



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

LILITZA EUGENIA TRÍAS RODRIGUEZ

**INTERAÇÃO ENTRE A DINÂMICA URBANA E A EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DE BOA VISTA RORAIMA NO PERÍODO DE 2012 A
2022**

**BOA VISTA, RR
2024**

LILITZA EUGENIA TRÍAS RODRIGUEZ

**INTERAÇÃO ENTRE A DINÂMICA URBANA E A EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DE BOA VISTA RORAIMA NO PERÍODO DE 2012 A
2022**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais, com área de concentração em Manejo e Concentração de Bacias Hidrográficas.

Orientadora Profa. Dra. Maria Bárbara de Magalhães Bethonico
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho

BOA VISTA, RR

2024

LILITZA EUGENIA TRÍAS RODRIGUEZ

**INTERAÇÃO ENTRE A DINÂMICA URBANA E A EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE BOA VISTA RORAIMA NO PERÍODO
DE 2012 A 2022**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, para obtenção do grau de Mestre em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Roraima. Área de concentração: Manejo e Concentração de Bacias Hidrográficas, defendida em 29 de maio de 2024 e avaliada pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARIA BARBARA DE MAGALHÃES BETHONICO**
Data: 21/10/2024 09:40:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Maria Bárbara de Magalhães Bethonico
Orientadora - Curso de Gestão Territorial Indígena - UFRR

Documento assinado digitalmente
 **SILVESTRE LOPES DA NOBREGA**
Data: 21/10/2024 12:35:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Silvestre Lopes da Nobrega
Curso de Engenharia Civil – UFRR

Documento assinado digitalmente
 **FABIO LUIZ WANKLER**
Data: 21/10/2024 15:35:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fábio Luiz Wankler
Curso de Geologia – UFRR

Documento assinado digitalmente
 **MARCIA TEIXEIRA FALCAO**
Data: 22/10/2024 18:10:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Marcia Teixeira Falcão
Curso de Geografia - UERR

Aos meus pais, por todo amor e dedicação em me formar e ser quem sou. Às minhas irmãs, por serem fonte de sabedoria, compreensão e força, alimentam meu espírito. Aos meus filhos, porque são o meu tesouro mais precioso, amo-os com toda a minha alma.

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque sem você eu não sou nada. Com Deus tudo, sem Deus nada. Infinitas graças.

Agradeço aos meus filhos e ao Duben por me ajudarem a alcançar essa conquista, me substituindo nas atividades em casa. As minhas irmãs e ao meu pai por me incentivarem a continuar. Obrigada a todos por acreditarem em mim.

A todos os seres de luz, mestres ascensos, anjos e arcanjos por me apoiarem e iluminarem meu caminho, enviando anjos terrestres em meu resgate.

Dentro destes anjos agradeço especialmente à minha orientadora, professora Maria Bárbara e ao meu co-orientador professor Pedro porque sem vocês eu não teria conseguido completar esta carreira profissional, obrigada pela paciência, vocês são a essência do verdadeiro professor por vocação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Coordenadores, Professores, secretárias, colegas de classe, pela paciência, tolerância e orientação para que eu pudesse alcançar esse objetivo.

Graças aos programas de assistência social através das bolsas de pós-graduação de desenvolvimento científico da UFRR e da Coordenação de Formação de Pessoal de Nível Superior – CAPES, que por um tempo representaram uma grande ajuda financeira.

Agradeço a todas aquelas pessoas que ficaram felizes por mim, me motivando, seguindo meus caminhos, como: Sr. Carlos, Dona Lúcia, Júlia, Bruna, Gresliz.

A Sra. Stephanie, Isabela e aos voluntários da biblioteca Yessica, Jéssica, Gabriela, Ruby, Michell, Deisy, Dayana, Diana, Eliza, Jabes, Clara, Anthony, Felicidad, obrigada a todos por me apoiarem no alcance dos meus objetivos.

