

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

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO D E ESGOTO (ETE) OPERADAS PELA
COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO
DISTRITO FEDERAL (CAESB): ESTUDO DE CASO DA
ETE SOBRADINHO**

RAFAEL MONTEIRO DE LIMA

ORIENTADOR(A): ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM

COORIENTADOR(A): DAVI NAVARRO DE ALMEIDA

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

**MAIO, 2021
BRASÍLIA / DF**

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

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) OPERADAS PELA
COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO
DISTRITO FEDERAL (CAESB): ESTUDO DE CASO DA
ETE SOBRADINHO**

RAFAEL MONTEIRO DE LIMA

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)

Antônio José de Brito, Eng. (UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 21 DE MAIO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

LIMA, RAFAEL MONTEIRO DE

Avaliação da eficiência de estações de tratamento de esgoto (ETE) operadas pela companhia de saneamento ambiental do distrito federal (CAESB): Estudo de caso da ETE Sobradinho. [Distrito Federal] 2021.

vi, 70 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Estação de Tratamento de Esgoto

2. Eficiência

3. Lodos ativados

4. ETE Sobradinho

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, R. M. (2021). Avaliação da eficiência de estações de tratamento de esgoto (ETE) operadas pela companhia de saneamento ambiental do distrito federal (CAESB): Estudo de caso da ETE Sobradinho. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 81p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rafael Monteiro de Lima

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação da eficiência de estações de tratamento de esgoto (ETE) operadas pela companhia de saneamento ambiental do distrito federal (CAESB): Estudo de caso da ETE Sobradinho.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

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

Rafael Monteiro de Lima
SHVP, Rua 3, Chácara 41, Lote 23
72005-645 – Vicente Pires/DF – Brasil
e-mail: rafael.zip@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria Elenilda, pelo seu companheirismo, incentivo, leveza e exemplo, sem os quais esse trabalho e vários momentos desses anos de graduação não teriam sido suportáveis. Ao meu irmão, Gabriel, pelo carinho, apoio e me fazer acreditar na minha capacidade de alcançar meus sonhos. Ao meu pai, Raimundo, pelo fomento da resiliência e exemplo de trabalho duro. E a minha família como um todo, pela torcida, compreensão, ensinamentos, brincadeiras, exemplos e amor que formaram a minha base enquanto ser humano.

À Caroline por todo amor, preocupação com minha saúde, carinho, compreensão das necessidades do momento e apoio.

Aos meus amigos de semestre e curso. Em especial Ana Teresa, Ayalla, Hiarque e Nakaiama, sem os quais o fim graduação certamente teria sido menos divertido e proveitoso.

À minha orientadora, Ariuska, pelo exemplo profissional de docência humanitária e de busca pela compreensão holística dos sistemas de tratamento de esgoto. Além das inúmeras conversas de orientação, ao longo de toda a graduação, e do incentivo a realização de projetos de pesquisa e do trabalho de monitor, os quais fortaleceram meu interesse pela área de saneamento.

À Concreta Consultoria e Serviços, por me possibilitar a prática de engenharia ainda na graduação, proporcionando inúmeros aprendizados e principalmente a formação de laços de amizade e experiências que mudaram minha postura enquanto aluno e profissional.

Ao meu coorientador Davi e a RHUMB Planejamento e Infraestrutura Urbana como um todo, pelas amizades lá feitas, pelo incentivo à cultura de melhoria constante, pelo ganho de resiliência e pelo enorme aprendizado durante esses 1 ano e meio de estágio.

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

E a todos que foram presentes e contribuíram de alguma forma nesta etapa da minha vida.

Muito obrigado!

RESUMO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) OPERADAS PELA COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB): ESTUDO DE CASO DA ETE SOBRADINHO.

O esgotamento sanitário é um serviço de saneamento, portanto um direito de todo brasileiro, e tem como princípio fundamental a sua universalização e efetiva prestação do serviço. Em contraponto à legislação, cerca de 39% da população brasileira não tinha seus efluentes coletados e 57% não os tinha tratados antes de serem lançados em corpos hídricos ou despejados em solo a céu aberto (ANA, 2017).

Vários fatores levam à dificuldade de implementação efetiva e de forma universalizada do serviço de esgotamento sanitário, como a precariedade do planejamento urbano, o crescimento populacional e a mudança do padrão de consumo de água. Essas dificuldades são experimentadas por várias regiões administrativas do DF e que, quando não superadas, geram impactos econômicos, sociais e ambientais a curto, médio e longo prazo.

O presente trabalho consiste na avaliação de eficiência da ETE Sobradinho, uma estação operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) a qual trata os efluentes domésticos da zona urbana de Sobradinho e Sobradinho II a nível secundário por sistema de lodos ativados convencional, e que passou por consideráveis modificações ao longo dos anos devido ao crescimento populacional da região e às necessidades operacionais emergenciais. As avaliações foram feitas com dados de monitoramento de 2017 a 2020 fornecidos pela CAESB.

Sua principal unidade de tratamento (tanque pulmão) foi danificada e retirada de operação de Junho de 2018 a Dezembro de 2019, sendo implementado em carácter emergencial nesse período o tratamento primário quimicamente assistido. Os impactos dessa mudança do tratamento foram bastante evidentes para a eficiência de remoção dos parâmetros de DBO, DQO, SS, NT e PT.

Pelo ajuste dos dados de DBO a distribuição normal e log-normal, se concluiu que o lançamento da ETE esteve inconforme com a sua outorga em 14% do ano de 2017, 80% do ano de 2018, 90% do ano de 2019 e 1% do ano de 2020. Pela análise da carga orgânica do lançamento o percentual de inconformidade se reduz, consideravelmente, para todos os anos analisados, uma vez que a vazão de operação da ETE foi, na maior parte do tempo, inferior à vazão de projeto.

Em virtude da alteração dos parâmetros de qualidade do esgoto afluente à ETE, e de sua grande variabilidade, há uma probabilidade considerável do projeto executivo da 1ª fase da 2ª Etapa de expansão da ETE estar subestimado e sugere-se que esse seja revisto.

Palavras-Chaves: Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), Avaliação de Eficiência, Lodos ativados, ETE Sobradinho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Lista de Abreviações, Nomenclaturas e Símbolos.....	vi
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS	4
2.1 - Objetivo Geral	4
2.2 - Objetivos Específicos.....	4
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 - Impacto Econômico, Social e Ambiental da ausência ou deficiência do SES	5
3.2 - Planejamento Urbano e acesso aos serviços de saneamento.....	6
3.3 - Situação de esgotamento no DF.....	7
3.3.1 - Mudança da vazão de esgoto ao longo dos anos.....	9
3.4 - Monitoramento e análise de performance de ETE.....	13
3.4.1 - Vazão	13
3.4.2 - Concentrações e Cargas dos Parâmetros de Qualidade.....	14
3.5 - Distribuições de Probabilidade	15
3.6 - Estudo de Caso: ETE Sobradinho	16
3.6.1 - Área de atendimento	17
3.6.2 - Sistema de Tratamento	19
3.6.3 - Histórico de Adequações e Reformas da ETE Sobradinho.....	30
3.6.4 - Corpo Hídrico Receptor: Ribeirão Sobradinho.....	31
3.6.5 - Plano de expansão/Reforma de ampliação da ETE.....	33
3.6.6 - Justificativa do estudo de caso da ETE Sobradinho.....	34
4 - METODOLOGIA	36
4.1 - Tratamento dos dados fornecidos.....	37
4.1.1 - Parâmetros de Qualidade.....	38
4.1.2 - Vazão	39
4.1.3 - Dados faltantes	39
4.1.4 - Limites de Detecção Instrumentais e Analíticos	40
4.1.5 - Divisão dos dados conforme as características do sistema da ETE	40
4.1.6 - Dados com valores discrepantes ao esperado (<i>Outliers</i>).....	41
4.2 - Avaliação da Conformidade da ETE em relação as regulamentações	43

4.3 - Avaliação dos Parâmetros adotados no projeto de expansão da ETE	43
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 - Tratamento dos dados Fornecidos	44
5.2 - Estatística Descritiva dos dados de monitoramento	47
5.2.1 - Vazão	47
5.2.2 - Concentrações de DBO, DQO e sólidos suspensos	48
5.2.3 - Concentrações de Nutrientes	52
5.2.4 - Concentrações de E.Coli	53
5.2.5 - Eficiências da ETE Sobradinho	54
5.3 - Avaliação da Conformidade da ETE em relação as regulamentações	58
5.3.1 - Vazão	58
5.3.2 - DBO	59
5.3.3 - Carga Orgânica	60
5.4 - Avaliação dos Parâmetros adotados no projeto de expansão da ETE	62
6 - Conclusões	65
7 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
Apêndice A: Síntese de dados de concentração dos parâmetros	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Percentual de atendimento dos serviços de coleta e tratamento de esgoto no DF de 1995 a 2018 (Fonte: SNIS, 2019).....	7
Figura 3.2 – Gráfico do volume de esgoto anual coletado no DF no período de 1997 à 2018 (Fonte: SNIS, 2019.).....	9
Figura 3.3 – Gráfico população total do DF atendida com esgotamento sanitário ao longo dos anos (Fonte: SNIS, 2019)	10
Figura 3.4 – Gráfico do volume de esgoto coletado em função da população do DF nos anos de 1997 a 2018 (Fonte: SNIS, 2019)	11
Figura 3.5 – Volume mensal de água consumido no DF nos anos de 2016 a 2019 (Fonte: Adasa, 2020).....	12
Figura 3.6 – Localização ETE Sobradinho e limite aproximado da sua área (Fonte: CAESB, 2017).....	17
Figura 3.7 – Localização da ETE e das RA’s atendidas em relação ao DF (Fonte: Autor)	18
Figura 3.8 – Fluxograma do tratamento da ETE Sobradinho em 2010 (Fonte: SIESG,2011)..	19
Figura 3.9 – Imagem de satélite da ETE Sobradinho, com identificação das unidades (Fonte: Autor).	20
Figura 3.10 – Fluxograma do tratamento da ETE Sobradinho a partir de 2013 (Fonte: CAESB, 2017, adaptado)	21
Figura 3.11 – Diagrama esquemático das contribuições ao Ribeirão Sobradinho. (Fonte: CAESB, 2013).....	31
Figura 5.1 - Série temporal de SS e DQO do esgoto afluente a ETE.....	45
Figura 5.2 – Gráfico de correlação entre SS e DQO do esgoto afluente a ETE.....	45
Figura 5.3 – Gráfico da vazão média mensal de esgoto afluente a ETE Sobradinho no período de 2017 a 2020.....	47
Figura 5.4 – Diagramas de caixa das vazões afluentes a ETE nos diferentes momentos de operação.....	48
Figura 5.5 - Diagramas de caixa dos parâmetros de DBO, DQO e SS do esgoto afluente a ETE nos intervalos temporais de operação analisados	49
Figura 5.6 - Diagramas de caixa dos parâmetros de DBO, DQO e SS do efluente primário da ETE nos intervalos temporais de operação analisados	50
Figura 5.7 - Diagramas de caixa dos parâmetros de DBO, DQO e SS do efluente final da estação nos intervalos temporais de operação analisados	51
Figura 5.8 - Diagramas de caixa dos parâmetros de NT e Ptot conforme os intervalos temporais de operação analisados e os pontos de amostragem.	52
Figura 5.9 - Diagramas de caixa de E.Coli. conforme os intervalos temporais de operação analisados e os pontos de amostragem.	54
Figura 5.10 - Diagramas de caixa das eficiências de remoção da ETE para os parâmetros de DBO, DQO e SS nos intervalos temporais de operação analisados	55
Figura 5.11 - Diagramas de caixa das eficiências de remoção da ETE para os parâmetros de NT, Ptot nos intervalos temporais de operação analisados.....	56
Figura 5.12 - Diagramas de caixa das eficiências de remoção no tratamento primário (trat.1º) e secundário (trat.2º) da ETE para os parâmetros de DQO, SS e Ptot nos intervalos temporais de operação analisados	57
Figura 5.13 – Série temporal das concentrações de DBO do efluente final com referência do valor outorgado.....	59

Figura 5.14 - Resultados da modelagem do Estudo de autodepuração da CAESB (Fonte: CAESB, 2013).....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Número de domicílios de cada RA conforme o tipo de destinação do esgoto sanitário no ano de 2014 (Fonte: CODEPLAN, 2014 apud SERENCO, GDF, 2017).....	8
Tabela 3.2 – Número de habitantes, percentual de habitações irregulares e forma de tratamento do esgoto doméstico das RA's Sobradinho e Sobradinho II (Fonte: CODEPLAN, 2013 e CODEPLAN, 2018)	18
Tabela 3.3 – Parâmetros de dimensionamento de decantadores primários (Fonte: ABNT, 2011)	23
Tabela 3.4 – Vantagens e desvantagens do decantador circular em relação ao decantador retangular (Fonte: Jordão & Pessôa, 2011).....	23
Tabela 3.5 - Dimensões dos 3 Decantadores Primários menores e do Decantador Primário maior (Fonte: CAESB, 2017).....	24
Tabela 3.6 – Vantagens e Desvantagens do tratamento primário quimicamente assistido em relação ao convencional. (Fonte: Jordão & Pessôa, 2011)	25
Tabela 3.7 – Vantagens e Desvantagens do processo de lodos ativados (Fonte: Jordão & Pessôa, 2011)	25
Tabela 3.8 – Dimensões e volume do tanque pulmão (Fonte: CAESB, 2017).....	26
Tabela 3.9 - Dimensões dos decantadores secundários (Fonte: CAESB, 2017)	26
Tabela 3.10 – Parâmetros de dimensionamento de sistemas de lodos ativados (Fonte: ABNT, 2011).....	27
Tabela 3.11 – Vantagens e Desvantagens do digestor anaeróbio em relação ao digestor aeróbio (Fonte: Jordão & Pessôa, 2011).....	28
Tabela 3.12 – Dimensões dos Digestores Anaeróbios (Fonte: CAESB, 2017)	28
Tabela 3.13 – Principais parâmetros de dimensionamento de digestores anaeróbios (Fonte: ABNT, 2011)	29
Tabela 3.14 – Vantagens e desvantagens do adensamento de lodo por centrífugas em relação ao sistema de leitos de secagem seguidos de lagoas de lodo (Jordão & Pessôa, 2011)	30
Tabela 3.15 - Histórico de condições e mudanças do tratamento da ETE Sobradinho no período de 2010 a 2020	30
Tabela 3.16 – Principais parâmetros de enquadramento de águas doces de classe 3 (Fonte: Resolução CONAMA nº 357 de 2005).....	32
Tabela 3.17 - Resumo das obras a serem executadas em cada fase da 2ª etapa de expansão (Fonte: CAESB, 2017)	33
Tabela 4.2 – Tipo de amostra e parâmetros avaliados conforme ponto de amostragem	38
Tabela 4.1 – Limite de detecção dos métodos conforme parâmetro e método analítico empregado (Fonte: CAESB, 2021).....	40
Tabela 5.1 – Número de dados de cada parâmetro conforme o ponto de amostragem	44
Tabela 5.2 – Número de dados de cada parâmetro após a remoção dos outliers, conforme ponto de amostragem e momento da ETE.....	46
Tabela 5.3 – Probabilidade de conformidade da concentração de DBO do efluente final	60
Tabela 5.4 – Probabilidade de conformidade da carga orgânica do efluente final	61
Tabela 5.5 – Parâmetros de qualidade do esgoto afluente a ETE adotados no projeto da 1ª fase de expansão da ETE (CAESB, 2017).....	62
Tabela 5.6 – Intervalos de confiança de 95 e 99% para os valores de concentração afluente de DBO, DQO, SS, NT e Ptot com os dados de monitoramento da CAESB de 2020.....	63

Lista de Abreviações, Nomenclaturas e Símbolos

APA	Áreas de Proteção Ambiental
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E.Coli	<i>Escherichia Coli</i>
EIA-RIMA	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
LA	Lodos Ativados
LDM	Limite de Detecção do Método
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
Ptot	Fósforo Total
RA	Região Administrativa
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico
TPQA	Tratamento Primário Quimicamente Assistido

1 - INTRODUÇÃO

O esgotamento sanitário é um serviço de saneamento, portanto um direito de todo brasileiro, e tem como princípio fundamental a sua universalização e efetiva prestação do serviço. Efetividade nesse caso é expressa sob diversos critérios, dentre eles: acessibilidade conforme a necessidade da população; realização de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente; eficiência e sustentabilidade econômica; segurança, qualidade, regularidade e continuidade do serviço; capacidade de articulação com as políticas de desenvolvimento urbano, regional e de interesse social (LEI FEDERAL 11.445, 2007).

Um Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) centralizado pode, de forma simplista, ser dividido em duas etapas: Coleta, contemplando as diversas estruturas responsáveis pelo transporte dos efluentes sanitários até a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE); e Tratamento, contemplando todos os processos físicos, químicos e biológicos necessários para que o efluente atenda à qualidade de lançamento adequada ao corpo hídrico receptor, conforme sua classificação e os critérios estabelecidos nas Resoluções CONAMA nº 357 de 2005 e nº 430 de 2011, de maneira a reduzir os impactos ambientais advindos do lançamento do esgoto sanitário.

Em contraponto à legislação, no Brasil cerca de 39% da população não tem seus efluentes coletados e 57% não os tem tratados antes de serem lançados em corpos hídricos ou despejados em solo a céu aberto (ANA, 2017). Embora no Distrito Federal (DF) se tenha um contexto privilegiado, onde 83% da população tem seu esgoto coletado e tratado (ANA, 2017), o acesso a esse serviço se dá em quantidade e qualidade heterogênea no seu território, sendo regiões administrativas (RA) como o Plano Piloto dotadas de elevadíssimos índices de coleta e tratamento, enquanto outras, como Sobradinho II, possuem índices consideravelmente menores (CODEPLAN, 2018).

Apesar da existência de um sistema de coleta e tratamento ser um ponto fundamental na garantia de um SES efetivo, esse é apenas o primeiro aspecto para a sua efetividade, a acessibilidade ao serviço. A precariedade de um tratamento de esgoto pode, ao invés de minimizar o impacto da ação antrópica, acabar intensificando esse impacto ao concentrar o esgoto e seu lançamento em um único local, deteriorando assim o corpo hídrico receptor, a qualidade de vida da população e, conseqüentemente, afetando a economia local e regional. Dessa forma, é fundamental que sejam avaliados os outros aspectos referentes a efetividade

desse sistema, conforme expresso na Lei Federal 11.445, 2007.

No intuito de garantir a efetividade do tratamento de esgoto, todo projeto de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é recomendado a respeitar a NBR 12.209 (ABNT, 2011) objetivando garantir a sua viabilidade técnica. Além disso, deve passar por um Estudo de Impacto Ambiental (EIA-RIMA), visando garantir a viabilidade ambiental e social da instalação. Essas normativas se referem apenas a construção e operação no cenário de implementação e nos cenários projetados para os horizontes de projeto, não contemplando a adequada revisão do projeto e das instalações a fim de garantir a sua viabilidade ao longo do tempo. No caso do Distrito Federal, e especialmente das RA's com maior potencial de crescimento urbano, como Sobradinho II, a reavaliação do projeto é fundamental, haja visto o grande crescimento populacional na região, nem sempre associado ao adequado planejamento urbano.

Com a finalidade de verificar a conformidade do tratamento da ETE ao longo do tempo, uma vez que ela entre em operação, deve passar por frequentes análises de parâmetros de seus efluentes finais, conforme a Resolução CONAMA nº 430 de 2011. Essas análises permitem a verificação do atendimento do padrão mínimo de qualidade de tratamento exigido para as ETE's. Todavia, na área ambiental uma análise com valores médios não é suficiente para se falar em regularidade e segurança de um tratamento, haja visto que danos ambientais de grandes dimensões podem ocorrer em um único e breve momento, não sendo adequadamente representados e interpretados quanto a sua gravidade por uma análise média (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

Ainda segundo von Spearling *et al.* (2020), embora exista grande quantidade de trabalhos com dados de monitoramento de alta qualidade de ETES, poucos trabalham esses dados por modelos estatísticos adequados a seus processos estudados e trazem transparência e clareza de seus dados e significados associados, tornando-os úteis para a tomada de decisão. Dessa forma, a adequada avaliação estatística da performance de uma ETE se configura como um elemento fundamental para a análise da eficiência do SES, atuando como uma relevante verificação quanto à qualidade, segurança e regularidade do serviço oferecido, permitindo a tomada de decisão para a adequação e otimização do tratamento adotado.

Em virtude da importância dessa análise, o presente trabalho consiste no estudo de caso da ETE Sobradinho, uma estação operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do

Distrito Federal (CAESB) a qual trata os efluentes domésticos das RA's Sobradinho e Sobradinho II, e que passou por consideráveis modificações ao longo dos anos devido ao crescimento populacional das regiões de atendimento e às necessidades operacionais emergenciais. A avaliação realizada perpassa diversos aspectos como sua localização, características demográficas das regiões atendidas, mudanças da forma de tratamento ao longo do tempo e, principalmente, a avaliação estatística quanto a performance da ETE no tratamento de esgotos sanitários. Para a realização desse estudo foram utilizados dados secundários fornecidos pela CAESB e realizadas visitas técnicas a estação com o propósito de conhecer em detalhes as instalações e operações realizadas.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo principal realizar a análise de performance da Estação de Tratamento de Esgoto Sobradinho, verificando sua capacidade e confiabilidade de tratamento ao longo do tempo.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificação da capacidade da ETE em remover matéria orgânica (DBO e DQO), sólidos suspensos (SS), nitrogênio (NT), fósforo (Ptot) e E.coli do esgoto coletado ao longo do tempo;
- Avaliação estatística da conformidade do efluente da ETE, em relação a vazão e DBO, com as diretrizes das Resoluções CONAMA, nº 357 de 2005 e nº 430 de 2011, e da outorga de lançamento de esgoto sanitário tratado em corpo hídrico.

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - IMPACTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DA AUSÊNCIA OU DEFICIÊNCIA DO SES

A água é um recurso natural essencial para praticamente todas as atividades humanas, seja para a dessedentação, higiene pessoal ou processos produtivos de produção de bens. Toda atividade doméstica que envolva o consumo de água gera rejeitos. Usualmente é esperado que cerca de 80% de toda a água consumida em centros urbanos retorne sob a forma de esgoto, um efluente rico em sólidos, matéria orgânica (MO), nutrientes e patógenos, que pode ainda conter fármacos, pesticidas e outros poluentes, portanto, um efluente de elevado potencial nocivo ao meio ambiente e a saúde humana (NBR 9649,1986; VON SPEARLING, 2005).

Na ausência do serviço de coleta de esgoto sanitário, principalmente em regiões de baixo poder econômico, é comum a prática do lançamento direto do esgoto das residências nas vias adjacentes e em corpos hídricos próximos. Sem o devido afastamento e tratamento desse efluente, a chance de contágio das pessoas por seus patógenos é bastante elevada. A falta de saneamento básico é uma das principais fontes de doenças entéricas, representando 88% das mortes pela doença no mundo (LEMOS, 2020). Dessa forma, a precariedade ou ausência de saneamento básico gera impactos sociais incalculáveis e, conseqüentemente, esses vêm atrelados a impactos econômicos.

