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

AVALIAÇÂO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) DO GAMA - DF

MATHEUS DA SILVA CASTRO

ORIENTADOR/A: ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: SETEMBRO – 2022
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÂO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) DO GAMA - DF

MATHEUS DA SILVA CASTRO

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 (UnB)

(ORIENTADORA)

Yovanka Pérez Ginoris, DSc (UnB)

(EXAMINADORA INTERNA)

Cristiano Mano da Silva (CAESB)

(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 23 DE SETEMBRO DE 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

CASTRO, MATHEUS DA SILVA

Investigação quanto a eficiência da estação de tratamento de esgoto (ETE) do gama - DF. [Distrito Federal] 2022.

vi, 88 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2022)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Estação de Tratamento de Esgoto 2. Desempenho

3. ETE Gama I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CASTRO, M. S. (2022). Investigação quanto a eficiência da estação de tratamento de esgoto (ETE) do gama - DF. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 88p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Matheus da Silva Castro

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Investigação quanto a eficiência da estação de tratamento de esgoto (ETE) do gama - DF.

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2022

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.

_____

Matheus da Silva Castro

Planaltina/DF – Brasil

matsc1996@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

Eu venho agradecer minha mãe, Maria Nazaré, pelo seu amor, carinho, incentivo, compreensão e exemplo, sem essas suas atitudes eu jamais teria a capacidade de desenvolver esse trabalho e vários momentos da minha passagem na graduação não teriam sido os mesmo sem você. Ao meu pai, José Alberto, pela insistência, pela torcida, apoio do meu futuro, me amar e me fazer acreditar na minha capacidade de alcançar meus sonhos. À minha irmã, Giovanna, por ser sempre o ombro que me acolheu em momentos de dificuldade e pelas conversar que temos, brincadeiras. Meu muito obrigado para minha família.

À Jade Milena por todo amor, carinho e paciência. Eu só tenho que te agradecer por me amar tão intensamente e nunca soltar a minha mão. Gratidão por você sempre enxergar o melhor em mim e nunca desanimar diante das dificuldades.

Aos meus amigos de curso, que trouxeram momentos de diversão em momentos de intervalo dos estudos. Além de me darem suporte nos estudos e nas matérias em que passei.

À minha orientadora, Ariuska, pelo exemplo profissional de docência. Pelo suporte que me deu quando precisava ingressar na Engenharia Ambiental na mudança de curso. Por ter me despertado o interesse pela área de saneamento na matéria de Tratamento de Águas Residuárias. Além das conversas de orientação, que me ajudaram a desenvolver a monografia.

À Enxurrada, por me possibilitar a integração com o pessoal da engenharia ambiental, o que facilitou a convivência da graduação, proporcionando inúmeros aprendizados e principalmente a formação de amizades.

À CAESB por colaborar com a pesquisa realizada. Em especial, ao Cristiano Mano por estar sempre disposto a fornecer esclarecimentos a respeito do funcionamento da ETE Gama, pelas visitas guiadas e sugestões no texto do projeto final 1.

RESUMO

Pesquisas que versam sobre o esgotamento sanitário são instrumentos de suma relevância na atual conjuntura, visto o potencial indicativo de qualidade de vida da população local. Seja em decorrência do mal planejamento urbano, do crescimento populacional desordenado ou do padrão de consumo de água, assim como sistema de esgotamento sanitário ineficaz gera impactos econômicos, sociais e ambientais a curto, médio e longo prazo. Foi com base nessa problemática que o presente trabalho buscou desenvolver seu objeto de estudo. Neste sentido, esta pesquisa busca investigar o desempenho operacional da Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Gama/DF, empregando um delineamento exploratório e descritivo a partir de dados de monitoramento fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) para caracterizar os conjuntos de dados das concentrações afluentes e efluentes dos parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos (SS), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT), *Escherichia Coli*. Foi realizada também, uma análise comparativa com de conformidade com a resolução CONAMA nº 430 de 2011 e com os critérios de outorga de lançamento da ADASA Resolução nº 13 de 2011 e avaliação da influência da sazonalidade na concentração do afluente e efluente da ETE. Como resultado foi obtido o fluxograma da ETE, destacando a fase líquida e fase sólida caracterizando cada unidade de operação da estação. Além disso, as eficiências de remoção da maioria dos parâmetros avaliados foram suficientes para atender os requerimentos da Resolução do CONAMA quanto à outorga de lançamento da ADASA, alcançando valores acima de 90% de remoção. O nitrogênio total não alcançou uma remoção adequada, apenas 59.6% de remoção, indicando a necessidade de realização de estudo específico sobre a remoção biológica de N para identificar os fatores que influenciou sua remoção. Foi observado que os parâmetros DBO, DQO, SS e NT apresentaram medianas maiores e uma significância estatística no afluente durante o período seco do Distrito Federal. A partir dos resultados deste estudo, espera-se contribuir com o estado de conhecimento sobre a situação de esgotamento sanitário na região administrativa do Gama/DF, de forma a servir como estímulo para o desenvolvimento de mais pesquisas, bem como um indicativo atual sobre a questão.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Esgoto, Desempenho, ETE Gama.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS vii

LISTA DE TABELAS x

LISTA DE ABREVIAÇÕES, NOMENCLATURA E SÍMBOLOS xii

1. INTRODUÇÃO 1

2. OBJETIVOS 3

2.1. OBJETIVO GERAL 3

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 4

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS SANITÁRIOS 4

3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DO SERVIÇO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO 7

3.3. SITUAÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO DISTRITO FEDERAL 11

3.4. ESTUDO DE CASO 18

3.4.1. Estação de Tratamento de Esgoto Gama 18

3.4.2. Reformas da ETE Gama 22

3.4.3. Corpo Hídrico Receptor: Ribeirão Ponte Alta 22

3.5. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS 24

4. METODOLOGIA 26

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESTUDO 27

4.2. VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE DA ETE EM RELAÇÃO ÀS REGULAMENTAÇÕES E SUA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS PARÂMETROS 28

4.3. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE NAS CONCENTRAÇÕES DO AFLUENTE E EFLUENTE 29

5. DISCUSSÃO E RESULTADOS 30

5.1. FLUXOGRAMA E DESCRIÇÃO OPERACIONAL DA ESTAÇÃO 30

5.2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE MONITORAMENTO 51
5.2.1. Dados Fornecidos.....51
5.2.2. Vazão e Carga.....53
5.2.3. Concentrações de DBO, DQO e sólidos suspensos.....56
5.2.4. Concentrações de Nutrientes 57
5.2.5. Concentrações de Coliforme termotolerantes e E. Coli 58
5.2.6. Eficiência de Remoção da ETE Gama 59
5.3. Avaliação da Conformidade da ETE em Relação as Regulamentações.....61
5.4. Avaliação da Concentração dos Parâmetros em Relação a Sazonalidade..65
6. CONCLUSÕES 68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Ciclo do Esgoto Doméstico. (Fonte: SNIS 2021) 9
Figura 3.2 - Percentual de atendimento dos serviços de coleta e tratamento de esgoto no DF de 2003 a 2020.....12
Figura 3.3 - Localização ETE do Gama, vista aérea pelo Google Earth. (Fonte: Google Earth, 2020.).....18
Figura 3.4 -Vista aérea da ETE Gama. (Fonte: Adaptado Geoportal, 2016.).....19
Figura 3.5 – Foto tirada por um drone da ETE Gama. (Fonte: CAESB, 2021).....19
Figura 3.6 - Localização da ETE e das RA's do Distrito Federal. Fonte: Autor 20
Figura 3.7 - Distribuição dos domicílios ocupados segundo a regularização do lote, Gama, Distrito Federal, 2018. (Fonte: CODEPLAN/PDAD 2018) 21
Figura 3.8 - Esgotamento sanitário em domicílio, Gama, Distrito Federal, 2018. (Fonte: CODEPLAN/PDAD 2018) 21
Figura 4.1- Fluxograma da Metodologia.....27
Figura 5.1 - Etapas de tratamento de esgoto da ETE Gama. Adaptado pelo Autor (Fonte: Felizzato, 2017) 31
Figura 5.2 - Entrada do afluente no tratamento preliminar e o gradeamento grosseiro. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 32
Figura 5.3 - Comportas motorizadas. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 32
Figura 5.4 - Gradeamento fino por rosca. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 33
Figura 5.5 - Calha Parshall com a sonda medindo a vazão. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 34
Figura 5.6 – Desarenador em operação como caixa de areia. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 35
Figura 5.7 – Desarenador paralisado, destacando o raspador. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 35
Figura 5.8 - Caixa distribuidora de vazão com saída para os reatores e o by-pass. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 36
Figura 5.9 - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente. (Fonte: Elaborado pelo Autor)37
Figura 5.10 - Sistema de calhas e passagem do efluente tratado no RAFA. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 38
Figura 5.11 – Queima dos gases provenientes do RAFA. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 39

Figura 5.12 - Caixa de mistura, efluente anaeróbio com o efluente do by-pass. (Fonte: Elaborado pelo Autor) 39
Figura 5.13 – Planta de corte do reator de lodo ativado. Fonte: CAESB 40
Figura 5.14 - Disposição da malha de aeração no fundo do reator de lodo ativado. Fonte: B&FDias, 2019 40
Figura 5.15 - Entrada do reator aeróbio onde ocorre a proporção 1:1 de esgoto e lodo ativado. (Fonte: Elaborado pelo autor) 41
Figura 5.16 - Casa de assopradores, onde o ar é encaminhado para o reator. (Fonte: Elaborado pelo autor) 41
Figura 5.17 - Desenho esquemático do reator aerado da ETE Gama (sem escala). Legenda: An: Zona 42
Figura 5.18 - Reator aeróbio em operação. (Fonte: Elaborado pelo autor) 44
Figura 5.19 - Reator aeróbio fora de operação. (Fonte: Elaborado pelo autor) 44
Figura 5.20 - Adição de sulfato de alumínio no efluente do reator. (Fonte: Elaborado pelo autor) 45
Figura 5.21 - Reservatórios do sulfato de alumínio. (Fonte: Elaborado pelo autor) ..45
Figura 5.22 - Saída do licor misto do decantador secundário. (Fonte: Elaborado pelo autor) 46
Figura 5.23 - Anel defletor externo do decantador, água clarificada 46
Figura 5.24 - Decantadores secundários. (Fonte: Elaborado pelo autor) 47
Figura 5.25 – Calha Parshall para medição da vazão do Efluente Final. (Fonte: Elaborado pelo autor) 47
Figura 5.26 - Adensadores por gravidade. (Fonte: Elaborado pelo autor) 49
Figura 5.27 - Lagoa de lodo. (Fonte: Elaborado pelo autor) 49
Figura 5.28 - Desidratação de lodo por centrifugação. (Fonte: Elaborado pelo autor) 50
Figura 5.29 – Tanque da elevatória do lodo de fração líquida da centrifugação. (Fonte: Elaborado pelo autor) 50
Figura 5.30 – Leito de secagem do lodo. (Fonte: Elaborado pelo autor) 51
Figura 5.31 - Gráfico da vazão média mensal de esgoto afluente a ETE Gama nos anos de 2018 a 2022 53
Figura 5.32 - Carga de massa da DBO que chega na ETE Gama 54
Figura 5.33 - Carga de massa da DQO que chega na ETE Gama 54

Figura 5.34 - Carga de massa da SS que chega na ETE Gama.....55
Figura 5.35 - Carga de massa da NT que chega na ETE Gama.....55
Figura 5.36 - Carga de massa da PT que chega na ETE Gama.....56
Figura 5.37 - Diagramas de caixa dos parâmetros de DBO, DQO e SS conforme os pontos de amostragem da ETE Gama.....57
Figura 5.38 - Diagramas de caixa dos parâmetros de NT, NTK e PT conforme os pontos de amostragem da ETE Gama.....58
Figura 5.39 - Diagramas de caixa dos parâmetros de E. Coli e Coli. T conforme os pontos de amostragem da ETE Gama.....59
Figura 5.40 - Média da eficiência de remoção dos parâmetros da ETE Gama.....60
Figura 5.41 – Concentração da média mensal de DBO no afluente e efluente final, remoção do tratamento adotado pela ETE Gama, comparado com a legislação no período de janeiro de 2012 a março de 2022.....61
Figura 5.42 - Concentração média mensal de Sólidos Suspensos e remoção do tratamento adotado pela ETE Gama, no período de janeiro de 2012 a março de 2022. 63
Figura 5.43 - Concentração média de nitrogênio total nas etapas de tratamento da ETE Gama no período de setembro de 2017 a março de 2022.....64
Figura 5.44 - Análise do valor de pH na ETE Gama de janeiro de 2012 a janeiro de 2022. 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Padrões de lançamento de efluentes parâmetros inorgânicos. (Fonte: BRASIL, 2011) 6
Tabela 3.2 - Padrões de lançamento de efluentes parâmetros inorgânicos. (Fonte: BRASIL, 2011) 6
Tabela 3.3 - Limites estabelecidos pela outorga da ADASA para a ETE GAMA. Fonte: ADASA, 2015 7
Tabela 3.4 – População atendida com rede pública de esgoto (%, em 2020). (Fonte: SNIS, 2020) 10
Tabela 3.5 – índices de Tratamento de Esgoto Gerados por macrorregião (IN046) (%, em 2020). (Fonte: SNIS, 2020) 11
Tabela 3.6 - Destinação do esgoto sanitário do domicílio no ano de 2013 (Fonte: CODEPLAN, 2013) 13
Tabela 3.7 - Destinação do esgoto sanitário do domicílio no ano de 2021 (Fonte: CODEPLAN, 2021) 13
Tabela 3.8 - Vazões geradas de esgoto atuais e futuras para cada ETE. (Fonte: PDSB, 2017) 14
Tabela 3.9 - Descrição das ETE's presentes no Distrito Federal. (Fonte: CAESB, 2017) 16
Tabela 3.10 - Estações de Tratamento de Esgoto por Bacias Hidrográficas do DF (Fonte: GDF,2017) 17
Tabela 3.11 - Principais parâmetros de enquadramento de águas doces de classe 3 (Fonte: BRASIL, 2005). 23
Tabela 4.1 - Dados avaliados para caracterização das ETE 27
Tabela 4.2 – Parâmetros de monitoramento disponibilizados pela CAESB. 28
Tabela 5.1 - Número de dados de cada parâmetro conforme o ponto de amostragem 52
Tabela 5.2 - Faixa de Eficiência de remoção (%) esperada pela literatura. Fonte: VON SPERLIN (2005); OLIVEIRA (2012). 60
Tabela 5.3 - Meses que apresentaram não conformidade com os limites imposto pela outorga da Adasa 62
Tabela 5.4 - Mediana das concentrações afluentes nas estações seca e chuvosa e o nível de significância (p) 66

Tabela 5.5 - Mediana das concentrações efluentes nas estações seca e chuvosa e o nível de significância (p) 66

LISTA DE ABREVIAÇÕES, NOMENCLATURA E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DF	Distrito Federal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E.Coli	*Escherichia Coli*
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto]
GO	Goiás
NT	Nitrogênio Total
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
PDAD	Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios
PDSB	Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PO_4	Ortofosfato
PT	Fósforo Total
PVC	Policloreto de Vinila
RA	Região Administrativa
RAFA	Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente
SIESG	Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal.
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SS	Sólidos Suspensos
SSed	Sólidos Sedimentáveis

1. INTRODUÇÃO

A discussão sobre a eficiência dos sistemas de saneamento básico tem despertado interesse no campo da Engenharia Ambiental, tendo em vista a demanda para se alcançar melhores e adequadas abordagens na área, visando contribuir com a preservação ambiental. Para Costa (2013), “o déficit de estruturas e atividades na área de saneamento básico que o Brasil vive atualmente, aliado à carência de investimento no setor, interfere diretamente na qualidade de vida da população”.

De acordo com von Sperling (2020), o termo “saneamento básico” é compreendido como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Ainda, conforme este autor, o esgotamento sanitário constitui-se pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente.

Dentre os princípios fundamentais que norteiam a prestação dos serviços de saneamento público, destaca-se a universalização do acesso e efetiva prestação do serviço, a integralidade, compreendida como o conjunto de atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento que propicie à população o acesso a eles em conformidade com suas necessidades e maximize a eficácia das ações e dos resultados; e a operação realizada de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente (BRASIL, 2011).

Informações do Atlas de Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2017) apontam que 38,6% dos esgotos produzidos no Brasil não são coletados nem tratados. Essa situação pode ser percebida em casos de esgoto a céu aberto. Outros 18,8% dos esgotos são coletados, mas são lançados nos corpos d'água sem tratamento. Já os 42,6% restantes são coletados e tratados antes de retornarem aos mananciais, o que é o cenário adequado.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), 93,4% dos brasileiros que vivem em áreas urbanas possuem acesso ao serviço de abastecimento de água. Já na questão do esgotamento sanitário, os percentuais caem

consideravelmente, pois 63,2% da população era atendida com coleta de esgoto e, desse total, 50,8% possuíam tratamento de esgoto.

Uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) têm que garantir a efetividade no tratamento para que consiga atender as resoluções e outorgas impostas. Por isso, deve passar por frequentes análises de parâmetros de qualidade de seus efluentes finais, de forma a atender ao previsto na resolução CONAMA nº 430 de 2011.

Uma questão importante que se deve levar em conta remete ao fato de que no Distrito Federal, os rios e córregos (corpos receptores) possuem baixas vazões, pois o DF é uma região localizada nas proximidades das nascentes destes rios, o que implica em baixa capacidade de diluição desses corpos hídricos e, consequentemente, maiores são as exigências de elevadas eficiências de tratamento.

A ETE Gama que foi objeto de estudo deste trabalho passou por reformas no ano de 2020, visando melhorar a eficiência no tratamento (PEIXOTO, 2020), o que por sua vez, permite um olhar mais aprofundado sobre a condição em que esta Região Administrativa (RA) se encontra no que diz respeito aos aspectos de saneamento básico e em como este fenômeno pode impulsionar medidas similares em outras RA's.

Frente a este contexto, o presente estudo adquire relevância, uma vez que procura contribuir com o estado de conhecimento sobre a eficiência do sistema de tratamento de esgoto de uma RA do Distrito Federal. Tem-se como questões norteadoras do estudo: *Por que investigar os processos de tratamento de esgoto de uma região se refere a uma pauta de suma relevância na atual conjuntura? E porque, em específico, analisar a eficiência da ETE GAMA tange a uma proposta necessária para o contexto ambiental do Distrito Federal?*

A princípio, têm-se duas hipóteses para as problemáticas levantadas, sendo: I – Estudar os processos de tratamento de esgoto tange a uma demanda socioambiental porque pode possibilitar maiores informações sobre a real situação do saneamento básico local, circunstância primordial para o ampliamento da expectativa de vida e; II – Averiguar a eficiência do tratamento de esgoto da ETE Gama oferece uma análise sistemática sobre a dinâmica de saneamento básico desta região, assim como, pode servir de incentivo à intensificação de fiscalizações e monitoramentos propulsores da investigação quanto a qualidade dos sistemas de esgoto da unidade federativa do país. É com base nestas conjecturas que este trabalho busca desenvolver seu objeto de estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Investigar o desempenho operacional da Estação de Tratamento de Esgoto do Gama operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o fluxograma da ETE Gama indicando as operações e os processos unitários que compõem o sistema de tratamento.
- Caracterizar os afluentes e efluentes da ETE – Gama com base nos dados de monitoramento gerados pela CAESB e avaliar a adequação aos padrões de lançamento.
- Avaliar a influência da sazonalidade nas concentrações afluentes e efluentes da ETE estudada.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O referencial teórico deve se referir à seleção de significados dos conceitos abordados no estudo, de modo a favorecer a análise do assunto investigado. Trata-se da apuração das palavras-chaves envolvidas e da discussão sobre em que medida, estas se relacionam (PRODANOV, 2013). Assim, este capítulo possui o propósito de apresentar um levantamento conceitual sobre esgotamento sanitário em uma macro e micro perspectiva, isto é, serão apresentados pressupostos que irão aproximar o leitor a respeito da situação do esgoto no país e no Distrito Federal.

Para promover uma leitura acessível, este capítulo é dividido em três itens: "3.1. *Contextualização da situação do serviço de esgotamento sanitário*", "3.1.1. *Caracterização dos esgotos sanitários*", "*3.2. Situação de esgotamento sanitário no Distrito Federal*", "3.3. *Estudo de caso: estação de tratamento de esgoto gama", "*3.3.1. *Adequações e Reformas da ETE Gama", "3.3.2. Corpo Hídrico Receptor: Ribeirão Ponte Alta*".

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS SANITÁRIOS

As características do esgoto doméstico se enquadram em três categorias distintas: Propriedades físicas, incluindo matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez; as propriedades químicas são divididas em orgânicas e inorgânicas; e finalmente características biológicas associadas a bactérias, fungos, protozoários e vírus (VON SPERLING, 2014).

A classificação da matéria sólida do esgoto é em função do seu tamanho, sendo separado em sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e sólidos coloidais (CETESB, 2018). A cor e a turbidez é a evidência da condição que se encontra a decomposição do esgoto, se a cor for acinzentada o esgoto é fresco e se for preta indica sua decomposição parcial (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Em relação aos maus odores é proveniente da decomposição de compostos de enxofre (BRANDT; SOUZA; CHERNICHARO, 2017).

De acordo com Jerônimo et al. (2012), a determinação da matéria orgânica presente no esgoto pode ser determinada de forma indireta pela investigação de consumo do oxigênio e a oxidação que são utilizados na degradação. Os parâmetros

que medem esse processo são a concentração de oxigênio dissolvido (OD), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO).

As individualidades biológicas do esgoto são definidas por uma pluralidade complexa de patógenos que é expelido pelo ser humano, oriundo das fezes, urina e descamação da pele (MARTÍNEZ-PUCHOL et al., 2020). A contaminação desses patógenos contribui no detrimento da qualidade da água (GARCÍA-ALIARO et al., 2018) e pode causar danos à saúde pública, visto que os corpos hídricos receptores podem veicular doenças que acarreta a contaminação da população (STORTO et al., 2021).

Os principais microrganismos do esgoto doméstico são fungos, protozoários, vírus, algas e bactérias. As bactérias desempenham um papel fundamental na estabilização da matéria orgânica na natureza e em estações de tratamento. Da mesma forma, algumas dessas bactérias, como as do grupo dos coliformes termotolerantes, são usados como indicador de poluição fecal em corpos d'água (BRASIL, 2019).

