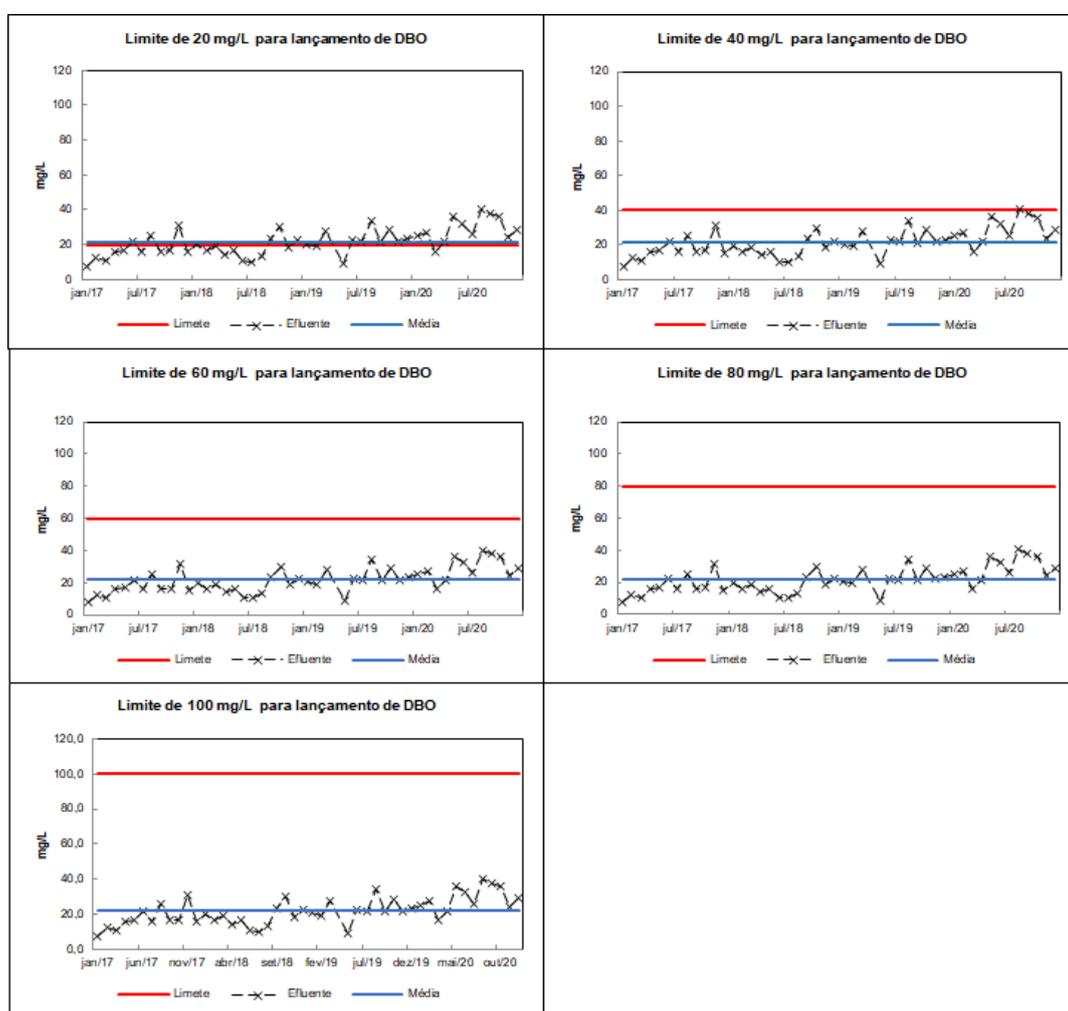


Figura 5. 6 - Gráficos de dispersão das concentrações das médias mensais (2017 até 2020) de DBO com representação dos limites adotados para lançamento de efluente no corpo receptor e do valor médio do conjunto de dados da variável analisada.

Para o padrão de lançamento com concentração de 20 mg/L, como exibido na Tabela 5.9, obtivemos um percentual baixo, tanto para a proporção de dados em conformidade e para o

percentual estimado de conformidade, apresentado nas equações 4.1, 4.2 e 4.3, indicando que menos da metade dos dados atenderam ao limite estabelecido.

O limite com a concentração de 40 mg/L o percentual foi elevado para as duas categorias analisadas, em torno do 95%, não obteve 100% devida a presenças dos outliers no conjunto de dados. A partir do limite com a concentração 60 mg/L alcançamos 100% para as duas categorias de análise, portanto, todos os valores atenderam o padrão de lançamento.

Tabela 5. 9 - Percentual de confiabilidade de DBO para os padrões de lançamento adotados.

	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	80 mg/L	100 mg/L
Proporção de dados em conformidade com o padrão:	44%	95%	100%	100%	100%
Percentual estimado de conformidade:	43%	97%	100%	100%	100%

b. Confiabilidade ao padrão de lançamento do efluente de DQO

Nas resoluções do CONAMA n° 357/2005 e 430/2011 os padrões de lançamento para DQO são ausentes. Desse modo, os limites adotados para a análise de confiabilidade foram adaptados de acordo com o estudo realizado por Oliveira (2006), de acordo com a tese de doutorada a faixa de concentração de DQO variando entre 60 a 450 mg/L. Então, para a avaliação da conformidade do constituinte DQO adotou-se os limites de 200 mg/L, 250 mg/L, 300 mg/L e 350mg/L.

Observando os gráficos da Figura 5.7, conseguimos constatar que o limite com concentração de 200 mg/L é menor que o valor da média, portanto, esse padrão adotado representa a não conformidade ao padrão de lançamento. Para limite de concentração de 250 mg/L o gráfico exibiu resultado satisfatório, mostrando que mais da metade dos valores de concentração atenderam os padrões adotados. Para a concentração de 300 mg/L a maioria dos valores correspondem ao limite empregado.