RESUMO

O município de Boa Vista, RR possui uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), sendo um conjunto de instalações e equipamentos destinados à depuração do esgoto produzido. A ETE Boa Vista é do tipo de lagoas de estabilização, conformada por duas lagoas facultativas e duas de maturação, a qual visa o cuidado e preservação dos recursos naturais como a água e o solo e, assim mesmo, protegendo a saúde da população através de obras sanitárias. Por esta razão, nesta pesquisa buscou-se avaliar o desempenho da ETE quanto a sua eficiência compreendido entre os anos de 2012 a 2022, através dos parâmetros demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes, no afluente e efluente de cada lagoa. Por outro lado, foi analisada a relação da dinâmica urbana com a eficiência da ETE mediante informações cartográficas, material bibliográfico e secundários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (visita *in situ* sede Boa Vista). Os dados utilizados dos parâmetros de qualidade da água da ETE são secundários, fornecidos pelo Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB e a Companhia de Águas e Esgotos de Roraima - CAER, foram tratados com estatística descritiva, analisados, comparados com os valores estabelecidos pelas Resoluções nº 357/2005, 430/2011 e 034/2012. Os resultados e conclusões mostram que a ETE não está funcionando eficientemente devido à alta tendência dos parâmetros DQO (mg/L), SS (mg/L) e CT (NMP/100 mL), ao incumprimento do limite máximo permissível estabelecido pelas Resoluções nº 034/2012 e 357/2005, possivelmente pela descarrega de esgoto de caminhões limpa fossas com alta concentração desses parâmetros. O desempenho das lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação para o período de 2012 a 2022 apresentou pouca ou nenhuma eficiência de remoção nos parâmetros de estudo. Por outro lado, a instalação da ETE influenciou na dinâmica urbana da cidade de maneira positiva, ao depurar o esgoto sanitário gerado pela população, protegendo a saúde dos habitantes e os recursos naturais, sempre que sua operatividade sea eficiente e cumpra com as legislações em matéria ambiental. A ETE adaptou-se a demanda urbana e populacional com a reforma de 2013, conectando novas ligações a rede de esgoto. No impacto negativo, o problema de desempenho acarreta a possível poluição das águas do rio Branco (corpo de água receptor), geração de maus odores que incomodariam a população. Recomenda-se que os órgãos competentes realizem um monitoramento mais minucioso e rigoroso da qualidade da água do afluente e do efluente de cada lagoa, a fim de garantir a eficiência operacional da ETE e o cumprimento das leis nessa área.

Palavras-chave: Lagoas de estabilização. Tratamento de efluentes. Demografia. Desempenho de uma ETE.

ABSTRACT

The municipality of Boa Vista, RR has a Sewage Treatment Plant (STP), which is a set of facilities and equipment designed to purify the sewage produced. The Boa Vista STP is a stabilization pond type, consisting of two optional ponds and two maturation ponds, which aims to care for and preserve natural resources such as water and soil, while also protecting the health of the population through sanitary works. For this reason, this research sought to evaluate the performance of the STP regarding its efficiency between the years 2012 to 2022, through the parameters biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, suspended solids and thermotolerant coliforms, in the influent and effluent of each pond. On the other hand, the relationship between urban dynamics and the efficiency of the STP was analyzed through cartographic information, bibliographic material and secondary data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE (in situ visit to the Boa Vista headquarters). The data used for water quality parameters at the ETE are secondary, provided by the Municipal Basic Sanitation Plan - PMSB and the Roraima Water and Sewage Company - CAER, and were treated with descriptive statistics, analyzed, and compared with the values established by Resolutions No. 357/2005, 430/2011, and 034/2012. The results and conclusions show that the ETE is not operating efficiently due to the high trend of the parameters COD (mg/L), SS (mg/L), and TC (NMP/100 mL), and failure to comply with the maximum permissible limit established by Resolutions No. 034/2012 and 357/2005, possibly due to the discharge of sewage from septic tank cleaning trucks with high concentrations of these parameters. The performance of the anaerobic, facultative and maturation lagoons for the period 2012 to 2022 showed little or no removal efficiency in the study parameters. On the other hand, the installation of the ETE influenced the urban dynamics of the city in a positive way, by purifying the sewage generated by the population, protecting the health of the inhabitants and natural resources, as long as its operation is efficient and complies with environmental legislation. The ETE adapted to urban and population demand with the 2013 renovation, connecting new connections to the sewage network. In terms of negative impact, the performance problem leads to the possible pollution of the waters of the Branco River (receiving body of water), generating bad odors that would bother the population. It is recommended that the competent agencies carry out more detailed and rigorous monitoring of the quality of the water in the tributary and effluent of each lagoon, in order to guarantee the operational efficiency of the ETE and compliance with the laws in this area.