O estudo do Instituto Trata Brasil em parceria com o Conselho Empresarial Brasileiro para o desenvolvimento sustentável (ITB & CEBDS, 2014), avaliou os impactos econômicos e sociais da universalização do serviço de coleta e tratamento de esgoto no Brasil e chegou as seguintes conclusões:

- Cerca de 74,6 mil internações por infecção gastrointestinais poderiam ser evitadas, reduzindo em 329 o número de mortos anuais por essas doenças e os gastos com saúde pública em 27,3 milhões de reais por ano;
- Ao reduzir o número de infecções haveria uma diminuição dos dias de afastamento dos trabalhadores de seus serviços, foi estimado que isso represente ao governo e empresas uma redução de aproximadamente 258 milhões de reais anualmente pagos por horas não efetivas de trabalho;
- Pela redução do número de infecções se diminuiria também os dias de afastamento dos estudantes das escolas, representando uma redução de cerca de 6,8% no índice

de atraso escolar da população que não usufrui do serviço de esgotamento sanitário;

- A existência de um sistema de coleta de esgoto promove a valorização média dos imóveis de 3,1%, o que aumentaria em cerca de 1 bilhão de reais a arrecadação de impostos anuais do governo.

Além do impacto direto sobre a saúde humana e a economia, o lançamento de esgoto sanitário sem o adequado tratamento traz danos ao meio ambiente, como a depleção da concentração de oxigênio dissolvido (OD) do corpo hídrico, devido a degradação da MO presente no esgoto lançado, e a intensificação do processo de eutrofização, haja visto que a presença de MO e nutrientes deixa de ser um fator limitante ao crescimento da biota (PIVELE & KATO, 2005). Ou seja, o lançamento de esgoto sanitário sem o adequado tratamento ocasiona a redução da qualidade do corpo hídrico receptor, podendo alterar sua classificação e, conseqüentemente, os usos permitidos deste.

3.2 - PLANEJAMENTO URBANO E ACESSO AOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO

Várias das ocupações urbanas do Distrito Federal se deram de forma clandestina (CAESB, 2019). Propriedades de agricultores, faixas de servidão, reservas ambientais e demais terras do governo que foram griladas ou ocupadas irregularmente ao longo do tempo e pouco a pouco se adensaram a ponto de ganharem o status de cidade e não ser mais viável sua desapropriação. Geralmente essas ocupações irregulares são motivadas por causas financeiras e espaciais, os loteamentos regulares próximos aos centros urbanos possuem um preço ao qual a camada mais pobre da sociedade não tem condição de pagar, sendo forçada a habitar lugares regularizados distantes dos centros urbanos ou regiões não regularizadas.

A ocupação ilegal de terras não costuma ter o mínimo de planejamento, desrespeitando as normas de acessibilidade e urbanismo, seja no tocante as declividades do terreno, a preservação de áreas de proteção permanente e não edificantes, ou até as questões mais práticas da vida dessa população como a largura das vias, calçadas e faixas de serviço. Na maioria dos casos esses assentamentos urbanos não se enquadram nas condições pré-definidas de regularização, inviabilizando o investimento público em obras de infraestrutura (CAESB, 2019). Nesse contexto, costumam ser implementadas soluções individuais precárias de abastecimento de água e esgotamento sanitário, respectivamente por meio de captações direta de corpos

hídricos e poços artesianos; e por fossas sépticas, fossas rudimentares e despejo de efluentes a céu aberto. Em ambos os casos as infraestruturas costumam ser construídas sem o adequado projeto e análise técnica, de forma que não se garante a devida qualidade da água e do tratamento do efluente doméstico, constituindo assim um risco a saúde da população local e ao meio ambiente.

Com o adensamento da população nessas ocupações irregulares há uma pressão popular pela regularização das áreas e, conseqüentemente, pelo fornecimento de saneamento básico. Contudo, uma vez que a urbanização não se deu de forma planejada, a construção dos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário são bastante dificultados, possuindo um custo muito mais elevado a sociedade em curto, médio e longo prazo, por captar água e tratar esgoto cada vez mais distante do seu ponto de consumo e geração (CAESB, 2019). Havendo ainda o aspecto social, uma vez que nesses casos é comum a desapropriação de lotes, o que eleva o tempo de implementação das obras de saneamento urbano e reduz a qualidade de vida da população.

3.3 - SITUAÇÃO DE ESGOTAMENTO NO DF

No que se refere ao serviço de coleta e tratamento de esgoto sanitário, o DF se encontra numa posição privilegiada no cenário nacional (SNIS, 2019). Na Figura 3.1 são apresentados os percentuais de coleta e tratamento de esgoto do DF de 1995 a 2018. Os dados apresentados foram produzidos a partir das informações disponíveis na plataforma SNIS (2019).

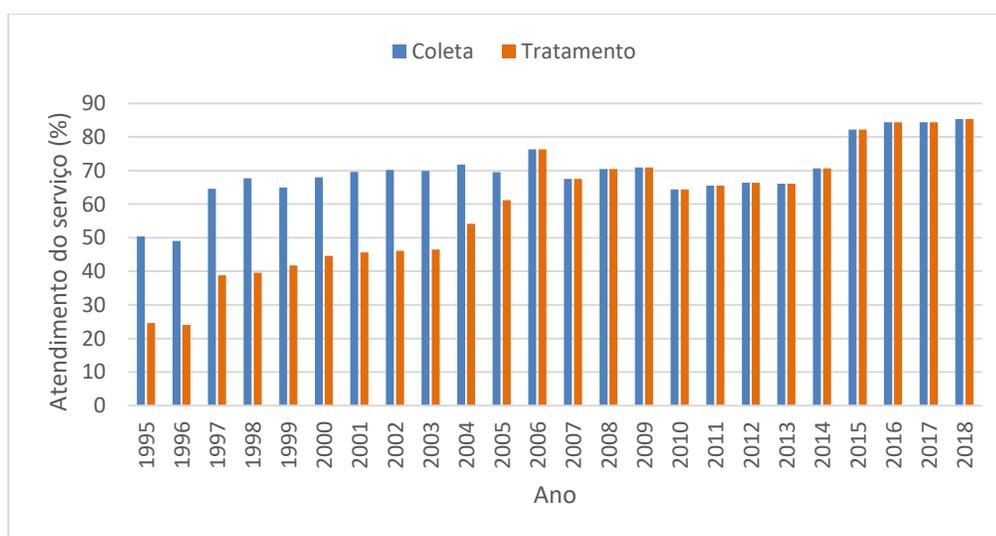


Figura 3.1 - Percentual de atendimento dos serviços de coleta e tratamento de esgoto no DF de 1995 a 2018 (Fonte: SNIS, 2019)

Contudo, o acesso a esse serviço se dá em quantidade e qualidade heterogênea no seu território, sendo o Plano Piloto dotado de elevadíssimos índices de coleta e tratamento e outras regiões administrativas, como Sobradinho II, dotadas de índices consideravelmente menores. Na Tabela 3.1 são apresentados os números de domicílios conforme cada forma de destinação do esgoto sanitário.

Tabela 3.1 – Número de domicílios de cada RA conforme o tipo de destinação do esgoto sanitário no ano de 2014 (Fonte: CODEPLAN, 2014 apud SERENCO, GDF, 2017)

Distrito Federal e Regiões Administrativas		Total	Tipo de Esgotamento Sanitário				Outros
			Rede geral	Fossa Séptica	Fossa Rudimentar	Esgoto a céu aberto	
		Valores absolutos					
Distrito Federal		821.130	705.725	82.530	32.486	124	265
RA-I	Brasília/Plano Piloto	76.919	76.359	461	66	0	33
RA-II	Gama	38.775	36.015	2.243	431	0	86
RA-III	Taguatinga	66.702	65.262	975	466	0	0
RA-IV	Brazlândia	15.035	13.198	1.838	0	0	0
RA-V	Sobradinho	18.518	15.411	1.667	1.415	25	0
RA-VI	Planaltina	50.332	41.358	6.733	2.241	0	0
RA-VII	Paranoá	12.650	11.922	112	616	0	0
RA-VIII	Núcleo Bandeirante	7.315	6.949	293	59	15	0
RA-IX	Ceilândia	127.407	106.544	11.687	9.087	79	10
RA-X	Guará	38.770	37.265	572	873	0	60
RA-XI	Cruzeiro	10.232	10.232	0	0	0	0
RA-XII	Samambaia	63.955	62.089	1.045	821	0	0
RA-XIII	Santa Maria	33.532	30.680	1.573	1.278	0	0
RA-XIV	São Sebastião	27.665	25.559	721	1.386	0	0
RA-XV	Recanto das Emas	36.942	34.594	2.082	266	0	0
RA-XVI	Lago Sul	8.580	7.474	1.090	16	0	0
RA-XVII	Riacho Fundo	11.244	10.064	512	668	0	0
RA-XVIII	Lago Norte	10.962	8.710	1.654	598	0	0
RA-XIX	Candangolândia	4.616	4.443	38	135	0	0
RA-XX	Águas Claras	38.401	31.672	5.385	1.344	0	0
RA-XXI	Riacho Fundo II	10.806	10.255	394	157	0	0
RA-XXII	Sudoeste/Octogonal	22.062	22.062	0	0	0	0
RA-XXIII	Varjão	2.491	2.453	22	17	0	0
RA-XXIV	Park Way	5.404	885	3.950	557	0	12
RA-XXV	SCIA - Estrutural	8.892	7.944	257	672	0	20
RA-XXVI	Sobradinho II	26.692	10.398	12354	3.940	0	0
RA-XXVII	Jardim Botânico	7.490	974	5.857	659	0	0
RA-XXVIII	Itapoã	16.200	13.448	1.716	1.036	0	0
RA-XXIX	S I A	537	534	3	0	0	0
RA-XXX	Vicente Pires	19.690	815	16.254	2.577	0	44
RA-XXXI	Fercal	2.313	159	1043	1105	5	0

Apenas a destinação do esgoto por meio da rede de esgotamento pode ser considerada adequada, em virtude da falta de informações acerca do correto projeto e manutenção das fossas sépticas (SERENCO, GDF, 2017).

Assim, o DF possuía em 2014 cerca de 79,9% de atendimento adequado e 20,1% de atendimento precário ou não existente, com destaque para as RA's do Park Way, Sobradinho II, Jardim Botânico, Vicente Pires e Fercal nas quais mais da metade da população não possuía atendimento adequado de coleta de esgotos (SERENCO, GDF, 2017).

3.3.1 - Mudança da vazão de esgoto ao longo dos anos

A vazão de esgoto afluente a uma ETE pode variar consideravelmente ao longo dos anos, dos meses e até das horas, seja pelo crescimento demográfico, pela mudança do comportamento de consumo de água, ou ainda pela não separação absoluta da rede de esgotamento sanitário em relação as águas pluviais (VON SPEARLING, 2005). Na Figura 3.2 é apresentado o volume de esgoto coletado no DF nos anos de 1997 a 2018, ilustrando a variabilidade da vazão de esgoto na região ao longo dos anos. Os dados apresentados foram produzidos a partir das informações disponíveis na plataforma SNIS (2019).

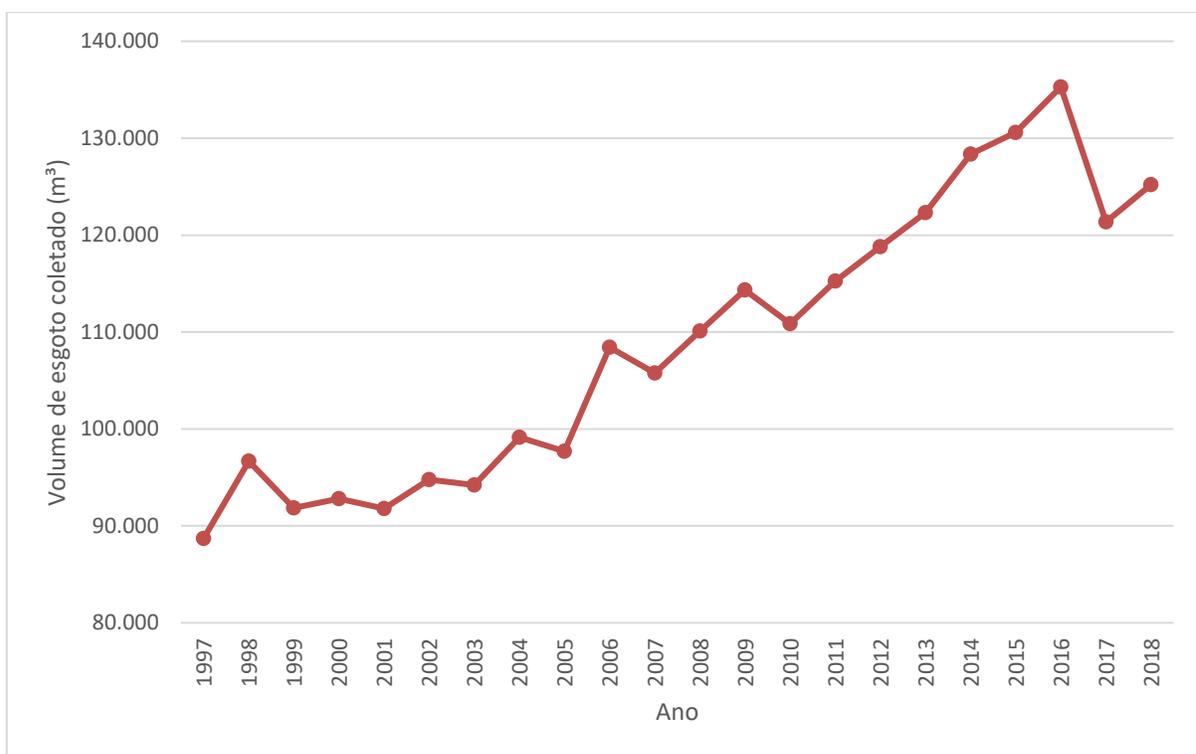


Figura 3.2 – Gráfico do volume de esgoto anual coletado no DF no período de 1997 à 2018 (Fonte: SNIS, 2019.)

A redução brusca no volume de esgoto coletado no ano de 2017 pode ser justificada pela crise hídrica que ocorreu nesse ano no DF.

Um dos principais fatores promovedores da alteração da vazão e da carga poluente afluente a uma ETE é o crescimento populacional de suas áreas atendidas. Esse crescimento pode ser motivado por uma taxa de natalidade superior à de mortalidade, ou por uma taxa de imigração superior à de emigração, taxas essas as quais não possuem um comportamento constante, variando ano a ano e sendo intimamente relacionadas com diversos aspectos econômicos, sociais e ambientais (SOBRINHO & TSUTIYA, 2000).

Na Figura 3.3 são apresentados os dados de população total do DF atendida com esgotamento sanitário de 1997 até 2018

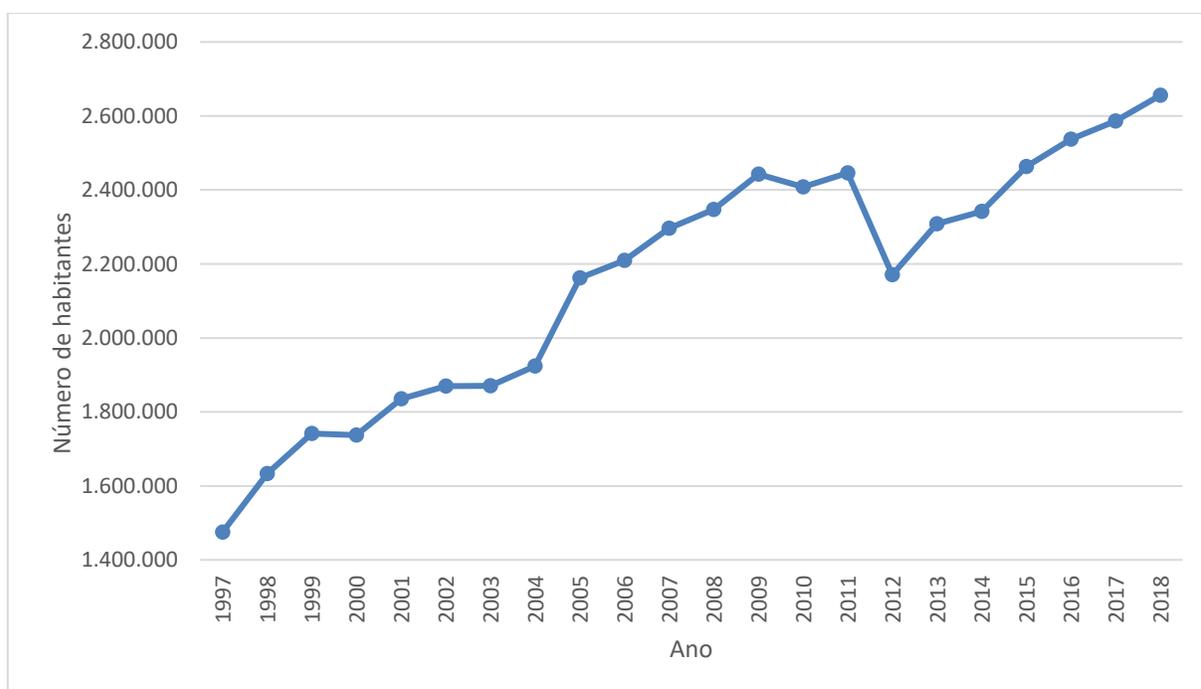


Figura 3.3 – Gráfico população total do DF atendida com esgotamento sanitário ao longo dos anos (Fonte: SNIS, 2019)

Embora aparentemente seja incoerente a súbita queda da população em 2012, para qual não foram encontradas justificativas. Percebe-se que há uma tendência de crescimento populacional acentuado no DF, um fator pertinente a SES, haja visto que com o aumento da população é esperado um maior consumo de água e, conseqüentemente, a geração de um volume maior de esgoto, conforme foi apresentado na Figura 3.2.

Na Figura 3.4 é apresentada a relação existente entre o número de habitantes com serviço

de coleta de esgotos e o volume de esgoto coletado no DF

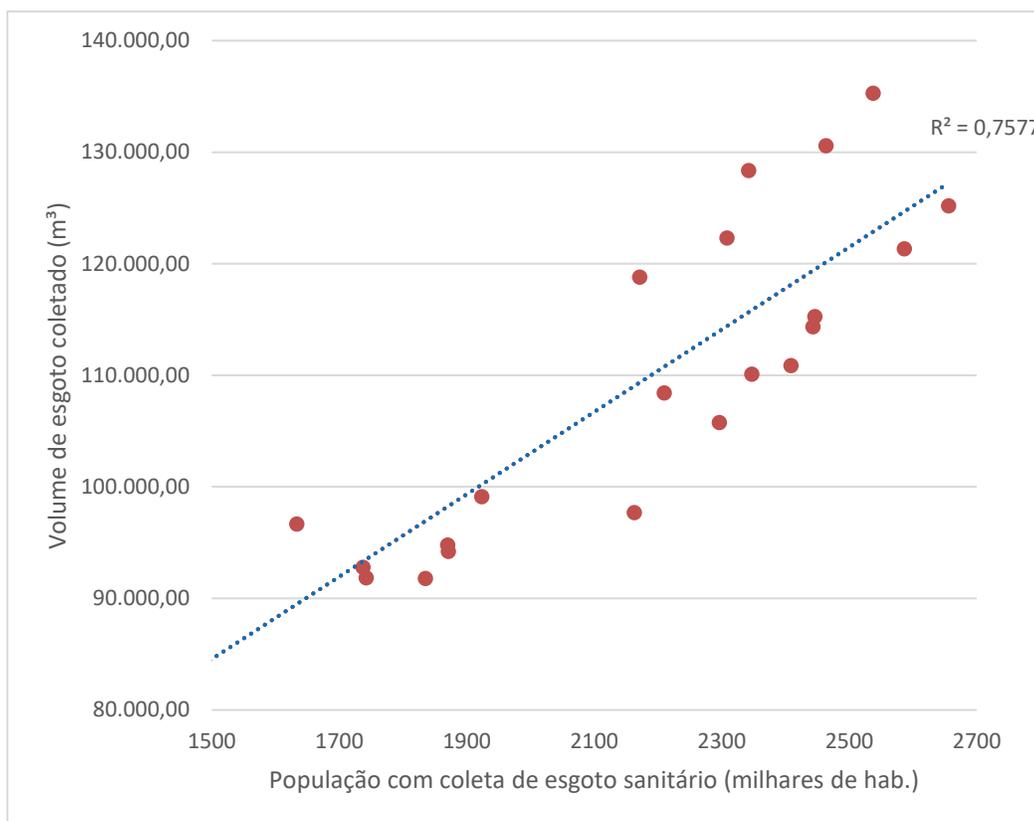


Figura 3.4 – Gráfico do volume de esgoto coletado em função da população do DF nos anos de 1997 a 2018 (Fonte: SNIS, 2019)

Apesar de haver uma correlação diretamente proporcional entre o número de habitantes e o volume de esgoto, é evidente pela não adesão perfeita dos pontos à uma representação linear que existem outros fatores interferentes no volume total de esgoto gerado por uma região.

Um desses fatores é o consumo de água, já que esse não é constante, variando ao longo do ano conforme as estações e com o passar dos anos, em virtude do avanço da tecnologia e a mudança da cultura de consumo da população.

Segundo a Adasa (2020), o consumo de água no DF tem seu pico no fim do período da seca, em torno do mês de setembro, reduzindo nos meses subsequentes, conforme ilustrado na Figura 3.5.

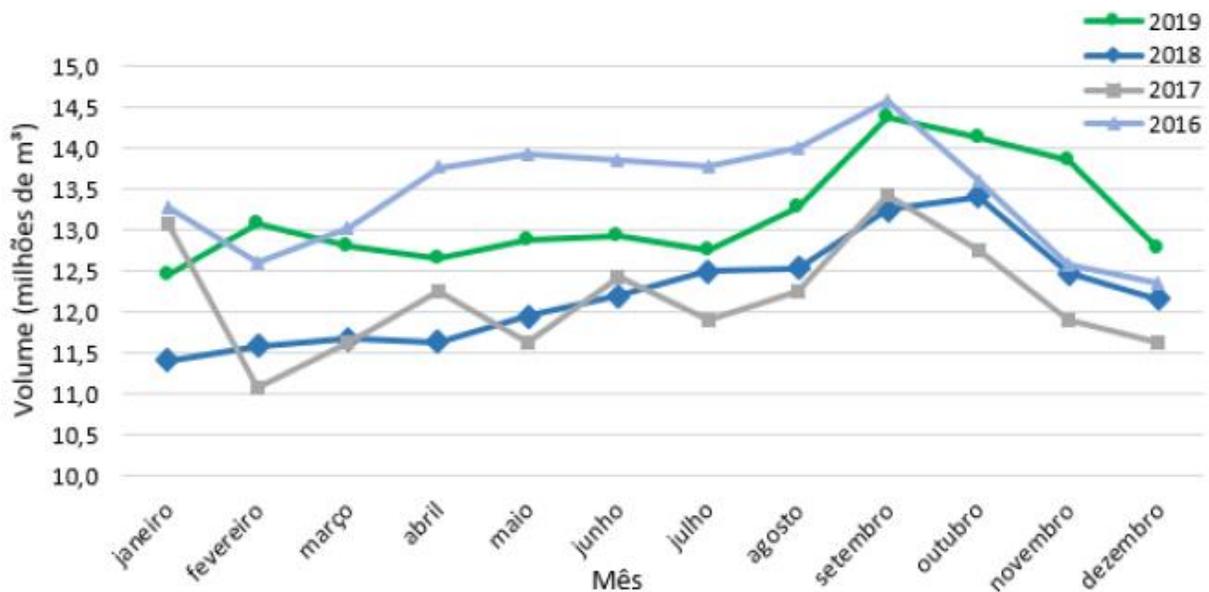


Figura 3.5 – Volume mensal de água consumido no DF nos anos de 2016 a 2019 (Fonte: Adasa, 2020)

Ainda segundo Adasa (2020), o consumo de água no DF vem sofrendo queda nos últimos anos (2013 a 2017), em especial no ano de 2017 onde devido a escassez hídrica foram adotadas medidas de restrição do consumo. Contudo, esse quadro se alterou nos anos de 2018 e 2019 havendo somente nesse último um aumento do volume de água consumido de aproximadamente 7,6% em relação ao do ano anterior. Apesar do aumento no volume total de água consumida, o consumo *per capita* no DF vem numa tendência de redução de 2013 até 2019.