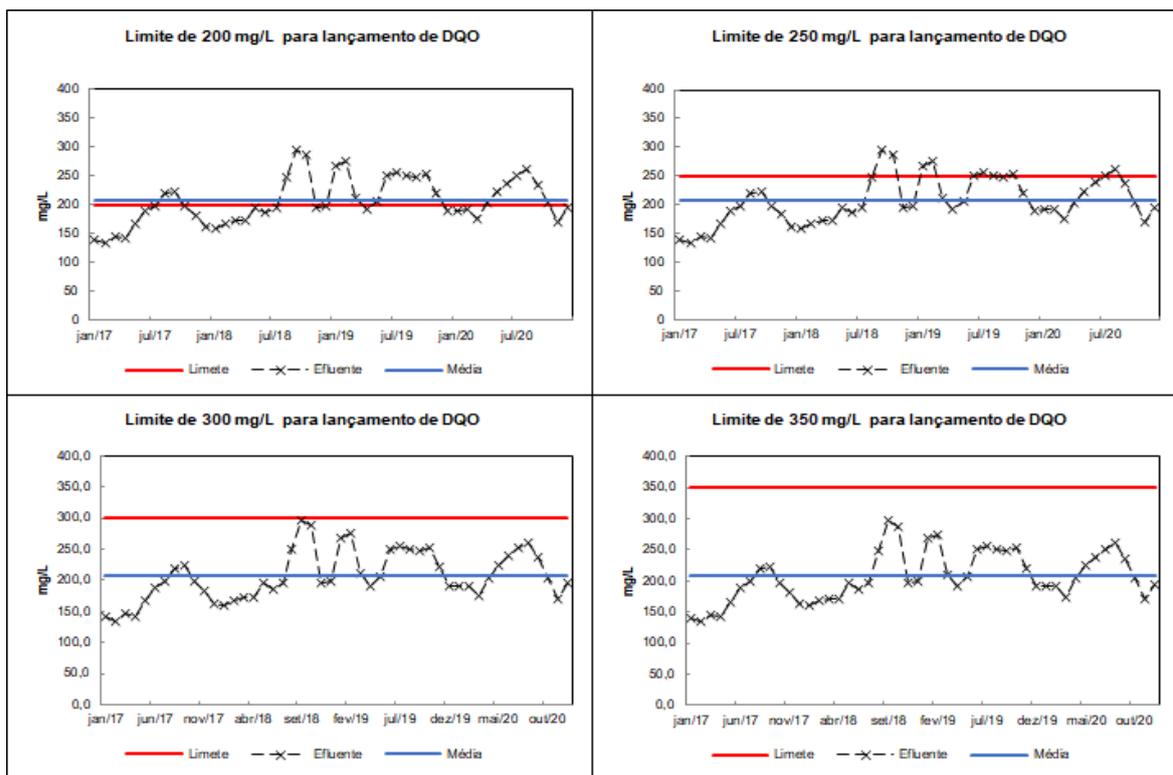


Figura 5. 7 - Gráficos de dispersão das concentrações das médias mensais (2017 até 2020) de DQO com representação dos limites adotados para lançamento de efluente no corpo receptor e do valor médio do conjunto de dados da variável analisada.

Para o limite de DQO com a concentração de 350 mg/L encontrou-se conformidade ao padrão de qualidade de 100%, como apresentado na Tabela 5.10, significando um desempenho confiável da ETE Planaltina, principalmente, que o limite adotado não é o valor máximo apresentado na faixa (60 mg/L até 450 mg/L) sugerida por Oliveira (2006). Com relação aos limites com a concentração 250 mg/L e os resultados da proporção de dados em conformidade e o percentual estimado de conformidade são próximos, indicando uma relação entre eles.

Tabela 5. 10 - Percentual de confiabilidade de DQO para os padrões de lançamento adotados

	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
Proporção de dados em conformidade com o padrão:	43%	84%	95%	99%
Percentual estimado de conformidade:	43%	82%	98%	100%

c. Confiabilidade ao padrão de lançamento do efluente de SST

Os limites de SST também não são considerados na resolução do CONAMA, portanto, os padrões de lançamentos de SST foram adotados de acordo com o estudo de Oliveira (2006), constituindo uma faixa de 30 a 200 mg/L. As proporções dos dados em conformidade e o percentual da conformidade foram calculados para limites empregados de 60 mg/L, 90 mg/L, 120 mg/L, 150 mg/L e 180 mg/L, como exibido na Figura 5.8.