Keywords: Stabilization lagoons. Effluent treatment. Demographics. Performance of a WWTP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Extensão da rede de esgoto no Brasil entre os anos 2010 e 2021.....	19
Figura 2	Estação de tratamento de esgoto antes da reengenharia composto por cinco lagoas de estabilização em série.....	21
Figura 3	Estação de tratamento de esgoto após reforma do ano 2013.....	23
Figura 4	Descrição do processo operacional da Estação de tratamento de esgoto de Boa Vista, RR.....	25
Figura 5	Desenho esquemático da lagoa facultativa.....	31
Figura 6	Desenho esquemático da lagoa de maturação.....	34
Figura 7	Organograma da periodização da dinâmica político-administrativa de Boa Vista.....	49
Figura 8	Ano 1830. Fazenda Boa Vista.....	50
Figura 9	Ano 1858. Fazenda Boa Vista com a Paróquia Nossa Senhora do Carmo (Igreja Matriz).....	50
Figura 10	Ano 1924. Espaço urbano da cidade de Boa Vista.....	51
Figura 11	Ano 1945. Antigo assentamento de Boa Vista.....	52
Figura 12	Ano 1969. Boa Vista.....	53
Figura 13	Expansão de Boa Vista desde o ano 1920 a 2016.....	54
Figura 14	Dinâmica demográfica de Boa Vista anos 1940 a 2022.....	56
Figura 15	Localização da área de estudo no município e cidade de Boa Vista estado Roraima.....	60
Figura 16	Fluxograma da pesquisa.....	62
Figura 17	Pontos de coletas das amostras no período de estudo.....	63
Figura 18	Comparação temporal da DBO (mg/L) na estação seca do período de 2012 até 2022.....	69
Figura 19	Comparação temporal da DBO (mg/L) na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.....	71
Figura 20	Comportamento temporal da DBO (mg/L) de acordo a sazonalidade seca-chuvosa do período de 2012 até 2022.....	73
Figura 21	Comparação temporal da DQO (mg/L) na estação seca do período de 2012 até 2022.....	75
Figura 22	Comparação temporal da DQO (mg/L) na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.....	79
Figura 23	Comportamento temporal da DQO (mg/L) na estação seca-chuvosa do período de 2012 até 2022.....	82
Figura 24	Comparação temporal da SS (mg/L) na estação seca do período de 2012 até 2022.....	84
Figura 25	Comparação temporal da SS (mg/L) na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.....	87
Figura 26	Comportamento temporal da SS (mg/L) na estação seca-chuvosa do período de 2012 até 2022.....	89
Figura 27	Comparação temporal da CT (NMP/100 mL) na estação seca do período de 2012 até 2022.....	91
Figura 28	Comparação temporal da CT (NMP/100 mL) na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.....	93
Figura 29	Comportamento temporal da CT (NMP/100 mL) na estação seca-chuvosa do período de 2012 até 2022.....	94