Com a noção dos parâmetros/características que indica a presença de esgoto a Resolução CONAMA nº 430 de 2011 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Além disso, no Distrito Federal engloba a emissão de uma outorga da agência reguladora ADASA, Resolução nº 13 de 26 de agosto de 2011 (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011; ADASA, 2011).

A Resolução CONAMA nº 430 de 2011 incluiu novos parâmetros de controle para as condições e padrões específicos para o lançamento de efluentes das ETE’s nos corpos receptores. Esses padrões específicos são descritos como: I - Condições de lançamento de efluentes, sendo: A) pH entre 5 e 9; B) Temperatura: inferior a 40 ºC; C) Materiais sedimentáveis: até 1 mg/L; D) Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária da fonte poluidora, exceto nos casos permitidos pela autoridade; E) Óleos minerais: até 20 mg/L; F) Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L; G) Ausência de materiais flutuantes; H) DBO 5 dias a 20 ºC: de 120mg/L, remoção mínima de 60 % de DBO. Já o segundo padrão apresentado, tange aos padrões de lançamentos de efluentes, segundo especificado na Tabela 3.1 e Tabela 3.2:

Tabela 3.1 - Padrões de lançamento de efluentes parâmetros inorgânicos. (Fonte: BRASIL, 2011)

Parâmetros Inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn

Tabela 3.2 - Padrões de lançamento de efluentes parâmetros inorgânicos. (Fonte: BRASIL, 2011)

Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C6H5OH
Tetracloreto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Resolução ADASA nº 13/2011, que estabelece os critérios técnicos para emissão de outorga para fins de lançamento de efluentes em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União. Esta outorga será emitida em função da vazão necessária à diluição da carga poluente no Ponto de

Controle, devendo constar no respectivo ato as seguintes informações: I – Vazão de diluição; II – As coordenadas de latitude e longitude para os pontos de lançamento dos efluentes; III – A vazão máxima de lançamento do efluente para cada mês do ano; IV – As concentrações máximas dos parâmetros outorgáveis, no efluente, para cada mês do ano; V – A metodologia e a frequência, conforme os quais o outorgado deverá apresentar à ADASA os dados relativos às análises qualitativas e quantitativas do efluente e do corpo hídrico receptor; VI – As concentrações máximas permissíveis dos parâmetros outorgáveis monitorados no Ponto de Controle.

Serão considerados os seguintes parâmetros para a emissão de outorga: I – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e II – Temperatura do efluente. A ETE Gama teve a emissão de sua outorga emitida na data 12/08/2015 tendo o prazo de validade de 15 anos, ou seja, até a data 01/12/2030, os limites estabelecidos serão apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Limites estabelecidos pela outorga da ADASA para a ETE GAMA. Fonte: ADASA, 2015

Parâmetros	Valores
Vazão (L/s)	544 L/s
Máxima DBO (mg/L)	8 mg/L
Temperatura Máxima (º C)	25 °C

Existem outras resoluções e leis que não foram citadas e que podem ser encontradas para se criar um saneamento de qualidade e de acesso a todos, assim como preservar o meio ambiente. Por fim, no presente trabalho serão consideradas principalmente as Resoluções CONAMA nº 430/2011 e da ADASA nº 13/2011, servindo como bases para avaliação aos padrões de lançamento e a qualidade dos corpos receptores.

3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DO SERVIÇO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O esgoto sanitário, segundo definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986) refere-se ao “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Essa mesma norma define ainda que: I. Esgoto doméstico refere-se ao “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”, II. Esgoto industrial ao “despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento

estabelecidos", III. Água de infiltração significa "toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações" e, IV. Contribuição pluvial parasitária remete "a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário". Já von Sperling (2006) conceitua o saneamento básico como sendo:

> O esgoto sanitário é formado por esgoto doméstico, águas de infiltração e despejos industriais, sendo que: o esgoto doméstico é proveniente das residências, do comércio e das repartições públicas. A taxa de retorno é de 80% da vazão da água distribuída; as águas de infiltração são as que penetram na rede coletora de esgoto através de juntas defeituosas das tubulações e paredes de poços e os despejos industriais são efluentes de indústrias que, devido às características favoráveis, são admitidos na rede de esgoto; os esgotos industriais ocorrem em pontos específicos da rede coletora e suas características dependem da indústria. (VON SPERLING, 2006, p.17).

Como o acesso ao saneamento básico é um direito previsto em lei, o saneamento é uma meta do governo há muitos anos. Em 2013, o Programa Nacional de Saúde Básico (PLANSAB) pelo Decreto nº 8.141 de 20 de novembro de 2013 e pela Portaria Interministerial nº 571, de 05 de dezembro de 2013, que estabelece objetivos, diretrizes, ações e planos para os próximos 20 anos relacionados à saúde essencial no país. O plano deve ser avaliado anualmente e a cada quatro anos.

Segundo PLANSAB (2013), "A noção de universalidade remete à possibilidade de todos os brasileiros poderem alcançar uma ação ou serviço de que necessite, sem qualquer barreira de acessibilidade, seja legal, econômica, física ou cultural."

O novo marco regulatório de saneamento estipula que, por meio de metas de universalização, 99% da população tem acesso à água potável, 90% da população tem acesso à coleta e tratamento de esgoto, até dezembro de 2033. Antes do novo marco regulatório básico do saneamento, a ANA era responsável por gestão da água do Brasil, denominada Agência Nacional de Águas. Com a atualização no quadro regulamentar de saneamento, a ANA passou também a gerir os serviços de saneamento e passará a emitir normas de referências relacionados ao abastecimento de água, a coleta e o tratamento de esgoto, à drenagem de águas pluviais e ao manejo de resíduos sólidos. Além disso, tendo seu nome modificado para Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

O Ciclo do Esgoto Doméstico está representado na Figura 3.1.

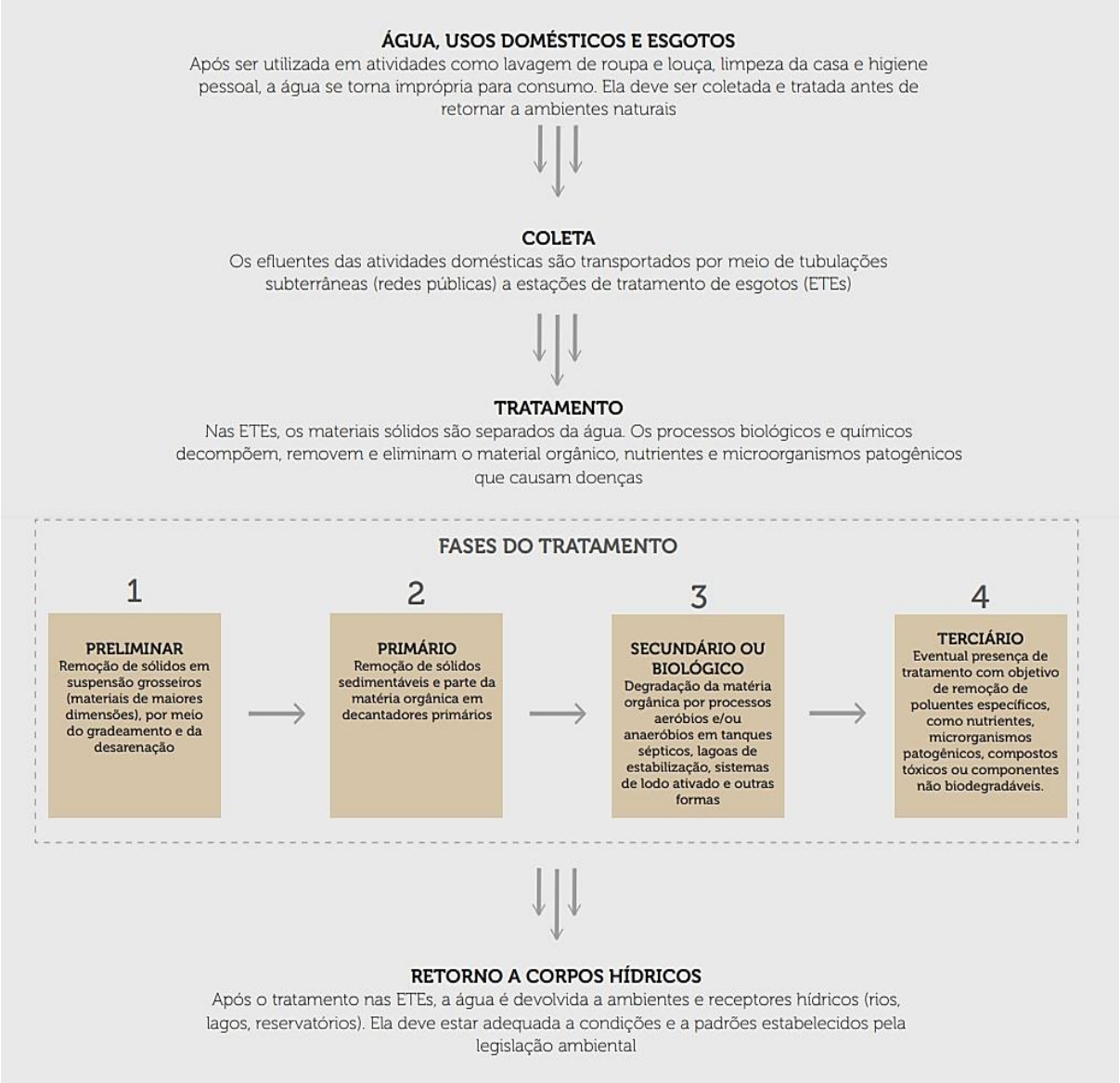


Figura 3.1 - Ciclo do Esgoto Doméstico. (Fonte: SNIS 2021)

O esgotamento sanitário sem tratamento adequado é uma das principais fontes de poluição hídrica no Brasil. O Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas, publicado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e pela Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) em 2017, identificou comprometimento da qualidade da água em mais de 110 mil quilômetros de rio devido à falta de capacidade de diluição dos efluentes. Em 83 mil quilômetros, especialmente trechos próximos a áreas urbanas concentradas, não era permitida a captação para abastecimento público (SNIS, 2020).

De acordo com SNIS (2020), no Brasil a população total atendida com rede coletora de esgoto é de 114,6 milhões de habitantes. A população total no país, de acordo com o Banco Mundial (2020), é de 212,6 milhões, apresentando 53,90% de

atendimento. Na Tabela 3.4 é apresentado a população atendida com rede pública de esgoto por macrorregião.

Tabela 3.4 – População atendida com rede pública de esgoto (%, em 2020). (Fonte: SNIS, 2020)

Região	Atendimento total de esgoto
Norte	13,1%
Centro-Oeste	59,5%
Nordeste	30,3%
Sudeste	80,5%
Sul	47,4%

Os valores apresentados na Tabela 3.4 demonstram que o país não possui uma grande abrangência no tratamento. O Sudeste apresenta maior porcentagem de atendimento, e isso se deve também ao urbanismo que é mais intensificado do que nas outras regiões do Brasil, resultando em uma infraestrutura de saneamento melhor. Mesmo que o atendimento seja alto, ainda tem que se atentar ao tratamento do esgoto, pois, o nível de atendimento não corrobora com a situação de tratamento, uma vez que nem todo município brasileiro conta com uma estação de tratamento de esgoto (SNIS, 2020).

O índice IN046 se trata do índice de esgoto tratado referido à água consumida, (Equação 3.1), utilizado no SNIS, indica a quantidade tratada em relação à quantidade total de águas residuais produzidas, onde o termo: “VET” refere-se ao volume de esgotos tratado, “VEBET” remete ao volume de esgoto bruto exportado tratado, “VAC” significa o volume de água consumida e por fim, “VATE” diz respeito ao volume de água tratada exportado. No cálculo do índice de tratamento dos esgotos gerados, a estimativa do volume gerado é igual ao de água consumido, excluindo-se o volume de água tratada exportado. A referência é a quantidade de água consumida. É quase impossível atingir um índice acima de 90,0% porque nem toda água produz esgoto. No entanto, pode ultrapassar 100,0% no caso de infiltração de águas pluviais na rede de esgoto (SNIS, 2020).

$$IN046 = \frac{VET+VEBET^{*}}{VAC-VATE} \qquad \text{Eq. 3.1}$$

Na Tabela 3.5 é apresentado os índices de tratamentos de esgoto gerados por macrorregião, em porcentagem, de cada estado brasileiro.

Tabela 3.5 – índices de Tratamento de Esgoto Gerados por macrorregião (IN046) (%, em 2020). (Fonte: SNIS, 2020)

Estados Brasileiro	Índices de tratamento de esgoto gerado
Norte	21,4%
Nordeste	34,1%
Centro-Oeste	58,5%
Sudeste	58,6%
Sul	46,7%

Na comparação dos índices apresentados na Tabela 3.5 observa-se pelos valores que todas as macrorregiões possuem uma insuficiência no tratamento. De forma que se percebe que os valores para as regiões do Centro-Oeste estão acima da média nacional, que é de 52,36% para o atendimento e 50,8% para o tratamento. Os valores da região Norte são menores do que o da média nacional (SNIS, 2020).

Os valores do Centro-Oeste nos índices de atendimento e no índice de tratamento diferem apenas em 1%, isso mostra que o esgoto gerado no DF é quase 100% tratado (SNIS, 2020).

O país ainda enfrenta desafios relacionados a universalização do saneamento devido à má gestão ou falta de gerenciamento financeiro por parte do governo. Diversos estudos são realizados anualmente e mostram que o dinheiro aplicado nas estações são investimentos para que tenha uma prevenção e melhoria da saúde da sociedade atual e futura.

Porém, o Distrito Federal mostra que consegue atuar na aplicação do tratamento no esgoto que é coletado pela companhia responsável pelo serviço, por conseguinte, indo na direção da universalização,

3.3. SITUAÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO DISTRITO FEDERAL

No DF o saneamento é de responsabilidade de uma empresa estatal chamada Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Sendo ela um monopólio para o fornecimento de água para consumo, a coleta e tratamento de esgoto sanitário em todo DF e em alguns municípios do entorno.

De acordo com o SNIS (2020), o Distrito Federal (DF) no serviço de coleta e tratamento de esgoto sanitário encontra-se em uma posição privilegiada se comparado ao cenário nacional. Na Figura 3.2 apresenta, em percentuais, a coleta e o tratamento de esgoto do DF de 2003 a 2018.

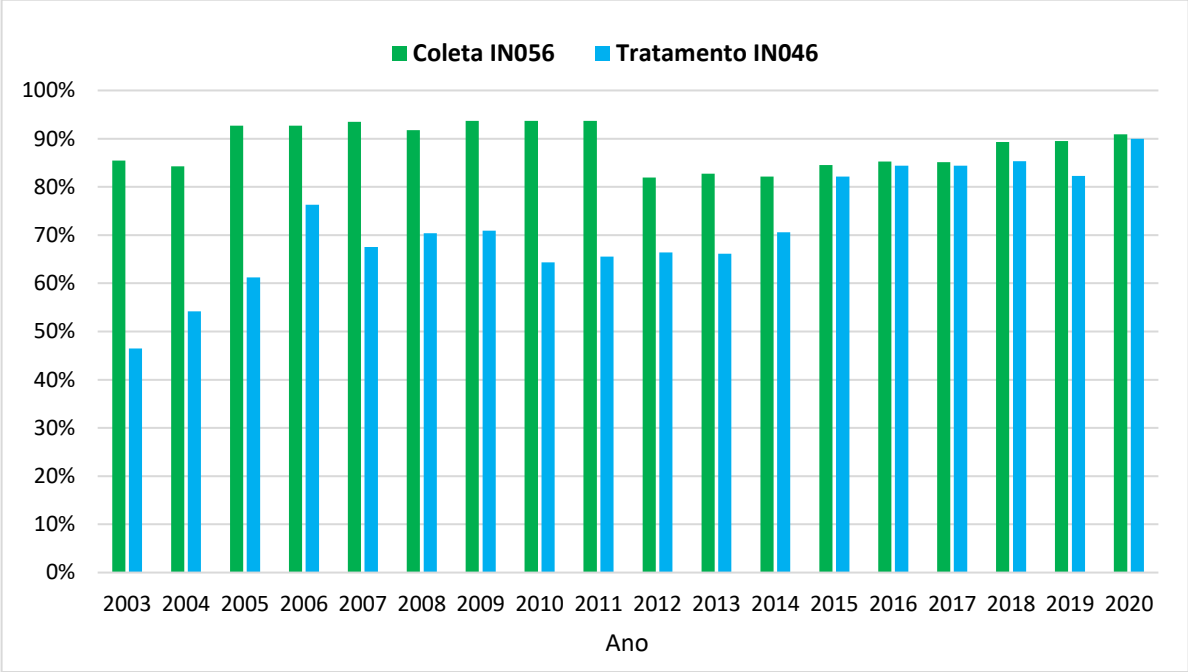


Figura 3.2 - Percentual de atendimento dos serviços de coleta e tratamento de esgoto no DF de 2003 a 2020. (Fonte: SNIS, 2020)

Na Figura 3.2 é observado que o índice IN046 apresentou uma evolução no DF, assim demonstrando uma evolução no tratamento de esgoto coletado nos últimos anos. Além disso, o planejamento da CAESB é de expansão e melhoria no sistema de esgotamento sanitário, para atender cada vez mais a população que carece de um esgotamento sanitário adequado.

Porém, o acesso a esse serviço se dá em quantidade e qualidade heterogênea na região, sendo o Plano Piloto com valores de índices de coleta e tratamento altas e outras regiões com valores consideravelmente menores. A Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN, realiza a Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD/DF). A pesquisa foi iniciada em 2004 e, desde seu início, foram realizadas cinco edições. Essa pesquisa tem como um dos objetivos conhecer as condições de infraestrutura urbana em cada Região Administrativa do DF (CODEPLAN, 2018). Na Tabela 3.6 e 3.7 são apresentados, em porcentagem, a distribuição da destinação do esgoto sanitário nos domicílios do Distrito Federal nos períodos de 2013 e 2018 detalhadamente.

Tabela 3.6 - Destinação do esgoto sanitário do domicílio no ano de 2013 (Fonte: CODEPLAN, 2013)

Esgotamento sanitário do domicílio	Valor (%)
Rede Geral (CAESB)	85,95
Fossa séptica	10,05
Fossa rudimentar	3,96
Esgotamento a céu aberto	0,02

Tabela 3.7 - Destinação do esgoto sanitário do domicílio no ano de 2021 (Fonte: CODEPLAN, 2021)

Esgotamento sanitário do domicílio	Valor (%)
Rede Geral (CAESB)	93,10
Fossa séptica	5,70
Fossa rudimentar	1,90
Esgotamento a céu aberto	0,20

Com os estudos realizado pela CODEPLAN foi possível identificar que houve um aumento de contribuição da CAESB na coleta de esgoto no Distrito Federal. Desta forma, demonstrando que o objetivo de aumentar a coleta e distribuir para populações mais isoladas do DF estar sendo uma realidade atualmente.

Dessas várias destinações do esgoto sanitário, apenas a rede geral é considerada adequada. No entanto, sem ter as informações sobre as fossas sépticas, seus projetos e manutenção, na CODEPLAN, elas podem ter sido mal projetadas e não terem a devida manutenção (SERENCO, GDF, 2017).

Por ainda constar fossas rudimentares e esgotos ao ar livre no DF poderá gerar problemas futuros com a preservação do meio ambiente e com a possibilidade de disseminar doenças para população. De acordo com a literatura, entre as principais doenças relacionadas à poluição hídrica doméstica e à falta de cobertura do serviço de esgotamento sanitário, podem-se destacar: cólera, infecções gastrointestinais, febre tifoide, poliomielite, amebíase, esquistossomose e shigelose (Seroa da Motta, 1994).

Atualmente o Distrito Federal possui 15 estações de tratamento de esgoto (ETE) em funcionamento, estando presentes em 4 Bacias de Esgotamento Sanitário e em 2017 o volume médio de esgoto tratado foi de 3779,9 L/s (ADASA, 2017). A Tabela 3.7 apresenta as vazões geradas estimadas para cada Estação de Tratamento de Esgoto, conforme premissas listadas, que foram o estudo de projeção

populacional, índices de perdas, o nível de atendimento da população atual e previsão futura para 2037 e o consumo per capita.

Tabela 3.8 - Vazões geradas de esgoto atuais e futuras para cada ETE. (Fonte: PDSB, 2017)

ETE	2017		2037		Projeto		Vazão média tratada em 2015 (L/s)
	População estimada (hab)	Vazão (L/s)	População estimada (hab)	Vazão (L/s)	População estimada (hab)	Vazão (L/s)	
ETE Gama	129.238	188	141.866	216	182.630	328	190
ETE Alagado	69.791	97	81.205	118	84.852	154	81
ETE Santa Maria	51.536	71	60.331	88	84.852	154	51
ETE Planaltina	133.348	185	317.956	466	138.000	255	155
ETE Vale Amanhecer	14.816	21	35.328	52	15.000	35	19
ETE Sobradinho	92.945	144	203.722	322	146.900	196	77
ETE Brazlândia	43.888	61	57.567	84	29.600	87	41
ETE Brasília Sul	429.733	915	410.262	802	460.000	1.500	1.330
ETE Brasília Norte	196.011	451	217.745	486	260.000	920	450
ETE Samambaia	231.932	309	318.439	450	180.000	284	512
ETE Paranoá	115.987	153	227.100	318	60.000	112	99
ETE Riacho Fundo	32.401	47	41.668	63	40.000	94	46
ETE Recanto das Emas	163.174	222	186.121	268	125.500	246	189
ETE São Sebastião	103.115	172	373.005	658	77.717	226	126
ETE Melchior	632.757	907	1.250.539	1.882	896.800	1.470	767
TOTAL	**2.503.672**	**3.943**	**3.922.854**	**6.343**	**2.781.851**	**6.061**	**4.133**

Analisando as vazões e a população de projeto com a de 2037 na Tabela 3.7, percebe-se que apenas cinco estações não precisariam de ampliações (ETE Gama, Alagado, Santa Maria, Brasília Sul e Brasília Norte) até o final de plano em 2037. Outro fator a ser analisado é que a carga orgânica afluente das estações é alta, significando que uma população menor do que a população de projeto pode superar a capacidade de tratamento da estação (PDSB, 2017).

As tecnologias de tratamento adotadas pela CAESB são formadas pela combinação de operações unitárias divididas em etapas que se complementam para fornecer uma boa eficiência no tratamento do esgoto. Estas etapas, envolvem o tratamento preliminar, geralmente mecanizado, automatizado e monitorado à distância da unidade.