O comportamento de consumo de água e geração de esgoto indica a necessidade de ampliação do SES do DF como um todo. Contudo, é preciso que se faça uma análise individualizada de cada RA, uma vez que cada uma delas terá um crescimento populacional e mudança do comportamento de consumo de água próprio.

O aumento do volume e a mudança das características de qualidade do esgoto a ser tratado traz grandes desafios as ETE's, necessitando da elaboração e reavaliação regular dos planos de expansão e otimização de seus sistemas de tratamento. Para tal é fundamental a realização de um bom monitoramento da ETE e da sua performance visando compreender a dinâmica das vazões de esgoto afluente a ETE, assim como a variação das concentrações dos seus constituintes e das eficiências de remoção obtidas, ao longo do tempo.

3.4 - MONITORAMENTO E ANÁLISE DE PERFORMANCE DE ETE

De acordo com Oliveira e von Spearling (2005), cada ETE deve ser avaliada individualmente para que se possa compreender os bons ou maus desempenhos apresentados, já que estes são decorrentes de fatores diversos. É necessário, por parte do projetista e do operador, um conhecimento aprofundado e integrado de cada sistema, envolvendo não apenas as cargas hidráulica e orgânica aplicadas, mas também fatores nem sempre diretamente mensuráveis.

Destaca-se a importância de se analisar as características específicas de cada afluente, aspectos microbiológicos nos reatores, comportamento hidrodinâmico das unidades (nas estruturas de entrada, saída e transferência, ocorrência de zonas mortas e curtos circuitos hidráulicos), condições de funcionamento dos equipamentos eletromecânicos, além de detalhes de projeto, construção e manutenção, de maneira conjunta, para se tentar estabelecer e entender as várias inter-relações existentes em uma ETE (VON SPEARLING *et al.*, 2020; JORDÃO & PESSÔA, 2011).

3.4.1 - Vazão

A vazão de esgoto de cada unidade é um parâmetro fundamental a ser monitorado em ETE's para a verificação da adequação das unidades quanto a sua capacidade hidráulica de tratamento projetada frente a vazão real afluente. Sua análise ganha ainda mais importância quando a tecnologia utilizada necessita da dosagem de produtos químicos ou de vazões de recirculação de outras unidades (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

Um dos principais parâmetros do dimensionamento de unidades de tratamento de esgoto é o tempo de detenção hidráulico (TDH), ou seja, o tempo de residência dos elementos fluidos dentro da unidade. Esse tempo é normatizado para diversas tecnologias de tratamento de esgotos sanitários na NBR 12.209 de 2011 e pode ter seu valor médio obtido de forma teórica por meio da divisão do volume da unidade pela sua vazão de entrada, ou ainda, de forma experimental por meio da medição do tempo médio de percurso de um traçador da entrada até a saída da unidade. Os resultados teóricos costumam ser consideravelmente diferentes dos experimentais, uma vez que na teoria não é considerada a existência de zonas mortas e curtos-circuitos nas unidades, enquanto na prática esses fenômenos ocorrem em maior ou menor escala, o que evidencia a importância da realização de ensaios com traçadores a fim de se verificar a conformidade do TDH das unidades de tratamento em relação aos seus TDH de projeto (VON

SPEARLING *et al.*, 2020).

Embora seja intuitivo que quanto maior o TDH maior será a remoção de MO, em virtude do maior tempo disponível para a degradação da MO, não há uma relação direta entre essas duas informações. A remoção de MO depende também de outras propriedades do esgoto como pH, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido entre outras (VON SPEARLING, 2005)

Uma alternativa que minimiza os impactos da variação da vazão e da carga de substâncias presentes no esgoto são os tanques de equalização, os quais amortecem a vazão dos momentos de pico e a liberam nos momentos de menor vazão, tornando mais constante a vazão afluente as unidades quanto maior for seu volume. Sistemas de tratamento simples trabalham melhor com vazões constantes, fator que pode ser justificado pela estabilidade da concentração afluente de matéria orgânica, possibilitando o desenvolvimento e manutenção da biota em quantidade adequada ao seu tratamento (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

3.4.2 - Concentrações e Cargas dos Parâmetros de Qualidade

As vazões de esgoto devem ser avaliadas de forma conjunta com as concentrações de seus parâmetros de qualidade (Sólidos, MO, nutrientes e outros) a fim de que se possa ter um entendimento da carga poluente do efluente. Uma pequena vazão de esgoto com elevada concentração de uma substância produz impactos semelhantes a uma grande vazão com baixa concentração da substância, apesar das diferenças no quesito da hidráulico das unidades da ETE (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

A eficiência de remoção é obtida por meio do percentual de um determinado constituinte que é removido entre uma análise afluente e efluente de uma unidade ou sistema. Dessa forma, depende intimamente das concentrações do parâmetro no esgoto afluente e efluente a unidade, sendo possível a obtenção de elevadas eficiências mesmo nos casos em que o efluente final possui concentrações elevadas. A análise de dados de eficiência de remoção deve ser feita sempre de maneira conjunta com as concentrações efluentes, possibilitando o entendimento da qualidade do tratamento e auxiliando na tomada de decisão quanto a realização de mudanças na operação, manutenções e modificações dos processos e tecnologias utilizadas na ETE. (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

A maioria das ETE's tem seu dimensionamento feito a partir de dados teóricos de concentrações dos parâmetros tipicamente presentes em esgotos domésticos. Dessa forma, é

importante se realizar a comparação das concentrações reais obtidas em relação a esses valores tipicamente encontrados na literatura. Por meio dessa comparação se pode reavaliar o projeto da ETE e verificar se de fato ela será capaz de tratar o esgoto nas vazões e eficiências de projeto. (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

3.5 - DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

Tradicionalmente em avaliações de performance e monitoramento de ETE's são empregadas análises considerando a distribuição normal dos dados, em virtude de sua simplicidade analítica (VON SPEARLING *et al.*, 2020). Uma distribuição normal perfeita possui valores de média e mediana iguais e uma distribuição simétrica dos dados em torno desse ponto (MONTGOMERY & RANGER, 2011).

Contudo, ao avaliar a densidade de probabilidade dos dados de monitoramento de concentração dos parâmetros de qualidade se obtém, na maioria dos casos, valores de média superiores aos de mediana e distribuições assimétricas, possuindo maior dispersão para os valores superiores à mediana (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

De acordo com o estudo de Oliveira e von Spearling (2012), em que se avaliou a distribuição dos dados de concentração afluente e efluente dos parâmetros de monitoramento mais comuns em 35 ETE's com diferentes sistemas de tratamento, os dados de praticamente todos os parâmetros se ajustaram melhor a distribuição log-normal do que as demais distribuições. Uma distribuição log-normal ideal possui valores de média geométrica e mediana iguais, sendo maior a dispersão dos dados nas concentrações superiores a mediana (MONTGOMERY & RANGER, 2011).

Uma alternativa simples para verificar se os dados se ajustam melhor as distribuições de probabilidades simétricas (normal) ou assimétricas (log-normal) é avaliar o coeficiente de assimetria das amostras (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

$$CA = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (1)$$

Em que,

- CA = Coeficiente de Assimetria;
- N = Número de termos da amostra;
- x_i = Valor do parâmetro do dado i da amostra, onde i varia de 1 a n;

- \bar{x} = Valor da média da amostra;
- S = Desvio padrão da amostra.

Quanto maior ou menor que zero o valor de CA, maior a assimetria dos dados. A distribuição normal teórica apresenta CA=0, enquanto a log-normal apresenta CA>0, isso é, uma dispersão maior dos dados com valores maiores do que a mediana (VON SPEARLING, 2020).

Inversamente ao caso das concentrações, as eficiências de remoção dos parâmetros costumam possuir valores de média superiores aos de mediana e distribuições assimétricas com maior dispersão para os valores inferiores à mediana (VON SPEARLING *et al.*, 2020). Dessa forma, para avaliar as eficiências por meio de uma distribuição log-normal é preciso trabalhar com a distribuição da eficiência de permanência (1-eficiência de remoção) e posteriormente calcular as eficiências de remoção (1-eficiência de permanência).

3.6 - ESTUDO DE CASO: ETE SOBRADINHO

A ETE Sobradinho se localiza na rua F da quadra 6 do Setor de Indústrias da RA de Sobradinho. A leste da estação, do outro lado da via de acesso, há empreendimentos comerciais e industriais e a Norte, a uma distância de menos de 100 metros, se encontra um setor residencial, conforme apresentado na Figura 3.6.



Figura 3.6 – Localização ETE Sobradinho e limite aproximado da sua área (Fonte: CAESB, 2017)

3.6.1 - Área de atendimento

A ETE Sobradinho é responsável por tratar o esgoto sanitário do SES de Sobradinho, composto pelas zonas urbanas das regiões administrativas de Sobradinho (RA-V) e Sobradinho II (RA-XXVI).

Sobradinho foi fundada em 1960 com propósito de abrigar a população que participava da implantação da capital e de ampliar a produção agrícola do DF. Já Sobradinho II, surgiu na década de 1990, com o intuito de receber famílias que residiam em condições irregulares e precárias no DF. Essa expansão acabou por definir um novo eixo de crescimento ao longo da DF-420 e da DF-150 (CODEPLAN, 2018).

Na Figura 3.7 é apresentada a localização da ETE Sobradinho e das RA's com zonas urbanas atendidas por essa estação em relação ao Distrito Federal.

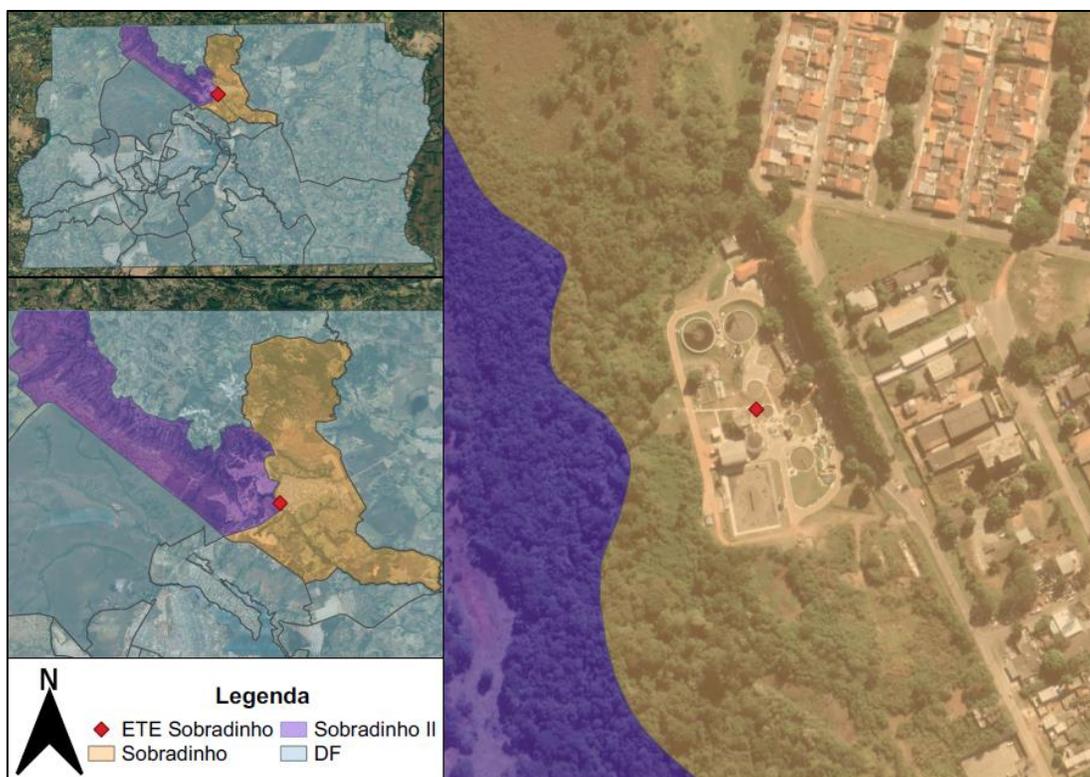


Figura 3.7 – Localização da ETE e das RA's atendidas em relação ao DF (Fonte: Autor)

Os números de habitantes das RA's em questão, assim como suas informações sobre a regularidade das habitações e a infraestrutura de esgotamento sanitário são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Número de habitantes, percentual de habitações irregulares e forma de tratamento do esgoto doméstico das RA's Sobradinho e Sobradinho II (Fonte: CODEPLAN, 2013, 2018)

Região Administrativa	Ano	Nº de habitantes	Habitações irregulares ¹ (%)	Atendimento pela CAESB (%)	Fossa séptica (%)	Buraco ou Fossa Rudimentar (%)
Sobradinho	2013	63.715	14,3	83,2	9,0	7,8
	2018	60.077	15,5	79,4	9,2	11,3
Sobradinho II	2013	97.989	59,4	38,9	46,3	14,8
	2018	85.574	57,3	44,8	50,0	5,1
Total/Média	2013	161.704	41,6	56,4	31,6	12,0
	2018	145.651	40,1	59,1	33,2	7,7

Legenda: ⁽¹⁾ como os dados foram obtidos a partir de pesquisas domiciliar, não há grande confiança quanto ao valor numérico dessa informação, podendo o valor real ser consideravelmente diferente.

Por meio da contextualização da formação das RA's e das informações acerca da regularidade das habitações, pode-se observar que as RA's Sobradinho e Sobradinho II não tiveram uma urbanização integralmente planejada. Embora haja registros de tentativas de regularização do projeto urbanístico da região, o crescimento demográfico foi mais intenso do que a capacidade do governo em fornecer os serviços de saneamento básico, havendo em 2018 ainda 7,7% da população dependendo de soluções precárias de esgotamento sanitário e 33,2% dependendo de fossas sépticas, as quais frequentemente não são devidamente dimensionadas e não passam pela manutenção adequada, de forma que sua eficiência de tratamento fica bastante comprometida (CODEPLAN, 2018).

3.6.2 - Sistema de Tratamento

A ETE Sobradinho foi inaugurada em 1967, visando atender uma população de 40.000 habitantes e uma vazão de projeto média de 56 L/s. Devido ao aumento da demanda pelo serviço na região, em 1993 a ETE modificou seu processo de tratamento, passando a utilizar também o tratamento primário quimicamente assistido (TPQA) dos esgotos sanitários (SIESG 2011).

O fluxograma do tratamento da ETE em 2010 é ilustrado na Figura 3.8.

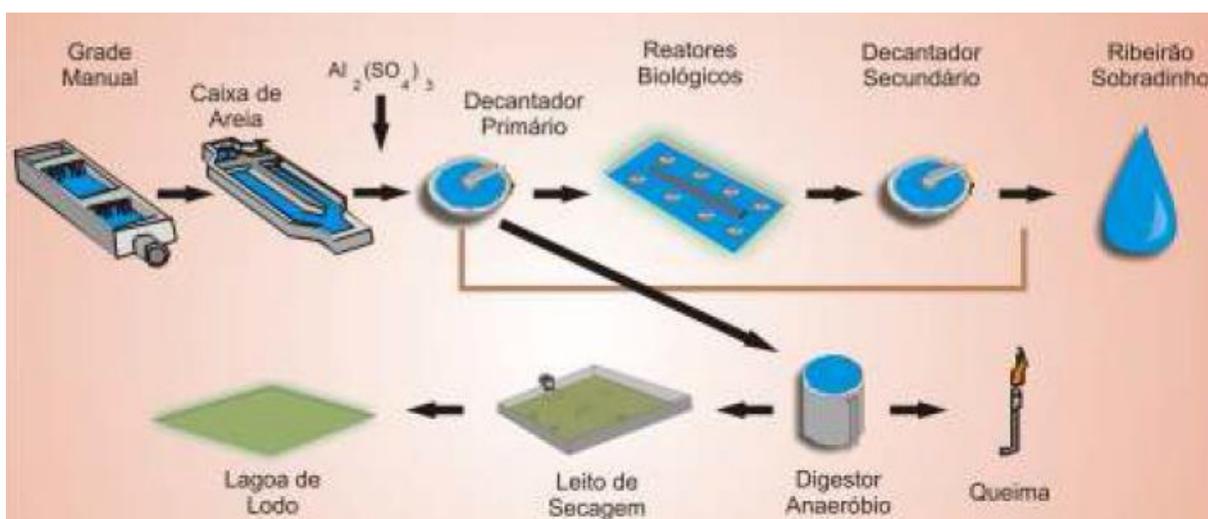


Figura 3.8 – Fluxograma do tratamento da ETE Sobradinho em 2010 (Fonte: SIESG,2011)

Em 2010 a ETE recebia esgotos de uma população superior a qual havia sido projetada, de forma que em 2011 se iniciou a 1ª Etapa da reforma de expansão da estação, passando a atender em 2013 uma população de 146.900 habitantes e possuir uma capacidade de tratamento

média de projeto de 196 L/s. Com a ampliação o processo de tratamento químico se tornou desnecessário e deixou de ser realizado (SIESG 2014). A Figura 3.9 apresenta a imagem de satélite com a identificação das unidades e a Figura 3.10 apresenta o fluxo simplificado do tratamento realizado desde 2013 na estação.



Legenda: 1- By pass e Gradeamento grosso; 2- Gradeamento fino; 3- Calha Parshall; 4- Desarenadores tipo Ciclone; 5- Caixa divisora de vazão; 6.1- Decantador primário maior; 6.2- Decantadores primários menores; 7.1- Tanque Pulmão; 7.2- Reatores Aerados; 8- Decantadores Secundários; 9- Lançamento Final da ETE; 10- Digestores anaeróbios de lodo.

Figura 3.9 – Imagem de satélite da ETE Sobradinho, com identificação das unidades (Fonte: Autor).

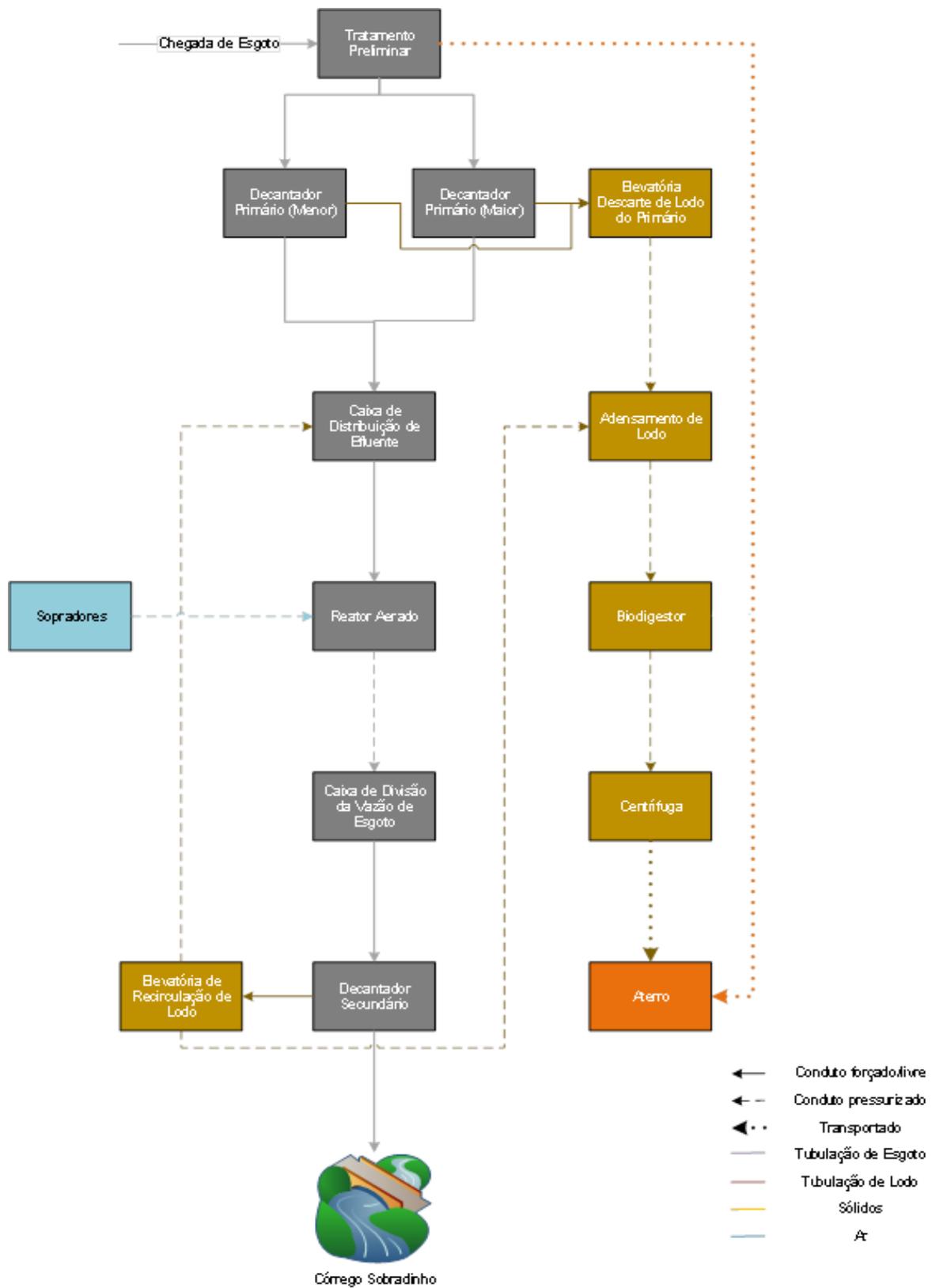


Figura 3.10 – Fluxograma do tratamento da ETE Sobradinho a partir de 2013 (Fonte: CAESB, 2017, adaptado)

- **Tratamento Preliminar**

De 1993 a 2010, o processo de tratamento preliminar permaneceu relativamente o mesmo, sendo constituído por gradeamento médio de limpeza manual, visando a remoção de sólidos grosseiros (estopa, plástico e lixo), e duas caixas de areia, para a remoção de areia (CAESB, 2011). Em 2013, após a reforma de ampliação, o tratamento preliminar passou a ser realizado por uma unidade de gradeamento grosso de limpeza manual seguido por duas unidades de gradeamento fino de limpeza mecanizada (operando em regime 1+1R), e dois desarenadores do tipo ciclone (CAESB, 2017).