Figura 30	Comportamento do parâmetro DBO (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo.....	97
Figura 31	Comportamento do parâmetro DQO (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo.....	99
Figura 32	Comportamento do parâmetro SS (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo.....	101
Figura 33	Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2012.....	103
Figura 34	Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2013.....	104
Figura 35	Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2014.....	105
Figura 36	Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2015.....	105
Figura 37	Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2016.....	106
Figura 38	Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2017 a 2022.....	107
Figura 39	Percentual da população da área urbana de Boa Vista por zonas, nos anos de 1991 a 2010.....	113
Figura 40	Porcentagem dos bairros presentes na área urbana de Boa Vista por zonas no ano 2023.....	116
Figura 41	Delimitação da área consolidada e de expansão urbana de Boa Vista dos Planos Diretores dos anos 2006 e 2011. Loteamentos aprovados desde 2006.....	117
Figura 42	Material de construção das casas do bairro São Bento na atualidade...	118
Figura 43	Ruas entorno da ETE Boa Vista.....	118
Figura 44	Forma de esgotamento sanitário da área urbana do município de Boa Vista no ano 2010.....	119
Figura 45	Forma de esgotamento sanitário do município de Boa Vista no ano 2022.....	120
Figura 46	Expansão Urbana de Boa Vista antes, durante e após da instalação da Estação de Tratamento de Esgoto.....	123
Figura 47	Distância das lagoas de estabilização das residências no ano 2010, antes da reforma da ETE.....	124
Figura 48	Distância das lagoas de estabilização das residências no ano 2013, após a reforma da ETE.....	125
Figura 49	Muro da ETE com estrutura enfraquecida e danificada.....	125
Figura 50	Entrada da ETE Boa Vista.....	126
Figura 51	Disposição inadequada de lixo no bairro e entorno da ETE.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, métodos usados e referências.....	63
Tabela 2	Médias dos valores do parâmetro DBO (mg/L) da ETE Boa Vista na estação seca do período de 2012 até 2022.....	68
Tabela 3	Eficiências de remoção de DBO (%) operacional e por tipo de lagoa na estação seca.....	69
Tabela 4	Médias dos valores do parâmetro DBO (mg/L) da ETE Boa Vista na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.....	71
Tabela 5	Eficiências de remoção de DBO (%) operacional e por tipo de lagoa na estação chuvosa.....	72
Tabela 6	Valores do parâmetro DQO da ETE Boa Vista na estação seca do período de 2012 até 2022.....	75
Tabela 7	Relação de tratabilidade DQO/DBO do esgoto bruto na estação seca do período de 2012 a 2022.....	77
Tabela 8	Eficiências de remoção de DQO (%) operacional e por tipo de lagoa na estação seca.....	78
Tabela 9	Valores do parâmetro DQO da ETE Boa Vista na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.....	79
Tabela 10	Relação de tratabilidade DQO/DBO do esgoto bruto na estação chuvosa do período de 2012 a 2022.....	80
Tabela 11	Eficiências de remoção de DQO (%) operacional e por tipo de lagoa na estação chuvosa.....	81
Tabela 12	Valores do parâmetro SS da ETE Boa Vista na estação seca do período de 2012 até 2022.....	84
Tabela 13	Eficiências de remoção de SS (%) operacional e por tipo de lagoa na estação seca.....	85
Tabela 14	Valores do parâmetro SS da ETE Boa Vista na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.....	86
Tabela 15	Eficiências de remoção de SS (%) operacional e por tipo de lagoa na estação chuvosa.....	88
Tabela 16	Valores do parâmetro CT da ETE Boa Vista na estação seca do período de 2012 até 2022.....	90
Tabela 17	Eficiências de remoção de CT (%) operacional e por tipo de lagoa na estação seca.....	91
Tabela 18	Valores do parâmetro CT da ETE Boa Vista na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.....	92
Tabela 19	Eficiências de remoção de CT (%) operacional e por tipo de lagoa na estação chuvosa.....	93
Tabela 20	Estatística descritiva (média) aplicada aos dados obtidos do teste nictemeral por parâmetro, por tipo de lagoa e por ano do período de 2012 a 2022.....	95
Tabela 21	Cronologia do crescimento populacional por zona em Boa Vista durante os anos de 1991 a 2010.....	112
Tabela 22	Cronologia do número de bairros formados por zona em Boa Vista durante os anos de 1991 a 2010.....	112
Tabela 23	Bairros originados por zona em Boa Vista a partir do ano de 1991	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Comparação de valores de coleta e tratamento de esgoto entre Brasil, região Norte, estado Roraima e município Boa Vista.....	20
Quadro 2	Características da Estação de tratamento de esgoto de Boa Vista, RR no ano 1994 e após reforma no ano 2013.....	22
Quadro 3	Características físicas da ETE após reforma, ano 2013.....	24
Quadro 4	Vantagens e desvantagens dos sistemas de tratamento de esgoto de lagoas de estabilização.....	27
Quadro 5	Principais especificações para um projeto de lagoas anaeróbias.....	29
Quadro 6	Características e principais parâmetros de projeto de lagoas facultativas.....	32
Quadro 7	Vantagens e desvantagens das lagoas facultativas.....	33
Quadro 8	Porcentagem de remoção (*) de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização	34
Quadro 9	Características e principais parâmetros de projeto de lagoas de maturação.....	35
Quadro 10	Concentrações médias efluentes e eficiências típicas de remoção dos principais poluentes de interesse no esgoto (lagoas facultativa e de maturação).....	36
Quadro 11	Instrumentos legais nacionais e municipais a trabalhar nesta pesquisa.....	45
Quadro 12	Dinâmica demográfica do município de Boa Vista desde 1940 a 2022.....	55
Quadro 13	Limites máximos acessíveis dos parâmetros de qualidade a analisar nesta pesquisa, das águas doces classe 2.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS