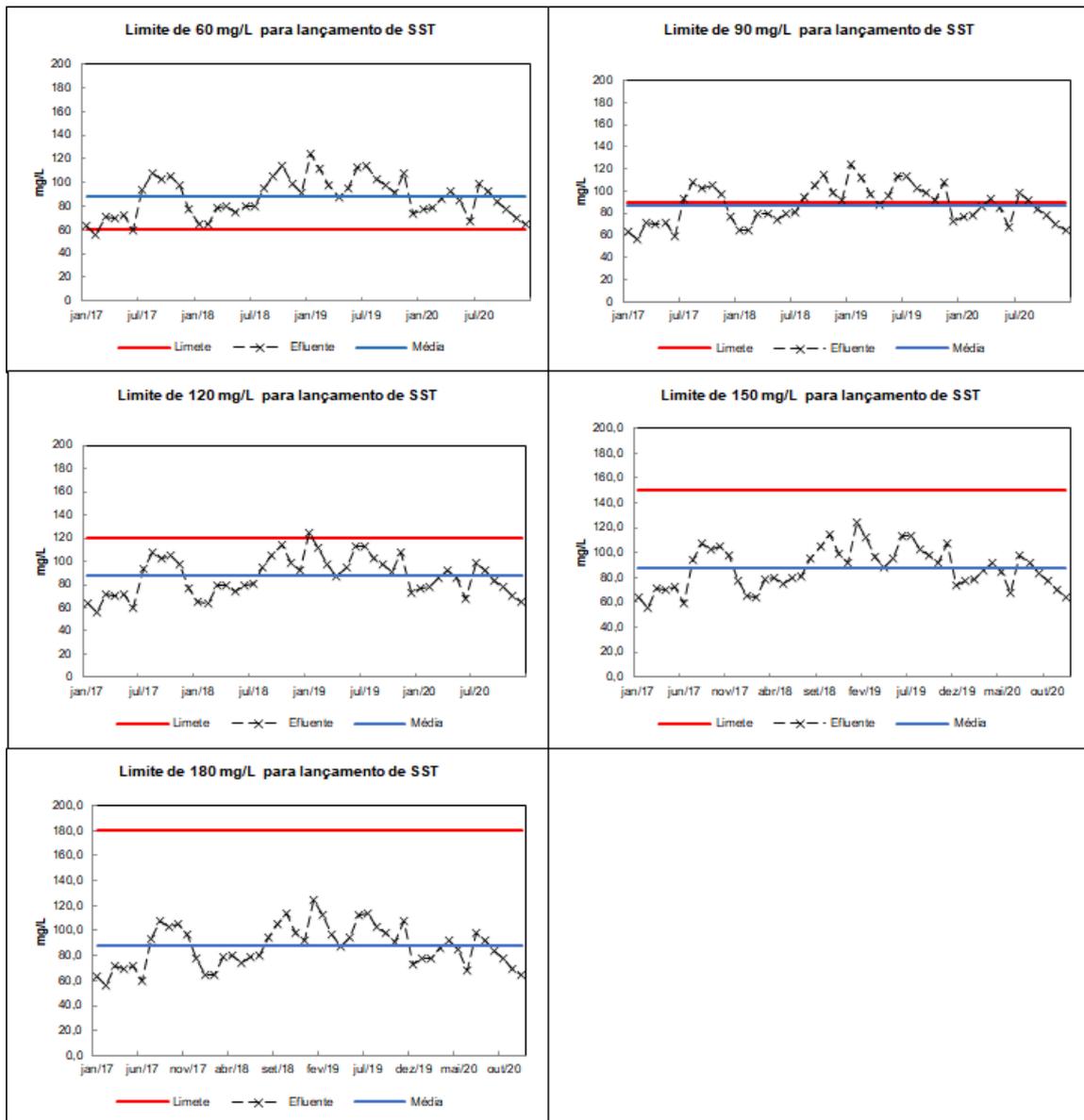


Figura 5. 8 - Gráficos de dispersão das concentrações das médias mensais (2017 até 2020) de SST com representação dos limites adotados para lançamento de efluente no corpo receptor e do valor médio do conjunto de dados da variável analisada.

De acordo com os gráficos apresentados na Figura 5.8 e com a Tabela 5.11 foi observado um resultado inadequado para um limite concentração de 60 mg/L, pois o padrão adotado é inferior ao valor da média, portanto, o valor de 9% do percentual de conformidade era esperado. Para a concentração de 90 mg/L, a metade dos dados estão conforme o limite adotado, sendo impróprio para garantir a qualidade do corpo d'água. Para os limites iguais ou maiores que a concentração de 120 mg/L, obtiveram resultados elevados, indicando o alcance de confiança para o sistema de operação. Além disso, para o limite de concentração de 120 mg/L até a concentração máxima de 200 mg/L, existe uma distância relevante para manter a conformidade do sistema.

Tabela 5. 11 - Percentual de confiabilidade de SST para os padrões de lançamento adotados

	60 mg/L	90 mg/L	120 mg/L	150 mg/L	180 mg/L
Proporção de dados em conformidade com o padrão:	6%	53%	95%	99%	100%
Percentual estimado de conformidade:	9%	55%	94%	100%	100%

d. Confiabilidade ao padrão de lançamento do efluente de CT

No CONAMA 357/2005 informa que o limite dos Coliformes Termotolerantes não pode exceder de 4000 NMP/100ml para corpos d'águas de classe III, contudo, para o lançamento não existe nenhuma recomendação. Desse modo, os valores dos limites para o lançamento foram adotados de acordo com o valor da média do CT, e também com a faixa de remoção para UASB com pós tratamento, logo, os valores de concentração esperado varia de 10^3 até

10^7 NMP/ 100 ml. Os valores dos padrões para lançamento empregados nos cálculos dos percentuais de conformidade foram 10^5 e 10^6 NMP/ 100 ml.

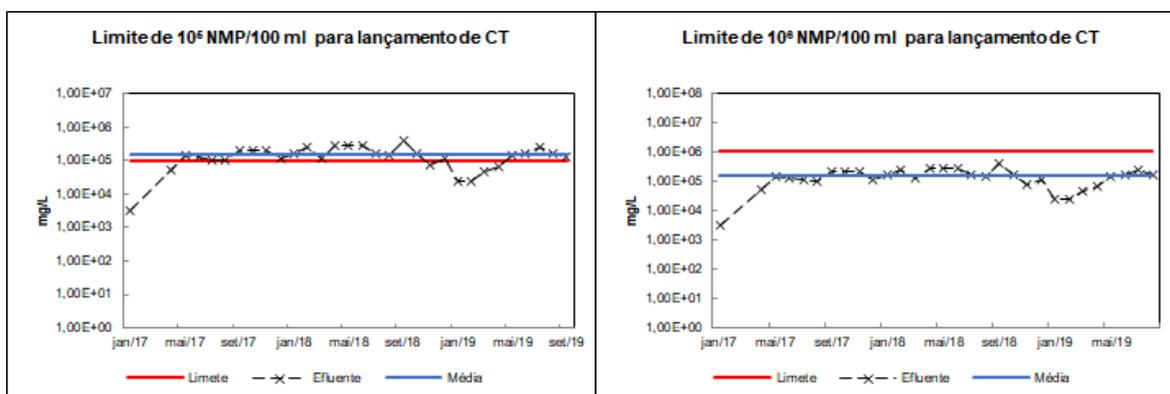


Figura 5. 9 - Gráficos de dispersão das concentrações das médias mensais (2017 até 2019) de CT com representação dos limites adotados para lançamento de efluente no corpo receptor e do valor médio do conjunto de dados da variável analisada.