- **Tratamento Primário**

O tratamento primário é realizado por meio de 4 decantadores primários, sendo 3 menores mais antigos e 1 maior, construído na 1ª Etapa da reforma de ampliação da ETE. Essas unidades são responsáveis por remover os sólidos sedimentáveis, orgânicos e inorgânicos, presentes no efluente do tratamento preliminar. Os decantadores geram 2 tipos de efluentes: o líquido, que é encaminhado ao tratamento secundário; E o sólido que vai para o tratamento de lodos (CAESB, 2011, 2014, 2017).

Segundo Jordão & Pessoa (2011), um decantador primário apresenta, tipicamente, remoção de sólidos na faixa de 40% a 60% e de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na faixa de 25% a 35%, sendo valores inferiores a esses um indicativo de operação inadequada, sobrecarga da estação ou septicidade do esgoto afluente.

Ainda segundo Jordão e Pessoa (2011), a remoção de sólidos suspensos é função apenas da taxa de aplicação de vazão superficial, enquanto a remoção de DBO depende também do percentual solúvel da DBO no esgoto. A determinação da DBO solúvel é fundamental para a determinação da concentração de DBO teoricamente esperada no efluente do decantador primário, a qual irá balizar o dimensionamento do tratamento secundário.

Os principais parâmetros de dimensionamento para garantir a boa eficiência do decantador são o TDH e a taxa de vazão superficial aplicada. O TDH deve ser grande o suficiente para possibilitar a sedimentação dos sólidos, mesmo quando operando com a vazão máxima de projeto. Mas não pode ser elevado a ponto de proporcionar a degradação da matéria orgânica sedimentada no decantador, uma vez que essa reação ocorreria por via anaeróbia e, portanto, liberaria gases que poderiam promover a resuspensão de sólidos e a geração de odor (JORDÃO

& PESSÔA, 2011). Dessa forma, é fundamental que se tenha um controle da vazão afluente ao reator a fim de que a vazão se mantenha dentro da faixa de projeto e a taxa de vazão superficial aplicada e o TDH sejam adequados para a obtenção das eficiências de remoção de sólidos e DBO desejadas.

O dimensionamento de decantadores primários é normatizado pela NBR 12209 de 2011 e possui como principais parâmetros a serem seguidos os itens apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Parâmetros de dimensionamento de decantadores primários (Fonte: ABNT, 2011)

Parâmetro	Valor normatizado
Taxa máxima de escoamento superficial ¹	90m ³ .m ⁻² .dia ⁻¹
TDH máximo sob vazão média de projeto	3 horas
TDH mínimo sob vazão máxima de projeto	1 hora
Taxa de escoamento máxima no vertedor de saída	500m ³ .dia ⁻¹ .m ⁻¹ de vertedor

Legenda: ¹ quando precede sistema de lodos ativados.

É comum que decantadores primários possuam dispositivos para a remoção da gordura e escuma que não foram removidas no tratamento preliminar, dessa forma os decantadores primários atuam também como uma unidade de remoção de sólidos flutuantes (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

Por meio da imagem de satélite da ETE Sobradinho, Figura 3.9, pode-se observar que os decantadores primários são de forma circular, as principais vantagens e desvantagens desse tipo de estrutura em relação aos decantadores retangulares são apresentadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Vantagens e desvantagens do decantador circular em relação ao decantador retangular (Fonte: Jordão & Pessôa, 2011)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Menor tempo de retenção do lodo sedimentado; - Maior simplicidade do sistema de raspagem de lodo; - Manutenção facilitada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior facilidade de arraste do lodo com o efluente; - Distribuição não uniforme das cargas de lodo no mecanismo coletor; - Menor adensamento do lodo; - Necessita de maiores áreas em planta; - Possuem maior custo de construção; - Maior propensão a curtos-circuitos.

Os decantadores da ETE Sobradinho possuem paredes de concreto impermeabilizado, remoção do lodo pelo fundo e raspadores superficiais para remoção de gorduras e óleos (CAESB, 2017). As dimensões dos 3 decantadores menores e do decantador maior são apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Dimensões dos 3 Decantadores Primários menores e do Decantador Primário maior (Fonte: CAESB, 2017)

Parâmetro	Decantador Primário Maior	Decantadores Primários Menores
Diâmetro da unidade (m)	17,00	9,00
Altura da unidade (estrutura) (m)	2,55 a 3,16	1,80 a 2,20
Altura da lâmina (m)	3,25	2,20

Os 3 decantadores primários menores operam em plena capacidade a todo tempo, já o decantador primário maior recebe uma vazão variável operando com diferentes TDH a depender da vazão de esgoto afluyente a ETE. O controle da divisão de vazão entre os decantadores antigos e o novo é feito unicamente por diferença do nível dos vertedores na caixa divisora de vazão (CAESB, 2017).

- **Tratamento Primário Quimicamente Assistido (TPQA)**

Entre 1993 e 2010 era realizado na ETE Sobradinho o tratamento primário quimicamente assistido do esgoto. O processo consistia na adição de sulfato de alumínio para auxiliar na floculação de parte dos sólidos, sendo esses posteriormente removidos nos decantadores primários (CAESB, 2011). Esse processo também foi adotado em carácter emergencial durante o período de reforma do Tanque Pulmão (Junho de 2018 a Dezembro de 2019), visando atenuar as reduções das eficiências do tratamento na remoção de DBO e fósforo (ADASA, 2019a).

A Tabela 3.6 sintetiza as principais vantagens e desvantagens do tratamento primário quimicamente assistido em relação ao convencional.

Tabela 3.6 – Vantagens e Desvantagens do tratamento primário quimicamente assistido em relação ao convencional. (Fonte: JORDÃO & PESSÔA, 2011)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Maior eficiência de remoção de sólidos (70 a 85%); - Maior eficiência de remoção de DBO (45% a 55%); - Possibilidade de operação com taxa de vazão superficial mais elevada; - Passível de realizar remoção de fósforo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custos de aquisição e operação dos químicos; - Maior complexidade operacional; - Potencial tóxico ao tratamento secundário, em virtude do residual de químicos no efluente líquido - Maior geração de lodo primário (entre 15 e 30% a depender das características operacionais); - Maior custo de operação associado ao tratamento de lodo.

- **Tratamento Secundário**

O tratamento secundário da ETE é realizado por um sistema de lodos ativados convencional, ou seja, um conjunto de: reator biológico aerado, no qual a matéria orgânica será degradada por microorganismos, e decantadores secundários, os quais objetivam a remoção dos sólidos sedimentáveis do efluente do reator biológico. O efluente líquido dos decantadores secundários é lançado no ribeirão Sobradinho, enquanto a fração sólida tem parte de seu volume recirculado para o reator biológico, a fim de manter a relação ótima de alimento por microorganismo, e parte encaminhada ao tratamento de lodos (CAESB, 2011), (CAESB, 2014).

A Tabela 3.7 sintetiza as principais vantagens e desvantagens do processo de lodos ativados no tratamento secundário.

Tabela 3.7 – Vantagens e Desvantagens do processo de lodos ativados (Fonte: Jordão & Pessôa, 2011)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Maior eficiência de remoção de sólidos (85 a 95%); - Maior eficiência de remoção de DBO (85% a 95%); - Maior flexibilidade de operação - Menor área ocupada em relação a sistemas de lagoas e filtração biológica - Passível de realizar remoção de nitrogênio e fósforo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior complexidade e cuidados operacionais, devido a maior sensibilidade as mudanças de carga orgânica; - Necessidade de completo controle de laboratório - Maior custo de operação devido ao processo de aeração

Por meio da Figura 3.9 pode-se observar os quatro reatores de aeração superficial, um maior com formato retangular (Tanque Pulmão) e três menores com formato circular, além dos dois decantadores secundários de formato circular.

Os três reatores aerados circulares operam com capacidade plena, enquanto o tanque pulmão possui vazão e TDH variável conforme a vazão afluyente a ETE. As dimensões e volume do tanque pulmão são apresentados na Tabela 3.8 e as dimensões dos decantadores secundário na

Tabela 3.9. Não foram encontradas informações sobre as dimensões dos reatores aerados de formato circular.

Tabela 3.8 – Dimensões e volume do tanque pulmão (Fonte: CAESB, 2017)

Parâmetro	Valores
Largura da base (m)	20,30
Comprimento da base (m)	35,30
Área de base (m ²)	716,59
Largura do topo (m)	34,10
Comprimento do topo (m)	49,10
Área de topo (m ²)	1674,31
Altura do tanque útil (m)	4,60
Volume do Tanque (m ³)	5.345,58

Tabela 3.9 - Dimensões dos decantadores secundários (Fonte: CAESB, 2017)

Parâmetro	Valor
Diâmetro (m)	25,00
Altura da unidade (estrutura) (m)	4,00 a 4,96
Altura da lâmina (m)	4,00

O dimensionamento de sistemas de lodos ativados é normatizado pela NBR 12209 de 2011, sendo os principais parâmetros apresentados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Parâmetros de dimensionamento de sistemas de lodos ativados (Fonte: ABNT, 2011)

Parâmetros Reator Aeróbio	Valor normatizado
Idade do Lodo (dias)	4 a 15 ⁽¹⁾
Relação alimento/microorganismos (kg de DBO ₅ aplicada/kg SSV/dia)	0,2 a 0,7 ⁽¹⁾
Concentração de sólidos no reator (mg/L)	Entre 1500 e 4500
Massa de oxigênio a ser disponibilizada	≥1,5*DBO ₅
Parâmetros decantador secundário	Valor normatizado
Taxa de escoamento superficial (m ³ /m ² /dia)	28 ⁽²⁾ ; 16 ⁽³⁾
Taxa de aplicação de sólidos (kg de SS/m ² /dia)	≤144 ⁽²⁾ ; ≤120 ⁽³⁾
TDH mínimo sob vazão média (horas)	1,5
Taxa de escoamento máxima no vertedor de saída (m ³ /dia/m de vertedor)	290

Legenda: ⁽¹⁾ Sistema de taxa convencional; ⁽²⁾ idade do lodo inferior a 18 dias ou relação A/M superior a 0,15 kg de DBO₅ aplicada/kg SSV/dia; ⁽³⁾ idade do lodo superior a 18 dias ou relação A/M inferior a 0,15 kg de DBO₅ aplicada/kg SSV/dia.

- **Tratamento de Lodos**

O tratamento de lodos da ETE sofreu alterações nos seus processos de adensamento ao longo dos anos, contudo, em todos os momentos o lodo passou pela etapa de digestão em digestores anaeróbios. Até 2011 o adensamento do lodo era feito por leitos de secagem e lagoa de lodo, a partir de 2013 passou a ser realizado de forma mecanizada por uma única centrífuga decanter (CAESB, 2011), (CAESB, 2017). O efluente líquido da centrífuga decantadora do lodo retorna ao início do processo de tratamento da ETE, enquanto o lodo excedente é encaminhado à Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), instalada na ETE Melchior (Adasa, 2019a).

O digestor anaeróbio visa a estabilização parcial ou total do lodo por processos biológicos em condições anaeróbias. Além disso, a digestão anaeróbia do lodo objetiva a redução do seu volume sólido, a modificação de suas características de forma a favorecer a redução de umidade e a redução da concentração de patógenos (Jordão & Pessoa, 2011). A eficiência do digestor costuma ser avaliada com base na redução da concentração de sólidos voláteis, sendo a redução da ordem de 30 a 60% a depender das condições de projeto e operacionais da unidade (ABNT, 2011).

Quando corretamente executado o processo de digestão anaeróbia produz biogás, composto por uma fração de 65 a 70% de metano, um gás combustível passível de ser aproveitado como fonte de energia (Jordão & Pessôa, 2011). Na ETE Sobradinho não é realizado o aproveitamento do gás (Adasa, 2019a) sendo, portanto, essencial a realização da sua queima para evitar riscos de explosões na estação e reduzir o impacto ambiental da sua liberação na atmosfera (Jordão & Pessôa, 2011).

A Tabela 3.11 sintetiza as principais vantagens e desvantagens do digestor anaeróbio em relação ao digestor aeróbio.

Tabela 3.11 – Vantagens e Desvantagens do digestor anaeróbio em relação ao digestor aeróbio (Fonte: Jordão & Pessôa, 2011)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Menor custo operacional; - Possibilidade de reaproveitamento energético do biogás gerado; - Lodo efluente com maior capacidade de desidratação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior complexidade operacional; - Pode gerar gases tóxicos, mau cheirosos e explosivos; - Maior tempo de detenção do lodo e conseqüentemente maior volume necessário para as unidades; - Maior custo de implantação; - Menor redução da concentração de óleos e graxas; - Menor eficiência de remoção de DBO, SS, Nitrogênio Amoniacal, fósforo total e patógenos.

Por meio da Figura 3.9, pode-se observar que os dois digestores possuem formato circular e cobertura. Os digestores não possuem sistema de aquecimento ou homogeneização do lodo (CAESB, 2017) e não é realizada a queima do biogás produzido (Adasa, 2019b).

Tabela 3.12 – Dimensões dos Digestores Anaeróbios (Fonte: CAESB, 2017)

Parâmetro	Valores
Altura útil dos tanques (m)	7,46 ⁽¹⁾
Diâmetro de cada tanque (m)	15,10
Área em planta por tanque (m ²)	179,08
Volume útil por tanque (m ³)	1030 ⁽²⁾

Legenda: ⁽¹⁾ A altura informada considera apenas o valor relativo à coluna líquida. Não está inclusa altura relativa ao cone de fundo; ⁽²⁾ Valor menor que a capacidade teórica dos biodigestores em função e acúmulo de sólidos em seu interior.

O dimensionamento de digestores anaeróbios é normatizado pela NBR 12209 de 2011, sendo os principais parâmetros a serem seguidos nessas condições apresentados na Tabela 3.13

Tabela 3.13 – Principais parâmetros de dimensionamento de digestores anaeróbios (Fonte: ABNT, 2011)

Parâmetros	Valor normatizado
Tempo de digestão (dias)	$\geq 45^{(1)}$
Densidade de potência do dispositivo de homogeneização de lodo s/ recirculação (W/m ³)	$\geq 1^{(1)}$
Concentração de sólidos no reator (mg/L)	Entre 1500 e 4500
Inclinação de fundo (y:x)	1:6

Legenda: ⁽¹⁾ Digestor convencional não homogeneizado.

O lodo digerido ainda possui um elevado teor de umidade, da ordem de 96%, sendo necessária sua adequada desidratação a fim de viabilizar o seu transporte (Jordão & Pessôa, 2011). Dentre os processos de desidratação estão os leitos de secagem, lagoas de lodo e as centrífugas.

Os leitos de secagem funcionam com base no processo natural de perda de umidade: liquefação do lodo, evaporação natural e evaporação devido ao poder calorífico do lodo com a degradação. Em condições médias o lodo em leitos de secagem é removido após alcançar uma umidade média entre 70 e 60%, levando para isso de 12 a 20 dias (Jordão & Pessôa, 2011).

As lagoas de lodo podem operar recebendo o lodo excedente dos processos de digestão e adensamento, com a finalidade de armazenamento e redução da umidade remanescente por meio dos processos naturais de perda de umidade. Seu funcionamento é análogo ao dos leitos de secagem, contudo, com um tempo de detenção usualmente maior (Jordão & Pessôa, 2011).

Já as centrífugas promovem o adensamento mecânico forçado do lodo, sendo uma tendência no adensamento de lodo no Brasil devido a sua simplicidade operacional e qualidade de adensamento do lodo, com umidade final entre 65 e 75%. Ressalta-se que a desidratação por meio de centrífugas requer o condicionamento químico do lodo para melhorar a sua desidratabilidade e a qualidade do clarificado, usualmente são utilizados para isso polieletrólitos catiônicos.

A Tabela 3.14 sintetiza as vantagens e desvantagens do adensamento por centrifugação em relação ao realizado por leitos de secagem seguido de lagoas de lodo.

Tabela 3.14 – Vantagens e desvantagens do adensamento de lodo por centrífugas em relação ao sistema de leitos de secagem seguidos de lagoas de lodo (Jordão & Pessoa, 2011)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Menor complexidade operacional; - Menor área necessária para as unidades; - Menor tempo de detenção do lodo; 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior custo operacional, associado ao custo dos equipamentos e consumo de energia; - Necessita de condicionamento do lodo, dosagem de químicos; - Necessita de tanque de homogeneização do lodo antes da centrífuga;

3.6.3 - Histórico de Adequações e Reformas da ETE Sobradinho

A Tabela 3.15 apresenta informações sobre as condições de operação e as mudanças realizadas na ETE Sobradinho no período de 2010 a 2020:

Tabela 3.15 - Histórico de condições e mudanças do tratamento da ETE Sobradinho no período de 2010 a 2020

Ano	Condição/Mudança do tratamento
2010 ⁽¹⁾	Operação em sobrecarga ultrapassando em 42% a capacidade de projeto, levando a eficiências de remoção de MO inferiores e ao impacto ambiental no Ribeirão Sobradinho. Modificações operacionais e implementação do tratamento primário quimicamente assistido, aumentando a remoção de MO a custo da maior geração de lodo e dos maiores gastos com a compra de produtos químicos
2013 ⁽²⁾	Operação em sobrecarga ultrapassando em média mais de 100% a capacidade de projeto nos meses de janeiro a julho. Em agosto foi concluída a 1ª etapa de expansão da ETE, passando a operar utilizando apenas 46% de sua capacidade hidráulica
2015 ⁽³⁾	Um decantador primário e um decantador secundário estavam fora de operação; Não era realizado o aproveitamento nem a queima do biogás gerado.
2018 ⁽⁴⁾	Tanque pulmão tem sua operação paralisada devido a danos na geomembrana de impermeabilização em junho. Adaptação emergencial da ETE passando a utilizar TPQA para aumentar a remoção de matéria orgânica e fósforo, por meio da precipitação química, com consequente maior geração de lodo e custo operacional. Não cumprimento da outorga de lançamento de efluente nos meses de agosto, setembro e outubro ⁽⁵⁾ .
2019 ⁽⁵⁾	Operação com aproximadamente 40% da vazão de projeto. Ainda não é realizado o aproveitamento nem a queima do biogás gerado. Previsão do tanque pulmão voltar a operar, e o TPQA ser desativado, a partir do dia 4 de dezembro.
2020 ⁽⁶⁾	Retorno da operação do tanque pulmão com modificação da posição dos aeradores, melhor distribuição ao longo da sua área superficial; Implementação de sensores de OD e SST nos reatores aerados, com coleta de informações em tempo real; Correção da posição de leitura da vazão na calha Parshall.

Legenda: ⁽¹⁾ (CAESB, 2011); ⁽²⁾ (CAESB, 2014); ⁽³⁾ (Adasa, 2015); ⁽⁴⁾ (Adasa, 2019a); ⁽⁵⁾ (Adasa, 2019b);

⁽⁶⁾ Conversas com o responsável pela operação da ETE e visita técnica.

3.6.4 - Corpo Hídrico Receptor: Ribeirão Sobradinho

O Ribeirão Sobradinho tem sua nascente no Morro do Canastra, próximo da região urbana de Sobradinho. Ao longo do seu curso, recebe a contribuição pela margem esquerda do córrego Capão Comprido e pela margem direita dos córregos Brejo do Lobo, Paranoazinho, Capão Grande, Indaiá e Capão da Erva. O Ribeirão Sobradinho é afluente do rio São Bartolomeu, que pertence à bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (Adasa & Engeplus, 2020).

Parte significativa da bacia do Ribeirão Sobradinho é ocupada por parcelamentos urbanos, especialmente na região da sua cabeceira e as margens dos córregos Paranoazinho e Capão Comprido, onde está a RA de Sobradinho. Na sua porção intermediária predominam as ocupações agrícolas, e no seu trecho final vem ocorrendo à intensificação de parcelamentos urbanos, como o Itapoã e os condomínios circunvizinhos (CAESB, 2013).



Figura 3.11 – Diagrama esquemático das contribuições ao Ribeirão Sobradinho. (Fonte: CAESB, 2013)

A ETE Sobradinho lança seu efluente tratado na margem esquerda do ribeirão Sobradinho desde o início de sua operação em 1967, embora o ponto de lançamento tenha sofrido pequenas alterações ao longo dos anos, o lançamento se manteve a cerca de 1 km após a confluência do córrego Paranoazinho (CAESB, 2013).

O Ribeirão Sobradinho é corpo d'água de classe 3, dotado de usos múltiplos (CRHDF, 2014). As águas dessa classe podem ser utilizadas para os seguintes fins: Abastecimento para

consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Pesca amadora; Recreação de contato secundário e dessedentação de animais (Resolução CONAMA nº 357 de 2005).

Na Tabela 3.16 são apresentados alguns dos principais parâmetros a serem atendidos em corpos hídricos de classe 3 que costumam ser impactados pelo lançamento de esgotos domésticos (Resolução CONAMA nº 357 de 2005).

Tabela 3.16 – Principais parâmetros de enquadramento de águas doces de classe 3 (Fonte: Resolução CONAMA nº 357 de 2005).

Parâmetro	Valor Normalizado
Materiais flutuantes, óleos, graxas, substâncias que comuniquem gosto ou odor, resíduos sólidos objetáveis	Virtualmente Ausentes
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	2.500 ⁽¹⁾ ; 1.000 ⁽²⁾ ; 4.000 ⁽³⁾
DBO ₅ a 20°C (mg de O ₂ /L)	≤10
OD (mg/L)	≥4
Turbidez (UNT)	≤100
Cor Verdadeira (mg Pt/L)	≤75
pH	6 a 9
Fósforo total (mg/L)	0,15 mg/L
Nitrato (mg/L)	10,0 mg/L
Nitrito (mg/L)	1,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	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.

O Ribeirão Sobradinho é conhecido por seu histórico de danos ambientais, tendo sido realizado ao longo de 2012 e 2013 um grupo de trabalho envolvendo a CAESB, Adasa, SLU, IBRAM, TERRACAP, Administração de Sobradinho e a sociedade organizada em prol da sua recuperação ambiental. Segundo o relatório de diagnóstico desse grupo de trabalho, o Ribeirão Sobradinho apresenta problemas que vão desde o lançamento clandestino de esgoto doméstico e resíduos de caminhão limpa fossa, até problemas com despejos de resíduos sólidos urbanos,

captações de água irregulares e lançamento de esgoto em qualidade indevida pela ETE Sobradinho, nos momentos em que essa se encontrou em sobrecarga ou com problemas operacionais. Dessa forma, para a recuperação ambiental do corpo hídrico é fundamental a realização de uma gestão integrada composta por diversas ações, dentre elas o planejamento e viabilização de uma solução definitiva para o esgotamento sanitário da região (GT Ribeirão Sobradinho, GDF, 2013).