Em sequência, tem sido feita a redução de matéria orgânica do afluente, na maioria das ETE's estão utilizando reatores anaeróbios para fazer esse papel, mas não é em todas que a primeira etapa do tratamento se faz utilizando a tecnologia do RAFA. Apresentam cinco estações que os tratamentos iniciais diferem do RAFA, que acabam por utilizar a tecnologia da Remoção Biológica de Nutrientes (RBN) em duas estações (Brasília Norte e Brasília Sul), Lodo Ativado em duas estações (Sobradinho e Riacho Fundo) e Lagoa Anaeróbia em uma estação (Brazlândia).

Na segunda etapa é feito para atingir uma eficiência boa de remoção da matéria orgânica para atender à capacidade de autodepuração do corpo receptor, nesta etapa os processos aeróbicos são bastante predominantes. Os processos de remoção de patógenos empregados são os leitos de disposição no solo e as lagoas de maturação (NEDER, 1998).

Na Tabela 3.8 são apresentadas as ETE operadas pela CAESB, o tipo de tratamento, a vazão de projeto, as regiões administrativas que a estação faz o atendimento, o corpo receptor e a classe do corpo receptor de acordo com o enquadramento feito pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNH. Nas estações do Distrito Federal evidencia uma frequente utilização do Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente – RAFA, das quinze estações apenas cinco não utilizam RAFA.

De acordo com CHERNICHARO (2018), a tecnologia do RAFA é amplamente empregada no Brasil. Atualmente, o Brasil é caracterizado por possuir o maior parque de reatores anaeróbios do mundo, contando com 1.373 Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) que empregam essa tecnologia de tratamento (BRASIL, 2020a).

Tabela 3.9 - Descrição das ETE's presentes no Distrito Federal. (Fonte: CAESB, 2017)

ETE	Descrição do sistema	Vazão		Regiões Administrativas	Corpo Receptor	Classe
		Média	Projeto			
Alagado	RAFA + LAT + ES	72	154	Santa Maria	Rio Alagado	Classe 3
Brasília Norte	RBN + POLIMENTO FINAL	509	920	Asa Norte, Vila Planalto, Parte da Área Central de Brasília, Lago Norte, Taquari, Vila Estrutural, Varjão, Torto.	Lago Paranoá	Classe 2
Brasília Sul	RBN + POLIMENTO FINAL	1278	1,500	Asa Sul/ Parte da Área Central de Brasília, Núcleo Bandeirante, Guará I e II, Cruzeiro/Octogonal/Sudoeste, Lago Sul (parte), Riacho Fundo (Quadra QN1), S.I.A., Parte de Águas Claras, Candangolândia.	Lago Paranoá	Classe 2
Brazlândia	LAGOA ANAEROBIA + LF	41	87	Brazlândia	efluentes exportados (Rio Verde, Goiás)	*Classe 2
Gama	RAFA + RB + CLARIFICADOR	157	328	Gama	Ribeirão Ponte Alta	Classe 3
Melchior	RAFA + UNITANK	868	1469	Taguatinga, Ceilândia, parte de Águas Claras e parte de Samambaia.	Rio Melchior	Classe 4
Paranoá	RAFA + LAT + ES	104	112	Paranoá e Itapoã	Rio Paranoá	Classe 2
Planaltina	RAFA / LF + LM	178	255	Planaltina	Rib. Mestre D'armas	Classe 3
Recanto das Emas	RAFA + LAMC + LAF	160	246	Recanto das Emas e Riacho Fundo II	Córr. Vargem da Benção	Classe 4
Riacho Fundo	LODO ATIVADO + RBNB	70	94	Riacho Fundo I	Riacho Fundo/Rio Paranoá	Classe 2
Samambaia	RAFA / LF + LAT + LP	620	284	Samambaia	Córr. Gatumé	Classe 3
Santa Maria	RAFA + LAT + ES	70	154	Santa Maria	Rio Alagado	Classe 3
São Sebastião	RAFA + ES + LM	182	226	São Sebastião	Ribeirão Papuda	Classe 3
Sobradinho	LODO ATIVADO	122	196	Sobradinho + Expansões	Ribeirão Sobradinho	Classe 3
Vale do Amanhecer	RAFA + LAF	18	35	Vale do Amanhecer	Rio São Sebastião	Classe 3

*Legenda: RAFA: Reator anaeróbio de fluxo ascendente; LAT: Lagoa de alta taxa; ES: Escoamento Superficial; RBN: Remoção biológica de nutrientes; LF: Lagoa Facultativa; RB: Reator Biológico; UNITANK: Reator Aeróbico (UNITANK); LM: Lagoa de Maturação; LAF: Lagoa aerada facultativa. *não foi encontrado o enquadramento, dessa forma seguiu-se à indicação da resolução Conama 357/05, em que diz que na falta de enquadramento dos corpos receptores é aconselhado que se considerasse como classe 2.*

O reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) foi projetado na década de 1970 para tratar de forma eficiente os efluentes com elevado custo-benefício, o que contribuiu para sua popularização e generalização nos países europeus (SOUZA; VIEIRA, 1986). O RAFA é composto por três etapas: 1) um separador trifásico, responsável por separar o biogás, o efluente líquido tratado e manter as partículas sólidas na zona de decantação; 2) a camada de lodo contendo a biomassa ativa do sistema, o fluxo constante da alimentação em contato com a água residuária promove a conversão parcial em biogás; 3) o leito de lodo, onde ocorre a digestão biológica da água rica neste fluxo ascendente constante.

Na Tabela 3.9 é apresentada a localização das ETE's do sistema de esgotamento sanitário por bacias hidrográficas do DF.

Tabela 3.10 - Estações de Tratamento de Esgoto por Bacias Hidrográficas do DF (Fonte: GDF,2017)

Bacia Hidrográficas	**Estações de Tratamento de Esgoto**
Bacia do Lago Paranoá	ETE Brasília Norte
	ETE Brasília Sul
	ETE Riacho Fundo
Bacia do Rio São Bartolomeu	ETE Planaltina
	ETE Vale do Amanhecer
	ETE Sobradinho
	ETE Paranoá
	ETE São Sebastião
Bacia do Ribeirão Ponte Alta/Ribeirão Alagado	ETE Recanto das Emas
	ETE Gama
	ETE Alagado
	ETE Santa Maria
Bacia do Rio Descoberto/Melchior	ETE Brazlândia
	ETE Samambaia
	ETE Melchior

Neste estudo, foi escolhido a ETE Gama para estudo de caso que está localizada na bacia do Ribeirão Ponte Alta onde ocorre o lançamento do efluente tratado, tendo sua classificação como classe 3 pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A ETE atende apenas a região administrativa do Gama no Distrito Federal.

3.4. ESTUDO DE CASO

Como este trabalho se dedica à investigação da Estação de Tratamento – ETE do Gama/DF, julgou-se necessário a elaboração de um estudo de caso, na intenção de apresentar descrições e proposições teóricas mais aprofundadas com relação ao objeto de estudo. Conforme Pradanov (2013), este tipo de abordagem em uma pesquisa, além de investigar o fenômeno, também busca “descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação”. Neste sentido, serão apresentadas a seguir, informações sobre a ETE – GAMA/DF.

3.4.1. Estação de Tratamento de Esgoto Gama

A ETE Gama está localizada na DF-290, Km 20, próxima ao Ribeirão Ponte Alta, sentido oeste para a BR-060, pertencendo à bacia de drenagem do Rio Corumbá, com a seguinte localização geográfica: 810.366 E, 8.226.136 S. No sentido leste da estação é onde se encontra o setor residencial do Gama, em uma distância de 950 metros. A Estação foi inaugurada em 2003 e no final de 2020, as obras de modernização das estruturas foram concluídas. A Figura 3.3 ilustra a visão da ETE Gama a partir de imagem de satélite obtida por meio do software *Google Earth*.



Figura 3.3 - Localização ETE do Gama, vista aérea pelo Google Earth. (Fonte: Google Earth, 2020.)

Pela imagem de vista aérea se nota que a estação se encontra longe do meio urbano do Gama, tendo bastante vegetação ao seu redor e presença de pequenas

fazendas próximas. O motivo de se encontrar longe do centro da região administrativa é para que não ocorra proliferação de odores. Na Figura 3.4 são mostradas as localizações das unidades operacionais do tratamento. Por fim, na Figura 3.5 é apresentada uma imagem aérea da estação.



Figura 3.4 -Vista aérea da ETE Gama. (Fonte: Adaptado Geoportal, 2016.)



Figura 3.5 – Foto tirada por um drone da ETE Gama. (Fonte: CAESB, 2021)

A ETE do Gama é responsável por tratar todo o esgoto sanitário proveniente da RA do Gama. A RA Gama, assim como as outras, foi criada para abrigar a população em virtude da construção de Brasília, surgindo, então, as denominadas cidades-satélites, conforme a Lei nº. 3751, de 13 de abril de 1960. O projeto urbanístico do Gama foi elaborado pelo engenheiro Paulo Hungria e pelo arquiteto Gladson da Rocha e é caracterizado por um traçado hexagonal, assemelhado a uma colmeia, dividido em cinco setores residenciais iniciais: Norte, Sul, Leste, Oeste e o Setor Central. Posteriormente, foi acrescentado o Setor de Indústria (PDAD 2018).

Na Figura 3.6 é apresentado um mapeamento da localização do Gama (com um tom alaranjado) com a visão do Distrito Federal (com um tom azul), e uma aproximação da RA até a localização da Estação de Tratamento Gama.

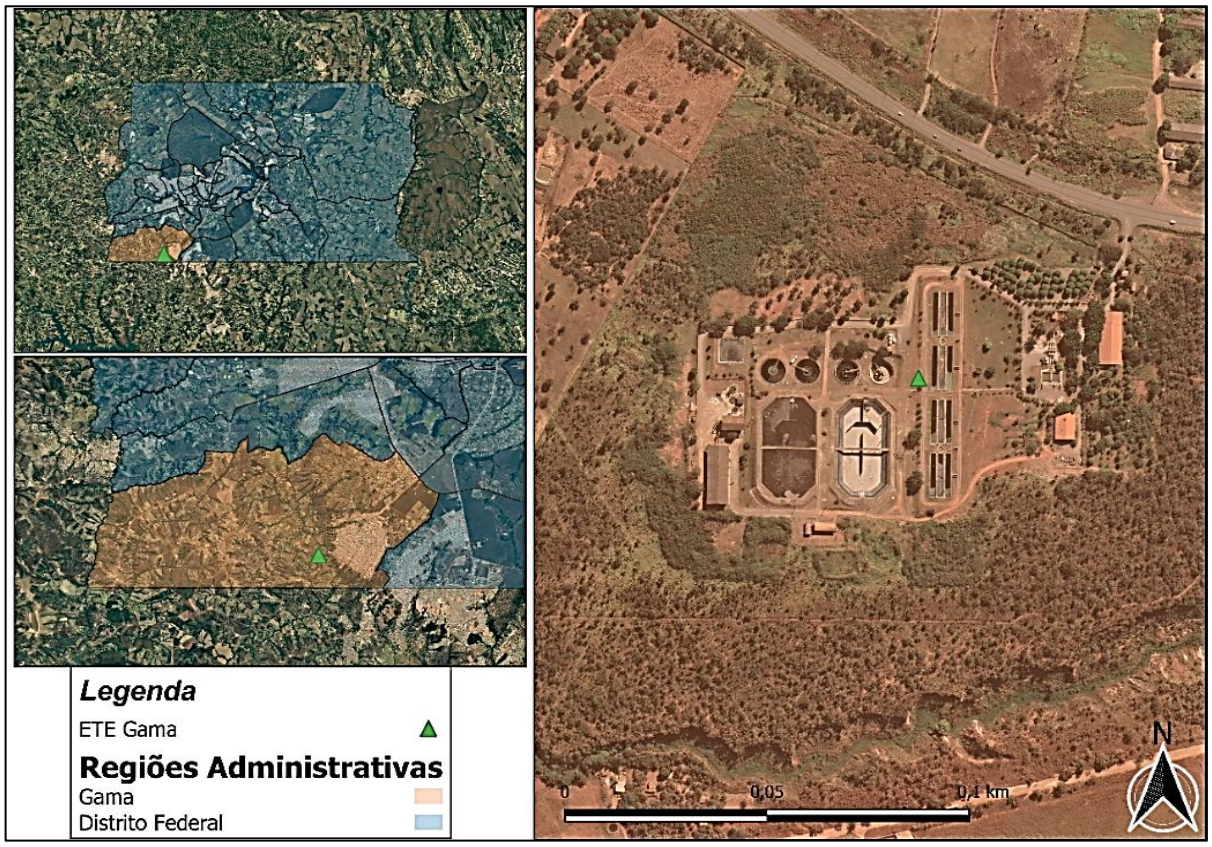


Figura 3.6 - Localização da ETE e das RA's do Distrito Federal. Fonte: Autor

A Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD, 2018) estimou que a Região Administrativa do Gama possui 39.223 unidades ocupadas e média de 3,38 moradores por domicílio. Ainda, cerca de 89,3% dos lotes encontram-se regularizados, conforme mostrado na Figura 3.8. No que diz respeito ao esgotamento sanitário, verificou-se que: 94,5% dos domicílios estavam ligados à rede geral da

CAESB; 6% declararam ter fossa séptica; e o esgotamento a céu aberto estava presente em 0,1% dos domicílios (Figura 3.8, Fonte: CODEPLAN/PDAD 2018).

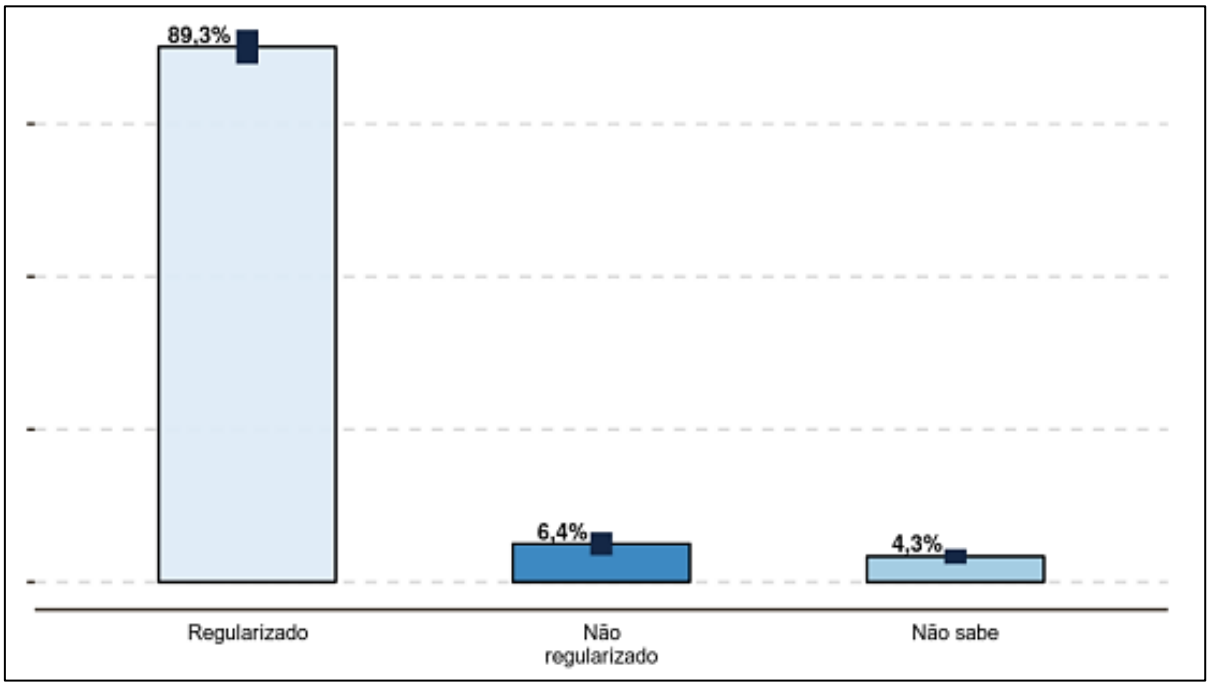


Figura 3.7 - Distribuição dos domicílios ocupados segundo a regularização do lote, Gama, Distrito Federal, 2018. (Fonte: CODEPLAN/PDAD 2018)

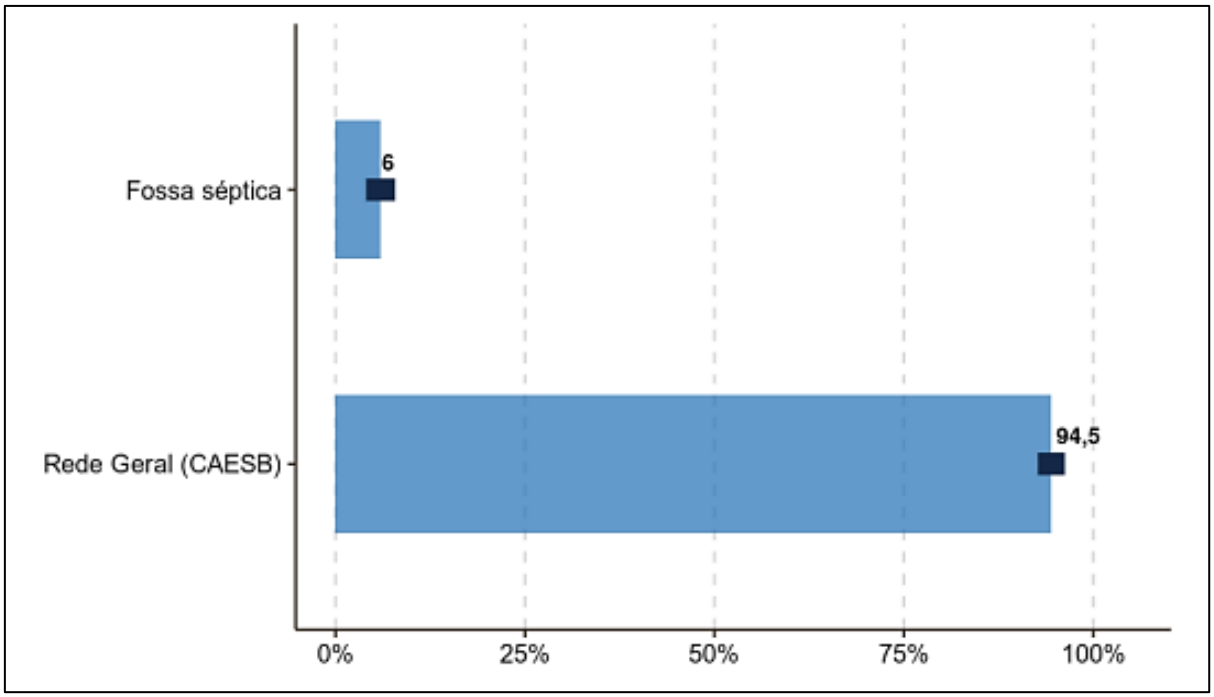


Figura 3.8 - Esgotamento sanitário em domicílio, Gama, Distrito Federal, 2018. (Fonte: CODEPLAN/PDAD 2018)

A partir da análise dos dados da PDAD (2018) e da contextualização histórica da fundação do Gama, conclui-se que a região passou por uma urbanização planejada

e que o serviço público de esgotamento sanitário projetado foi compatível com o crescimento populacional.

3.4.2. Reformas da ETE Gama

A estrutura, que se mantinha desde que a estação foi inaugurada, em 2004, passou por reformas e modernização de equipamentos, em 2020 com investimento de R$ 1,335 milhão do BID. Este investimento foi aplicado na melhoria das ETEs do DF, servindo para garantir mais qualidade de vida à população. Essa modernização do sistema de aeração do ETE Gama também contempla serviços que estão sendo empreendidos nas ETEs Melchior, Brasília Sul e Brasília Norte.

O novo sistema implementado substituiu as tubulações de distribuição de ar, ramais, grades e suportes, que eram em PVC para aço inoxidável. O aço tem maior duração que o PVC o que pode explicar a mudança. Além disso, CAESB reformou, seus reatores e os raspadores, trocando em novas peças e compostas por aço inoxidável para o tratamento de esgoto e instalou novos equipamentos de medição.

Essas melhorias na ETE faz parte de uma série de investimentos da CAESB com os recursos fornecido pela BID. Devido a isso, a eficiência de transferência do oxigênio aumente nos reatores para os microrganismos que utilizam oxigênio para efetuar a degradação da matéria orgânica, ou seja, aumente a eficiência no tratamento do esgoto sanitário. Desta forma, esta reforma acabará por aumentar a vida útil do reator de lodo ativado, e o gasto em energia e manutenção será menor do que o anterior.

3.4.3. Corpo Hídrico Receptor: Ribeirão Ponte Alta

O Ribeirão Ponte Alta possui uma extensão de 30 Km, tendo o seu percurso pelas regiões administrativas do Recanto das Emas e do Gama. Sua nascente é formada pela confluência do Córrego Tamanduá e Córrego do Monjolo na RA do Recanto das Emas, e desagua no Rio Alagado em Santo Antônio do Descoberto

A ETE do Gama faz o lançamento do seu efluente tratado na bacia Ribeirão Ponte Alta. O Ribeirão Ponte Alta é considerado um corpo d’água de classe 3, essa classificação apresenta os tipos de usos que podem ser feitos. As águas dessa classe podem ser utilizadas para os seguintes fins: abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e

forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário; e dessedentação de animais. (BRASIL, 2005).

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 apresenta os valores dos principais parâmetros de qualidade a serem atendidos em corpos hídricos de classe 3 e que o lançamento do esgoto deve atender para não impactar esses valores e causando um impacto ambiental. Na Tabela 3.10 são apresentados os valores máximos dos parâmetros de enquadramento de águas doces de classe 3.

Tabela 3.11 - Principais parâmetros de enquadramento de águas doces de classe 3 (Fonte: BRASIL, 2005).

Parâmetro	Valor Máximo
Materiais Flutuantes, inclusive espumas não naturais.	Virtualmente Ausentes
Óleos e Graxas	Virtualmente Ausentes
Substâncias que comuniquem gosto ou odor	Não objetáveis
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	2500(1); 1000(2); 4500(3)
DBO5 a 20ºC	≤ 10 mg/L
OD	≥ 4 mg/L
Turbidez	≤ 100 NTU
Cor verdadeira	≤ 75 mg/L
pH	6 a 9
Fósforo total (ambiente lêntico)	0,05 mg/L
Nitrato	10,0 mg/L
Nitrito	1,0 mg/L
Nitrogênio Amoniacal	13,3 mg/L, para pH ≤7,5 5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 mg/L N, para pH > 8,5

***Legenda**:(1) Recreação de contato secundário; (2) Dessedentação de animais; (3) Demais usos.*

A maior parte da bacia já sofreu alterações antrópicas, essas áreas urbanas estão em risco para os recursos hídricos, qualitativa e quantitativamente, por estarem localizadas nas partes mais altas da bacia, Este é o berço de vários cursos de água. Um fato relevante é que essas áreas vem sendo ampliado gradativamente, comparando as pesquisas realizadas ao longo dos anos anteriores (ADASA, 2012).