Com a concentração de 10^6 NMP/100 ml alcançamos uma confiabilidade máxima ao padrão de lançamento, e também, uma proporção de 100%, indicando que todos os valores do conjunto de dados avaliados estão conforme com o limite exigido. Entretanto, para o padrão empregado de 10^5 NMP/100 ml de concentração de CT, os resultados foram inferiores a 50%. Visualizando a Figura 5.9, percebemos que o limite e a média dos valores são próximos, contudo, como o desvio padrão dos dados em relação a média é alto, conforme o esperando, não conseguimos resultados satisfatórios para o percentual estimado de conformidade ao padrão de lançamento de 10^5 NMP/100 ml.

Tabela 5. 12 - Percentual de confiabilidade de CT para os padrões de lançamento adotados

	10^5 NMP/100 ml	10^6 NMP/100 ml
Proporção de dados em conformidade com o padrão:	23%	100%
Percentual estimado de conformidade:	28%	100%

5.5 ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO MESTRE D'ARMAS

A CAESB disponibilizou dados de monitoramento do ribeirão Mestre D'Armas, corpo receptor de efluentes tratados pela Estação de Tratamento de Esgoto Planaltina. As análises foram realizadas de acordo com os limites estabelecidos para o enquadramento de classe 3,

conforme a Resolução CONAMA nº 357 de 2005. Os pontos de monitoramento determinados para a avaliação da qualidade da água do corpo receptor são: CRP.MDR.030 e CRP.MDR.040. O ponto CRP.MDR.030 é localizado próximo ao ponto de lançamento de efluente da ETE Planaltina, e o ponto CRP.MDR.040 encontra-se à jusante do lançamento, sendo o ponto de controle. As localizações dos pontos de monitoramento do ribeirão Mestre D'Armas são representadas na Figura 5.10.

Os dados dos pontos de monitoramento foram avaliados no período de 2017 até 2020, além disso, os dados possuem frequências bimestrais de coletas. Para avaliar a qualidade do corpo receptor foram utilizadas as seguintes variáveis: DBO, SST, OD, Turbidez, Coliformes Totais (C. Totais) e *E.Coli*. Sendo que, os C. Totais inclui diversos gêneros e espécies de bactérias, e algumas não são de origem fecal, por isso, também é necessário analisar os dados de *E.Coli*, pois é um indicador mais específico de contaminação fecal, apontando presença de patógenos. No caso do constituinte DQO os dados são ausentes nos conjuntos de dados fornecidos pela CAESB.

Os indicadores escolhidos são analisados de acordo com a classe 3 do Ribeirão Mestre D'Armas. A Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH definiu o enquadramento dos corpos d'águas, por meio do Conselho de Recursos Hídricos do DF-CRH/DF, aprovando as classes dos corpos de águas superficiais do DF de acordo com usos preponderantes, por meio da Resolução nº 02 de 17/12/2014. Infelizmente, não existe um limite máximo para SST, no entanto a literatura americana sugere um limite de 30 mg/L (Qasim, 2017).

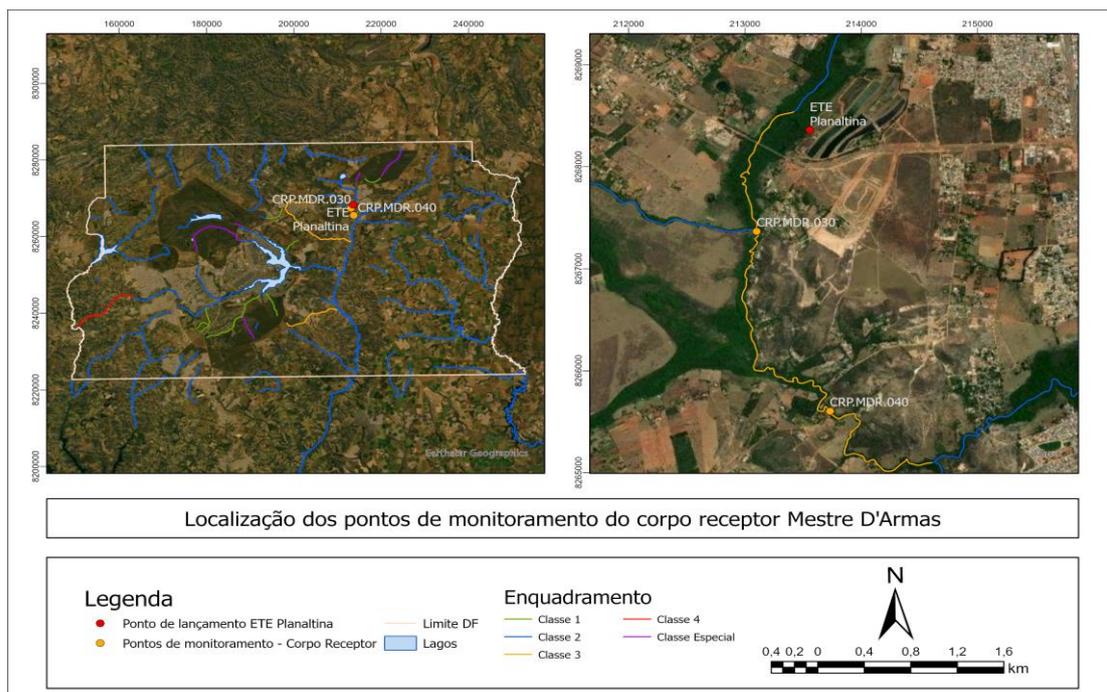


Figura 5. 10 - Localização dos pontos de monitoramento do Mestre D'Armas

a. Ribeirão Mestre D'Armas próximo ao ponto de lançamento da ETE Planaltina – CRP.MDR.030