3.6.5 - Plano de expansão/Reforma de ampliação da ETE

A reforma de ampliação da ETE Sobradinho concluída em 2013 é apenas a 1ª Etapa de Expansão prevista para a estação, já havendo sido aprovado o projeto básico da 2ª Etapa de Expansão, prevendo o atendimento de uma população de saturação de 255.000 habitantes e vazão média de projeto de 410,01 L/s (CAESB, 2017). Além disso a 1ª fase da 2ª Etapa de expansão já teve seu projeto executivo aprovado, prevendo o atendimento de uma população máxima de 187.514 e tratando uma vazão média de 324,92 L/s. Pelas projeções populacionais do projeto, após a conclusão da 1ª fase de expansão, a ETE conseguirá suprir as demandas por tratamento de esgoto da região até 2029 (CAESB, 2017).

A Tabela 3.17 sintetiza as obras de reforma e implantação de unidades a serem realizadas na 1ª e 2ª fase de expansão da ETE.

Tabela 3.17 - Resumo das obras a serem executadas em cada fase da 2ª etapa de expansão (Fonte: CAESB, 2017)

Tipo de Obra	1ª Fase	2ª Fase
Reforma de unidades existentes	<ul style="list-style-type: none"> • Caixa de Divisora de Vazão de Esgoto; • Tratamento Preliminar; • Decantador Primário (Maior); • Elevatória de Distribuição de Efluentes (Caixa de Distribuição de Efluentes); • Tanque Pulmão; • Decantadores Secundários • Biodigestores; 	<ul style="list-style-type: none"> • Caixa de Divisora de Vazão de Esgoto; • Tratamento Preliminar; • Decantadores Primários; • Elevatória de Distribuição de Efluentes (Caixa de Distribuição de Efluentes); • Tanque Aerado Pulmão (Reator Aerado);

Tipo de Obra	1ª Fase	2ª Fase
	<ul style="list-style-type: none"> • Casa de Adensamento e Desaguamento de Lodo; • Elevatória de Drenagem; • Troca de trechos de tubulações; 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevatória de Recirculação de Lodo; • Biodigestor antigos e o novo; • Casa de Adensamento e Desaguamento de Lodo;
Implantação de unidades novas	<ul style="list-style-type: none"> • Decantador Primário; • Tanque Pulmão (Reator Aerado); • Casa de Sopradores; • Decantador Secundário; • Elevatória de Recirculação de Lodo • Biodigestor; • Sistema de Queimador de Gás; • Sistema de Recebimento de Lodo Digerido • Reservatório de Água de Reuso • Elevatória de Drenagem • Elevatória de Descarga de Fundo; • Sala de Grupo Gerador; • Subestação de energia; • Cabine primária de energia; • Trechos de tubulação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de Aeração Prolongada; • Tanque de Armazenamento de Soda e Cloreto Férrico; • Decantador Secundário; • Sistema de Desinfecção por UV; • Escada Hidráulica; • Implantação de pátio de armazenamento de lodo; • Casa de Sopradores;

De acordo com CAESB (2017), o início das obras da 1ª fase estava previsto para 2018. Contudo, o Plano de expansão estava em reanálise em outubro de 2019, devido a folga hídrica da ETE, pois esta operou em 2019 com aproximadamente 40% da vazão de projeto (Adasa, 2019b).

3.6.6 - Justificativa do estudo de caso da ETE Sobradinho

O estudo possui grande relevância, haja visto que nenhuma análise de acesso público foi feita quanto a performance da ETE Sobradinho no nível de profundidade proposto. Suas características mudaram ao longo do tempo e é esperado que se modifiquem de forma expressiva

ao longo dos próximos anos com a implementação dos novos empreendimentos urbanísticos previstos (Adasa, 2019b), como o Orbitá, Sítio Vila Célia e o Residencial Sobradinho. Ressalta-se ainda a aplicabilidade prática do estudo como fonte de informação que poderá auxiliar a Sociedade organizada, os órgãos ambientais e o comitê de bacias no entendimento do sistema de tratamento da ETE Sobradinho e nas eficiências de remoção obtidas no intervalo temporal de 2017 a 2020. Além de auxiliar a CAESB na interpretação dos impactos das alterações e otimizações realizadas no seu sistema de tratamento por meio do melhor entendimento da performance das unidades de tratamento da ETE Sobradinho ao longo do tempo.

4 - METODOLOGIA

Neste estudo foi avaliada a performance da ETE Sobradinho, em especial das unidades responsáveis pelo tratamento primário e secundário da estação, por meio dos dados diários da vazão de esgoto afluente e do monitoramento semanal dos parâmetros de qualidade da ETE Sobradinho, ambos fornecidos pela CAESB na extensão temporal de 2017 a 2020. Por meio da análise estatística desses dados foi realizada uma avaliação quanto à conformidade do tratamento ao longo do tempo no que se refere a eficiência de remoção dos parâmetros, a regularidade da sua performance e o atendimento a resolução CONAMA 357 de 2005 e a Outorga de lançamento de Efluentes.

As atividades realizadas contemplam, mas não se limitam, as seguintes etapas:

- ETAPA 1: Caracterização operacional da ETE Sobradinho
 - Visitas Técnicas com o intuito de compreender em detalhes o funcionamento da estação: fluxo de tratamento e processos operacionais;
 - Leitura e análise dos documentos específicos da ETE: Análises internas do projeto hidráulico, Plano de expansão, Licenças de Operação, Outorga de lançamento de efluente, Estudo de autodepuração do corpo receptor e outros.

- ETAPA 2: Avaliação e Tratamento dos dados fornecidos pela CAESB:
 - Avaliação da quantidade e extensão temporal dos dados;
 - Avaliação dos limites de detecção das metodologias de análises laboratoriais utilizadas para obtenção dos dados.
 - Avaliação da representatividade dos dados e da presença de dados discrepantes com a realidade;

- ETAPA 3: Estatística Descritiva dos Dados de monitoramento e comparação com o esperado teoricamente
 - Avaliação da distribuição dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade no esgoto afluente, efluente primário e efluente final da ETE ao longo do tempo e em relação ao esperado teoricamente;
 - Determinação e análise da distribuição dos dados de eficiências de

remoção da ETE ao longo do tempo e em relação ao esperado teoricamente;

- ETAPA 4: Avaliação da conformidade da ETE em relação as suas regulamentações
 - Análise do cumprimento da outorga de lançamento de efluentes por meio da consideração de distribuição normal ou log-normal dos dados de concentração de DBO;
 - Verificação do tratamento da estação quanto ao cumprimento da resolução CONAMA nº 357 em relação à DBO por meio da comparação com o estudo de autodepuração do Ribeirão Sobradinho, realizado pela CAESB em 2013.

- ETAPA 5: Avaliação dos parâmetros adotados no projeto de expansão
 - Determinação dos intervalos de confiança de 95 e 99% dos parâmetros de DBO, DQO, SS, PT e NT a partir dos dados de monitoramento de qualidade de 2020 e comparação com os adotados no projeto da 1ª fase da 2ª Etapa de expansão

4.1 - TRATAMENTO DOS DADOS FORNECIDOS

Ao se obter qualquer dado de monitoramento de qualidade é fundamental garantir sua acurácia e precisão. Segundo von Spearling *et al.* (2020), acurácia é definida como a proximidade entre os valores medidos e os encontrados de fato na natureza num tempo definido, ou seja, se refere a representatividade da amostra sob a análise executada, assim, não há formas precisas de se medir a acurácia em análises laboratoriais. Já a precisão é definida como a não variabilidade de resultados obtidos a partir das mesmas análises em mesmas condições. Na prática a precisão costuma ser verificada pela repetição de análises e cálculo de medidas de variação como a variância, o desvio padrão e o erro padrão. Ressalta-se que sempre haverá um nível de incerteza por conta da natureza variável dessas informações ao longo do tempo e do espaço.

4.1.1 - Parâmetros de Qualidade

Em SES, onde se está continuamente recebendo, tratando e lançando esgoto, é impossível saber os valores exatos da concentração dos poluentes presentes. Por mais frequentes que sejam as análises, no intervalo entre elas não se tem informação e não há garantia da não variação das concentrações. Dessa forma, ao se analisar uma amostra o objetivo é obter uma informação que permita fazer uma inferência num nível de confiança adequado acerca do valor real presente no efluente naquele momento (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

Os dados de concentração dos parâmetros foram fornecidos como sendo referentes à caracterização semanal do esgoto nos diversos pontos amostrados, não sendo informados os dias específicos das análises, contudo, em visita técnica os operadores da estação afirmaram serem realizadas duas análises por semana da maioria dos parâmetros. Além disso, em visita técnica se constatou que apenas as amostras dos pontos afluente e efluente à estação são do tipo compostas, coletadas por amostradores automáticos. As amostras dos demais pontos são coletadas de forma manual, procurando sempre serem feitas na mesma região das unidades e no mesmo horário do dia, de forma a produzirem dados o mais consistente possíveis entre si. A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros de qualidade que foram fornecidos dados de cada ponto.

Tabela 4.1 – Tipo de amostra e parâmetros avaliados conforme ponto de amostragem

Ponto de amostragem	Tipo de amostra	Parâmetros avaliados
Afluente a estação	Composta	DBO, DQO, NT, PT, CT, <i>E.Coli</i> , SS, ST, STF, STV
Efluente preliminar	Simple	SS, ST, STF, STV
Efluente tratamento primário	Simple	DBO, DQO, NT, PT, SS
Efluente da estação	Composta	DBO, DQO, NT, N-NH _x , PT, CT, <i>E.Coli</i> , SS, Mat.Sed

A avaliação da tendência de centralidade dos dados foi feita por meio de média aritmética, mediana e média geométrica, permitindo a verificação do melhor ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidades normal ou log-normal por meio da análise dos diagramas de caixa dos parâmetros e da análise do coeficiente de assimetria dos dados.

A avaliação da tendência de centralidade dos dados de concentração de *E. Coli* foi feita

exclusivamente por mediana e média geométrica, em virtude dos seus elevados valores e variações, conforme sugerido por von Spearling *et al.* (2020).

A tendência de variação dos valores das concentrações, foi calculada por meio do desvio padrão e do coeficiente de variação dos dados. As incertezas associadas aos dados foram avaliadas por meio do cálculo de erro padrão, o qual permite calcular o intervalo de confiança, possibilitando a verificação da probabilidade de um intervalo de valores conter a média real do parâmetro, sendo menor o grau de incerteza quanto maior for o número de dados (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

A avaliação da performance da estação foi feita por meio do cálculo de eficiência de remoção para cada par de dados (afluente e efluente) de concentração dos parâmetros, visando obter a distribuição de eficiências da estação nos momentos avaliados.

4.1.2 - Vazão

A CAESB forneceu os dados de vazão afluente a ETE na forma de volume acumulado diário. A ETE Sobradinho não realiza medição da vazão efluente, contudo, é esperado que os valores de vazão afluente e efluente a ETE sejam aproximadamente iguais (CAESB, 2017).

As vazões foram avaliadas de forma análoga aos parâmetros de qualidade.

Em virtude de não terem sido fornecidos os dias de realização das análises dos parâmetros de qualidade, não foi possível o cruzamento direto das informações de concentração dos parâmetros com as informações de vazão. Visando estimar as cargas poluentes, foi calculada a vazão média diária das semanas e multiplicado esse valor pelo das concentrações semanais dos parâmetros.

4.1.3 - Dados faltantes

É comum que em bases de dados de monitoramento de ETE existam ocasionalmente lacunas de dados, dentre os diversos motivos para isso estão as falhas dos equipamentos de análises, condições climáticas inadequadas e as falhas nas coletas de amostras (VON SPEARLING *et al.*, 2020). Dessa forma, a etapa primeira etapa do tratamento dos dados fornecidos consistiu na escolha preliminar dos parâmetros a serem avaliados por estatística descritiva com base no número de dados disponíveis.

4.1.4 - Limites de Detecção Instrumentais e Analíticos

O principal propósito de uma ETE é a remoção de poluentes, em virtude disso é comum que as concentrações desses nos efluentes de determinadas unidades possam ser muito baixas para determinadas formas de detecção. Como o monitoramento da concentração de poluentes é feito por meio das análises laboratoriais de amostras, conforme métodos analíticos químicos e biológicos, é fundamental se ter conhecimento acerca dos limites de detecção inerentes a cada método. Segundo von Spearling *et al.* (2020), além dos casos em que estão faltando dados há a possibilidade de os valores não poderem ser medidos por estarem acima ou abaixo do Limite de Detecção do Método (LDM) empregado.

Ainda segundo von Sperling *et al.* (2020), o limite de detecção do método (LDM) é definido como a concentração de poluente que com 99% de probabilidade produz um resultado de concentração diferente do branco. Seu cálculo é feito por meio da multiplicação do desvio padrão de, no mínimo, 7 análises de concentração feitas em amostras preparadas com água deionizada, com o inverso da distribuição de t-student com probabilidade de 99% e 6 graus de liberdade ($n-1$ onde n é o número de análises de concentração em amostras “branco”), somada a média das concentrações das análises de “branco”.

A análise dos limites de detecção dos métodos empregados está sendo realizada nesse ano na CAESB, de forma que apenas alguns dos parâmetros possuem os limites estipulados, estando esses apresentados na Tabela 4.2 juntamente com a referência do método analítico adotado.

Tabela 4.2 – Limite de detecção dos métodos conforme parâmetro e método analítico empregado (Fonte: CAESB, 2021)

Parâmetro	Referência do método	Faixa de trabalho
DBO	SMWW - 23ª ed. - 5210 D	> 2mg/L
DQO	Merck 114560/ Merck 114541	> 10mg/L
Fósforo Total	SMWW - 23ª ed. - 4500-P.B 5; 4500-P D	0,05-2,00mg/L
Nitrogênio Total	Merck 114537	0,5-150mg/L

4.1.5 - Divisão dos dados conforme as características do sistema da ETE

No intervalo temporal dos dados fornecidos ocorreu a retirada de operação do Tanque Pulmão para reforma, que durou de junho de 2018 até dezembro de 2019 (Adasa, 2019a). Segundo os operadores da estação, em maio de 2018 o tratamento primário quimicamente

assistido (TPQA) passou a ser realizado na ETE, de forma que há fortes indícios de que o tanque pulmão começou a apresentar problemas em maio ou pouco antes disso. Não foi encontrado em nenhum documento a data exata da identificação dos problemas e da paralisação do tanque pulmão. Por se tratar de uma das principais unidades da ETE, representando mais da metade da capacidade de tratamento secundário da estação em condições operacionais normais, os dados e as análises estatísticas desenvolvidas foram divididos em 3 intervalos temporais:

- Antes da reforma (AR): Período entre janeiro de 2017 e abril de 2018;
- Em reforma (R): Período entre maio de 2018 e dezembro de 2019. Reforma do tanque pulmão e adoção do TPQA;
- Operação depois da reforma (DR): Referente ao período de 2020, retomada do tratamento com o tanque pulmão e interrupção do TPQA.

4.1.6 - Dados com valores discrepantes ao esperado (*Outliers*)

Os *Outliers* são medições as quais apresentam valores muito menores ou maiores que o resto do conjunto de dados. Suas origens mais comuns são: Problemas com a coleta, armazenamento e conservação de amostras; Problemas nas análises laboratoriais e Falhas na transcrição de dados para a base de dados. Por vezes é possível identificar eles por meio dos significados físicos das medições, por exemplo, a DBO de uma amostra nunca pode ser maior do que a DQO dela, sendo a ocorrência desta distorção um sinal claro de erro (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

Apesar de ser uma informação passível de ser percebida visualmente por meio da plotagem de gráficos conjunta a interpretação dos valores tipicamente encontrados, os *outliers* podem também ser determinados, em carácter preliminar, por meios estatísticos através dos percentis referentes ao primeiro e terceiro quartil do conjunto de dados. Conforme apresentados nas equações (2) e (3).

$$LIO = Q1 - 1,5 * (Q3 - Q1) \quad (2)$$

$$LSO = Q1 + 1,5 * (Q3 - Q1) \quad (3)$$

Onde,

- *LIO* = Limite Inferior do *Outlier*;
- *LSO* = Limite Superior do *Outlier*;
- *Q1* = Primeiro quartil das amostras, valor ao qual 25% dos dados são menores

ou iguais;

- $Q3$ = Terceiro quartil das amostras, valor ao qual 75% dos dados são menores ou iguais.

A análise estatística dos *outliers* foi realizada separadamente para cada um dos momentos da ETE apresentados na Seção 4.1.5 - .Contudo, cabe ressaltar que devido à alta variabilidade nas características do esgoto, é comum que as ETE's possuam um comportamento dinâmico e seja relativamente frequente a ocorrência de medições com valores atípicos em relação aos conjuntos de dados pré-existentes, podendo esses dados aparentemente discrepantes serem de fato reflexos de um comportamento real existente na ETE ao invés de um erro. Por conta disso, em SES todo *outlier* deve ser cuidadosamente analisado (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

Como apenas por análise dos dados obtidos não é possível ter uma boa percepção acerca dessa dinamicidade do tratamento, em caso de dados atípicos se deve buscar o diário de operação da ETE sob a finalidade de verificar se não ocorreu nenhum evento especial nesse dia ou no momento de coleta das amostras (VON SPEARLING *et al.*, 2020). Contudo, devido ao cenário atual da pandemia do COVID-19, e a inexistência desse diário em formato digital, não se pode realizar essa verificação.

Dessa forma, com o intuito de eliminar apenas os dados com forte discrepância ao esperado, se desconsiderou apenas os dados que possuíssem discrepância em relação ao seu significado físico ($DBO > DQO$, $SS > ST$) e os dados que ficassem fora dos limites, calculados pelas equações (2) e (3), e simultaneamente estivessem com valores diferentes em mais de 2 vezes o desvio padrão da amostra em relação à mediana. A escolha desse critério adicional se pauta no fato de que, em uma distribuição normal ou log-normal ideal, há uma probabilidade de menos de 5% dos dados que estão fora desse intervalo serem representativos em relação à média da população de dados (VON SPEARLING *et al.*, 2020).

No caso dos dados de DQO e SS se avaliou ainda o comportamento dos dados de um parâmetro em relação ao do outro parâmetro ao longo do tempo, haja visto que, ainda segundo von Spearling *et al.* (2020), há uma forte relação entre esses dois parâmetros.

4.2 - AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DA ETE EM RELAÇÃO AS REGULAMENTAÇÕES

A conformidade do efluente final da ETE ao preconizado pela sua outorga de lançamento de efluentes e foi avaliada exclusivamente em relação aos parâmetros de DBO, vazão e carga orgânica para os anos de 2017 a 2020. A análise foi feita por meio cálculo do percentual de dados inconformes com o regulamentado e pela avaliação do percentual inconforme obtido considerando as distribuições de probabilidade dos dados como perfeitamente normais e perfeitamente log-normais.

As cargas orgânicas também foram avaliadas em relação ao seu impacto sobre o corpo hídrico por meio da comparação dos valores em relação ao considerado no Estudo de Autodepuração do Ribeirão Sobradinho (CAESB, 2013) e seus resultados, permitindo a avaliação da conformidade do tratamento ao preconizado pela resolução CONAMA 357 de 2005.

4.3 - AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS ADOTADOS NO PROJETO DE EXPANSÃO DA ETE

Os valores de concentração dos parâmetros de qualidade do esgoto afluente, adotados no projeto executivo da 1ª fase da 2ª etapa de expansão da ETE, foram avaliados por meio da comparação com os intervalos de confiança de 95% e 99% das concentrações dos parâmetros de qualidade do monitoramento de 2020, período referente ao momento depois da reforma.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - TRATAMENTO DOS DADOS FORNECIDOS

A ETE Sobradinho monitora uma grande variedade de parâmetros, contudo, o número de análises de cada um deles difere bastante. O primeiro passo da avaliação dos dados foi verificar a quantidade de dados de cada parâmetro conforme o ponto de amostragem.

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

Parâmetros	Afluente	Efluente Trat. Preliminar	Efluente Trat. Primário	Efluente Final	Total
DBO (mg/L)	171	-	3	169	343
DQO (mg/L)	209	-	156	208	573
N-NHx (mg/L)	-	-	-	198	198
NT (mg/L)	57	-	5	53	115
Ptot (mg/L)	205	-	148	204	557
CT (NMP/100 mL)	33	-	-	32	65
<i>E.Coli</i> (NMP/100 mL)	40	-	-	40	80
SS (mg/L)	209	2	157	207	575
ST (mg/L)	91	106	-	-	197
STF (mg/L)	81	100	-	-	181
STV (mg/L)	82	101	-	-	183
Mat.Sed	-	-	-	98	98
Total	1178	309	469	1209	3165

As informações de SS do efluente do tratamento preliminar (Trat. Preliminar), assim como as de DBO e NT do efluente do tratamento primário (Trat. Primário) não foram avaliadas no presente trabalho em virtude da baixa disponibilidade de dados. Além disso, não foi fornecida nenhuma informação quanto ao que seria o parâmetro Mat.Sed, qual a metodologia utilizada para sua análise e qual a sua unidade de medida, de forma que esses dados também foram desprezados.

O passo seguinte da avaliação foi a verificação dos dados fornecidos quanto aos limites de detecção dos métodos (LDM), apresentados na Tabela 4.2. Todos os dados, a exceção dos de Ptot, se encontram dentro da faixa de trabalho estipulada. No caso do Ptot, segundo os operadores da ETE, é feita a diluição das amostras para a realização do ensaio dentro dos limites do método, sendo o dado fornecido a concentração obtida no ensaio multiplicada pelo fator de diluição adotado. Não foram fornecidas informações quanto a possíveis omissões de dados os

quais estivessem acima ou abaixo do LDM, dessa forma, nenhum processo foi realizado no sentido de estipular valores para os casos em que as análises apresentassem valores acima ou abaixo do LDM.

Para a análise de dados discrepantes foi avaliada a relação entre os dados de DQO e SS. A relação foi confirmada para o esgoto afluente, efluente primário e efluente final, por gráficos de série temporal (exemplo Figura 5.1) e gráficos de correlação (exemplo Figura 5.2), apresentando R^2 superior a 0,7 em todos os casos.