Desta forma, o lançamento no Ribeirão Ponte Alta, que é córrego de baixa vazão, ou seja, possui uma autodepuração baixa, possui uma exigência maior no lançamento do efluente em seu corpo

3.5. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS

A coleta e o tratamento de esgotos são essenciais para o saneamento básico. Essas ações representam promoção de saúde pública e manutenção de recursos naturais, entre eles os corpos hídricos onde é captada a água para abastecimento público. Nas residências, a maior parte da água se transforma em esgoto após o uso, e essas impurezas incorporadas precisam ser removidas antes do retorno a ambientes naturais (BRASIL, 2020b)

De acordo com von Spearling (2005), cada ETE deve ter uma avaliação individual de desempenho dos processos, se estão com bom rendimento, já que cada situação possui sua especificidade, pois a ETE deve conseguir atender os valores preconizados pelas legislações ambientais vigentes. Portanto, o projetista e o operador da estação têm que ter um conhecimento aprofundado sobre cada operação unitária disponível na ETE.

O conhecimento das características quantitativas e qualitativas do afluente que será tratado na ETE é de primordial importância. A vazão afluente é um parâmetro fundamental para o dimensionamento de uma ETE com atenção às possíveis flutuações da vazão, considerando os valores máximo ou mínimo durante tanto o projeto como a operação da ETE. Esta análise é importante pois otimiza tanto o dimensionamento como a operação das unidades que compõem a ETE e, também, a dosagem de produtos químicos a serem utilizados (VON SPERLING, 2020).

Um dos parâmetros que têm sua importância no dimensionamento das unidades operacionais de um ETE é o tempo de detenção hidráulico (TDH), esse tempo determina o tempo que o esgoto deve permanecer na unidade de tratamento. A norma ABNT NBR 12.209 de 2011 indica os valores adequados de TDH para cada unidade escolhida para o tratamento, assim buscando uma boa eficiência (VON SPERLING, 2020).

As vazões devem ser avaliadas de forma conjunta com as concentrações de parâmetros de qualidade como matéria orgânica, nutrientes, turbidez, sólidos, dentre outros, para que se tenha conhecimento da característica qualitativa e das cargas poluentes. A partir dos valores das concentrações dos parâmetros que caracterizam o esgoto sanitário é possível realizar comparações com dados registrados na literatura, como por exemplo de eficiências de remoção esperadas, e reavaliar

também o dimensionamento das unidades que compõem a ETE, visando verificar a capacidade de tratamento da vazão e cargas afluentes (VON SPERLING, 2020).

Com os valores de um determinado componente removido entre as análises de afluente e efluente é possível conhecer a porcentagem de remoção obtida, ou seja, a eficiência das unidades da ETE na remoção dos parâmetros. Esta análise dos dados de eficiência deve ser sempre realizada em conjunto com as concentrações de efluentes, a fim de compreender a qualidade do tratamento e auxiliar na tomada de decisões sobre mudanças na operação, manutenção e modificação dos processos e tecnologias utilizadas na ETE (VON SPERLING, 2020).

Por fim, de acordo com von Sperling (2020) a maioria das estações de tratamento de esgoto são projetadas de acordo com valor teórico das concentrações dos parâmetros presentes em esgotos domésticos. Portanto, tem que destacar a importância em comparar os valores reais obtidos com os que foram considerados para o projeto, que caso não seja atendida poderá redimensionar as unidades operacionais e verificar se ela terá a capacidade de tratar o afluente.

Segundo Metcalf e Eddy (2016), a confiabilidade de uma estação de tratamento ou de um determinado processo pode ser realizado com a probabilidade de desempenho de forma adequada em uma determinada série de tempo.

Em circunstâncias de desempenho da ETE, a conformidade pode ser compreendida com a porcentagem de tempo em que se conseguem as concentrações esperadas no efluente para cumprir com os padrões de lançamento, portanto, uma ETE, terá sua confiabilidade caso não haja falhas em seu desempenho, ou seja, que não ultrapasse os limites estabelecidos pelas legislações ambientais. Por fim, o processo de tratamento alha quando o padrão de lançamento for excedido (OLIVEIRA, 2007). Bastos et al. (2006) avaliaram o desempenho de uma ETE antes e após os procedimentos de melhoria. Desta forma, essa avaliação acabou servindo de análise de desempenho para detectar falhas no projeto de melhoria, processo ou monitoramento operacional, além de fornecer orientações para possíveis procedimentos de melhoria.

Desta forma, este trabalho avaliou o tratamento de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto do Gama, verificando os parâmetros de qualidade através de dados disponibilizados do monitoramento da CAESB no período de 10 anos com médias mensais.

4. METODOLOGIA

Este trabalho refere-se a uma pesquisa aplicada de cunho descritivo e exploratório, visto que visa investigar, analisar e expor as características de uma ETE. Nas palavras de Pradanov (2013), “tal pesquisa observa, registra, analisa e ordena dados, sem manipulá-los, isto é, sem interferência do pesquisador” (p. 52). Como procedimento de coleta de dados, foram realizados: I. Estudo de Caso sobre a Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Gama, o qual já foi abordado no capítulo anterior deste trabalho; II. Pesquisa de Campo realizada por meio de visitas técnicas no ETE Gama e; III. Sistematização dos dados de monitoramento dos parâmetros de qualidade do afluente e efluente do ETE GAMA.

Sendo assim, este estudo possui uma abordagem quanti-qualitativa, isto é, pretende-se compreender subjetivamente, visa-se interpretar de forma mensurada, os dados coletados. De acordo com Yin (2015), o delineamento qualitativo e o quantitativo, não se isentam, nem se isolam, mas, dependendo do estudo, podem ser complementados e dinamizados, o que oportuniza uma compreensão mais globalizada sobre as informações da pesquisa.

Tendo em vista o objetivo central deste trabalho, isto é, investigar o desempenho operacional da Estação de Tratamento de Esgoto do Gama operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, buscou-se descrever as etapas de tratamento da estação de tratamento e avaliar o desempenho tanto das unidades que compõem o sistema de tratamento quanto o desempenho da ETE como um todo no atendimento aos padrões de lançamento (Resolução CONAMA nº 430 de 2011 e outorga de lançamento da ADASA nº 13 de 2011). Além disso, avaliar a influência que a sazonalidade pode ocasionar na concentração dos parâmetros de qualidade no afluente e efluente da estação. As avaliações foram realizadas por meio de dados secundários de monitoramento da ETE obtidos pela CAESB no período de janeiro de 2012 a abril de 2022. No fluxograma da Figura 4.1, é apresentado a descrição da metodologia utilizada neste trabalho.

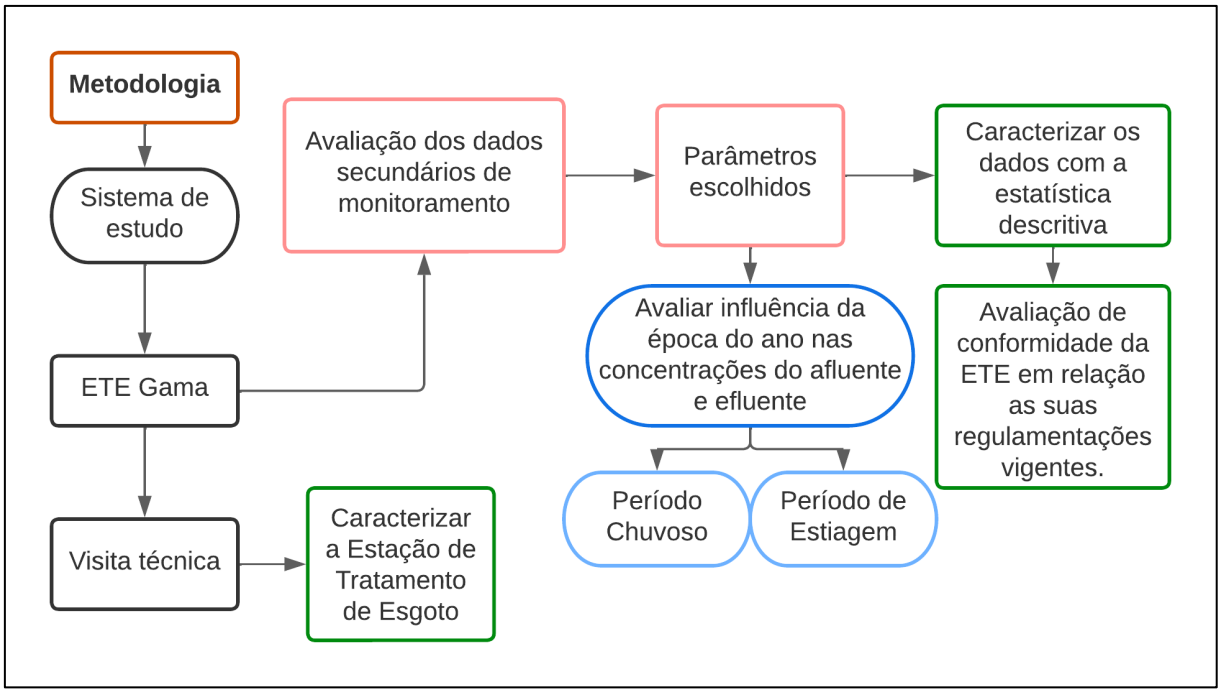


Figura 4.1- Fluxograma da Metodologia

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESTUDO

A caracterização do sistema de estudo foi realizada por meio de visitas técnicas realizadas nos meses de julho e setembro de 2022 com o auxílio do Gerente de Operações Cristiano Mano da Silva. Esta caracterização da estação foi realizada com o levantamento dos dados relativos ao projeto da estação com detalhamento de cada etapa e de suas unidades operacionais na estação e a descrição da quantidade de lodo gerado na estação. Na Tabela 4.1 destaca as características estudadas.

Tabela 4.1 - Dados avaliados para caracterização das ETE

Caracterização das ETE's		
Projeto da Estação	Vazão atual	Vazão média
		Vazão máxima
	Vazão de projeto	
	Quantidade de lodo gerado	

Os dados de projeto da ETE Gama foram obtidos em pesquisas nos bancos de dados da CAESB e de algumas entidades do Distrito Federal, o que não foi encontrado foi comunicado por meio das visitas técnicas. A descrição operacional do sistema de tratamento da estação foi realizada por meio das visitas técnicas e esclarecimento de dúvidas

A partir das informações que foram encontrados foi realizada a análise comparativa do projeto para a população atendida e a população de projeto entre os valores da população atendida com a população de projeto, e entre as vazões de projeto e a vazão média atual. Com isto, foi possível deduzir sobre o alcance da capacidade de tratamento atual da ETE.

4.2. VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE DA ETE EM RELAÇÃO ÀS REGULAMENTAÇÕES E SUA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS PARÂMETROS

Para a verificação da conformidade da ETE encaminhou-se um pedido de dados de monitoramento da CAESB diretamente no sistema de peticionamento deles, onde foi preenchido um documento com os dados solicitantes nele. Após a análise do pedido a empresa disponibilizou uma planilha eletrônica (Excel) com os dados abrangendo de janeiro de 2012 a abril de 2022. Os dados de concentração dos parâmetros foram fornecidos como sendo referentes à caracterização média mensal do esgoto. Na Tabela 4.2 são apresentados os parâmetros de qualidade que foram fornecidos.

Tabela 4.2 – Parâmetros de monitoramento disponibilizados pela CAESB.

Ponto de amostragem	Parâmetros avaliados
Afluente	DBO, DQO, NT, PT, SS, pH, NTK, E. Coli, Coliforme Termotolerantes
Efluente	DBO, DQO, NT, PT, SS, pH, NTK, E. Coli, Coliforme Termotolerantes, Turbidez, N-NHx, N-NOx, $N\text{-}NH_3$, PO_4, SSed

É frequente que nas bases de dados de monitoramento de uma ETE existam ocasionalmente lacunas, dentro os diversos motivos para isso estão falhas dos equipamentos de análises, clima instável e a amostragem não feita de forma correta (VON SPERLING *et al*., 2020). Por isso, foi feita escolha dos parâmetros fornecidos que possam ser avaliados por estatística descritiva com base na quantidade de dados disponíveis.

Para fazer um estudo detalhado dos dados do monitoramento disponibilizados foi aplicado, para cada parâmetro, a estatística descritiva com auxílio do software Excel da Microsoft para fazer a análise estatística, que inclui: média aritmética, média

geométrica, mediana, valor mínimo, valor máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e percentis (10%, 25%, 50%, 75% e 90%).

Os resultados destas análises são apresentados na forma de tabelas e gráficos para auxiliar na comparação. Por fim, essa elaboração será feita após o recebimento dos dados e será criado as Tabelas de eficiência da ETE Gama na remoção dos parâmetros selecionados e se o efluente tratado vai atender aos padrões de lançamento da Resolução CONAMA nº 430 de 2011 e da outorga de lançamento da Adasa Resolução nº 13 de 2011.

4.3. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE NAS CONCENTRAÇÕES DO AFLUENTE E EFLUENTE

Nesta avaliação foram feitas as comparações dos dados de monitoramento do afluente e efluente de acordo com o período do ano em que foi coletado o dado, ou seja, se estava em um período de estiagem ou de chuva. E com isto, identificar possíveis influências dos períodos nas características do esgoto bruto e o que isso pode acarretar para o desempenho da ETE Gama.

Foi utilizado o teste U de Mann-Whitney, que é utilizado como teste de duas amostras independentes que serve como uma alternativa para o teste “t” para amostras independentes quando a amostra for pequena e/ou as pressuposições, exigidas pelo teste “t”, estiverem seriamente comprometidas. Por fim, a única exigência do teste de Mann-Whitney é de que as observações sejam medidas em escala numérica.

Para fazer este estudo da influência da sazonalidade foi utilizado um plugin do software Excel da Microsoft com o nome “Real Statistics” que realiza de forma automática o teste de U de Mann-Whitney

5. DISCUSSÃO E RESULTADOS

5.1. FLUXOGRAMA E DESCRIÇÃO OPERACIONAL DA ESTAÇÃO

A ETE Gama teve seu início de operação em 2003, visando atender uma vazão de projeto 328 L/s, e atualmente opera com uma vazão média de 187 L/s, atendendo uma população de 135.000 habitantes aproximadamente, residentes na RA do GAMA. O tratamento do esgoto sanitário é realizado pela fase líquida e sólida. O tratamento da fase líquida é realizada por meio de um sistema anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) seguido de um sistema de lodos ativados para remoção de nutrientes, e finalizando com os decantadores secundários. O tratamento da fase sólida possui dois adensadores por gravidade, lagoa de lodo, dois aparelhos de centrifugação, um decantador e o local de disposição do lodo.

A ETE possui quatro RAFAs, sendo que dois deles foram reformados e outros dois ainda serão, dois reatores de lodos ativados, dois decantadores para cada reator de lodo ativado. Além disso, apenas três RAFAS, um reator de lodo ativado, e consequentemente dois decantadores estavam em operação na data que foi realizado a visita técnica.

Na fase líquida é onde ocorre a remoção da matéria orgânica e dos nutrientes, de modo que seja possível, dentro dos padrões ambientais de lançamento, despejá-lo no corpo hídrico do Ribeirão Ponte Alta. A fase sólida é relativa ao lodo gerado, que em processos de tratamento biológico estará sempre presente. No tratamento por lodos ativados, o lodo é gerado continuamente e como a ETE Gama possui reatores anaeróbios, o lodo gerado já é estabilizado, apenas sendo realizado a desidratação para depois reutilizar o lodo gerado em áreas de impacto ambiental.

Em 2020 a ETE passou por uma reforma modernizando os sistemas existentes. Reformando os ramais, tubulações da distribuição de ar e suportes do reator de lodo ativado, tudo produzido em aço inoxidável, mais durável que o antigo sistema feito de PVC. Além disso, modernizaram os reatores e os sistemas de raspagem colocando peças mais novas e compostas por aço inoxidável. Na Figura 5.1 são apresentas as etapas do tratamento de esgoto da ETE Gama.

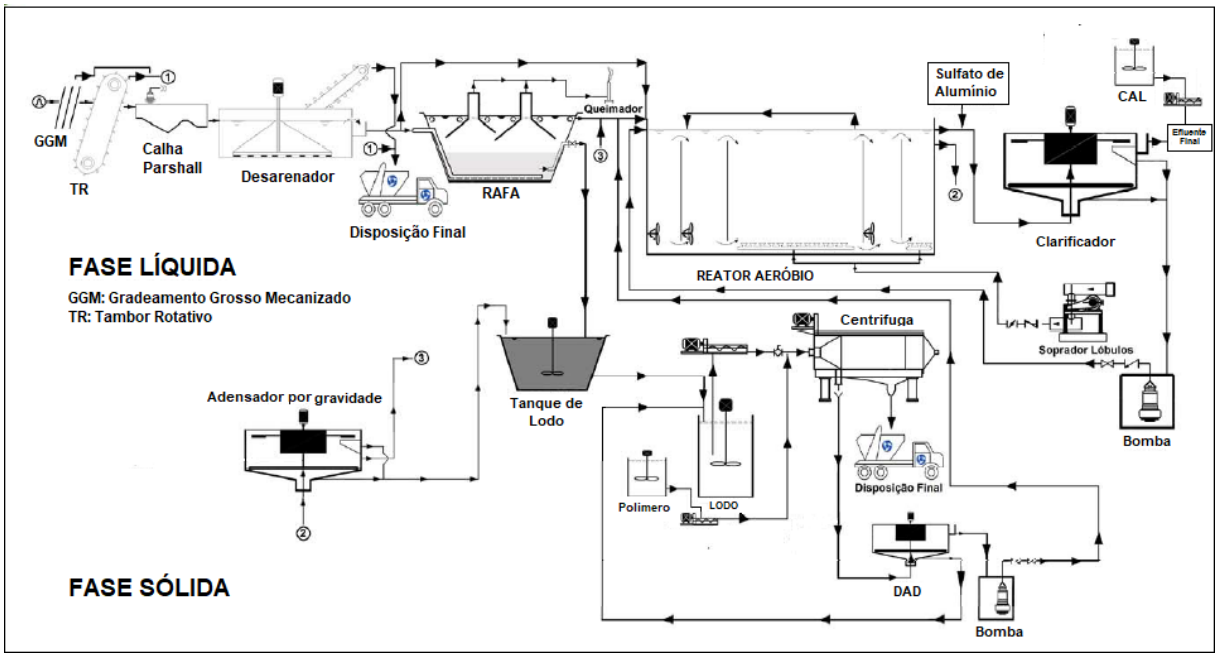


Figura 5.1 - Etapas de tratamento de esgoto da ETE Gama. Adaptado pelo Autor (Fonte: Felizzato, 2017)

A partir do fluxograma apresentado na Figura 5.1 observa-se que a ETE Gama não possui tratamento primário clássico e sim o reator RAFA. Além disso, possui a separação e o tratamento do lodo. Cada etapa do fluxograma será descrita nos tópicos a seguir.

5.1.1. Fase Líquida

5.1.1.1. Tratamento Preliminar

Segundo von Sperling (2005), o tratamento preliminar destina-se principalmente à remoção de: sólidos grosseiros e areia. E os mecanismos básicos para essa remoção são de ordem física, como peneiramento e sedimentação. Na ETE GAMA o esgoto chega no tratamento preliminar dotado de gradeamento grosseiro e gradeamento fino com limpeza mecanizada, que tem o objetivo de remoção dos sólidos grosseiros provenientes da rede de esgoto (material procedente do uso inadequado das instalações prediais e dos coletores públicos, como lixos e plásticos) (PDSB 2017).

Na Figura 5.2 é apresentado o canal de chegada do esgoto bruto na ETE e o tratamento preliminar com detalhe do gradeamento grosseiro ao fundo. Além disso, na Figura 5.3 pode-se observar que, após a passagem no gradeamento grosseiro, há 3 comportas motorizadas que têm como função separar os resíduos e encaminha para uma caçamba de lixo que depois é recolhida para Serviço de Limpeza Urbana (SLU).



Figura 5.2 - Entrada do afluente no tratamento preliminar e o gradeamento grosseiro. (Fonte: Elaborado pelo Autor)



Figura 5.3 - Comportas motorizadas. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

Na Figura 5.4 evidencia a passagem do gradeamento fino, em que é realizado a separação dos resíduos sólidos do efluente que não ficaram retidos no gradeamento grosso, essa separação é mecanizada. Após a separação dos resíduos do afluente, ocorre o encaminhamento direto para a caçamba azul à esquerda onde vai ocorrer a disposição deles, quando a caçamba alcançar o limite de armazenamento ocorre um

pedido de coleta dos resíduos para encaminhar para o Serviço de Limpeza Urbana – SLU.



Figura 5.4 - Gradeamento fino por rosca. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

Após os gradeamentos, o esgoto segue para a calha Parshall para a medição da vazão e os desarenadores que possuem raspadores em formato retangular. A areia e o material gradeado são colocados em caçambas e posteriormente enviados para o aterro de Brasília (PDSB 2017).

A partir das observações feitas durante as visitas técnicas foi ressaltado o cuidado operacional com a medição da vazão afluente. A calha Parshall (Figura 5.5) deve ser muito bem dimensionada, possui uma sonda que medirá o valor da vazão, os dados gerados são demonstrados em um painel próximo da calha, medindo sua vazão em litros por segundo. Por isso, há a checagem regular da sonda para ter a confiabilidade nos dados gerados para serem encaminhados à ADASA. Foi comentado durante a visita que a sonda de medição da calha Parshall foi realocada no período de 2020, o que pode acabar afetando nos dados de medição de vazão neste período do ano de 2020.



Figura 5.5 - Calha Parshall com a sonda medindo a vazão. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

Após a passagem pela calha Parshall ocorre a separação do afluente para ser encaminhado para os dois desarenadores presentes na ETE. Os desarenadores são utilizados para reter e remover as partículas de areia com elevada velocidade sedimentação que ainda se encontram presentes no efluente. O material removido nesta etapa pode compreender uma infinidade de partículas, como por exemplo: areia, silte, pó de carvão, cinzas, pó de café, sementes de frutas etc.