Na Figura 5.11 são apresentados os gráficos de dispersão para os constituintes escolhidos para avaliação da qualidade da água do ribeirão Mestre D'Armas, logo conseguimos observar os valores de concentração da DBO, SST, pH, Turbidez e *E.Coli* estão de acordo com os padrões estabelecidos. Para as variáveis OD e C. Totais apresentaram concentrações fora do limite esperado. As concentrações de OD estão abaixo do limite mínimo, de modo que os valores deveriam apresentar uma concentração maior que 4 mg/L. De acordo com a resolução CONAMA n° 357/2005 o valor máximo C. Totais para classe 3 é de 4000 NMP/100 ml, mas os resultados no ponto CRP.MDR.030 apresentaram concentrações maiores que o limite estabelecido, entretanto, as análises são realizadas próximo ao ponto de lançamento, desse modo, é comum resultados afastados dos limites estabelecidos.

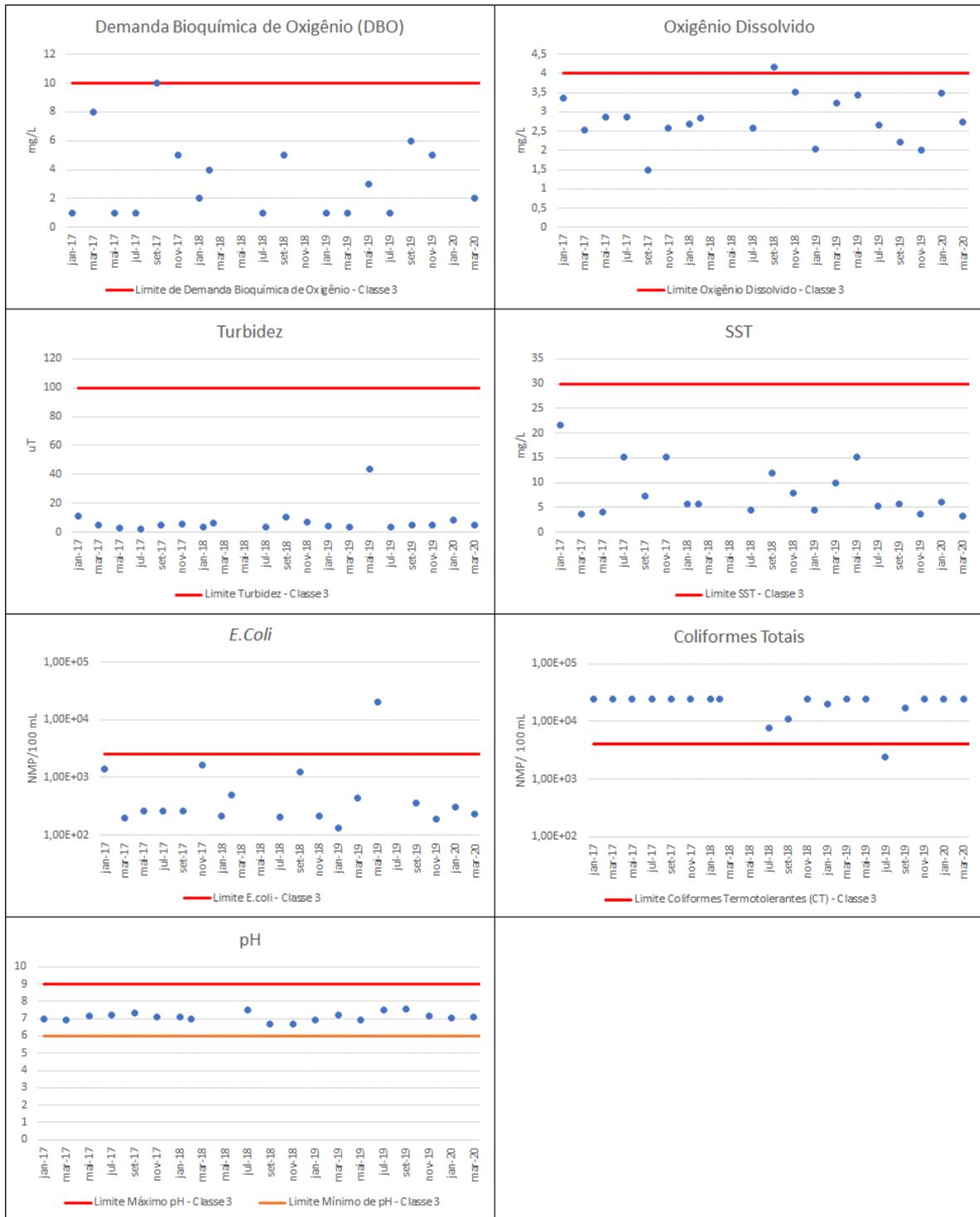


Figura 5. 11 - Resultados do Monitoramento de Qualidade da Água realizado no ribeirão Mestre D'Armas, no ponto CRP.MDR.030

Para os constituintes SST, Turbidez, pH e *E.Coli* obtivemos uma conformidade elevada referente aos limites estabelecidos na Resolução do CONAMA n° 357/2005. Na Figura 5.12 encontra-se as proporções dos dados em conformidade, desse modo, conseguimos observar valores entre 90 a 100%, sendo resultados significantes.