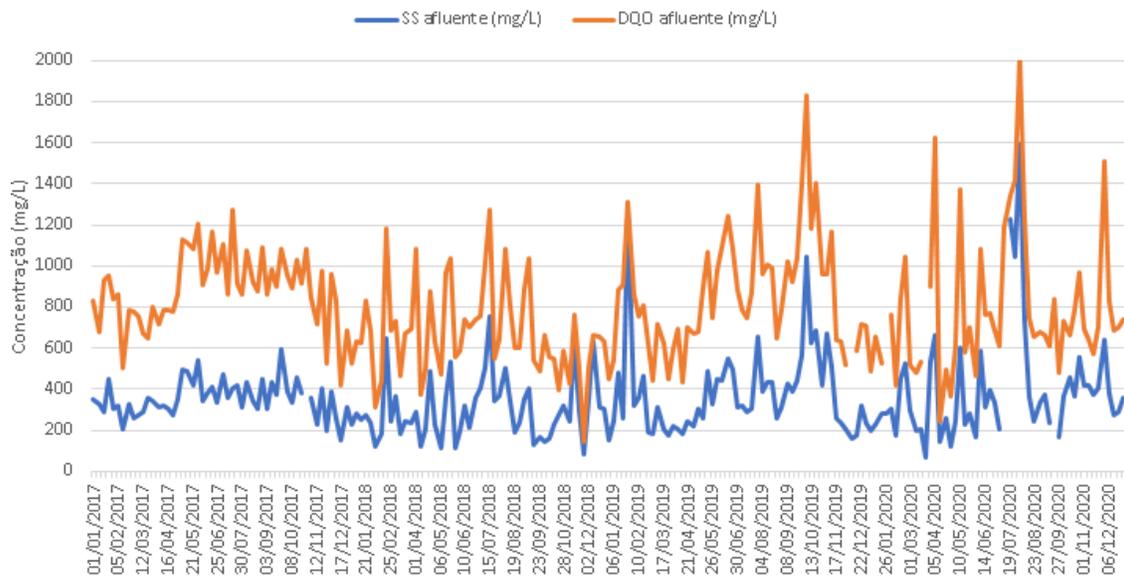


Figura 5.1 - Série temporal de SS e DQO do esgoto afluente a ETE

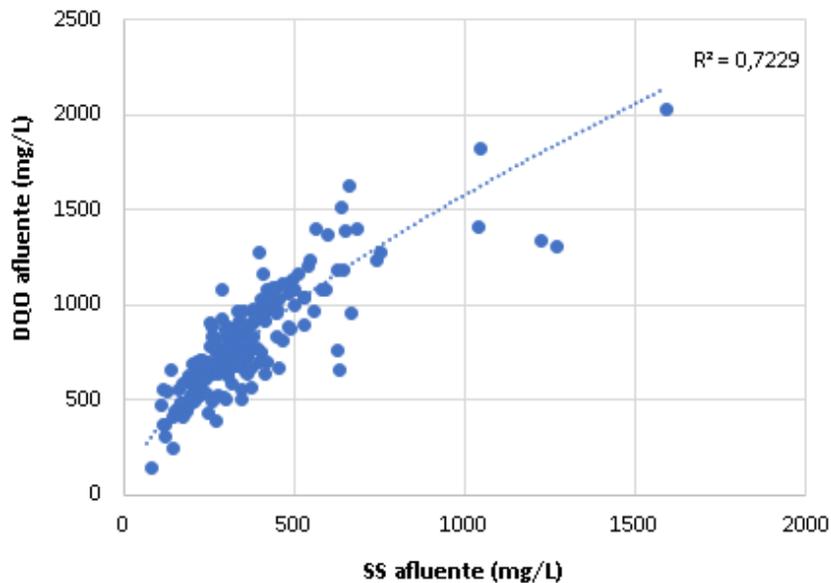


Figura 5.2 – Gráfico de correlação entre SS e DQO do esgoto afluente a ETE

A análise de dados discrepantes permitiu a exclusão de 42 outliers do conjunto total de 2454 dados dos parâmetros de SS, DBO, DQO, Ntot, NHx, Ptot, CT e *E.Coli*.

Além disso, optou-se por não avaliar a performance da ETE em relação ao tratamento preliminar. Os dados de concentração de sólidos apresentaram alta diferença em relação ao esperado, sendo a concentração do efluente do tratamento preliminar superior a concentração do afluente em mais de 60% das semanas em que ambos foram amostrados. Embora seja possível que o tratamento preliminar estivesse com problemas operacionais em momentos específicos, a recorrência dos dados discrepantes pode também ser fruto da diferença entre os tipos de amostra, haja visto que as amostras do ponto afluente são compostas, representando de forma aproximada as características do esgoto do dia como um todo, enquanto as do tratamento primário são simples, retratando apenas as características do momento.

A Tabela 5.2 sintetiza o número de dados de cada parâmetro avaliado em cada momento da ETE após a análise de discrepância dos dados.

Tabela 5.2 – Número de dados de cada parâmetro após a remoção dos outliers, conforme ponto de amostragem e momento da ETE.

Parâmetro	Ponto de amostragem	Antes da reforma	Reforma	Depois da reforma	Total
SS	Afluente	69	87	50	206
	E. Primário	63	79	14	156
	E. Final	69	87	50	206
DBO	Afluente	60	67	41	168
	E. Final	53	73	43	169
DQO	Afluente	70	86	50	206
	E. Primário	58	83	14	155
	E. Final	70	87	50	207
NT	Afluente	0	22	34	56
	E. Final	0	16	34	50
N-NHx	E. Final	68	77	50	195
Ptot	Afluente	69	84	48	201
	E. Primário	57	75	13	145
	E. Final	69	83	51	203
CT	Afluente	14	15	0	29
	E. Final	13	15	0	28
E.Coli	Afluente	8	16	13	37
	E. Final	8	16	13	37
Total		818	1068	568	2454

Em virtude de não haver dados de CT no período referente a operação pós reforma, se optou por realizar a análise de performance da ETE exclusivamente por meio dos dados de E.Coli, visando a possibilidade de comparação das eficiências de remoção nos diferentes momentos da estação.

5.2 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE MONITORAMENTO

5.2.1 - Vazão

Avaliando a Figura 5.3, a qual apresenta a média mensal dos dados de vazão ao longo dos anos de 2017 a 2020, percebe-se que há uma distribuição não constante da vazão ao longo dos meses. Em todos os anos a vazão média mensal de esgoto afluyente a ETE e o desvio padrão das vazões foram superiores no período chuvoso típico do Distrito Federal, de outubro a abril segundo CAESB (2019). Há, portanto, um forte indicativo da existência de ligações clandestinas de águas pluviais na rede de esgoto da região.

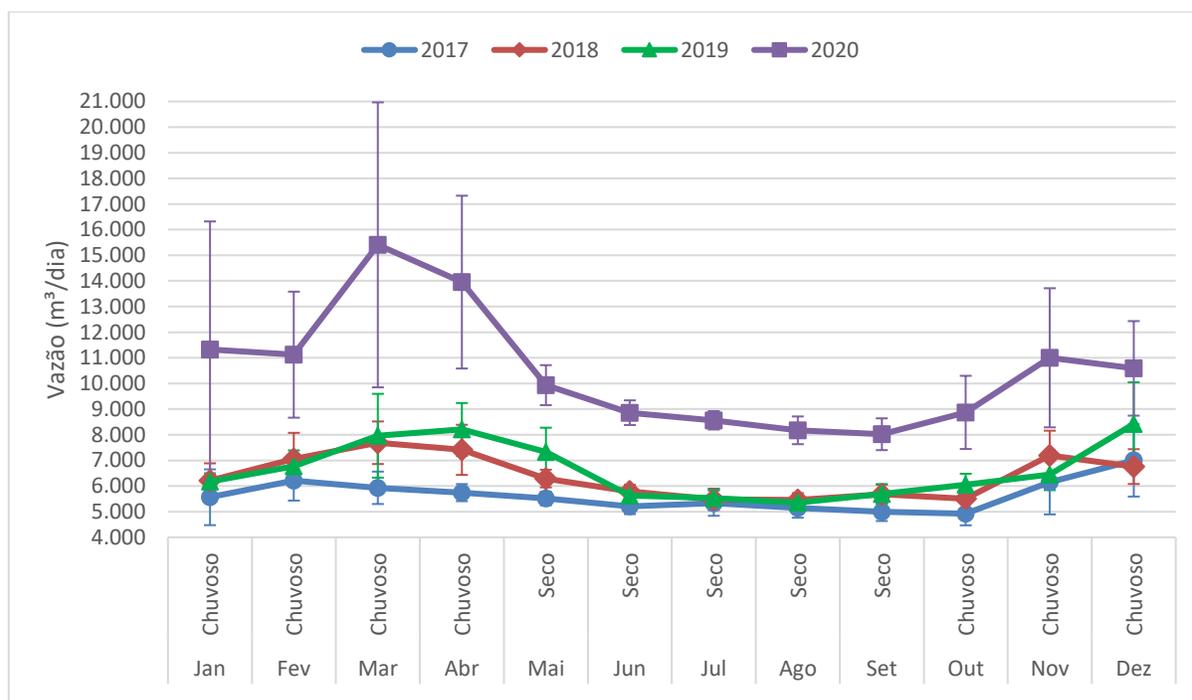


Figura 5.3 – Gráfico da vazão média mensal de esgoto afluyente a ETE Sobradinho no período de 2017 a 2020.

No intuito de possibilitar a avaliação estimada das cargas poluentes dos parâmetros monitorados, se calculou a média semanal das vazões diárias cobrindo exatamente os dias da

semana conforme a divisão estipulada pelo monitoramento dos parâmetros. A distribuição das médias semanais de vazão ao longo dos momentos da ETE é apresentada na Figura 5.4 por meio de diagramas de caixa.

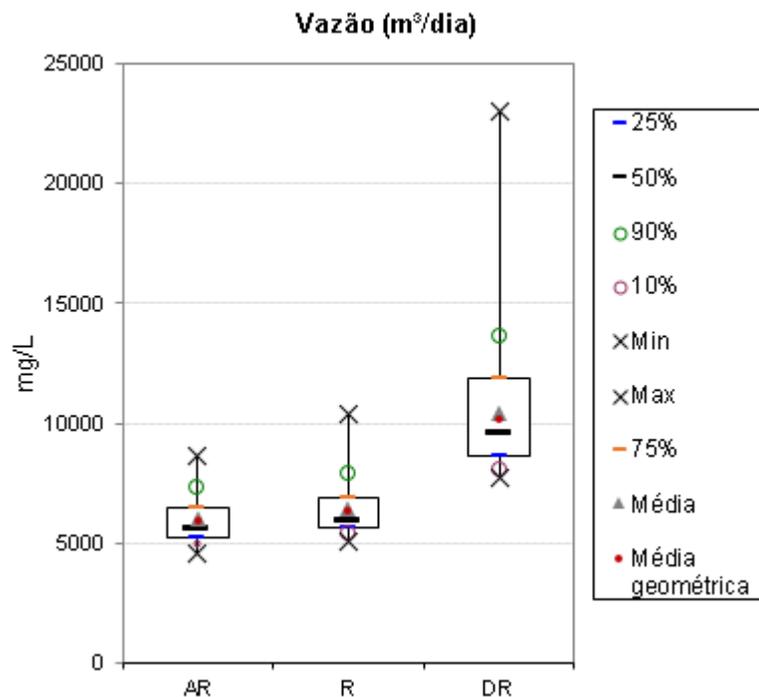


Figura 5.4 – Diagramas de caixa das vazões afluentes a ETE nos diferentes momentos de operação

Pela Figura 5.4 percebe-se um aumento da vazão de esgoto recebida e de sua variação ao longo do tempo, com crescimento súbito em 2020, período depois da reforma do tanque pulmão (DR). Dentre as justificativas para esse degrau de crescimento estão o término da construção de duas elevatórias de esgoto em Sobradinho II em janeiro de 2020, aumentando assim a região de atendimento da ETE Sobradinho; E a correção do ponto de medição de vazão na calha Parshall, realizado também em janeiro de 2020.

5.2.2 - Concentrações de DBO, DQO e sólidos suspensos

As distribuições das concentrações de DBO, DQO e SS no afluente, efluente primário e no efluente final são apresentadas em diagramas de caixas, respectivamente na Figura 5.5, na Figura 5.6 e na Figura 5.7.

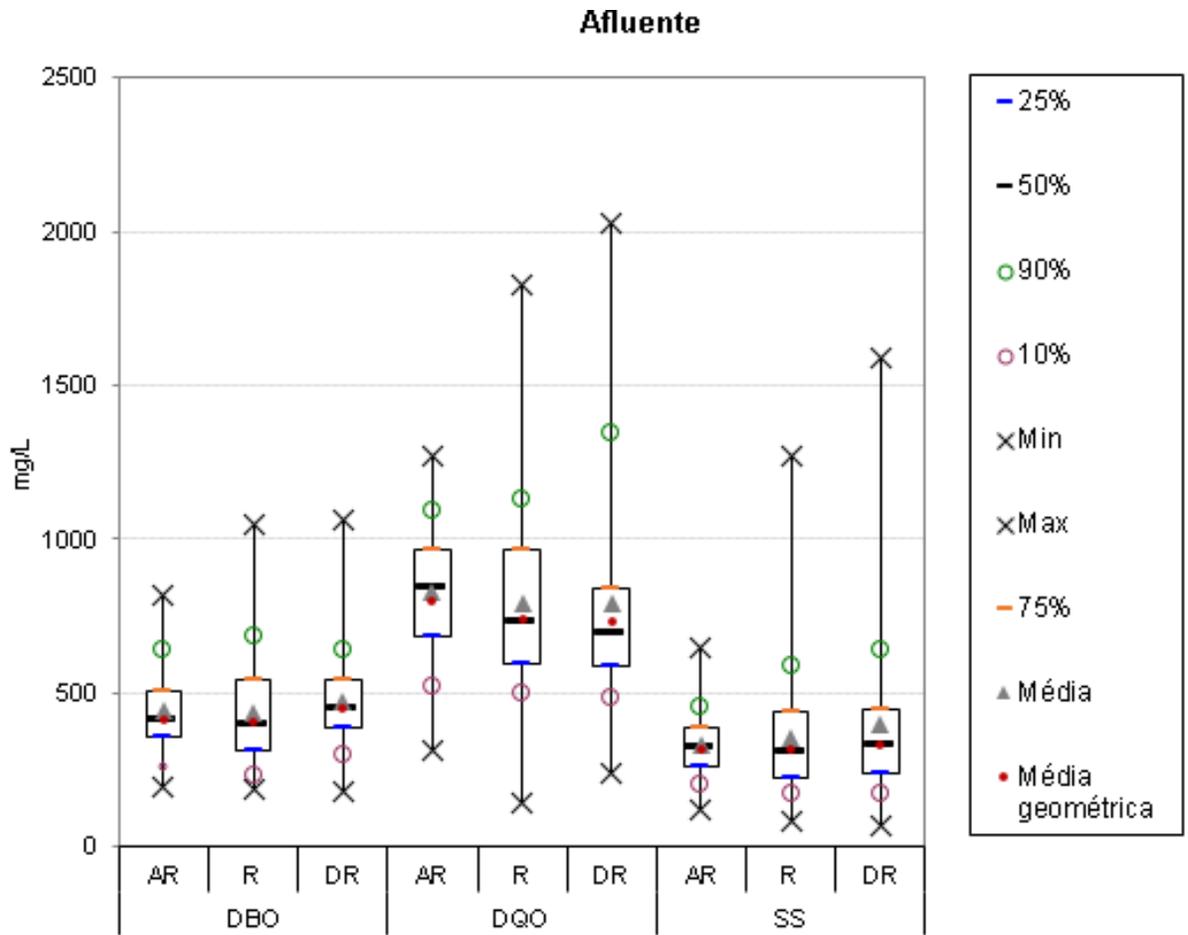


Figura 5.5 - Diagramas de caixa dos parâmetros de DBO, DQO e SS do esgoto afluente a ETE nos intervalos temporais de operação analisados

Pela Figura 5.5 é perceptível uma leve redução da mediana de concentração de DQO e um leve aumento da variabilidade SS no esgoto afluente a ETE ao longo do tempo.

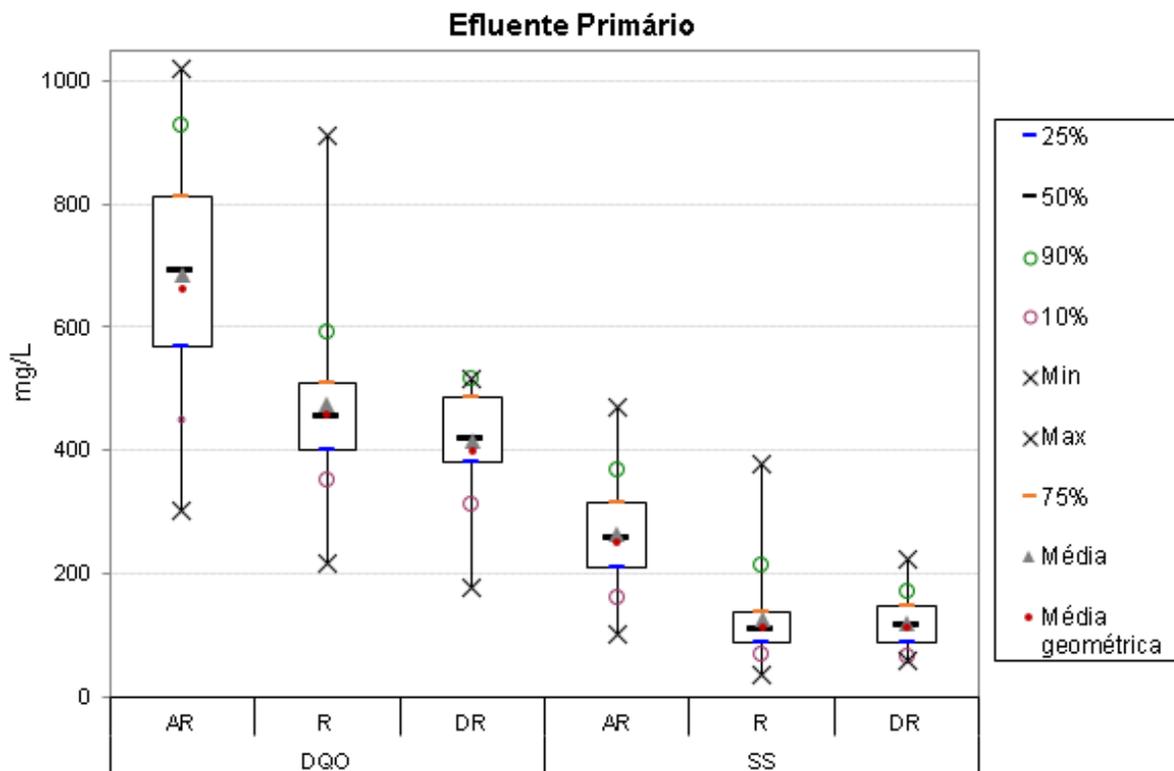


Figura 5.6 - Diagramas de caixa dos parâmetros de DBO, DQO e SS do efluente primário da ETE nos intervalos temporais de operação analisados

Pela Figura 5.6 é notável o impacto da modificação do tratamento no período da reforma da estação (R) em relação ao efluente primário. Com a implementação do tratamento primário quimicamente assistido (TPQA) se teve uma redução expressiva da média e da variação das concentrações de DQO e SS em relação ao momento anterior, o que era esperado uma vez que o TPQA usualmente possui eficiências superiores as obtidas pelo tratamento primário convencional por decantador primário.

Contrariamente ao esperado, depois da reforma (DR) e a suspensão do TPQA a distribuição dos dados permaneceu com medianas similares as do momento da reforma e sua variação diminuiu consideravelmente. Esse comportamento atípico das concentrações pode ser um indicativo de que os decantadores primários estivessem sendo operados de forma não otimizada no momento AR, possivelmente pela leitura da vazão afluente estar inadequada, haja visto que a posição de leitura foi corrigida em 2020. Ressalta-se também que o número de dados disponíveis para os parâmetros no período depois da reforma (DR) foi bem menor do que o dos demais períodos, como pode ser visto na Tabela 5.2, podendo ser essa uma das causas da discrepância do comportamento em relação ao esperado.

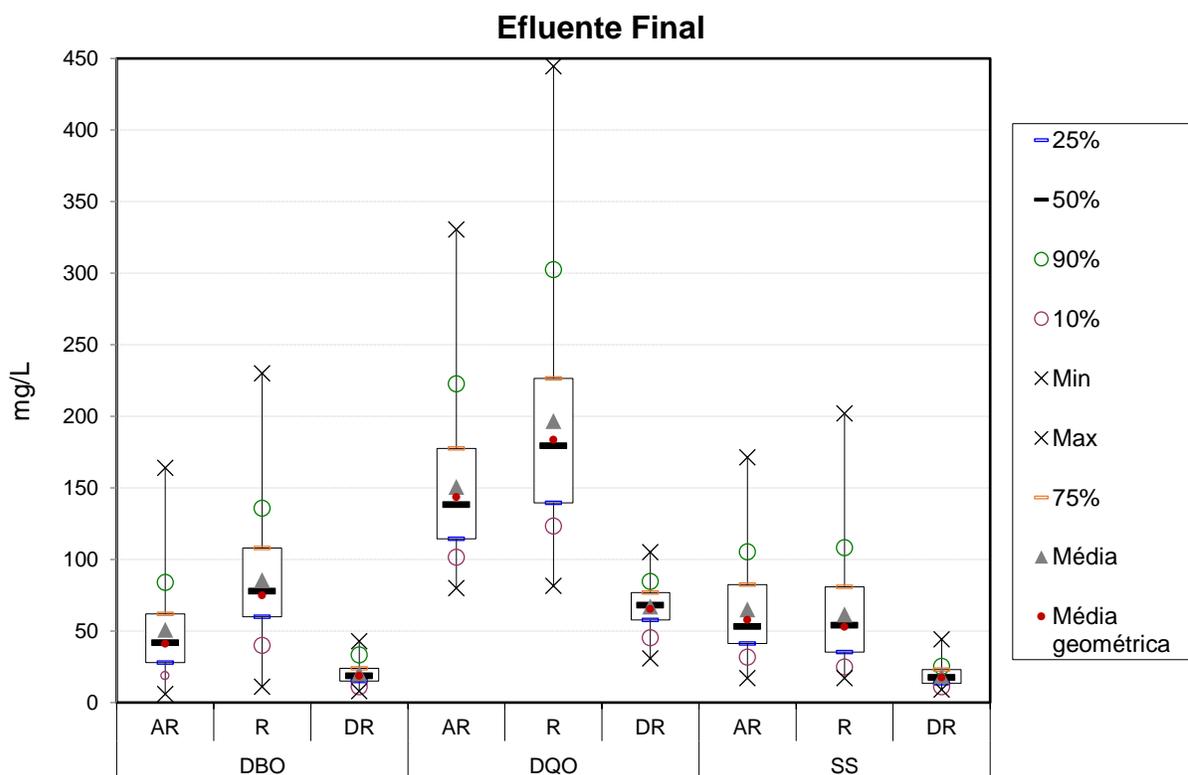


Figura 5.7 - Diagramas de caixa dos parâmetros de DBO, DQO e SS do efluente final da estação nos intervalos temporais de operação analisados

Pela Figura 5.7 percebe-se que o efluente final da ETE apresentou um aumento da mediana e da variabilidade de concentração de DBO e DQO no período referente a reforma da estação (R). Esse comportamento era esperado, uma vez que o tanque pulmão representa grande parte da capacidade de tratamento biológico da estação e sua operação foi paralisada. Cabe ressaltar que o impacto da reforma do tanque pulmão foi atenuado pela implementação em carácter emergencial do TPQA, apesar desse tratamento possuir uma eficiência de remoção de matéria orgânica bem menor do que a de sistemas de lodos ativado. Essa atenuação se torna mais perceptível pelo item 5.2.5 desse trabalho. O aumento da variabilidade das concentrações de DBO e DQO no período R pode ser justificado pela adaptação operacional em carácter emergencial, sendo necessário tempo e análises para se estabelecer e controlar a dosagem ideal de químicos em relação a vazão e as características do esgoto afluente, de forma a otimizar o TPQA.

No que se refere a SS, o efluente do período da reforma se manteve aproximadamente igual ao período anterior, indicando a robustez do funcionamento dos decantadores primários e

secundários mesmo com a implementação do TPQA.