Os desarenadores (Figura 5.6 e Figura 5.7) possuem raspadores que ficam girando, e encaminham a areia para a rosca transportadora que caem na caçamba. Porém, atualmente apenas um desarenador estava em operação na visita técnica, e estava operando como caixa de areia, pois as roscas acabaram quebrando durante o uso. A limpeza dos desarenadores está sendo realizada de forma mecânica, utilizando retroescavadeira ou limpa fossa. Por fim, após a passagem pelo tratamento preliminar o efluente é encaminhado para o tratamento secundário.



Figura 5.6 – Desarenador em operação como caixa de areia. (Fonte: Elaborado pelo Autor)



Figura 5.7 – Desarenador paralisado, destacando o raspador. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

5.1.1.2. Tratamento Secundário

A ETE Gama possui quatro RAFAs, sendo que três estão em operação, desses três apenas dois foram reformados. O esgoto efluente do tratamento preliminar é distribuído para os reatores RAFA por meio de uma caixa distribuidora de vazão (Figura 5.8) que serve para distribuir o esgoto em três saídas possíveis, sendo as duas nos cantos, direito e esquerdo, que realizam a distribuição do esgoto para os RAFAs,

e a do meio é um By-pass que direciona uma parcela de esgoto diretamente para os reatores aeróbicos. A relação de separação é de 30% pelo by-pass e 70% para os reatores anaeróbios.



Figura 5.8 - Caixa distribuidora de vazão com saída para os reatores e o by-pass. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

O objetivo do By-pass é encaminhar o efluente para os reatores aeróbicos para manter a relação de alimento/microrganismos (A/M) favorável no tanque de aeração do sistema de lodos ativados.

De acordo com von Sperling (2002) para sistemas de lodos ativados tratando esgotos sanitários a relação A/M propicia mudanças no processo de sedimentação dos flocos, na quantidade e na diversidade dos organismos presentes na biomassa de um lodo. Ou seja, a quantidade de alimento ou substrato disponível por unidade de massa dos microrganismos é relacionada com a eficiência do sistema. Assim, pode-se entender que quanto maior a carga orgânica fornecida, menor será a eficiência na assimilação deste substrato. Inversamente, quanto menor a carga orgânica fornecida, maior será a avidez pelo alimento, implicando em maior eficiência na redução do substrato. O objetivo do seu controle é de manter essa relação de forma constante para que possa garantir a remoção uniforme de substratos.

A partir das observações realizadas durante as visitas técnicas foi verificado que a estação possui quatro reatores RAFAs, três deles em operação e fora de operação, desses três apenas dois foram reformados. Essencialmente, o processo

consiste em um fluxo ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso e de elevada atividade. (CHERNICHARO, 2005)

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA), possuem uma configuração de tronco de pirâmide, o afluente é distribuído pelo seu fundo, e segue trajetória ascendente e entra em contato com a biomassa anaeróbia, promovendo a digestão anaeróbia da matéria orgânica. A manutenção de elevados tempos de detenção celular e, garante a eficiência de remoção de matéria orgânica, que é obtida por meio dos separadores trifásicos instalados na parte superior dos reatores.

O RAFA tem seis metros de profundidade e O reator possui a presença de um dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado na parte superior do reator. O principal objetivo dele é a separação dos gases contidos na mistura líquida, assim propiciando a sedimentação no reator (CHERNICHARO, 2005). Possui um sistema de telhas no qual está contido o lodo circulante, o líquido sai na borda do nível primário/secundário e o líquido é enviado para o sistema de lodos ativados. Por fim, o lodo gerado é descartado por meio de um poço ou bomba para manter o volume de lodo desejado no reator. Se o volume de lodo exceder o volume necessário, ele começa a perder confluência o processo. As Figuras 5.9 e 5.10 mostram um RAFA da na ETE do Gama.



Figura 5.9 - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente. (Fonte: Elaborado pelo Autor)



Figura 5.10 - Sistema de calhas e passagem do efluente tratado no RAFA. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

A partir da Figura 5.10 pode-se observar a presença de espuma proveniente, provavelmente, dos surfactantes utilizados em detergentes e que não são degradados anaerobiamente. A remoção média de matéria orgânica é de 70%, que se correspondem com valores baixos dos parâmetros de DBO, DQO, turbidez e sólidos suspensos.

Como produtos da degradação anaeróbia da matéria orgânica são gerados o lodo (composto em sua maioria por células de microrganismos) e o biogás que pode apresentar em sua composição: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) e Amônia (NH_3).

Uma forma de remediar a emissão de gases proveniente do processo de biodegradação o sistema captura a emissão e queima os gases. Além disso, a queima do biogás ajuda a diminuir a emissão do metano que é um dos principais gases do efeito estufa, e em contato com o oxigênio pode desencadear uma explosão (BRANDT, E. M. F.; SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L, 2017).

De acordo com as informações fornecidas pelo Engenheiro MSc Cristiano Mano não há aproveitamento energético do biogás, mas há planos de estudos futuros sobre a viabilidade técnica e econômica desse aproveitamento.



Figura 5.11 – Queima dos gases provenientes do RAFA. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

O efluente do reator RAFA segue para uma nova caixa de mistura (Figura 5.12) onde vai ocorrer a mistura do efluente primário por meio do by-pass com o efluente anaeróbio garantindo assim a relação alimento/microrganismo favorável para o processo aeróbio conforme discutido anteriormente.



Figura 5.12 - Caixa de mistura, efluente anaeróbio com o efluente do by-pass. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

Os reatores aeróbios de lodos ativados têm um formato de tronco de pirâmide (Figura 5.13) também semelhante aos RAFAs, e apresenta malhas de aeração no fundo (Figura 5.14), ou seja, é ascendente o perfil do ar, mas a entrada do efluente é por cima. Possuindo um sistema de bombeamento, interligado no fundo do reator, trabalhando com um inversor de frequência que varia o bombeamento para manter a circulação do lodo, e manter a proporção de 1:1 Com efluente e lodo (Figura 5.15).

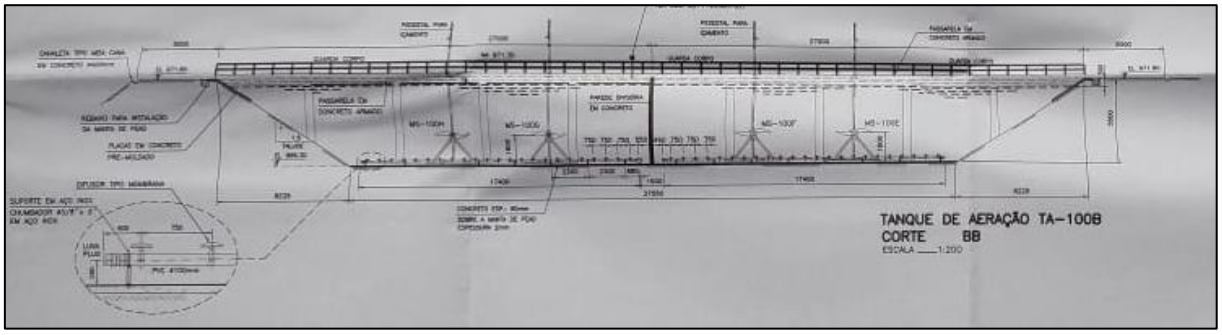


Figura 5.13 – Planta de corte do reator de lodo ativado. Fonte: CAESB

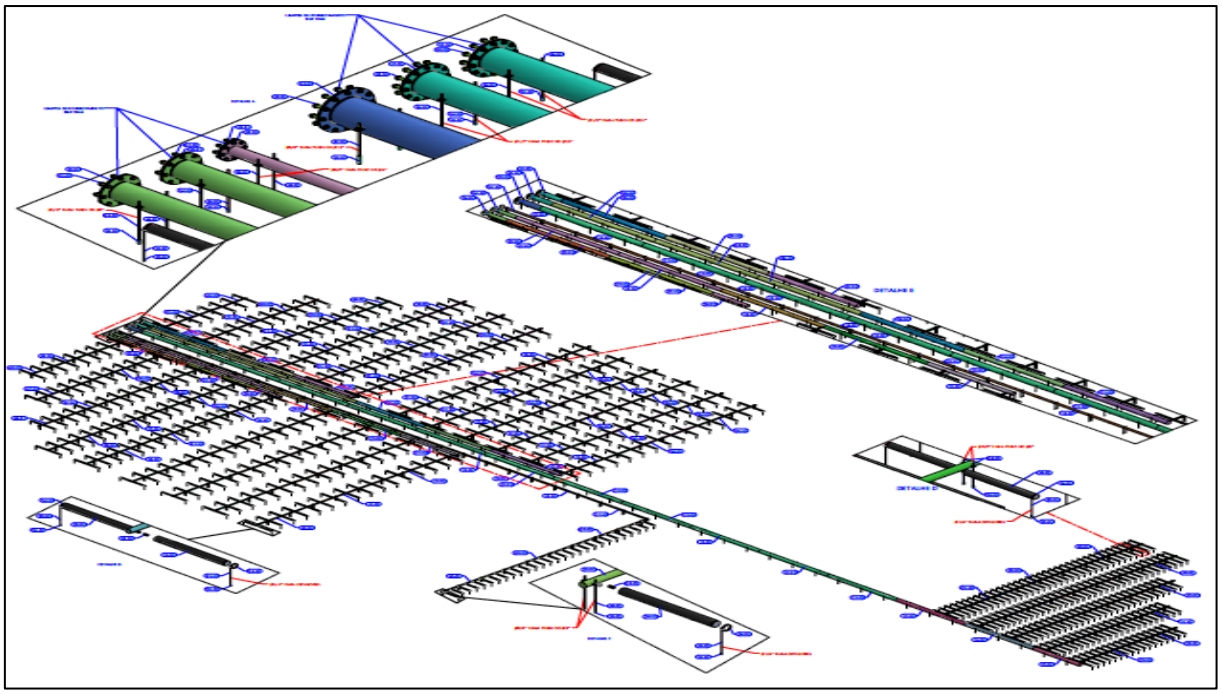


Figura 5.14 - Disposição da malha de aeração no fundo do reator de lodo ativado. Fonte: B&FDias, 2019



Figura 5.15 - Entrada do reator aeróbio onde ocorre a proporção 1:1 de esgoto e lodo ativado. (Fonte: Elaborado pelo autor)

O projeto do sistema de aeração foi realizada por uma empresa contratada chamada de “B&FDIAS Sistemas para Tratamento de Efluentes”, que disponibilizou o projeto destacado na Figura 5.14. O ar inserido no reator provém da casa de sopradores puxando o ar presente na atmosfera encaminhado para o tanque onde se localiza tubos com geomembranas e aço inoxidável (Figura 5.16).



Figura 5.16 - Casa de assopradores, onde o ar é encaminhado para o reator. (Fonte: Elaborado pelo autor)

O sistema de lodo ativado é do tipo carrossel onde, ao longo do percurso, ocorre a alternância de zonas anaeróbias, aeróbias e anóxicas visando a remoção de nutrientes (Figura 5.17) O reator possui volume de 25.000 m³ e opera com um sistema BARDENPHO com 5 estágios com aeração prolongada e co-precipitação, ou seja, a biomassa permanece um tempo considerável no sistema. Com isto, há menos DBO disponível para as bactérias, o que faz com que elas se utilizam da matéria orgânica intracelular (BARNARD, RANDALL E STENSEL, 1992).

Os cinco estágios são: zona anaeróbia (ausência de oxigênio, ausência de nitratos e presença de sulfatos e carbonatos), zona anóxica (ausência de oxigênio, presença de nitratos), zona de aeração (presença de oxigênio), passa novamente pela zona anóxica e finaliza com a zona de aeração

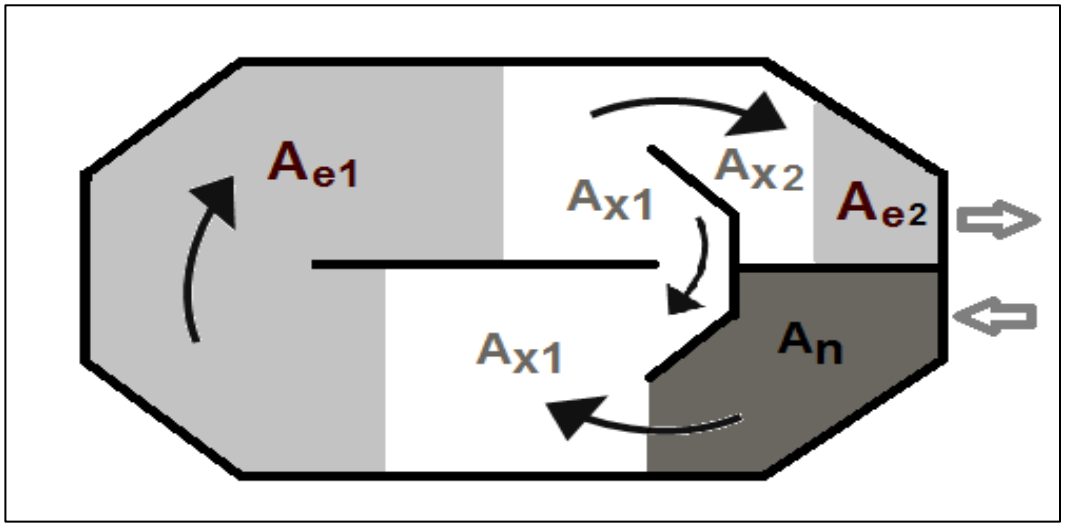


Figura 5.17 - Desenho esquemático do reator aerado da ETE Gama (sem escala). Legenda: An: Zona Anaeróbia, Ax1: Zona Anóxica (Primeira), Ae1: Zona Aeróbia (Primeira), Ax2: Zona Anóxica (Segunda), Ae2: Zona Aeróbia (Segunda). (Fonte: Elaborado pelo Autor)

Cada zona do reator de lodo ativado tem a sua finalidade no tratamento do efluente, que possui o papel de remover biologicamente os nutrientes presentes no afluente, que são nitrogênio, fósforo e matéria orgânica (de forma complementar).

Na zona anaeróbia (A_n): ocorre a produção de ácido graxos voláteis por bactérias facultativas, assim havendo acumulação dos ácidos graxos voláteis pelos Organismos Acumuladores de Fosfato (OAPs). Por fim, a liberação do ortofosfato, previamente acumulado pelos organismos, fornece energia para transporte do substrato e para a formação de produtos metabólicos orgânicos, como polihidroxibutirato (PHB).

Zona Anóxica (A_{x1}): Onde vai ocorrer a remoção biológica do nitrogênio, em ausência de oxigênio e presença de nitrato, que é processo de desnitrificação, as bactérias acabam utilizando o nitrato no seu processo respiratório, convertendo-o a nitrogênio gasoso lançando para a atmosfera. Nesta etapa ocorre a retorno do lodo ativado de volta para zona aerada.

Zona Aeróbia (A_{e1}): Onde ocorre a nitrificação do nitrogênio amoniacal, os microrganismos envolvidos no processo de nitrificação são quimioautótrofos obtendo energia através da oxidação do nitrogênio amoniacal (amônia) para o nitrito, que é efetiva pelas bactérias como a Nitrosomonas. A oxidação do nitrito para o nitrato se dar pela atuação das bactérias Nitrobacter.

Zona Anóxica (A_{x2}): Esta zona recebe o lodo proveniente da zona aeróbia (A_{e1}), e o processo de desnitrificação volta a ocorrer nesta zona. Por conseguinte, para alcançar a remoção do nitrogênio. Após a passagem nesta zona o efluente tratado vai ser encaminhado para zona de reareação (Zona Aeróbia A_{e2}).

Zona Aeróbia (A_{e2}): Onde vai ocorrer a reareação e haverá consumo do substrato armazenado e assimilação de fosfato, ocorrendo a produção de novas células, sendo removidos do sistema como lodo excedente.

Nas Figuras 5.18 e 5.19 são destacados os dois reatores aeróbios presentes na estação, no dia que foi realizado a visita técnica apenas um dos dois reatores estava em operação. Por fim, após o trajeto do reator ser finalizado, no final da zona de reareação (A_{e2}) é adicionado o sulfato de alumínio (Figura 5.20), o coagulante é armazenado (Figura 5.21) próximo dos decantadores, o uso do coagulante tem a finalidade de precipitar o fósforo que não foi removido biologicamente na zona de reareação. Por fim, o licor misto é encaminhado para os decantadores secundários (clarificadores), possuindo dois decantadores para cada reator de lodo ativado.



Figura 5.18 - Reator aeróbio em operação. (Fonte: Elaborado pelo autor)



Figura 5.19 - Reator aeróbio fora de operação. (Fonte: Elaborado pelo autor)



Figura 5.20 - Adição de sulfato de alumínio no efluente do reator. (Fonte: Elaborado pelo autor)



Figura 5.21 - Reservatórios do sulfato de alumínio. (Fonte: Elaborado pelo autor)

O decantador secundário tem como objetivo promover clarificação e remover os Sólidos Suspensos (SS) do efluente e propiciar a separação do lodo pela gravidade. A entrada do licor misto nos decantadores secundários ocorre na parte inferior onde se encontra um poço central da unidade (Figura 5.22), funcionando como um reservatório do lodo, o decantador é equipado com uma paleta que fica girando

em uma velocidade devagar, este equipamento acaba forçando o lodo a decantar neste reservatório e a parte líquida clarificada ascender.

Após o efluente se separar do lodo, se encaminha até anel defletor externo do decantador onde vai ocorrer o decaimento do efluente (Figura 5.23) para que já possa ser encaminhado para destinação final, ou seja, até o lançamento para o corpo receptor que é o Ribeirão Ponte Alta. Na Figura 5.24 demonstra os decantadores presentes na estação do Gama.



Figura 5.22 - Saída do licor misto do decantador secundário. (Fonte: Elaborado pelo autor)



Figura 5.23 - Anel defletor externo do decantador, água clarificada



Figura 5.24 - Decantadores secundários. (Fonte: Elaborado pelo autor)

Na calha Parshall (Figura 5.25) onde é medida a vazão do efluente final, foi detectado que o efluente estava mais ácido do que o considerado aceitável. Para solucionar isso, se faz adição de cal para aumentar o pH e atender ao padrão de lançamento estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011.



Figura 5.25 – Calha Parshall para medição da vazão do Efluente Final. (Fonte: Elaborado pelo autor)

5.1.1.3. Fase Sólida

Tanto o lodo proveniente do reator RAFA quanto do sistema de lodos ativados são encaminhados para os adensadores por gravidade (ADG) (Figura 5.26), que originalmente eram por flotação, mas foram adaptados para operação por gravidade. Nos adensadores ocorre a separação do excesso de líquido dos lodos, sendo o líquido encaminhado para o tanque de elevatória (Figura 5.29) e o lodo encaminhado para lagoa de lodo (Figura 5.27).

A lagoa de lodo alimenta as bombas helicoidais que encaminha o lodo para desidratação por centrífuga (Figura 5.28), foram instalados duas centrífugas para a separação do líquido do lodo. Para que o processo de desaguamento seja eficiente condiciona-se um polímero (polieletrólito catiônico) que é um material grudento, possuindo uma cadeia carbônica e uma carga elétrica que para quando entrar em contato com o lodo, decorrendo um agarramento com o lodo e realizando a separação do líquido do sólido (lodo) na centrifuga. A preparação deste polímero ocorre em um tanque de preparação, logo é movido para o de maturação (para que se encontre em um estado ideal) e um tanque que funciona como um reservatório para utilização futura.

Além disso, o líquido excedente da centrífuga é destinado ao tanque chamado de DAD, que é um decantador, onde o sobrenadante é encaminhado para o tanque de elevatória novamente que em seguida é bombeado para retornar para o reator de lodo ativado. E o sólido é retornado para lagoa de lodo.



Figura 5.26 - Adensadores por gravidade. (Fonte: Elaborado pelo autor)



Figura 5.27 - Lagoa de lodo. (Fonte: Elaborado pelo autor)



Figura 5.28 - Desidratação de lodo por centrifugação. (Fonte: Elaborado pelo autor)



Figura 5.29 – Tanque da elevatória do lodo de fração líquida da centrifugação. (Fonte: Elaborado pelo autor)

No processo de tratamento são produzidos, em média, 40 m³/dia de lodo, que acabam sendo armazenados temporariamente na própria ETE (Figura 5.30). Esse lodo produzido nos processos é rico em nutrientes e, após estabilizado e condicionado adequadamente, pode ser utilizado como condicionador de solo destinados para a aplicação em áreas degradadas.



Figura 5.30 – Leito de secagem do lodo. (Fonte: Elaborado pelo autor)

5.2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE MONITORAMENTO

5.2.1. Dados Fornecidos

A Estação de Tratamento de Esgoto Gama realiza monitoramento de uma variedade de parâmetros, todavia, possuem uma variação na quantidade de dados disponíveis dependendo do ano/mês e até dos parâmetros monitorados, que podem ter sido não monitorados em um certo período. Portanto, após recebimento dos dados foi verificado a quantidade de dados de cada parâmetro conforme apresentado na Tabela 5.1. Além disso, foram disponibilizados os dados de vazão do afluente acumulado no mês e a temperatura medida no lançamento do efluente. Foram disponibilizados as médias mensais dos parâmetros monitorados referente aos anos de 2012 a 2022.

Tabela 5.1 - Número de dados de cada parâmetro conforme o ponto de amostragem

Quantidade de dados por parâmetro			
Parâmetros	**Afluente**	**Efluente**	**Total**
Coliforme Termotolerantes	73	73	146
DBO	120	118	238
DQO	117	117	234
pH	113	113	226
SS	120	120	240
PT	119	119	238
E. Coli	53	53	106
Nitrogênio total	30	30	60
TKN	40	40	80
Turbidez	-	110	110
PO_4	-	117	117
$N\text{-}NO_x$	-	23	23
$N\text{-}NH_3$	-	54	54
$N\text{-}NH_x$	-	65	65
Ssed	-	29	29
Total	**785**	**1181**	**1966**

Apesar do monitoramento da ETE Gama ser realizado no mínimo duas vezes por semana, conforme informado durante a visita técnica, os dados recebidos representam as médias mensais dos parâmetros monitorados como pontuado anteriormente. Ressalta-se que as médias mensais não permitem uma avaliação mais criteriosa das eficiências dos sistemas e, dessa forma não permitindo inferências mais aprofundadas sobre o desempenho da ETE Gama.