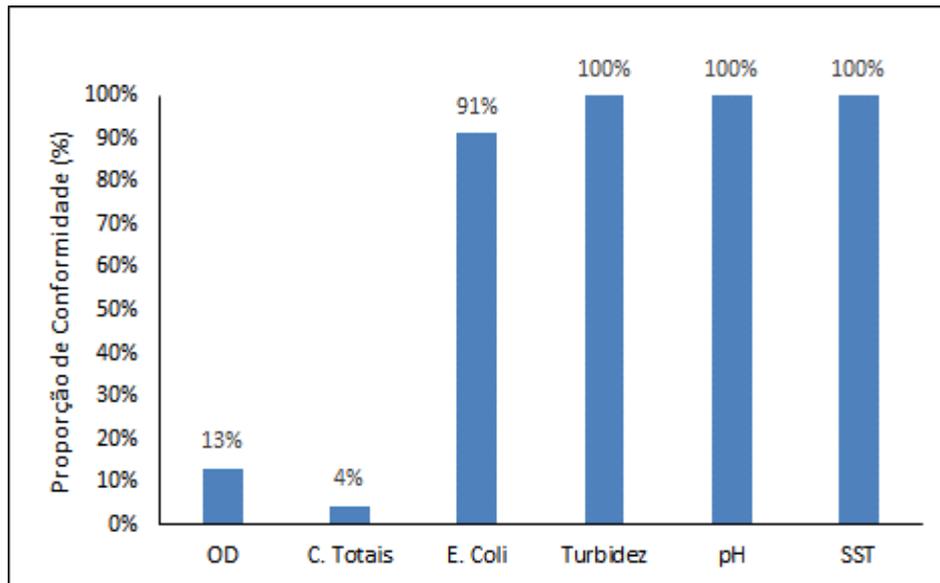


Figura 5. 12 - Proporção de dados em conformidade ao padrão estabelecidos para as variáveis determinadas.

b. Ribeirão Mestre D'Armas à jusante da ETE Planaltina – CRP.MDR.040

O CRP.MDR.040 é considerado o ponto de controle do monitoramento, dispendo de uma distância significativa para ocorrer uma dissolução relevante das cargas poluidoras, portanto, o corpo receptor passa pelo processo de autodepuração e afastamento da zona de mistura do ribeirão. Como observado na Figura 5.13, conseguimos verificar uma melhora nas concentrações de oxigênio dissolvidos, sendo maior que 4 mg/L. Os resultados das variáveis DBO, pH, Turbidez e SST, se mantiveram em conformidade ao padrão estabelecido para classe 3.

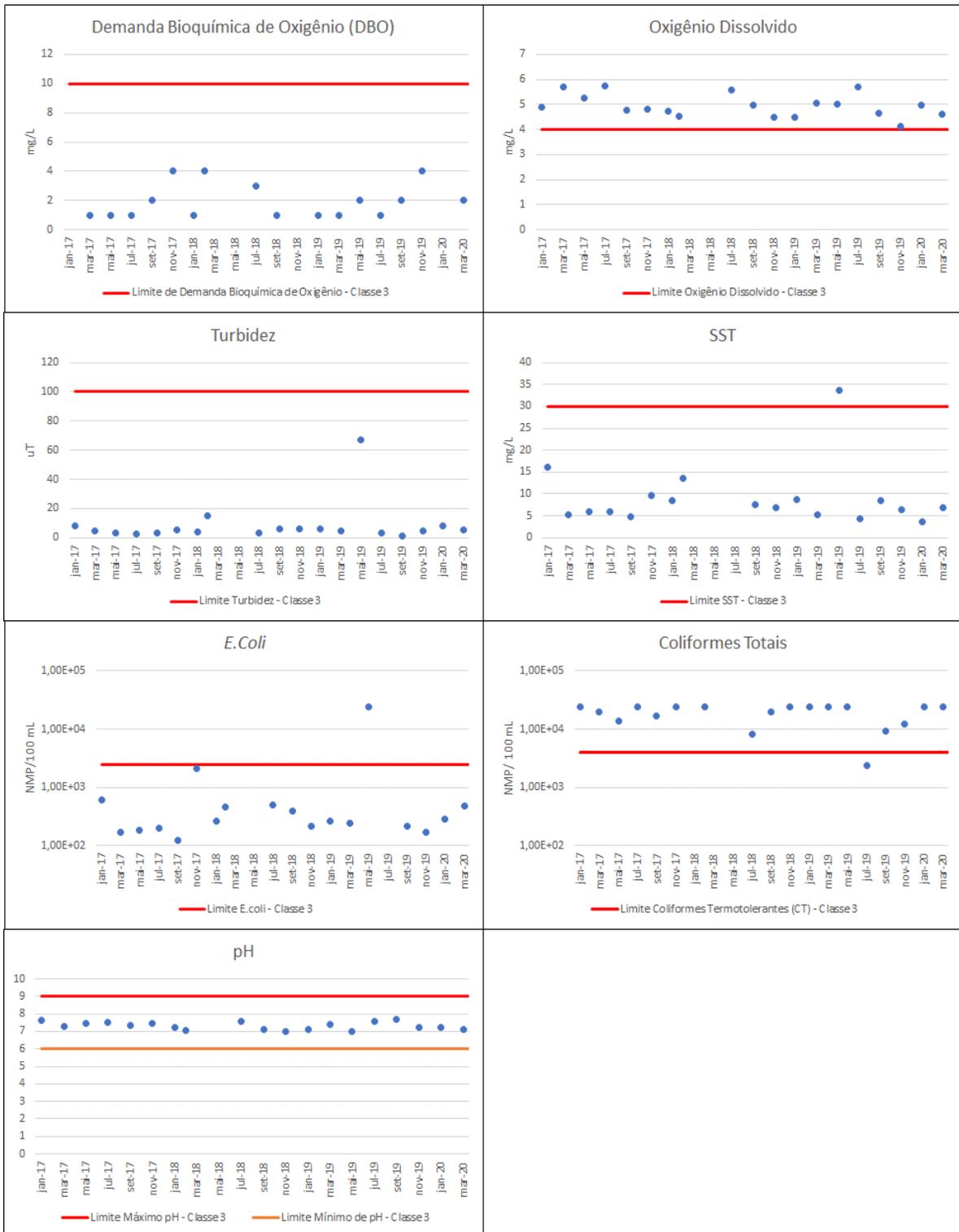


Figura 5. 13 - Resultados do Monitoramento de Qualidade da Água realizado no ribeirão Mestre D'Armas, no ponto CRP.MDR.040.