O período depois da reforma (DR) apresentou uma redução expressiva da mediana e da variação das concentrações de DBO, DQO e SS em relação aos outros dois momentos da ETE. Essa redução pode ser justificada pelo melhor controle operacional da aeração e da recirculação de lodo ativado por meio dos sensores de medição em tempo real da concentração de OD e SS, os quais foram implementados no início do período DR, otimizando como um todo o tratamento realizado pelo sistema de lodos ativados. Outra possível justificativa para essa redução das concentrações de DBO e DQO no efluente é a alteração da posição dos aeradores no tanque pulmão, realizada no período DR.

5.2.3 - Concentrações de Nutrientes

As distribuições das concentrações de NT no esgoto afluente e no efluente final, assim como de Ptot no afluente, efluente primário e no efluente final são apresentadas em diagramas de caixa na Figura 5.8.

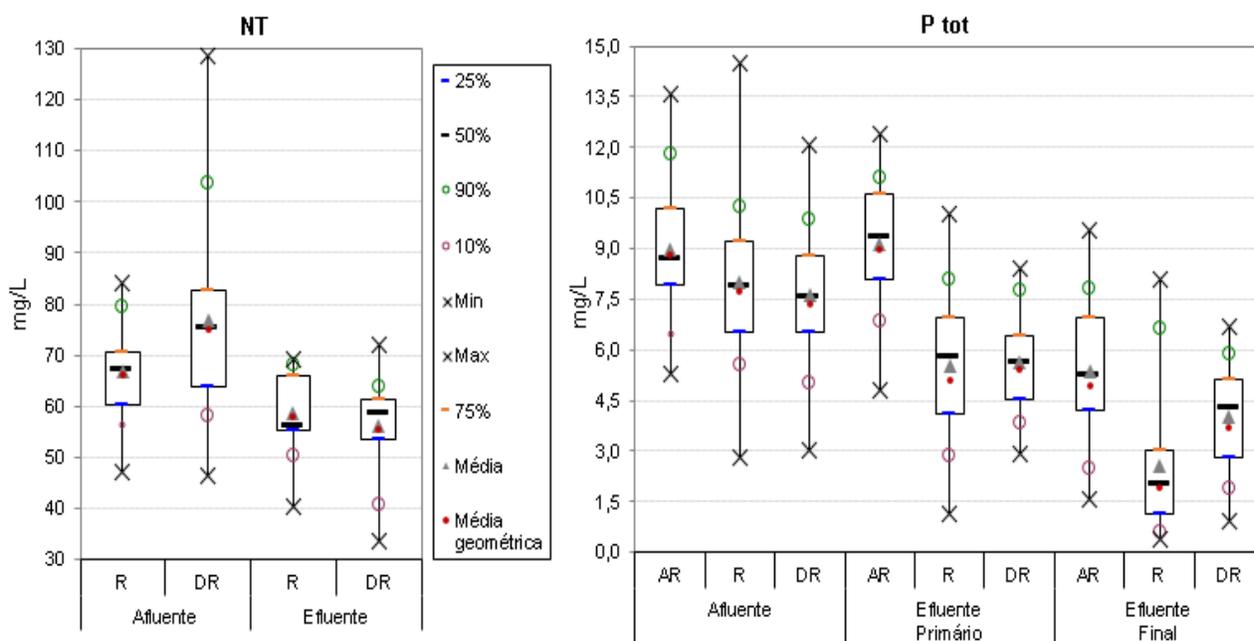


Figura 5.8 - Diagramas de caixa dos parâmetros de NT e Ptot conforme os intervalos temporais de operação analisados e os pontos de amostragem.

Pela análise da Figura 5.8 é perceptível a mudança das distribuições das concentrações de NT e Ptot no esgoto afluente a ETE. Ocorreu um aumento considerável da mediana e da variabilidade dos valores de NT entre os períodos da reforma (R) e depois da reforma (DR) da

estação, enquanto no caso do P_{tot} a mediana de concentração dos dados se reduziu ao longo do tempo.

Os diagramas de caixa das concentrações de P_{tot} no efluente primário mostram uma redução expressiva da mediana entre o período AR e R, um comportamento esperado, segundo Jordão e Pessoa (2011), devido a ocorrência de precipitação química do fósforo no decantador primário com a implementação do TPQA. Destaca-se que, conforme apresentado na Tabela 5.2, que o número de dados de concentração de fósforo do efluente primário no intervalo depois da reforma da ETE é consideravelmente menor do que o dos demais intervalos.

A influência da mudança do tratamento no período R também é perceptível nos diagramas de caixa das concentrações de P_{tot} no efluente final, sendo a mediana do período R muito inferior à do período AR e DR. Esse comportamento era esperado uma vez que o sistema de lodos ativados da ETE Sobradinho não foi projetado para a realização da remoção de nutrientes e, dessa forma, sem o TPQA não há nenhum processo em que essa remoção possa ser promovida de forma controlada. Cabe destacar que no período DR a mediana e variação das concentrações de P_{tot} no efluente final foram menores do que a do momento AR, um comportamento que não era esperado.

5.2.4 - Concentrações de E.Coli

As distribuições das concentrações de E.Coli no esgoto afluente e no efluente final da estação, são apresentadas nos diagramas de caixa da Figura 5.9, ressaltasse que nesse caso o eixo Y do diagrama está em escala logarítmica.

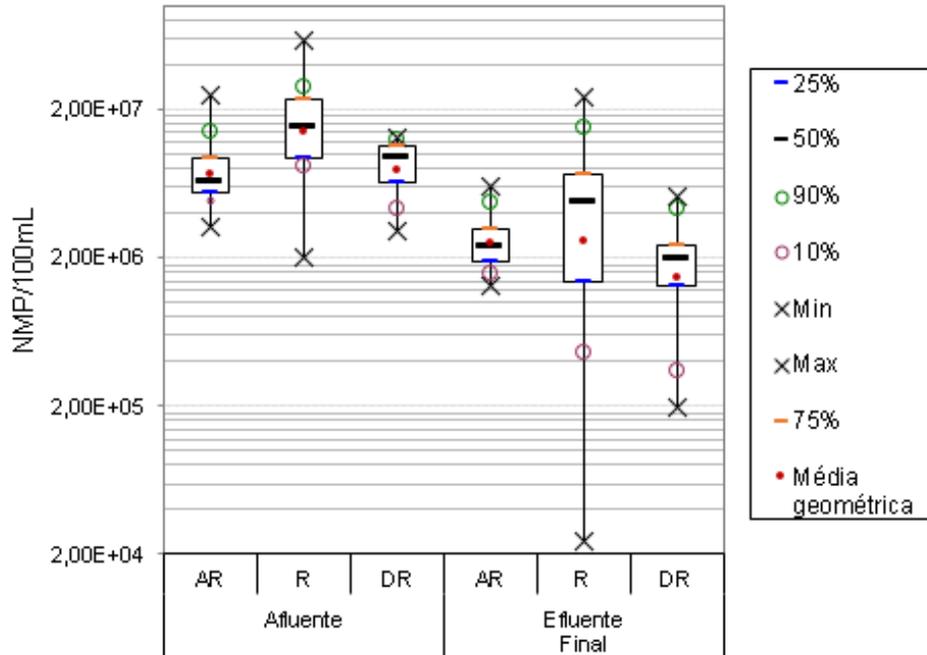


Figura 5.9 - Diagramas de caixa de E.Coli. conforme os intervalos temporais de operação analisados e os pontos de amostragem.

Pelos dados disponíveis, o comportamento da concentração de *E. Coli* no esgoto afluente apresentou oscilação considerável, com ênfase no período da reforma (R). Já no que se refere as concentrações efluentes, a ETE apresentou um aumento expressivo da variação no período da reforma (R). Ressaltasse que a disponibilidade de dados desse parâmetro foi bastante restrita, conforme indicado na Tabela 5.2.

5.2.5 - Eficiências da ETE Sobradinho

- **DBO, DQO e SS:**

As distribuições das eficiências de remoção da ETE para os parâmetros de DBO, DQO e SS, são apresentadas nos diagramas de caixa da Figura 5.10. Enfatizasse que as médias geométricas das eficiências foram obtidas por meio da relação “1-eficiência de permanência”, conforme apresentado na Item 3.5.3 desse trabalho.

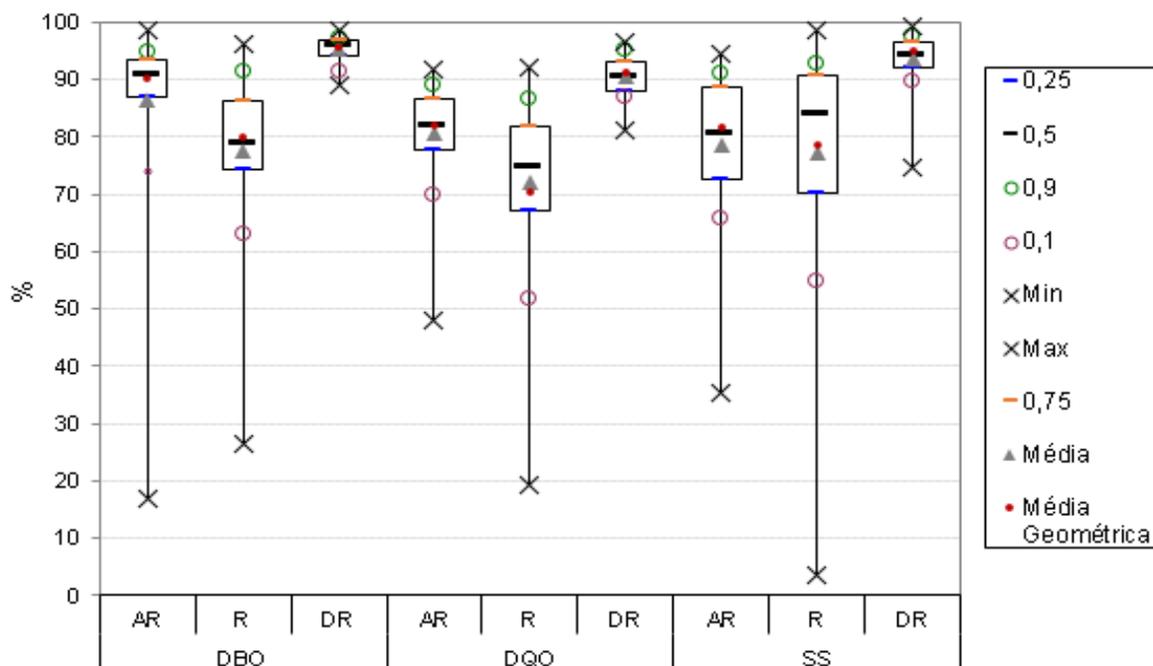


Figura 5.10 - Diagramas de caixa das eficiências de remoção da ETE para os parâmetros de DBO, DQO e SS nos intervalos temporais de operação analisados

As menores eficiências de remoção de DBO e DQO no período R em relação ao período AR e DR são justificadas pela alteração do tratamento da estação no período de reforma da ETE, em que devido a necessidade de paralisação da operação do tanque pulmão (unidade de tratamento biológico da ETE) se implementou em carácter emergencial o TPQA, visando minimizar os impactos dessa redução expressiva de capacidade de tratamento secundário da ETE. O aumento da dispersão das eficiências de remoção de DBO, DQO e SS no momento da reforma (R), em relação aos demais períodos, pode ser justificado pelo tempo necessário para ajuste e otimização da dosagem de químicos para as condições e variações das características do esgoto afluente, além do tempo necessário para o estudo e treinamento dos operadores ao processo de TPQA.

No período DR a ETE apresentou uma mediana maior e uma variação menor de eficiência de remoção de DBO, DQO e SS do que no período AR. Esse comportamento pode ser justificado pelo melhor controle operacional, possibilitado pelos sensores de OD e SS em tempo real nos reatores aerados; e pela melhor distribuição dos aeradores no tanque pulmão.

As eficiências de remoção de DBO do período AR estão abaixo e acima do esperado teoricamente para um sistema de lodos ativados convencional (85-95%, segundo Jordão e Pessoa (2011)), respectivamente, em 20% e 8% dos dados. Já no período DR se encontram

apenas dentro e acima da faixa esperada, respectivamente em 89% e 11% dos dados.

As eficiências de remoção de SS dos períodos AR e DR estão abaixo do esperado teoricamente para um sistema de lodos ativados convencional (85-95%), respectivamente, em 67% e 4% dos dados (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

Pela comparação da Figura 5.7 com a Figura 5.10 se percebe que o comportamento das concentrações efluentes não é perfeitamente representado pelas eficiências de remoção, enfatizando a importância de uma avaliação conjunta das informações.

- **NT, Ptot e *E. Coli*:**

As distribuições das eficiências de remoção da ETE para os parâmetros de NT, Ptot e *E. Coli*, são apresentadas nos diagramas de caixas da Figura 5.11. Ressalta-se que a ETE não foi projetada visando a remoção de nutrientes e patógenos, de forma que baixas eficiências de remoção nesses parâmetros não são inesperadas.

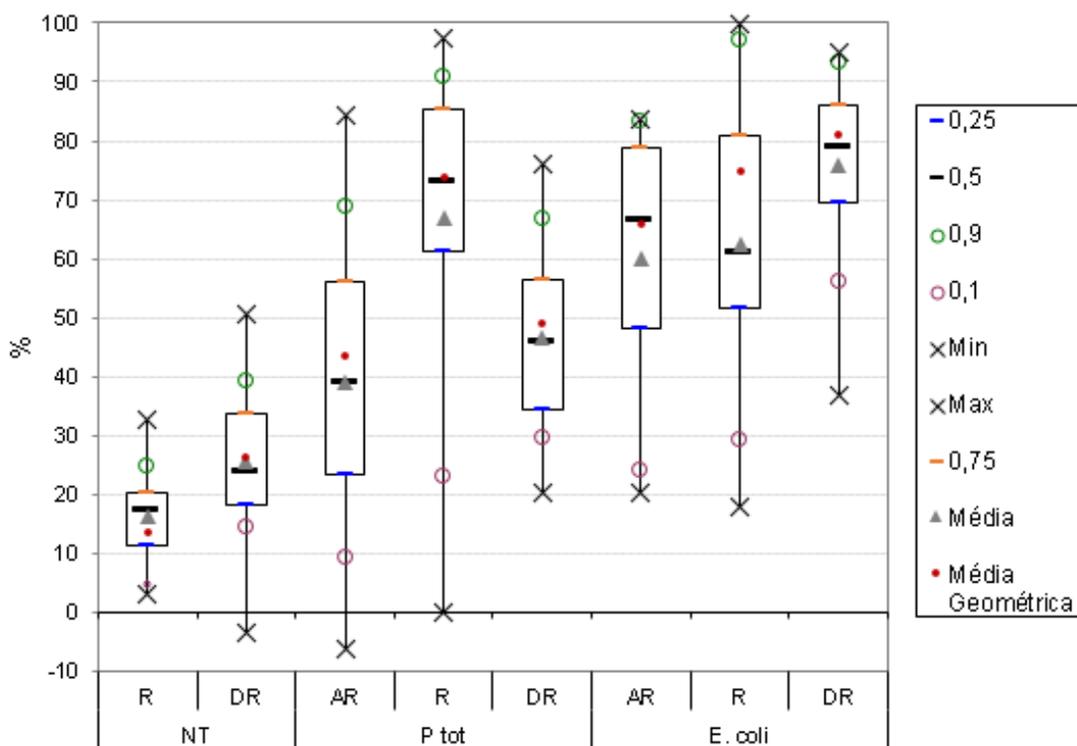


Figura 5.11 - Diagramas de caixa das eficiências de remoção da ETE para os parâmetros de NT, Ptot nos intervalos temporais de operação analisados

Em relação ao NT, a ETE apresentou um aumento da mediana de eficiência de remoção do período R para o DR.

No que se refere ao Ptot, o sistema apresentou, conforme o esperado, um aumento da

mediana de eficiência de remoção no período R, em que se realizou o TPQA, isso se deve ao fato de o TPQA ser o único tratamento adotado na estação que possibilita a remoção controlada de P_{tot} por meio da precipitação química. Ressalta-se a menor dispersão da distribuição de eficiências no período DR, para o qual não foram encontradas explicações.

Já no que tange a *E. Coli*, não era esperada uma alteração expressiva das distribuições de eficiências entre os momentos da ETE, sendo inesperado o aumento da mediana e a redução da variação de eficiência de remoção encontrados no período DR. Enfatizasse que o número de dados de *E.Coli* é baixo para a caracterização da eficiência de tratamento da ETE, apenas permitindo ter uma noção do comportamento geral, podendo as eficiências reais diferirem consideravelmente do calculado.

- **Eficiências do tratamento primário e secundário**

As distribuições das eficiências de remoção do tratamento primário e secundário da ETE para os parâmetros de DQO e SS e P_{tot} , são apresentadas nos diagramas de caixa da Figura 5.11. Ressalta-se que o tipo de amostras do efluente primário difere do tipo das amostras do esgoto afluente e efluente final da ETE, de forma que as eficiências apresentadas são estimativas menos precisas da eficiência do tratamento primário estação.

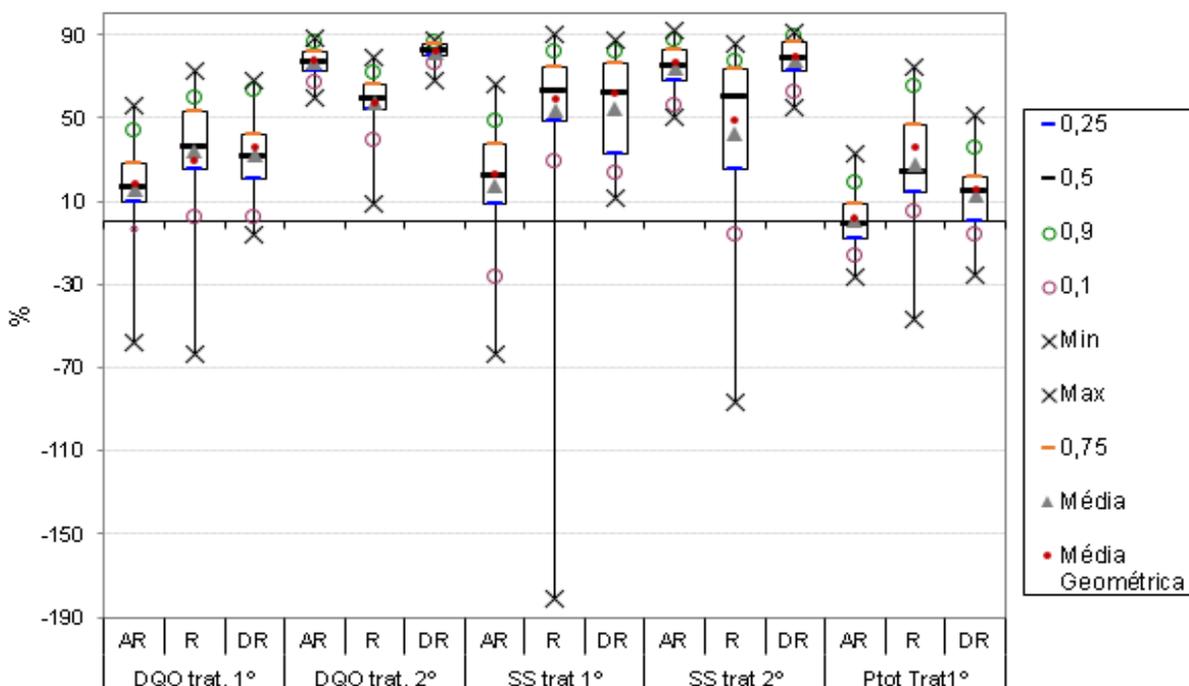


Figura 5.12 - Diagramas de caixa das eficiências de remoção no tratamento primário (trat.1°) e secundário (trat.2°) da ETE para os parâmetros de DQO, SS e P_{tot} nos intervalos temporais de operação analisados

No que se refere ao tratamento primário observa-se o aumento da mediana de eficiência de remoção de DQO e SS e P_{tot} no período R, o que era esperado devido a maior eficiência teórica do TPQA em relação a decantação primária convencional. No período DR há uma redução dessas medianas, contudo, inesperadamente se mantendo acima das encontradas no período AR, o que pode ser um indicativo da operação não otimizada dos decantadores primários no período AR, possivelmente em virtude da medição inadequada da vazão de esgoto, a qual teve seu ponto de medição corrigido apenas no período DR.

As eficiências de remoção de SS dos períodos AR e DR estão abaixo do esperado teoricamente para um Decantador Primário (40-60%, segundo Jordão e Pessôa (2011)), respectivamente, em 79% e 35% dos dados. Já as do período R estão abaixo do esperado para um TPQA (70-85%, segundo Jordão e Pessôa (2011)), em 59% dos dados.

Já no que tange ao tratamento secundário, percebe-se que houve uma redução da mediana e um aumento da dispersão das eficiências de DQO e SS no período R, o que é esperado haja vista que parte do efluente do TPQA não passava por nenhum outro processo de tratamento antes de ir para o decantador secundário e já havia passado por decantação no decantador primário.

5.3 - AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DA ETE EM RELAÇÃO AS REGULAMENTAÇÕES

5.3.1 - Vazão

Segundo a Outorga de lançamento de efluentes (Adasa, 2014), prorrogada pela Resolução N° 07, de 22 de maio de 2019 (Adasa, 2019d), a ETE pode fazer o lançamento de no máximo 196 L/s de esgoto tratado no corpo receptor, o que equivale a 16.934,4 m³/dia. Pela Figura 5.4 vemos que esse valor foi excedido apenas no período DR e em um pequeno número de casos, mais precisamente em 21 dos 366 dias de 2020, sendo todos durante o período chuvoso, o que é um forte indicativo da ligação clandestina de águas pluviais na rede de coleta de esgoto.

É importante ressaltar que na ETE Sobradinho o decantador primários maiores opera com TDH variável e que tanque pulmão trabalha com lâmina d'água variável, ou seja, essas unidades de tratamento exercem em certa medida o papel de tanque de equalização. Portanto, apesar de a vazão afluente do dia ter sido superior a outorgada, com a correta operação dessas unidades é possível minimizar o impacto desse excedente no lançamento, o realizando de forma

gradual ao longo do tempo, com exceção a possível ocorrência de picos de vazão em que se exceda a capacidade máxima de tratamento da ETE, pois nesse caso, visando a preservação das unidades de tratamento e dos equipamentos da ETE, é realizado o by-pass antes do tratamento preliminar.

5.3.2 - DBO

De acordo com a Outorga de lançamento de efluentes (ADASA, 2014), o efluente da ETE poderia conter concentração máxima de DBO de 63mg/L em 2017 e de 42mg/L nos anos seguintes. Avaliando apenas os conjuntos de dados de cada ano, foi calculado que 75,0%, 16,7%, 6,7% e 96,7% das amostras, respectivamente dos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020, estão em conformidade com a outorga. A Figura 5.13 ilustra a série temporal dos dados com a referência dos valores normatizados pela outorga.