Entre os anos analisados 2012 a 2022 foi observado uma pequena inconsistência nos anos de 2012, 2014 e 2016, com meses sem dados na série histórica. No ano de 2012 faltou o mês de maio, 2014 os meses de junho e 2016 faltaram os meses de junho e julho. Isto se deve que os servidores da CAESB se encontravam em greve, e não tinha operador para realizar o monitoramento na época.

Dessa forma, foi trabalhado com os dados, no formato e com o intervalo de série que foram disponibilizados. Porém, em casos em que o valor da quantidade de dados de um parâmetro foi muito pequena acabou sendo descartada nessa investigação, apenas dando procedência de alguns dados que apresenta apenas valores no efluente e todos que apresentam monitoramento nos dois pontos da estação (afluente e efluente).

5.2.2. Vazão e Carga

Analisando-se o gráfico da Figura 5.31, que expõe a média mensal dos dados de vazão dos anos de 2018 a 2022, nota-se uma variação nos valores das vazões afluentes ao longo dos meses. Nos períodos chuvosos (outubro a março) os valores foram maiores quando comparados com os meses de maio a setembro (período de estiagem).

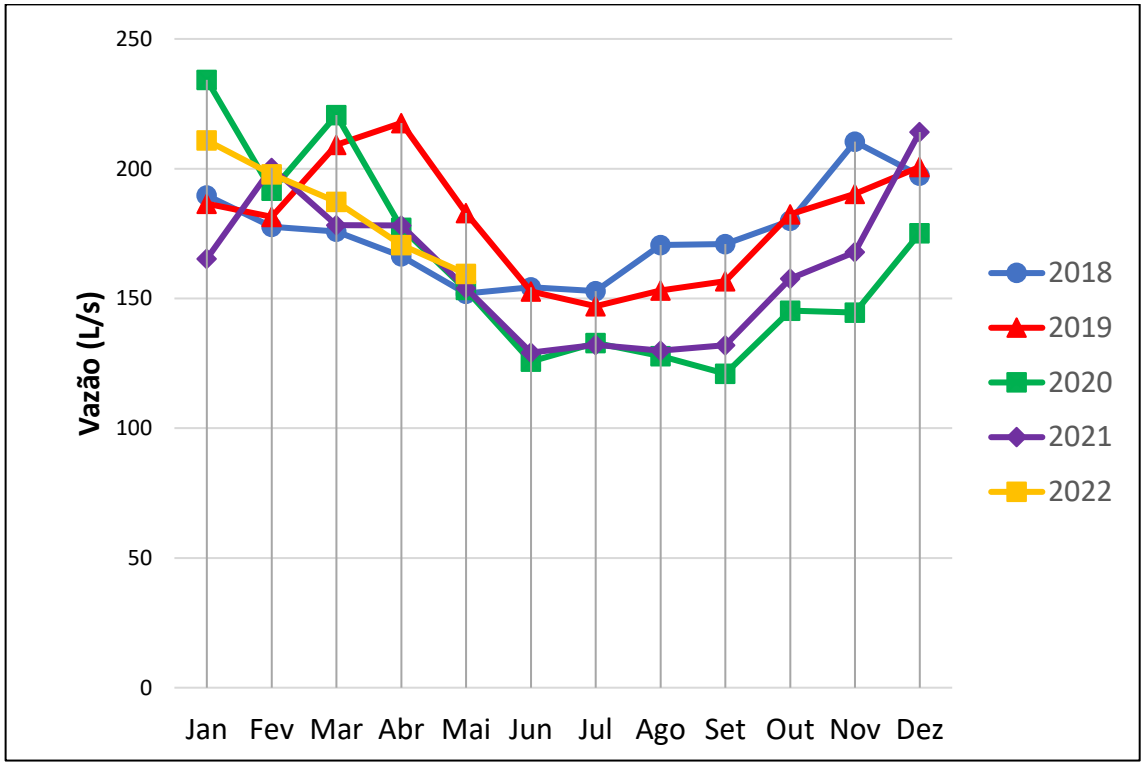


Figura 5.31 - Gráfico da vazão média mensal de esgoto afluente a ETE Gama nos anos de 2018 a 2022

Na Figura 5.31 percebe-se o aumento da vazão de esgoto recebido pela ETE Gama no período chuvoso, o que pode ser uma forte evidência de uma possível ligação clandestina ou rompimento da rede de águas pluviais infiltrando na rede de esgoto na região que a estação atende que é a região do Gama. Além disso, a vazão estar tendo uma tendência de diminuição no decorrer dos anos, as linhas de 2021 e 2020 estão abaixo dos anos anteriores. O ano de 2022 não está tracejado com todos os meses por motivo de o estudo atual estar sendo realizado no mesmo, e os dados secundários obtidos abrangeram até o mês de maio.

Para difundir mais a discussão, foi realizado análise das cargas de massa que chega na estação conforme com a vazão. Vai ser demonstrado no gráfico em série a tendência da carga ao longo dos anos de 2012 a 2022 para os parâmetros de DBO,

DQO, SS e PT. O NT foram nos anos de 2018 a 2022. Os gráficos estão representados nas Figuras 5.32, 5.33, 5.34, 5.35 e 5.36.

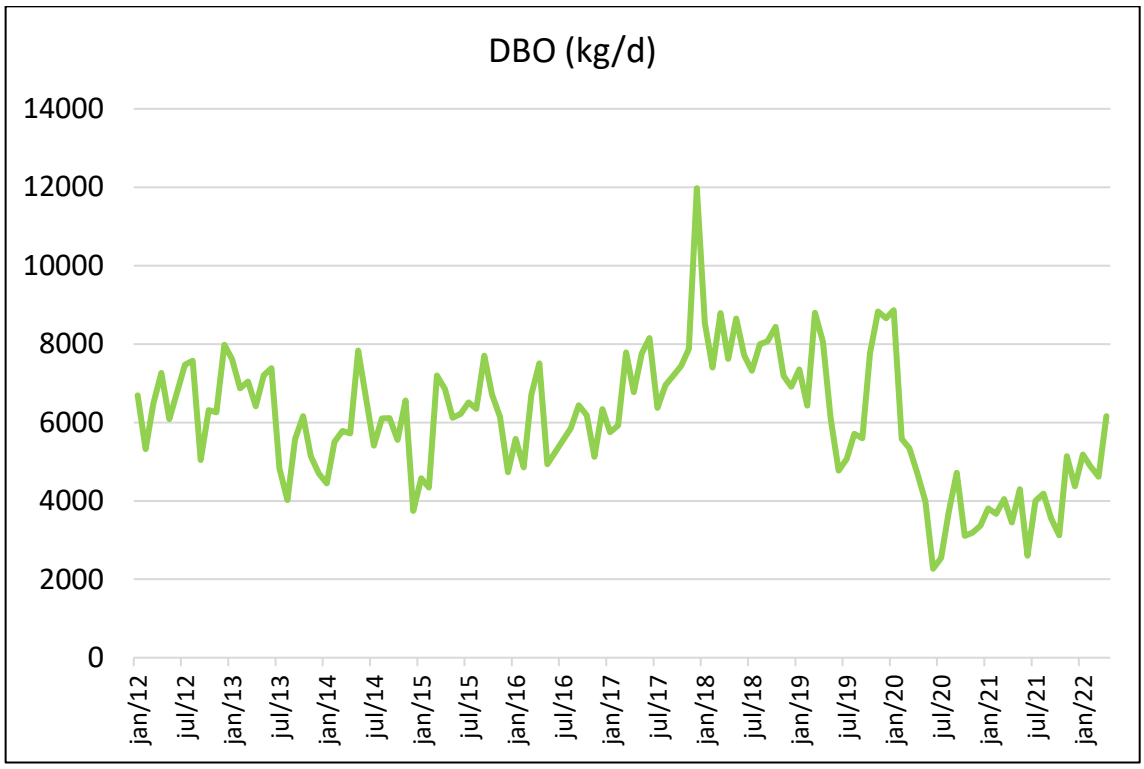


Figura 5.32 - Carga de massa da DBO que chega na ETE Gama

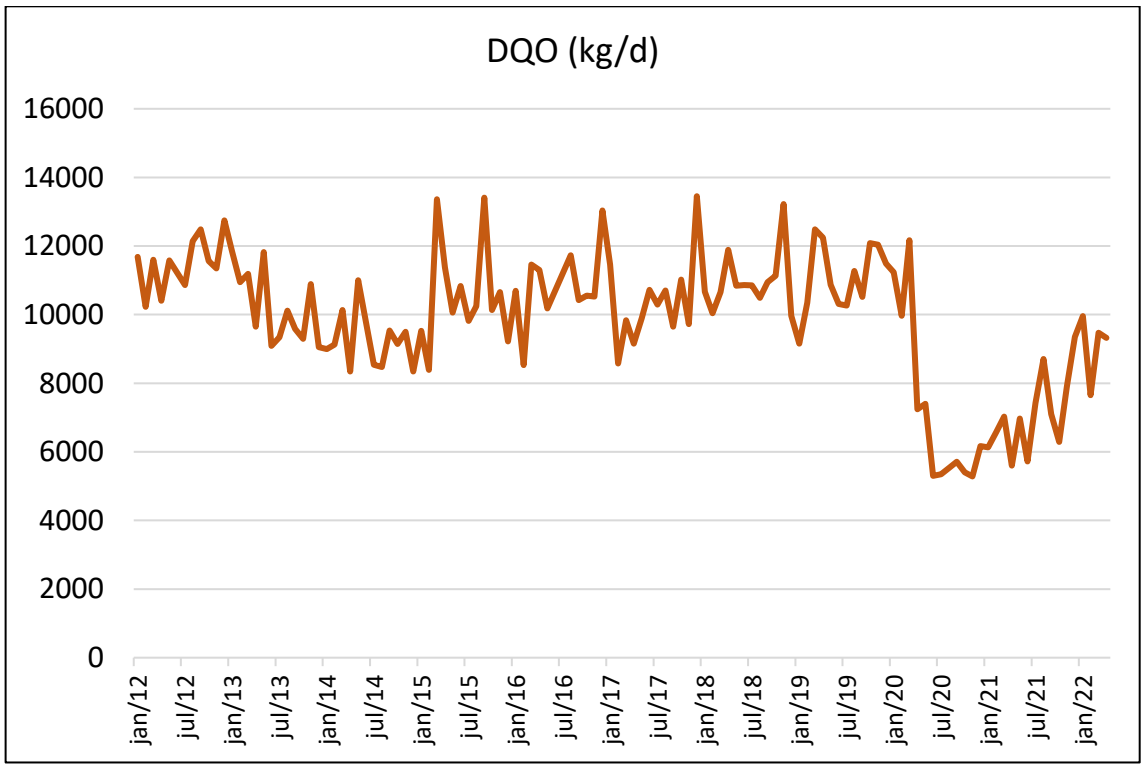


Figura 5.33 - Carga de massa da DQO que chega na ETE Gama

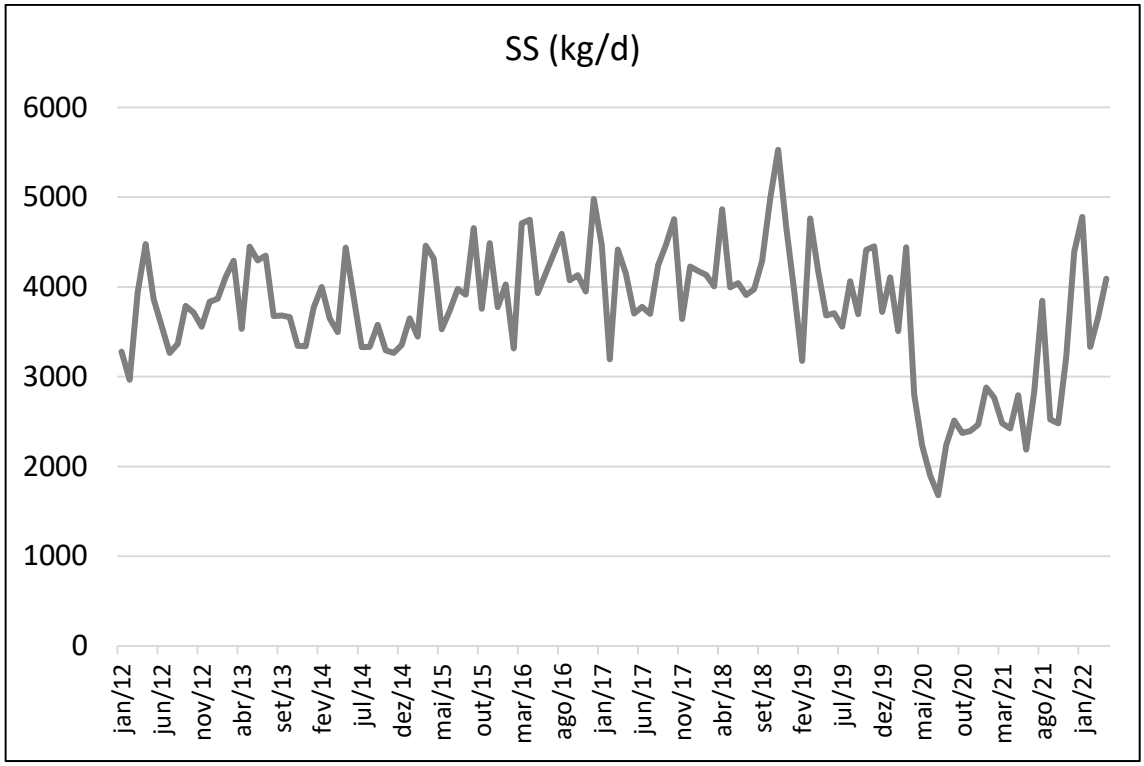


Figura 5.34 - Carga de massa da SS que chega na ETE Gama

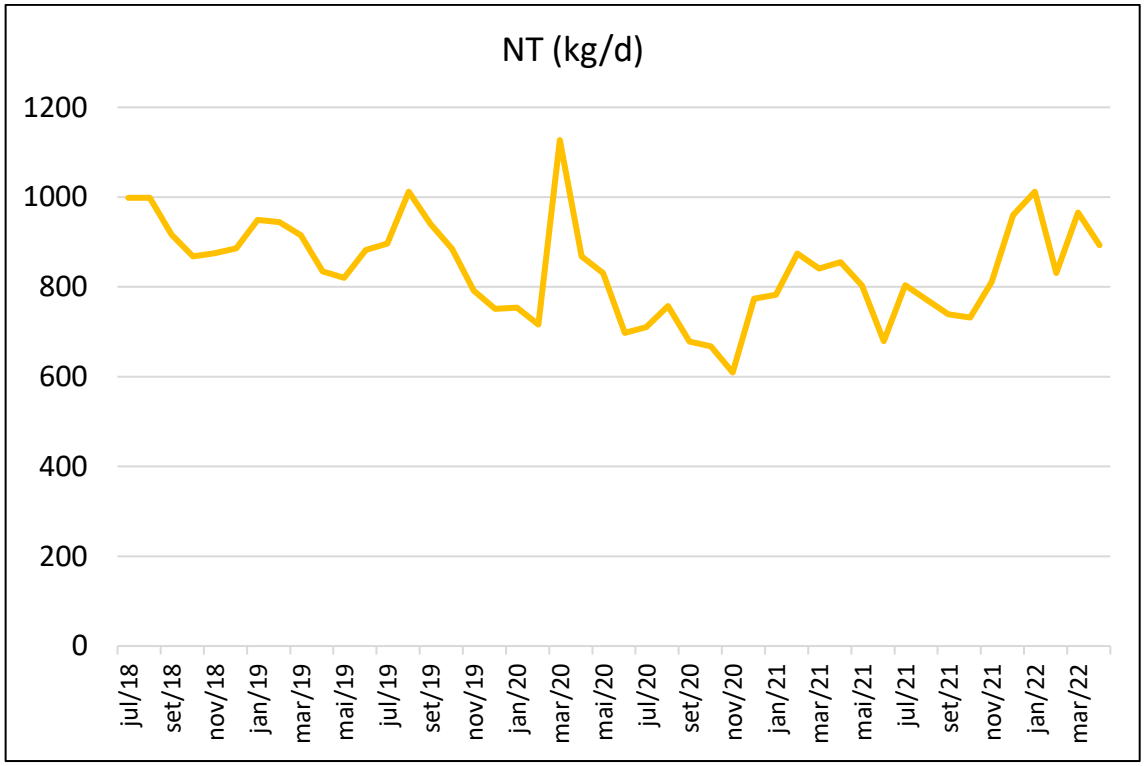


Figura 5.35 - Carga de massa da NT que chega na ETE Gama

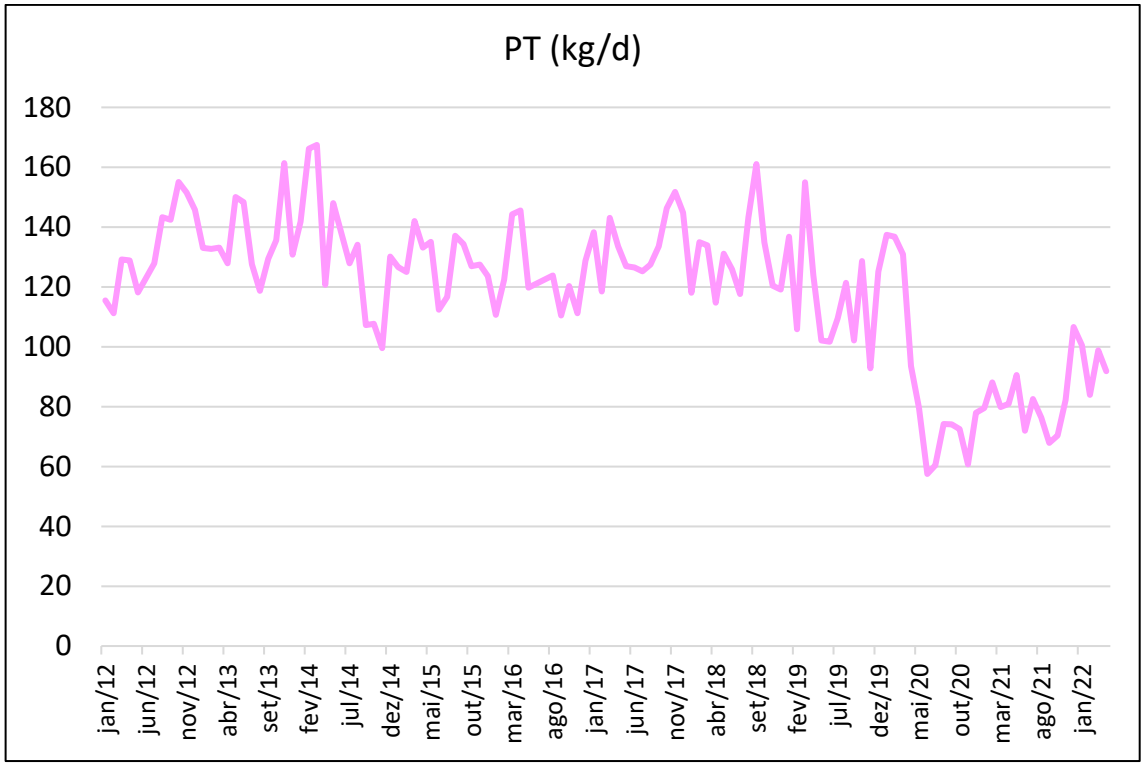


Figura 5.36 - Carga de massa da PT que chega na ETE Gama

Foi observado nas Figuras anteriores que em 2020 obteve uma queda na variação de carga. Vale destacar que em 2020 teve uma calibração da medição de vazão, o sensor de nível da calha Parshall teve um reposicionamento, o que acabou alterando talvez o valor para baixo de vazão medida nessa época. Além disso, após a passagem da queda a variação de carga torna a subir novamente. Portanto, não é possível chegar em uma conclusão de que a carga que chega na ETE estar realmente aumentando ou diminuindo no decorrer dos anos.

5.2.3. Concentrações de DBO, DQO e sólidos suspensos

No intuito de possibilitar a avaliação, as distribuições das concentrações das DBO, DQO e SS estão sendo representadas com valores das médias mensais dos anos de 2012 a 2022 separado de acordo com o ponto de monitoramento em diagramas de caixas na Figura 5.37, que se trata de um instrumento gráfico para representar a variação de dados observados de uma variável numérica. Com o diagrama é possível identificar a diferença das variações das concentrações no afluente e efluente.

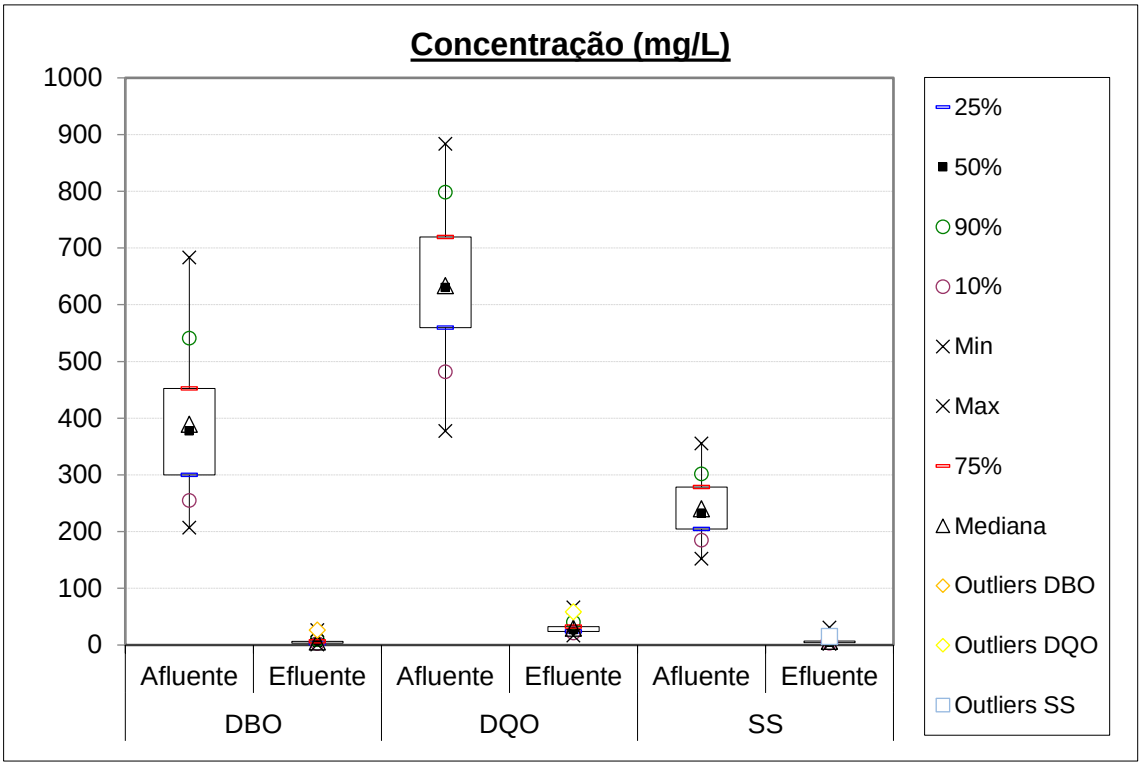


Figura 5.37 - Diagramas de caixa dos parâmetros de DBO, DQO e SS conforme os pontos de amostragem da ETE Gama

Na Figura 5.37 é notável a diminuição das concentrações dos parâmetros no sistema de tratamento da estação. Além disso, houve presença de “outliers” nos parâmetros de DBO, DQO e SS no efluente, que são dados que se diferenciam drasticamente de todos os outros, ou seja, é um valor que foge da normalidade e pode causar anomalias nos resultados obtidos e é recomendável uma atenção especial (HOPPEN; PRATES, 2021).