Considerando os resultados apresentados na Figura 5.14, a proporção dos dados de Coliformes Termotolerantes exibiu um percentual insatisfatório e fora de conformidade com o limite estabelecido de 4000 NMP/100 mg/L para classe 3, em concordância com os resultados do ponto CRP.MDR.030. Contudo, as concentrações elevadas de C. Totais, possivelmente, podem estar relacionadas com as atividades antrópicas entorno do ribeirão Mestre D'Armas. Além disso, o valor de proporção de conformidade de *E.Coli* é significativo, indicando uma boa desinfecção do efluente tratado.

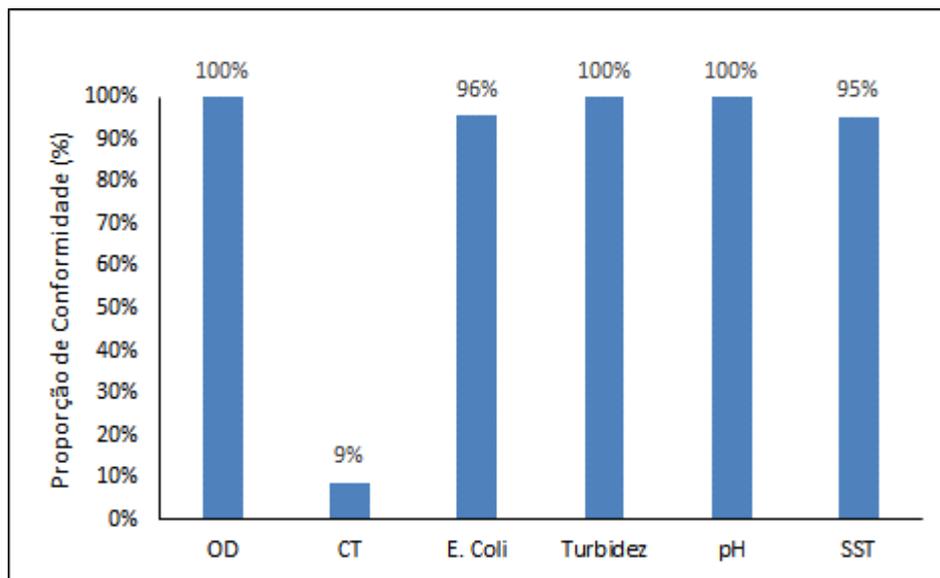


Figura 5. 14 - Proporção de dados em conformidade ao padrão estabelecidos para as variáveis determinadas.

6. CONCLUSÃO

Nessa pesquisa foram avaliados, de forma abrangente, os dados de monitoramento da estação de tratamento de esgoto Planaltina. De modo, a conseguir avaliar o desempenho operacional das tecnologias usadas, considerando as metas legais de qualidade do corpo d'água, obtendo a variabilidade e confiabilidade do sistema.

Logo, foi realizado uma ampla caracterização do esgoto bruto e do esgoto tratado com a utilização da estatística descritiva. Dessa forma, estudando as especificações das concentrações dos constituintes de DBO, DQO, SST e CT, e realizando uma comparação com as concentrações típicas consideradas pela literatura e com as concentrações observadas dos conjuntos de dados da ETE Planaltina. Os resultados mostram que o esgoto bruto apresenta concentrações mais elevadas do que o considerado usual, segundo a literatura, para esgotos domésticos. Referente ao esgoto tratado, os resultados foram satisfatórios, condizentes com os valores de concentração expresso pela a literatura.

O estudo de eficiência de remoção dos constituintes apresentou resultados favoráveis, conforme com as faixas estabelecidas pela literatura. Para o constituinte DBO o percentual de remoção de matéria orgânica do esgoto bruto é elevado, variando de 94% a 98%, sendo valores maiores que o esperado. Os constituintes de DQO, SST e CT apresentaram um nível de remoção satisfatório, com o percentual na faixa de 73% a 87% para DQO, 73% a 85% para SST e uma faixa de 2 até 2,8 para CT em escala logarítmica. Portanto, as eficiências de remoção da ETE Planaltina são adequadas aos valores expressos na literatura para UASB com pós tratamento.

Foram aplicados testes de normalidades e aderência a distribuição lognormal para o esgoto efluente dos constituintes DBO, DQO, SST e CT, com objetivo reconhecer a distribuição de probabilidades que os conjuntos de dados se ajustam melhor, afim de realizar os cálculos de confiabilidade aos padrões de lançamento. Portanto, os constituintes apresentaram uma distribuição normal.

Com a caracterização das distribuições de probabilidades, foi efetuado o estudo de confiabilidade do sistema de tratamento da ETE Planaltina aos padrões estabelecidos pela legislação. A partir do conhecimento do comportamento das concentrações do efluente, foi

calculado os coeficientes de confiabilidade (CDC) e do percentual de atendimento dos padrões de lançamentos, para o nível de confiança de 95% e um $\alpha = 0,05$. Os limites adotados para a verificação da confiabilidade foram de acordo com a Resolução CONAMA n° 357 de 2005, e também limites sugeridos na tese de Oliveira (2006) para variáveis que não são exibidas na resolução.

O constituinte DBO apresentou um percentual de confiabilidade 100% para um limite de 60 mg/L, sendo um resultado superior ao esperado. Em relação ao indicador DBO, a ETE apresenta um desempenho confiável e instável, ou seja, seus valores sofrem uma ampla variação ao valor da média, conforme mostrado pelo coeficiente de variação (CV), mas todos os valores de concentração do conjunto de dados estão conforme ao padrão de lançamento. Mesmo com alta eficiência de remoção o constituinte DQO apresentou insuficiência em relação ao percentual de conformidade para o limite com a concentração de 200 mg/L. Sendo, que apontou uma confiabilidade aceitável para um limite igual ou maior a 250 mg/L. O SST e CT exibiram características similares ao constituinte DQO, sendo apenas confiáveis para limites elevados, entrono de 120 mg/L e 10^5 NMP/100ml, respectivamente.