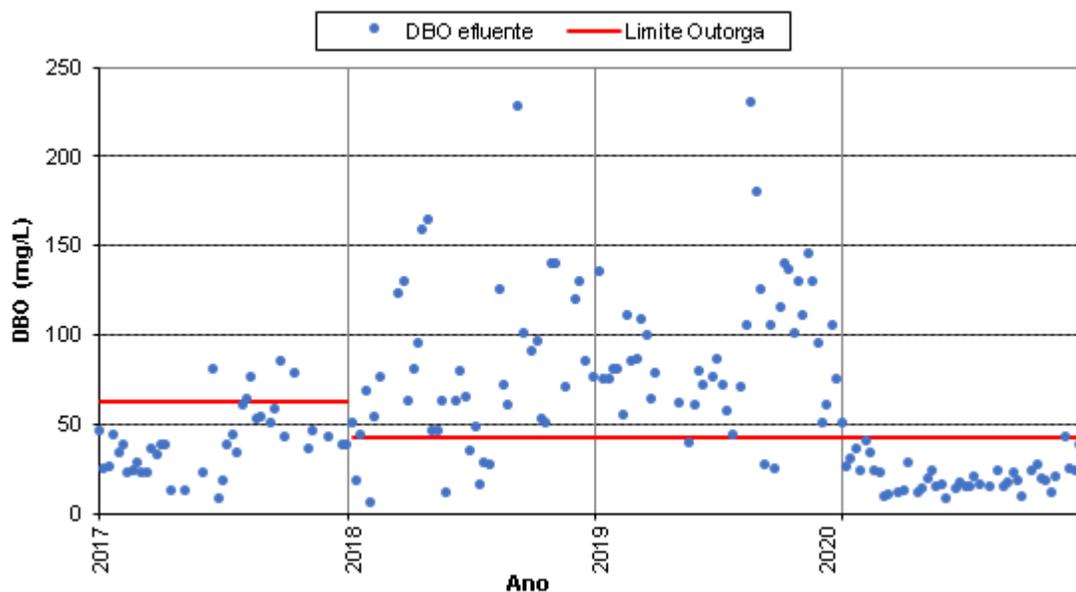


Figura 5.13 – Série temporal das concentrações de DBO do efluente final com referência do valor outorgado

As amostras caracterizam apenas os dias em que foram feitas as análises, dessa forma, buscando a estimativa das concentrações ao longo de todo o intervalo temporal, se avaliou a distribuição de probabilidade dos dados de cada ano por meio da distribuição que seria obtida conforme uma distribuição normal e uma distribuição log-normal teórica. Os ajustes dos dados a cada uma das distribuições, assim como os valores de probabilidade de conformidade, são apresentados para cada ano na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Probabilidade de conformidade da concentração de DBO do efluente final

Ano	Conformidade Dados	Conformidade D. Normal	Adesão a D.Normal	Conformidade D.Log-normal	Adesão a D.Log-Normal
2017	87,17%	88,74%	0,950	86,13%	0,954
2018	16,7%	21,83%	0,936	28,91%	0,916
2019	6,7%	10,86%	0,922	6,55%	0,968
2020	96,7%	99,89%	0,864	99,04%	0,971

De acordo com a Figura 5.13 e pela Tabela 5.3, a ETE Sobradinho lançou no período de 2017 um efluente em conformidade com a outorga na maior parte do tempo, sendo os momentos de não conformidade concentrados no período de junho a outubro. Não foram encontradas informações a respeito de nenhuma reforma ou problemas com equipamentos nesse período, contudo, é provável que a perda de eficiência do tratamento nesse período seja decorrente de algum problema operacional.

No que se refere ao período de 2018 e 2019, é evidente que as condições emergenciais de operação da ETE, devido a reforma do tanque pulmão (Junho de 2018 a Dezembro de 2019), comprometeram em muito a qualidade do tratamento e, conseqüentemente, do esgoto tratado, estando ele predominantemente inconforme com o valor de concentração de DBO outorgado.

No período de 2020, após a conclusão da reforma, a ETE apresentou um tratamento satisfatório em relação outorga, havendo uma probabilidade de menos de 1% de lançamento de um efluente em inconformidade com o autorizado.

5.3.3 - Carga Orgânica

Multiplicando os valores de vazão e DBO da outorga de lançamento (CAESB, 2014), se chega numa definição da carga orgânica limite de lançamento de 1.066,67 Kg/dia para o ano de 2017 e 711,24 Kg/dia para os anos subsequentes. Os resultados dos valores de probabilidade de conformidade obtidos pela análise dos dados, pela representação por distribuição normal e por distribuição log-normal, assim como os valores ajustes dos dados a cada uma das distribuições teóricas, são apresentados para cada ano na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Probabilidade de conformidade da carga orgânica do efluente final

Ano	Conformidade Dados	Conformidade D. Normal	Adesão a D.Normal	Conformidade D.Log-normal	Adesão a D.Log-Normal
2017	100%	100%	0,977	99,95%	0,912
2018	78,57%	75,46%	0,951	77,75%	0,936
2019	71,11%	71,95%	0,980	73,90%	0,927
2020	100%	100%	0,867	99,98%	0,974

Conforme evidenciado pela comparação da Tabela 5.3 e Tabela 5.4, através da análise da carga orgânica há uma probabilidade muito maior da outorga ser cumprida em relação à análise direta de DBO no período analisado. A principal justificativa para esse comportamento é o fato de a vazão média de operação de todos os anos ser consideravelmente inferior a vazão da outorga, portanto, permitindo o lançamento de um efluente final com uma concentração maior de DBO do que a outorgada para a obtenção da carga orgânica máxima com a vazão média de esgoto tratada nesses anos.

No estudo de autodepuração da ETE (CAESB, 2013) foi realizado a modelagem do comportamento do Ribeirão Sobradinho em relação a DBO, utilizando o modelo QUAL-UFMG. O estudo considerou o lançamento do efluente final da ETE com a vazão média de projeto da ETE de 196L/s ou 16.934,4 m³/dia e a concentração de DBO de 43,4mg/L estando o Ribeirão Sobradinho sob a condição de vazão mínima natural de dez anos de tempo de retorno e sete dias de duração (Q_{7,10}) e sob a condição de vazão mínima de longo prazo (Q_{MLP}), sendo esses respectivamente os cenários 2A e 2B apresentados na Figura 5.14.

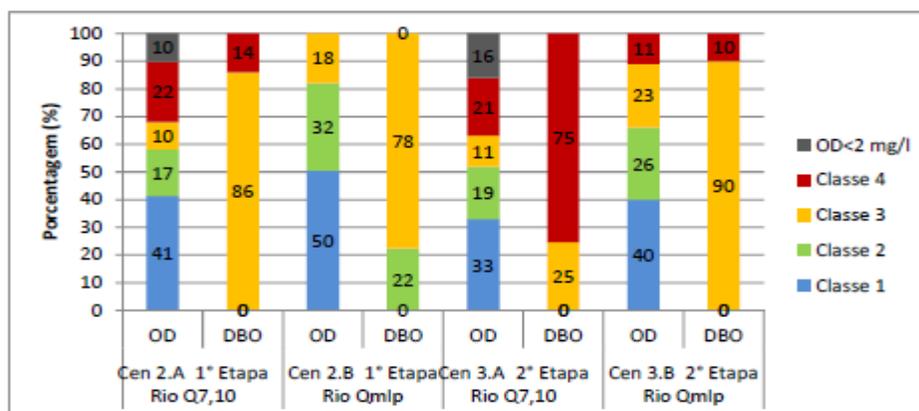


Figura 5.14 - Resultados da modelagem do Estudo de autodepuração da CAESB (Fonte: CAESB, 2013)

No estudo foi considerado que a zona de mistura do lançamento abrange 3km do corpo hídrico, o que equivale a 14% do trecho analisado e coincide com o trecho no qual o Ribeirão Sobradinho apresentou classe 4 para DBO, assim, segundo as Resoluções CONAMA nº 357 de 2005 e a nº 430 de 2011, o lançamento desse esgoto é considerado adequado para um corpo hídrico de classe 3.

Haja visto que a carga orgânica da modelagem do estudo é levemente superior a carga orgânica máxima da outorga, é razoável afirmar que a ETE lançou um efluente 100% conforme o enquadramento do seu corpo receptor durante os anos de 2017 e 2020, respeitando a Resolução CONAMA nº 357 de 2005. Contudo, nos anos de 2018 e 2019 o lançamento não esteve em conformidade durante boa parte do período de operação, gerando danos ao meio ambiente maiores do que o outorgado. Cabe ressaltar novamente que a ETE operava em condições emergenciais durante parte do ano de 2018 e a totalidade do ano de 2019, devido a retirada de operação da sua principal unidade de tratamento biológico.

5.4 - AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS ADOTADOS NO PROJETO DE EXPANSÃO DA ETE

De acordo com CAESB (2017), o projeto da 1ª fase da 2ª Etapa de expansão foi elaborado considerando os parâmetros de qualidade do esgoto afluente a ETE no período de 2013 e 2014. Na Tabela 5.5 são apresentados os valores adotados em CAESB (2017) para a concentração dos parâmetros de qualidade no esgoto afluente.

Tabela 5.5 – Parâmetros de qualidade do esgoto afluente a ETE adotados no projeto da 1ª fase de expansão da ETE (CAESB, 2017)

Parâmetros	Concentração Afluente
DBO (mg/l)	416,63
DQO (mg/L)	677,12
CF (NMP/100ml)	1,79E+07
pH	6,96
Ptot (mg/l)	7,33
SS (mg/l)	330,41
NTK (mg/l)	62,65

Avaliando apenas os dados do ano de 2020 (período DR), apresentados na Figura 5.5 e na Figura 5.8, os valores das medianas dos parâmetros estão levemente acima dos apresentados na Tabela 5.5. Para a estimativa adequada da média num cenário futuro, foi realizado o cálculo do intervalo de confiança com 95% e 99% de probabilidade para o valor da média desses parâmetros. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.6. Ressalta-se que o parâmetro NT possui significado físico diferente do NTK, sendo o primeiro a análise da concentração conjunta de todas as formas de nitrogênio presentes e o segundo apenas a análise da concentração de nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal, contudo, como se trata do esgoto afluente é esperado que os valores obtidos sejam próximos (PIVELE & KATO, 2005).

Tabela 5.6 – Intervalos de confiança de 95 e 99% para os valores de concentração afluente de DBO, DQO, SS, NT e Ptot com os dados de monitoramento da CAESB de 2020.

Intervalo de Confiança		DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mg/L)	NT (mg/L)	Ptot (mg/L)
95%	LI	424,19	695,26	321,29	70,80	7,07
	LS	526,42	889,14	474,13	83,14	8,14
	Média	475,30	792,20	397,71	76,97	7,60
99%	LI	408,12	664,80	297,27	68,87	6,90
	LS	542,49	919,61	498,15	85,07	8,31
	Média	475,30	792,20	397,71	76,97	7,60

Legenda: LI=limite inferior; LS=Limite Superior

Os valores dos parâmetros adotados no projeto da 1ª fase da 2ª etapa de expansão da ETE estão bem próximos do limite inferior dos intervalos de confiança de 95 e 99%, ou seja, há uma probabilidade alta de o esgoto afluente possuir uma concentração maior dos parâmetros do que a considerada na elaboração do projeto. Dessa forma, supondo que a ETE consiga manter a eficiência de projeto, é esperado que o efluente final possua valores maiores de concentração no esgoto efluente, alterando para pior a previsão do impacto do efluente da ETE sobre o Ribeirão Sobradinho.

As médias dos intervalos de confiança de 95 e 99% são iguais e coincidem com o valor da média aritmética dos parâmetros durante o período de 2020, o que enfatiza a consideração de uma distribuição de probabilidades normal perfeita para o conjunto de dados nessa análise. Apesar de essa consideração não ser a mais adequada para os parâmetros de DBO, DQO, SS e NT, os quais possuem um coeficiente de assimetria (CA) maior do que zero, ainda assim essa

análise estima a realidade e demonstra a necessidade de uma reavaliação do projeto de expansão da ETE com os parâmetros de monitoramento mais atuais e prevendo a variabilidade das concentrações dos parâmetros de qualidade no esgoto afluente que possam vir a ocorrer no futuro.

6 - CONCLUSÕES

A análise dos dados históricos (janeiro de 2017 a dezembro de 2020) de monitoramento da ETE Sobradinho, fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, permitiu verificar a eficiência do tratamento da estação e sua variação ao longo do tempo.

Entre os anos de 2017 e 2019 a ETE operou com considerável folga hídrica em relação à sua vazão de projeto. A vazão de esgoto afluente à estação é bastante variável conforme a época do ano (seca ou chuvosa), o que é um forte indicativo da presença de ligações clandestinas de águas pluviais na rede de coleta de esgoto. Além disso as concentrações dos parâmetros de qualidade, do esgoto afluente a estação, sofreram uma considerável variação ao longo do tempo, sendo possível identificar uma mudança do padrão de distribuição das concentrações de DQO, NT e P_{tot} presentes no esgoto.

O tratamento primário da ETE apresentou eficiências de remoção de SS no período anterior a reforma (AR), da reforma (R) e depois da reforma (DR) inferior ao esperado teoricamente em respectivamente, 79%, 59% e 35% dos dados semanais de concentração.

A eficiência de remoção de DBO da ETE no período AR foi inferior ao esperado teoricamente em 20% dos dados semanais de concentração. Já no que se refere as eficiências de remoção de SS a ETE tratou em qualidade inferior ao esperado em 67% dos dados do período AR e 4% dos dados do período DR.

Os impactos da paralisação do tanque pulmão e da implementação em carácter emergencial do tratamento primário quimicamente assistido, visando atenuar a queda de eficiência da estação em função da não operação do seu principal reator aerado (tanque pulmão), foram bastante evidentes para a eficiência da ETE em relação a remoção de DBO, DQO, SS, NT e P_{tot}.

Após a reforma da ETE (período DR) as eficiências de remoção de NT, P_{tot} e E.Coli foram superiores às obtidas no período anterior à reforma (AR), sendo esse comportamento inesperado em vista dos sistemas de tratamento serem aproximadamente os mesmos, indicando a possibilidade de durante o período AR a estação ter passado por problemas operacionais ou das unidades de tratamento não estarem tendo a adequada manutenção e operação. Ou ainda que algum equipamento da ETE foi trocado durante a reforma e promoveu esse ganho geral de eficiência de remoção.

No que se refere ao grande aumento da eficiência de remoção de DBO, DQO e SS da ETE no período DR em relação ao período AR, o comportamento pode ser justificado pela implementação das sondas de medição em tempo real de OD e SS nos reatores aerados e a melhor distribuição dos aeradores no tanque pulmão, promovendo em conjunto um melhor controle operacional e a otimização do tratamento do sistema de lodos ativados.

A ETE não cumpriu com o valor máximo de vazão do lançamento de efluente em, no máximo, 26 dos 1461 dias da série histórica fornecida. No que se refere a DBO o efluente da ETE se mostrou inadequado em menos de 14% do ano de 2017 e 1% do ano de 2020. Contudo, durante os anos em que ocorreu a reforma do tanque pulmão, e a operação emergencial da ETE, o lançamento esteve consideravelmente fora dos limites outorgados, estando inconforme em mais de 80% do ano de 2018 e 90% do ano de 2019. Avaliando a carga orgânica do lançamento o percentual de inconformidade se reduz consideravelmente para todos os anos analisados, uma vez que a vazão de operação da ETE foi na maior parte do tempo inferior à vazão média de projeto e a outorga se pauta na vazão média de projeto.

Em virtude da alteração das concentrações dos parâmetros de qualidade no esgoto afluente a ETE, e de sua grande variabilidade, há uma probabilidade considerável de o projeto executivo da 1ª fase da 2ª Etapa de expansão da ETE estar subestimado e, caso venha a ser executado da forma como está, não consiga tratar o efluente da forma desejada, lançando um esgoto mais concentrado do que o esperado e promovendo maiores danos a qualidade no corpo hídrico receptor, o Ribeirão Sobradinho.

7 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (2011). NBR 12209 - Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABNT.
- Adasa. (2014). Resolução Nº18, de 9 de Dezembro de 2014. Brasília
- Adasa. (2015). Relatório de Fiscalização do Sistema de Esgotamento Sanitário do Rio São Bartolomeu (RVF/003/2015). Brasília.
- Adasa. (2019a). Relatório de Fiscalização da ETE Sobradinho (RVF/015/2019). Brasília.
- Adasa. (2019b). Relatório de Fiscalização da ETE Sobradinho (RVF/018/2019). Brasília.
- Adasa. (2019c). Relatório de Monitoramento do Atendimento ao Padrão de Lançamento Outorgado pelas ETEs no DF (RVF/021/2019). Brasília.
- Adasa (2019d). Resolução nº 07, de 22 de maio de 2019. Brasília.
- Adasa. (2020). Relatório de Monitoramento Regular do Consumo de Água do Distrito Federal (RF/COFA/008/2020). Brasília.
- Adasa & Engeplus. (2020). Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Distritais do Rio Paranaíba. Brasília.
- ANA. (2017). ATLAS ESGOTOS: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasília.
- Brasil. (2007). Lei Federal nº 11.445 - Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.
- CAESB. (2011). Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal. Brasília.
- CAESB. (2013). Estudo de Autodepuração do Ribeirão Sobradinho/DF. Brasília.
- CAESB. (2014). Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal. Brasília.
- CAESB. (2017). Análise do projeto básico e Elaboração do projeto executivo das Unidades da 2ª Etapa de ampliação da ETE sobradinho, Relatório de Análise do Projeto Básico.
- CAESB. (2019). Plano Diretor de Água e Esgoto do Distrito Federal - PDAE/DF. Brasília.
- CAESB. (2021). Limites de detecção dos métodos analíticos empregados para o monitoramento de parâmetros de qualidade de esgoto. Brasília
- CODEPLAN. (2013). Plano Distrital por Amostra de Domicílios. Brasília.
- CODEPLAN. (2018). Plano Distrital por Amostra de Domicílios. Brasília.
- Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal. (2014). Resolução nº02. Brasília.
- CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2005). Resolução nº 357 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras

- providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011). Resolução nº 430 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- Grupo de Trabalho Ribeirão Sobradinho, GDF. (2013). Relatório de Diagnósticos e Soluções para a Recuperação Ambiental do Ribeirão Sobradinho. Brasília.
- ITB & CEBDS. (2014). Benefícios econômicos da expansão do saneamento.
- Jordão, E. P., & Pessôa, C. A. (2011). Tratamento de esgotos domésticos (6ª ed.). Rio de Janeiro: ABES.
- Lemos, S. (21 de Julho de 2020). Atualidades: Dados da ONU mostram que 15 mil pessoas morrem por doenças ligadas à falta de saneamento. Fonte: Jornal da USP: jornal.usp.br/?p=339384
- Montgomery, D.C., & Runger, G.C. (2011). Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros (5ªed). Rio de Janeiro: GEN.
- Oliveira, S. &. (2005). Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 - análise de desempenho. Engenharia Ambiental, Vol.10(out/dez 2005), 347-357.
- Oliveira S. C., Souki I. & von Sperling M. (2012). Lognormal behaviour of untreated and treated wastewater constituents. Water Science and Technology, 65(4), 596–603. doi: 10.2166/wst.2012.899.
- Pivele, R. P.& Kato, M. T. (2005). Qualidades das águas e poluição: aspectos físico-químicos: aspectos físico-químicos. 1 ed. São Paulo: ABES.
- SERENCO, GDF. (2017). Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão integrada de Resíduos Sólidos - Diagnóstico Situacional - Esgotamento Sanitário. Brasília.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2019). Dados de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.
- Sobrinho, P.A. & Tsutiya, M.T. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000
- von Spearling, M. (2005). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA-UFMG.

von Spearling, 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.

APÊNDICE A: SÍNTESE DE DADOS DE CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS

	Vazão m3/dia	DBO			DQO			SS			NT		P tot			E. coli	
		mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		mg/L			MPN/100mL	
		A	A	EF	A	EP	EF	A	EP	EF	A	EF	A	EP	EF	A	EF
Pré Reforma	Nº de dados	70	60	53	70	58	70	69	63	69	0	0	69	57	69	8	8
	Média	6003	439	51	829	684	151	331	265	65			9,0	9,2	5,4	8964000	2847650
	Mediana	5697	420	42	850	694	138	324	258	53			8,8	9,4	5,3	6747500	2419600
	Média Geom.	5933	416	41	799	661	143	315	252	58			8,8	9,0	4,9	7482456	2542143
	Mínimo	4612	197	6	312	301	80	117	102	17			5,3	4,8	1,6	3255000	1299700
	Máximo	8635	820	164	1273	1020	331	644	468	171			13,6	12,4	9,6	25000000	6131000
	Desv.Padrão	954	147	34	213	174	50	105	81	33			1,9	1,8	2,0	6829573	1571077
	CV	0,2	0,3	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5			0,2	0,2	0,4	0,8	0,6
	CA	0,9	0,6	1,6	-0,3	0,0	1,1	0,5	0,2	1,1			0,4	-0,5	-0,1	2,3	1,5
Reforma	Nº de dados	87	67	73	86	83	87	87	79	87	22	16	84	75	83	16	16
	Média	6421	439	86	791	475	197	355	127	61	67	59	8,0	5,5	2,6	18328669	6413431
	Mediana	6015	402	78	738	456	180	316	113	54	67	57	8,0	5,8	2,1	15531000	4833500
	Média Geom.	6337	406	75	743	459	184	313	113	53	66	58	7,7	5,1	1,9	14556179	2643442
	Mínimo	5052	190	11	145	215	82	80	34	17	47	40	2,8	1,1	0,4	1986300	24196
	Máximo	10387	1050	230	1827	909	444	1270	376	202	84	69	14,5	10,0	8,1	57940000	24196000
	Desv.Padrão	1116	179	43	279	133	78	194	67	34	9	8	2,0	2,0	2,0	13112331	6895810
	CV	0,2	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,1	0,1	0,2	0,4	0,8	0,7	1,1
	CA	1,4	1,0	1,1	0,9	1,4	1,2	1,9	1,9	1,1	0,0	-0,5	0,2	-0,2	1,4	1,9	1,6
Pós Reforma	Nº de dados	52	41	43	50	14	50	50	14	50	34	34	48	13	51	13	13
	Média	10463	475	20	792	414	67	398	120	19	77	56	7,6	5,6	4,0	8600769	2121051
	Mediana	9672	456	19	697	419	68	335	117	18	76	59	7,6	5,7	4,3	9590000	1986300
	Média Geom.	10182	449	19	730	400	65	335	112	17	75	55	7,4	5,4	3,7	7929731	1511211
	Mínimo	7762	177	8	241	176	31	66	60	9	47	34	3,1	2,9	0,9	3076000	198630
	Máximo	23037	1065	43	2026	517	105	1590	222	44	129	72	12,1	8,4	6,7	12997000	5172000
	Desv.Padrão	2756	167	9	350	97	16	276	46	7	18	9	1,9	1,6	1,5	3216136	1494014
	CV	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,7	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,7
	CA	2,3	1,2	0,9	1,5	-1,1	-0,2	2,5	0,7	1,3	0,9	-1,0	0,0	0,1	-0,3	-0,1	0,1

Legenda	
A	Afluente
EP	Efluente Primário
EF	Efluente Final
CV	Coefficiente de Variação
CD	Coefficiente de Dispersão