O efluente da ETE apresentou uma redução expressiva da mediana e da variação das concentrações de DBO, DQO e SS em relação ao afluente da ETE. Essa redução se deve que as unidades operacionais (RAFAs) presentes na estação estão realizando um tratamento de forma adequada, tendo uma eficiente degradação dos materiais carbonáceos presentes no afluente. Porém, o RAFA não é o único que vai fazer a remoção dos sólidos suspensos, ou seja, a redução dos sólidos é proporcionada por várias etapas do tratamento.

5.2.4. Concentrações de Nutrientes

No intuito de possibilitar a avaliação as distribuições das concentrações das NT, PT e NTK estão sendo representadas com valores das médias mensais dos anos

de 2012 a 2022 separado de acordo com o ponto de monitoramento em diagramas de caixas na Figura 5.38.

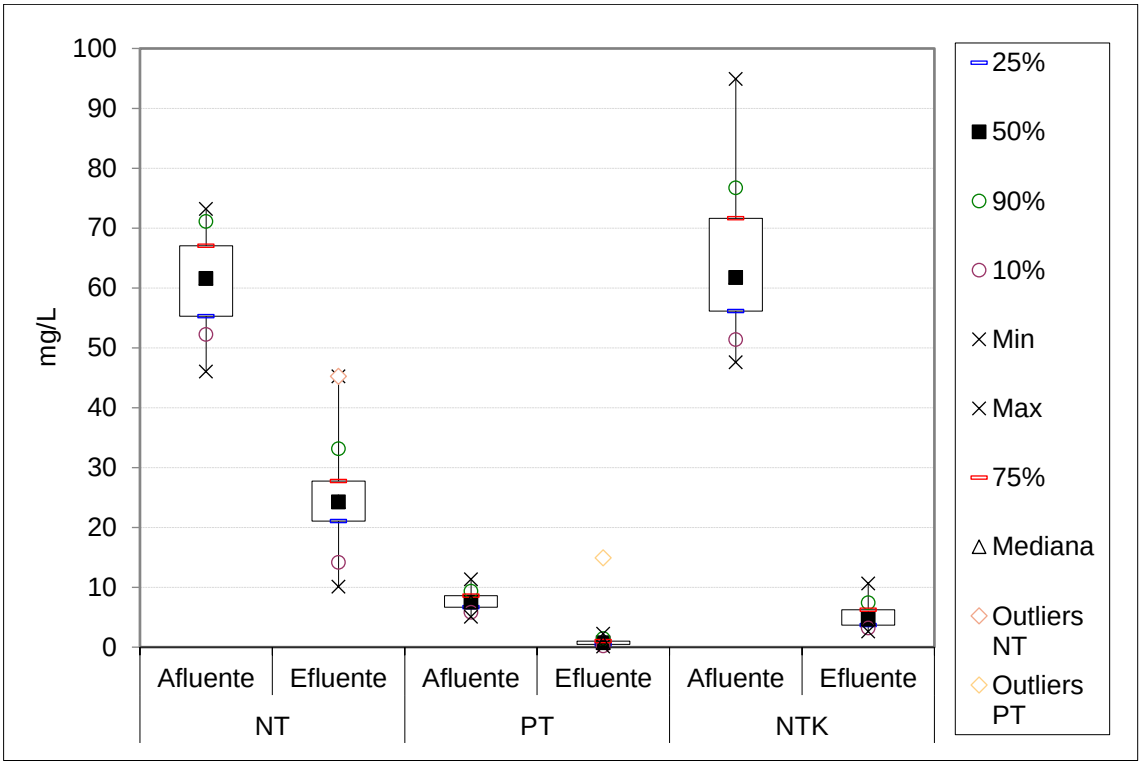


Figura 5.38 - Diagramas de caixa dos parâmetros de NT, NTK e PT conforme os pontos de amostragem da ETE Gama

Pela Figura 5.30 é possível visualizar a diminuição da concentração de PT e do NTK. Além disso, apenas os parâmetros de NT e do PT apresentaram outliers, ou seja, deve ficar atento aos dois parâmetros.

Por mais que a mediana do afluente e do efluente do NT tenham mudado consideravelmente, mostra que o sistema talvez não esteja conseguindo ter uma boa eficiência na remoção do nitrogênio. Diante deste fato, ele será discutido de forma mais detalhada no tópico de eficiência de remoção “5.2.6. Eficiência de Remoção da ETE GAMA”.

5.2.5. Concentrações de Coliforme termotolerantes e E. Coli

No que diz respeito a parâmetros biológicos, a distribuição das concentrações de *Escherichia Coli (E. Coli)* e Coliformes termotolerantes (Coli T) estão sendo representadas com valores das médias mensais dos anos de 2012 a 2022 nos pontos onde ocorre o monitoramento, afluente e efluente da estação, foram representadas em diagramas de caixa. A representação dos diagramas se encontra na Figura 5.39.

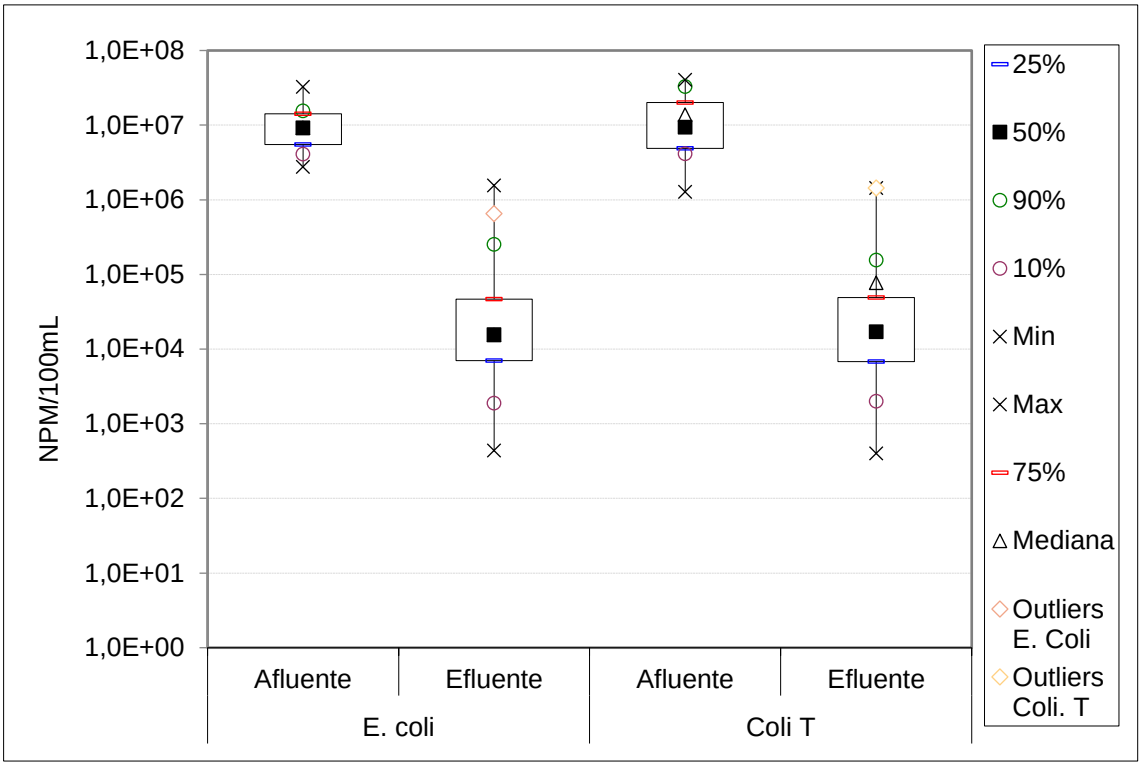


Figura 5.39 - Diagramas de caixa dos parâmetros de E. Coli e Coli. T conforme os pontos de amostragem da ETE Gama

No diagrama mostra que a remoção dos dois parâmetros possui duas casas decimais de diferença, a mediana do afluente se encontra na casa da $10^7\ NPM/100mL$ e a mediana do efluente na casa entre $10^3 NPM/100mL$ a $10^4 NPM/100mL$. Além disso, a Escherichia Coli e os Coliformes Termotolerantes possuíram outliers no efluente, mostrando que possuíram casos que podem ser fora da realidade do tratamento da estação.

5.2.6. Eficiência de Remoção da ETE Gama

Para auxiliar a caracterização da eficiência de remoção dos parâmetros que foram monitorados afluente e efluente na estação do Gama, foram calculadas a remoção referente as médias mensais calculadas na eficiência de remoção de cada parâmetro disponibilizado nos dados de monitoramento, que abrangeu os anos de 2012 a abril de 2022. Na Figura 5.40 é apresentado os valores em porcentagem média das remoções.

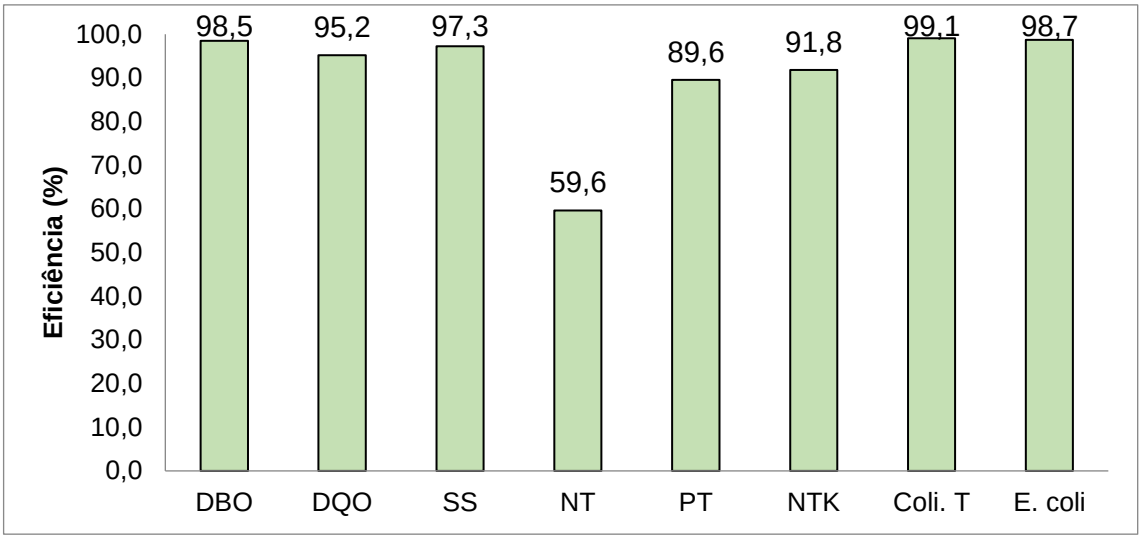


Figura 5.40 - Média da eficiência de remoção dos parâmetros da ETE Gama

As eficiências foram comparadas com valores reportados na literatura von Sperling (2005), a Tabela 5.2 se encontra os valores de referência para comparação. Além disso, segundo Oliveira (2012) operando um lodo ativado o nitrogênio total obteve uma remoção média de 83%.

Tabela 5.2 - Faixa de Eficiência de remoção (%) esperada pela literatura. Fonte: VON SPERLIN (2005); OLIVEIRA (2012).

Parâmetros	**Faixas de Eficiência de Remoção preconizadas na literatura (%)**
DBO (mg/L)	75 a 93
DQO (mg/L)	65 a 90
SS (mg/L)	70 a 97
NT (mg/L	~83%
PT (mg/L)	< 35 a 88
Coli. T (mg/L)	65 a 90

Com a Figura 5.32 foi possível perceber que a eficiência de remoção do Nitrogênio Total possui valor muito baixo se comparado a remoção de Fósforo Total, pois os dois parâmetros, possuem um tratamento específico para remoção de nutrientes de forma biológica. Além disso, não alcançou o valor médio de eficiência no estudo do Oliveira (2012). Segundo informação pessoal do Cristiano, já foi notado que a remoção de nitrogênio não está adequada, o motivo não foi encontrado, mas se presume que talvez a relação de alimentação, que é a mistura do by-pass e do

efluente do reatores RAFAs, possa estar afetando as bactérias nitrificantes e desnitrificantes do reator.

A segunda menor eficiência é a remoção de fósforo, mas os valores não estão tão baixos como o de nitrogênio, se encontra em uma faixa apropriada para dizer que a remoção de fósforo tem sido feita de forma adequada ao longo dos anos analisando a Tabela 5.2.

5.3. Avaliação da Conformidade da ETE em Relação as Regulamentações

Como mencionado na metodologia, foi realizada a avaliação de que a estação de esgoto consegue atender as regulamentações e a outorga vigentes. Para essa análise foram utilizados os dados secundários disponibilizados pela CAESB.

No período avaliado, os valores de DBO com os padrões de lançamento estipulado pelo CONAMA nº 430 de 2011, que é o valor de 120 mg/L, foram atendidos em toda a série histórica disponível nos dados da CAESB. Porém, com a resolução da ADASA nº 13 de 2011, que indica um valor de 8 mg/L, foi verificado a não conformidade nos meses descritos na Tabela 5.3, que acabou ultrapassando este valor, como pode ser observado no gráfico da Figura 5.41.

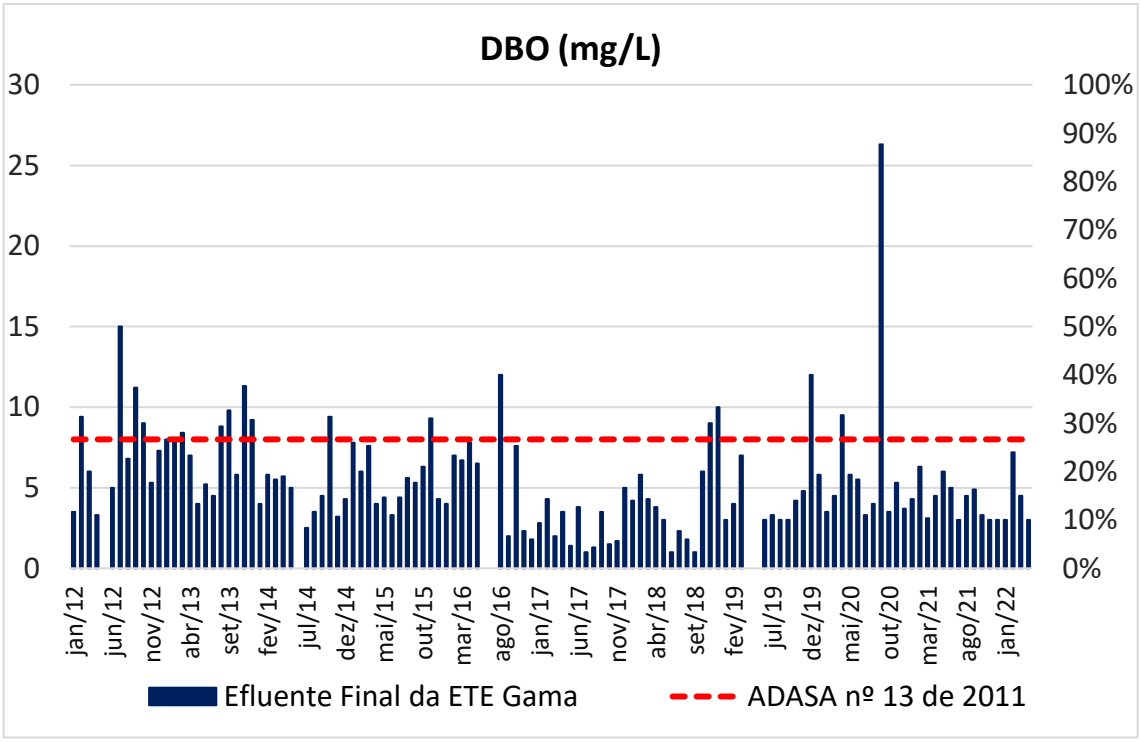


Figura 5.41 – Concentração da média mensal de DBO no afluente e efluente final, remoção do tratamento adotado pela ETE Gama, comparado com a legislação no período de janeiro de 2012 a março de 2022.

Tabela 5.3 - Meses que apresentaram não conformidade com os limites imposto pela outorga da Adasa

Ano	Mês que apresentou não conformidade
2012	fevereiro, julho, setembro e outubro
2013	março, agosto, setembro e novembro
2014	outubro
2015	novembro
2016	agosto
2018	novembro e dezembro
2020	abril e setembro

Apresentando um total de 15 não conformidades e uma taxa de 12,5% nos dados de monitoramento disponibilizado que ultrapassaram a outorga emitida na ETE.

Vale destacar que os valores de DBO são estabelecidos de forma diferente nas duas resoluções, pois a realidade dos corpos receptores do Distrito Federal é que possuem baixa vazão e baixa capacidade de diluição (autodepuração) dos parâmetros, que é basicamente o reestabelecimento do equilíbrio do meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais. Desta forma, a exigência da outorga da ADASA com o limite de lançamento de DBO ser baixo é exatamente para considerar a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos, após as alterações induzidas por despejos do efluente assim afetando as nascentes do local.

A análise do perfil de SS, foi realizada em comparação com valores descritos por Jordão e Pessôa (1995), como finalidade do tratamento da estação. Os autores indicam que a concentração de SS de um efluente final deverá alcançar valores inferiores a 30 mg/L. Foi verificado que apenas no mês de setembro de 2016 o SS é superior a esse valor indicado pelos autores, como exibido na Figura 5.42.

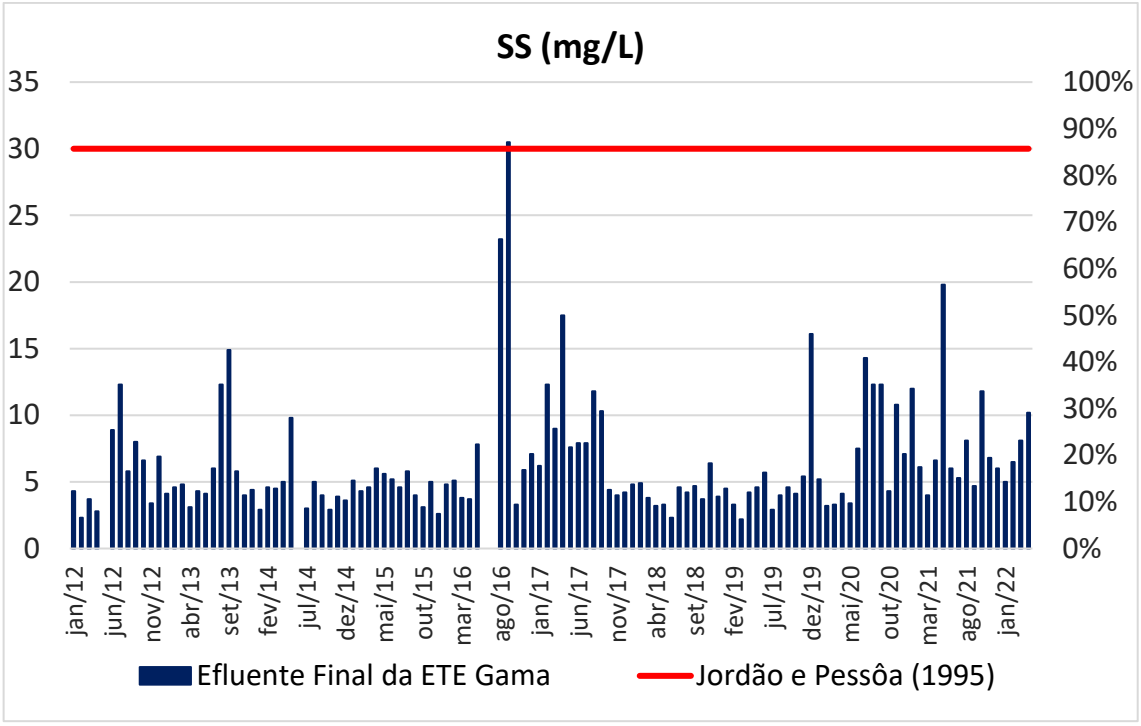


Figura 5.42 - Concentração média mensal de Sólidos Suspensos e remoção do tratamento adotado pela ETE Gama, no período de janeiro de 2012 a março de 2022.

Nos dados da CAESB o nitrogênio total e o NTK são os dados que abrangem os dois pontos de coleta de monitoramento. Porém, o nitrogênio total e o NTK não são considerados pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011, entretanto, o nitrogênio amoniacal é considerado, vale destacar que a quantidade de dados do nitrogênio amoniacal é pequena e sendo apenas monitorada no efluente final. O efluente é limitado até 20 mg/L pela resolução do CONAMA.

Nos dados de monitoramento não é destacado o nome “nitrogênio amoniacal”, mas é de conhecimento que o nitrogênio amoniacal pode se apresentar sob a forma ionizada (NH^{4+}) ou não ionizada (NH_3) de acordo com o pH, a soma dos dois se constitui ao nitrogênio amoniacal. Porém, como não foi monitorado o NH^{4+}, foi considerado apenas o nitrogênio de amônia NH_3-N como o nitrogênio amoniacal.

Na Figura 5.43 foi verificado que a estação consegue atender à Resolução, ou seja, estando em conformidade com a regulação. Porém, apenas em dezembro de 2019 apresentou valor não conforme com a Resolução.