Por fim, a última análise realizada foi a verificação da qualidade da água do Mestre D'Armas, corpo receptor da ETE Planaltina. O estudo foi realizado para dois pontos de monitoramento, sendo o CRP.MDR.030, localizado à jusante e próximo ao ponto de lançamento, e o ponto CRP.MDR.040 localizado jusante ao ponto CRP.MDR.030, considerado como ponto de controle. Os resultados, no geral, dos dados de monitoramento foram satisfatórios e conformes aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA n° 430 de 2011 para Classe 3. Entretanto, para o constituinte C. Totais os resultados foram altos, possivelmente, o corpo receptor também pode sofrer com influencias de atividades antrópicas que compromete a qualidade da água.

Portanto, a estação de tratamento de esgoto Planaltina apresenta uma eficiência de remoção elevada para os constituintes avaliado e um desempenho satisfatório. Nesse contexto, mostrou uma alta confiabilidade ao indicador de DBO com relação ao padrão de lançamento, mas uma conformidade média para os indicadores DQO, SST e CT, respeitando a faixa observado por Oliveira (2006). O sistema de operação da ETE Planaltina apresentou, no geral, estabilidade no processo de tratamento do esgoto.

7. RECOMENDAÇÕES

Considerar o emprego de análises mais profundas, de modo que, realize uma verificação separada de cada tecnologia utilizada na ETE Planaltina, portanto, um estudo aprofundado dos UASB acoplados nas lagoas facultativas e das lagoas de maturação, com objetivo de analisar a confiabilidade dos constituintes DQO, SST e CT, pois apresentaram resultados medianos no estudo atual.

Além disso, é importante efetuar um estudo sobre a influência de fatores de projetos e operação na qualidade do efluente, com a finalidade de verificar a existências de melhores desempenhos dos sistemas, com faixas recomendadas para os parâmetros de projeto e operacional. Assim, checar se os resultados de bons e maus desempenhos estão relacionados as condições de subcarga ou sobrecarga.

Outra avaliação interessante para realizar, é verificar a qualidade da água do ribeirão Mestre D'Armas à montante ao lançamento de efluente tratado da ETE Planaltina, de acordo com seu enquadramento. Assim, possibilitando realizar um diagnóstico melhor da qualidade do corpo receptor e verificando se há influências das atividades antrópicas no ribeirão Mestre D'Armas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA, Relatório de Histórico do Consumo de Água Tratada. 2021. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2QwOWU0Y2YtZTY5My00ZW5kLWE2MDQtMGM1MDc1MjEzZTgxIiwidCI6IjczZGJmMTMyLWE0YTQtNDkwMy1hYzI2LWJiMjhmY2Y3NDdhNCJ9>>. Acesso em: 12 de maio. de 2021.

Akanime, Carlos Takeo, e Roberto Katsuhiko Yamamoto (2013). Estudo Dirigido de Estatística Descritiva. Editora Saraiva.

CAESB. (2014). Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal, 27ª edição, Brasília.

Campos, J. R. (coordenador). (1999). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Coleção PROSAB. Editora ABES, Rio de Janeiro, 435p.

Chernicharo, C.A.L. (2007). Reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 246p.

Chernicharo, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. v. 5: Reatores Anaeróbios. 379 p

Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal (2018). Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios. Região Administrativa VI – Planaltina. Brasília, DF, 64p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 27p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera

a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 8p.

Douglas C. Montgomery, George C. Runger (2021); Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros; tradução e revisão técnica Veronica Calado, Antonio Henrique Monteiro da Fonseca Thomé da Silva · - 7. ed. - Rio de Janeiro.

Falco, P. B. (2005). Estrutura da comunidade microbiana (algas e bactérias) em um sistema de lagoas de estabilização em duas escalas temporais: nictemeral e sazonal. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade São Paulo. São Paulo, SP, 137p.

IWA Publishing 2020. Assessment of Treatment Plant Performance and Water Quality Data: A Guide for Students, Researchers and Practitioners; Author(s): Marcos von Sperling, Matthew E. Verbyla and Sílvia M. A. C. Oliveira.

Jordão, E.P. e Pêsoa, C.A. (2011). Tratamento de Esgoto Doméstico. 6ª edição. Editora SEGRAC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 932p.

Jungles, M. K (2007). Tratamento de Esgoto Sanitário em Lagoa de Maturação com Biofilme. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 150p.

Kellner, E. e Pires, E. C. (1998). Lagoas de estabilização: processo e operação. Rio de Janeiro: ABES, 241p.

Morettin, Pedro A. Estatística básica. Editora Saraiva, 2017.

Oliveira, S.M.A (2006) – Análise de desempenho e confiabilidade de estação de tratamento de esgoto – Tese (doutorado) Universidade Federal de Minas Gerais; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 214p.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. (2007) Análise da confiabilidade de estações de tratamento de esgotos - Engenharia Sanitária e Ambiental, 10p.

PROSAB (2019). Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza - CE.

PROSAB (2001). Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios - Coletânea de Artigos Técnicos - volume II – Capítulo 03, 51p.

Qasim. Syed R; Guang Zhu. (2017) Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples; Volume 1: Principles and Basic Treatment

SNIS, Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico do serviço de água e esgoto (2018).

Von Sperling, M. (2005). Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 3 – Lagoas de Estabilização. DESA-UFMG, Belo Horizonte – MG.

Von Sperling, M. (1996). Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 2. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. 1. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, v.1, 211p.

Von Sperling, M. (1996). Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 1 – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. DESA-UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 211p.