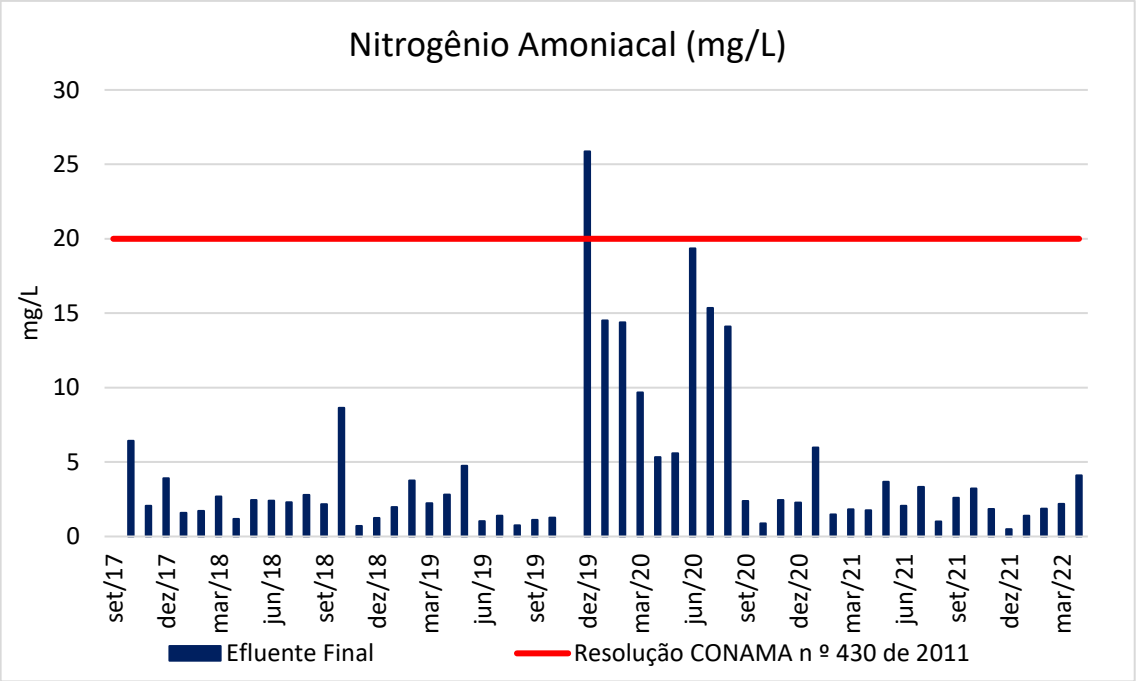


Figura 5.43 - Concentração média de nitrogênio total nas etapas de tratamento da ETE Gama no período de setembro de 2017 a março de 2022.

A Resolução CONAMA nº 430 de 2011 estabelece valores para pH no intervalo de 5 a 9. Valores de pH fora desse intervalo podem resultar em interferências na biota aquática dos corpos receptores (SANTOS; MINATEL; SANTORO, 2017).

Os pH não foi monitorado de janeiro de 2012 a janeiro de 2022. Na Figura 5.44 observa-se que os valores de pH na grande maioria dos dados apresentados se encontram no intervalo preconizado pela Resolução. Porém, foi observado que desde a março de 2021 observa-se uma queda nos valores monitorados do pH do efluente atingindo valores próximos a 4,5 unidades. Para corrigir os valores de pH foi necessário a utilização de alcalinizantes. Um possível motivo é a adição do coagulante (sulfato de alumínio) no reator de lodo ativado, que acaba por reduzir o pH do efluente devido a sua interação com a água.

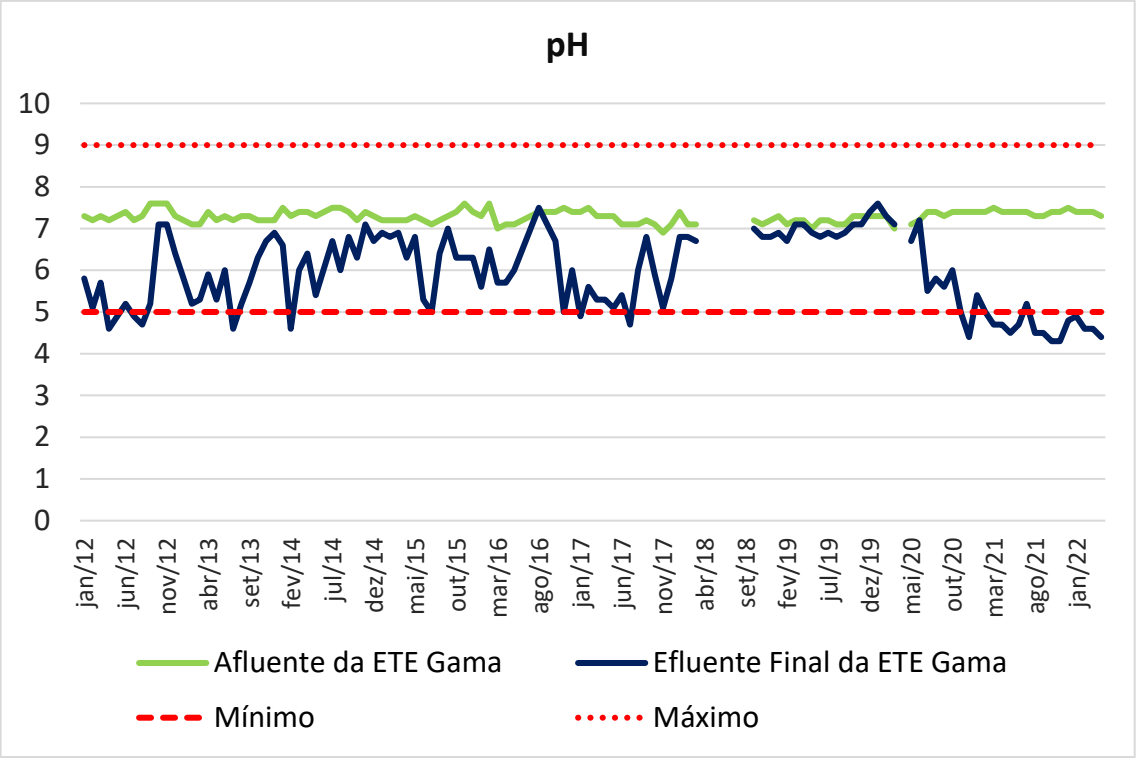


Figura 5.44 - Análise do valor de pH na ETE Gama de janeiro de 2012 a janeiro de 2022.

5.4. Avaliação da Concentração dos Parâmetros em Relação a Sazonalidade

Nesse item foi avaliado preliminarmente se os dados possuem variação normal utilizando o Excel, o que acabou não apresentando variação normal e nem homogeneidade das variâncias, apresentando outliers com valores muito discrepantes, destacado nos itens anteriores. Por conseguinte, o teste t não é apropriado. Desta forma, foi utilizado o teste não-paramétrico bilateral de Mann e Whitney, pois

Por fim, a fim de analisar as diferenças entre as medianas das concentrações afluentes e efluentes e qual o nível estatístico de significância em cada nos períodos característicos secos (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março) no Distrito Federal. Os valores são apresentados nas Tabelas 5.3 e 5.4 para afluente e efluente, respectivamente, mostrando o nível de significância que indica diferenças estatísticas significativas nos dados.

Tabela 5.4 - Mediana das concentrações afluentes nas estações seca e chuvosa e o nível de significância (p)

Parâmetros	Estação	Afluente	Nível de Significância
DBO	Seco	408	0,0043*
	Chuvoso	349,4	
DQO	Seco	669,9	0,0002*
	Chuvoso	596,7	
SS	Seco	249	0,0005*
	Chuvoso	221,8	
NT	Seco	66,6	0,0001*
	Chuvoso	55,7	
PT	Seco	7,55	0,1785
	Chuvoso	7,19	
E. Coli	Seco	8,16E+06	0,1936
	Chuvoso	1,05E+07	

Os campos marcados com um asterisco indicam diferenças estatisticamente significativas (p < 0,05) entre as estações seca e chuvosa.

Tabela 5.5 - Mediana das concentrações efluentes nas estações seca e chuvosa e o nível de significância (p)

Parâmetros	Estação	Efluente	Nível de Significância
DBO	Seco	4,4	0,0287
	Chuvoso	5,3	
DQO	Seco	28,3	0,0088
	Chuvoso	26,45	
SS	Seco	5,7	0,0065
	Chuvoso	4,6	
NT	Seco	24,53	0,4836
	Chuvoso	24	
PT	Seco	0,75	0,0314
	Chuvoso	0,68	
E. Coli	Seco	1,20E+04	0,3060
	Chuvoso	1,55E+04	

Os campos marcados com um asterisco indicam diferenças estatisticamente significativas (p < 0,05) entre as estações seca e chuvosa.

Analisando os dados das Tabelas 5.3 e 5.4 percebe-se que as concentrações afluentes apresentaram medianas maiores no período seco, apenas DBO apresentando uma mediana maior no período chuvoso. Além disso, a diferença da mediana do NT no efluente é pequena, demonstrando que o tratamento não foi influenciado. Os parâmetros do afluente da DBO, DQO, SS e NT apresentaram dominância do período seco sobre o chuvoso, havendo nível de significância nas diferenças estatísticas nestes parâmetros, ou seja, quanto menor for o valor do nível

de significância, maior a diferença entre o período chuvoso e seco. Portanto, a sazonalidade acaba influenciando nas concentrações do esgoto afluente no período seco, pois no período chuvoso pode ocorrer diluição dos parâmetros, e no seco não.

Vale destacar que os dados são médias mensais e, dessa forma, limitam muito uma análise mais criteriosa e conclusiva da influência da sazonalidade nas concentrações dos parâmetros monitorados tanto no afluente como no efluente da ETE Gama.

Além disso, as maiores de vazões ocorrem no período chuvoso, podendo ser um indicativo de infiltração de águas pluviais nas redes de esgoto do Gama.

De acordo com Tsutiya (2006), no período chuvoso as temperaturas mais altas estão associadas a maior consumo de água pela população e incidência de chuva, tendo como resultado uma maior diluição do esgoto durante os meses de outubro a março. Portanto, pode ser um indicativo da razão pela qual as medianas é menor na estação chuvosa do que na estação seca.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo buscou investigar o desempenho operacional da Estação de Tratamento de Esgoto do Gama operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB. A partir do processo metodológico e dos dados coletados, tornou-se possível confirmar as hipóteses iniciais do trabalho, isto é, ter averiguado os processos de tratamento de esgoto promoveu maiores informações sobre a real situação do saneamento básico desta região, condição primordial para melhorar o desenvolvimento de pesquisas que versam sobre este assunto. Assim como, este estudo proporcionou certificar alguns aspectos.

O sistema de tratamento da ETE Gama possui uma estrutura completa, tendo como objetivo a remoção de nutrientes e a carga orgânica presente no esgoto, e através deste tratamento alcançando um bom desempenho da unidade de tratamento no período analisado de 2012 a 2022.

A estação possui uma boa folga ainda atualmente com relação à sua vazão, que atualmente trabalha com 187 L/s em média e sua vazão de projeto é de 328 L/s. A vazão de esgoto afluente possui suas variações de acordo com a época do ano, se a região se encontra em um período de seca ou de chuva, evidenciando talvez um indicativo que tenha ligações clandestinas ou infiltrações da água da chuva na rede de esgoto da região.

A carga de massa que chega na ETE apresentou suas variações no ano de 2020, apresentando uma queda. Porém, devido o sensor de nível da calha Parshall ter tido um reposicionamento, pode ter alterado os valores da vazão real daquela época. Além disso, após a passagem da queda a variação de carga torna a subir novamente. Portanto, o estudo é inconclusivo devido a essa alteração.

As concentrações dos parâmetros de qualidade foram influenciadas pela sazonalidade, pois pelo teste do Mann-Whitney apresentaram variações estatisticamente significativas nos parâmetros do afluente, que são: DBO, DQO, SS e NT. A mediana foi maior no período seco do que no chuvoso, sendo um possível indício de que o esgoto é diluído na época de chuva.

O tratamento, de forma geral, apresentou boa de remoção dos parâmetros analisados, tendo eficiências de remoção altas nos parâmetros e atendendo em grande parte as resoluções e outorga da estação. Já em nutrientes apenas nitrogênio

não teve uma boa remoção, sendo destacado que possivelmente no tratamento do reator de lodo ativado não esteja sendo efetivo na remoção deste parâmetro.

Vale ressaltar que a investigação dos dados históricos (janeiro de 2012 a abril de 2022) de monitoramento da ETE Gama, fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, também permitiu verificar a eficiência do tratamento da estação ao longo do tempo que vem fazendo o seu papel. Porém, vale destacar que os dados entregues não foram com concordantes da forma que é realizado o monitoramento, que possui uma logística de duas vezes por semana, sendo entregue valores com médias mensais. Por conseguinte, impossibilitando um estudo de forma mais aprofundada com um melhor detalhamento de como se comporta a estação semanalmente, que traria um intervalo menor dos monitoramentos realizado na ETE.

A situação do nitrogênio chamou atenção nesta pesquisa, visto que seus dados não permitiram uma análise conclusiva. Pondera-se que este fenômeno deve ser enfatizado, buscando medidas de intervenção propulsoras de melhorias e aperfeiçoamentos, a CAESB já possui ciência da situação do nitrogênio, e já está em andamento uma possível investigação para encontrar a causa. Uma sugestão trata-se da possibilidade de desenvolver um estudo para identificar que variáveis podem estar afetando a remoção de nitrogênio no reator de lodo ativado da estação, tendo em vista que a remoção não está sendo eficaz como o esperado para que atenda as resoluções da ETE Gama. Além disso, cabe sugerir que o pH deve ser controlado de uma melhor maneira, para que possa estar em conformidade do lançamento e não ocasionando um gasto maior na compra de cal e por consequência, diminuir a acidez do efluente final.

Devido as condições da dinâmica de tempo, este estudo apurou dados com médias mensais e não, semanais. Este fator se refere a uma limitação da pesquisa, dado que uma investigação deste porte, pode rebuçar possíveis casos em que o parâmetro pode ter alcançado valores mais altos. Por isto, uma sugestão para estudos posteriores, trata-se da continuidade deste trabalho, no entanto, com uma apuração que avalie um menor período.

Os dados de monitoramento fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) para caracterizar os conjuntos de dados das concentrações afluentes e efluentes dos parâmetros selecionados, que são: Demanda

Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos (SS), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT) e *Escherichia Coli*, apresentaram certas “lacunas”, impossibilitando uma análise mais aprofundada sobre o fenômeno. Dessa forma, não foi possível realizar uma análise mais detalhada da eficiência do tratamento o que se constitui uma limitação deste estudo. Uma hipótese para terem emitido desta maneira, pode estar relacionado ao fato de não ter sido realizado um monitoramento semanal na época.

Outra limitação de suma relevância, trata-se da quantidade escassa de estudos que versam sobre este assunto na literatura. Especialmente, quando se refere à ETE GAMA. Sendo um dos fatores que justificou a necessidade de uma visita técnica, para melhor compreender a realidade do fenômeno. Por isso, a importância do desenvolvimento de mais pesquisas que abordem sobre esta temática. A realização de Revisões Sistemáticas da Literatura – RSL, as quais visam compreender o estado de conhecimento existente na literatura sobre à estrutura, funcionamento da ETE GAMA, pode contribuir com referências teóricas sobre o assunto, servindo assim, como subsídio e embasamento para melhorar a eficiência de tratamento da ETE.

Neste sentido, o presente trabalho adquire relevância, pois se trata de uma das poucas produções acadêmicas que se preocuparam não somente com o estado de conhecimento atual sobre a Estação de Tratamento de Esgoto Gama, mas que também, buscou investigar e avaliar sua dinâmica de funcionamento, objetivando colaborar com o entendimento do processo e subsidiar na melhora do processo. Por fim, cabe expor as palavras de Thomas Fuller (2010), “enquanto o poço não seca, não sabemos dar valor à água” (p. 1), as quais refletem a fundamentalidade do compromisso social com a preservação ambiental, como circunstância essencial para a promoção de uma melhor qualidade de vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. (2011). NBR 12209 - Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABNT.

ANA. (2020). Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o saneamento, Brasil.

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH/DF. Relatório Final – Volume I – Diagnóstico – Jul/ 2012.

ADASA (2017). Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Produto 2, versão final.

ADASA. Resolução ADASA nº 13 de 26 de agosto de 2011. Estabelece os critérios técnicos para emissão de outorga para fins de lançamento de efluentes em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União. Brasília.

BARROS, J. R. (2003). A Chuva No Distrito Federal: O Regime E As Excepcionalidades Do Ritmo. Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Área de Concentração em Análise da Informação Espacial, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 216p.

BASTOS, R. K. X; et al. E. Caracterização e tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem de origem residencial após segregação. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30, 2006 26-30 nov. Punta del Este. Anais [...]. Montevideo: AIDIS, 2006. p. 1-8.

BRANDT, E. M. F.; SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L. Alternativas para o controle de odores e corrosão em sistemas de coleta e tratamento de esgoto. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 4, p. 611-623, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 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. Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 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 Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento.** 5 ed. Brasília: FUNASA, 2019. 545 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF: ANA, 2020a, 44 p

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. Agência Nacional da Água e Saneamento, Brasília, DF, 15 jul. 2020b.

CAESB. (2013). SIESG - **Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal.** 26ª Edição. Brasília

CAESB. (2020). Descritivo dos Sistemas de Tratamentos de Esgotos das ETEs da POE/DP/CAESB – 2020. Brasília

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios.** Esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 246 p.

CHERNICHARO, C.A.L.; RIBEIRO, T.B.; PEGORINI, E.S.; POSSETTI, G.R.C.; MIKI, M. K.; SOUZA, S.N. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 1:

tópicos de interesse. Revista DAE, v. 66, p. 5 – 16, 2018. Disponível em: <http://revistadae.com.br/downloads/edicoes/Revista-DAE-214.pdf>.

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. (2013). Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. (2018). Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios, Gama. Brasília.

COSTA, B. V. (2013). Sistema de Esgotamento Sanitário – Estudo de Caso: Treviso/SC. Monografia para conclusão do curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, TCC II, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC. 98p.

CRH – Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Nota Técnica nº 04/2014. Assunto: Enquadramento dos corpos de água superficiais do Distrito Federal. Secretária de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Distrito Federal.

FELIZZATO, M. R. *et al*. **ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS GAMA (DF)- UMA DÉCADA DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES PRECEDIDO POR REATOR UASB**. 2017. 16 p. Belém - Pará, 2017.

GARCÍA-ALJARO, C. et al. Pathogens, faecal indicators and human-specific microbial source-tracking markers in sewage. Journal of Applied Microbiology, v. 126, p. 701-717, 2018. Disponível em: <http://twixar.me/hN8m>.

ITB – Instituto Trata Brasil. **Ranking do Saneamento com o foco nos 100 maiores municípios brasileiros.** 14ª Edição. Brasil

JERÔNIMO, C. E. M. et al. Estudo comparativo entre técnicas de determinação da matéria orgânica em efluentes industriais de composição carbonácea. HOLOS, v. 2, p. 34-44, 2012. Disponível em: <http://twixar.me/J4Pm>.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014. 1087 p.

KUHN, I.; IVERSEN, A.; BURMAN, L. G.; OLSSON-LILJEQUIST, B.; FRANKLIN, A.; FINN, M.; AARESTRUP, F.; SEYFARTH, A. M.; BLANCH, A. R.; VILANOVA, X.;

TAYLOR, H.; CAPLIN, J.; MORENO, M. A.; DOMINGUEZ, L.; HERRERO, I. A.; LAMKA, K.G.; LeCHEVALLIER, M.W.; SEIDLER, R.J. (1980). “Bacterial contamination of drinking water supplies in a modern rural neighborhood.” Applied and Environmental Microbiology, v.39, n.4, pp .734-738.

MARTÍNEZ-PUCHOL, S. et al. Characterisation of the sewage virome: comparison of NGS tools and occurence of significant pathogens. Science of Total Environmental, v. 713, 136604, p. 1-9, 2020. Disponível em: <http://twixar.me/Y78m>.

METCALF, L.; EDDY, H. P. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. Tradução de Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016

OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. 2006. 77 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

OLIVEIRA, Suzane Silva de. Remoção microbiológica de nitrogênio, fósforo, DQO e DBO em uma estação de tratamento de efluentes numa fábrica de concentrados de bebidas. Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

PEIXOTO, Marcos. **Processo de modernização e ampliação da ETE Gama, recebe tecnologia B&F Dias em Sistemas de Aeração**. Equipamentos para água e esgotos. Vinhedo, São Paulo, 2020. Disponível em: https://bfdias.com.br/processo-de-modernizacao-e-ampliacao-da-ete-gama-recebe-tecnologia-bf-dias-em-sistemas-de-aeracao/. Acesso em: 23 de setembro de 2022.

PRODANOV, Cleber Cristiano. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/291348/mod_resource/content/3/2.1-E-book-Metodologia-do-Trabalho-Cientifico-2.pdf. Acesso em: 23 de setembro de 2022.

SANTOS, E. N. M.; MINATEL, M. G.; SANTORO, B. F.; "CONTROLE DE PH EM TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZANDO DIÓXIDO DE CARBONO", p. 5-10 . In: **Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica** [=Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.4]. ISSN Impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeqic2017-002

SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento.** (2020). Dados de Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto, Visão Geral.

SOUZA, M. E.; VIEIRA, S. M. M. **Uso de reator Uasb para tratamento de esgoto sanitário.** Revista DAE, São Paulo, v. 46, n. 145, p. 165-168, jun. 1986

STORTO, D. et al. **Seasonal Dynamics of Microbial Contamination and Antibiotic Resistance in the Water at the Tietê Ecological Park**, Brazil. Water, Air, and Soil Pollution, v. 232, n. 257, p. 1-18, 2021. DOI 10.1007/s11270-021-05207-y

Universidade Federal de Santa Catarina – Disciplina de Bioestatística. **Teste U de Mann-Whitney.**
<http://www.inf.ufsc.br/~verav/Testes_de_Hipoteses/Testes_nao_parametricos_Mann-Whitney.pdf>

VON SPERLING, M. (2005). **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA-UFMG.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 452 p

VON SPERLING, M., M., V. E., & A., O. C. (2020). **Assessment of Treatment Plant Performance and Water Quality Data: A guide for students, researches and practitioners.** Londres, Inglaterra: IWA publishing.

YIN, R. K. **O Estudo de caso**. Porto Alegre: Bookman, 2015.