Amônia-N	Amônia nitrogênio
d	Dia
°C	Grau centigrado
CO ₂	Dióxido de carbono
hab.	Habitantes
CT	Coliformes termotolerantes
EB	Esgoto Bruto
H	Horas
Km	Quilômetros
Km ²	Quilômetros quadrados
L, l	Litros
LA	Lagoa Anaeróbia
LF	Lagoa Facultativa
LM	Lagoa de Maturação
m	Metros
m ³ /L	Metros cúbicos por litro
mg	Miligramas
mg/L	Miligramas por litro
N	Nitrogênio
N-Total	Nitrogênio Total
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogênio
P-Total	Fósforo Total
R\$	Reais
SS	Sólidos Suspensos
Unid.log	Unidade logarítmica

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESBE	Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APHA	American Public Health Association
CAER	Companhia de Água e Esgoto de Roraima
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COMDEMA	Conselho Municipal de Desenvolvimento e Meio Ambiente
DF	Distrito Federal
DBO, DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILE	Indicador de Ligação de Esgoto
ITERAIMA	Instituto de Terras e Colonização de Roraima
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PR	Paraná
RR	Roraima
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico.
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UFRR	Universidade Federal de Roraima
USEPA	United State Environmental Protection Agency
UV	Ultravioleta

LISTA DE VARIÁVEIS UTILIZADAS

Ei (%)	Eficiência de remoção do parâmetro i
L/B	Comprimento/Largura
Ls	Taxa de aplicação superficial
Lv	Taxa de aplicação volumétrica
P	Valor do parâmetro no efluente da lagoa
Po	Valor do parâmetro no afluente da lagoa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	SANEAMENTO BÁSICO EM BOA VISTA ESTADO RORAIMA.....	18
1.2	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE BOA VISTA POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	21
1.3	LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	26
1.3.1	Tipos de lagoas de estabilização	28
1.3.1.1	Lagoas anaeróbias.....	29
1.3.1.2	Lagoas facultativas.....	31
1.3.1.3	Lagoas de maturação.....	33
1.4	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	36
1.4.1	Parâmetros físico-químicos	39
1.4.1.1	Temperatura da água (T°C).....	39
1.4.1.2	Potencial hidrogeniônico (pH).....	39
1.4.1.3	Sólidos suspensos (SS).....	40
1.4.1.4	Nitrogênio total (N-Total).....	40
1.4.1.5	Fósforo total (P-Total).....	41
1.4.1.6	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	42
1.4.1.7	Demanda química de oxigênio (DQO).....	42
1.4.2	Parâmetros biológicos	43
1.4.2.1	Coliformes termotolerantes.....	43
1.5	INSTRUMENTOS LEGAIS BRASILEIROS.....	44
1.6	DINÂMICA URBANA E DEMOGRÁFICA EM BOA VISTA.....	46
1.7	HISTÓRIA DE BOA VISTA.....	49
1.8	A ETE NO ESPAÇO URBANO: BAIRROS SÃO BENTO E PROFESSORA ARACELIS SOUTO MAIOR.....	57
2	OBJETIVOS.....	58
2.1	Objetivo Geral	58
2.2	Objetivos Específicos	58
3	MATERIAL E MÉTODOS	59
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	59
3.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	61
4	RESULTADOS E DISCUSÃO	67
4.1	EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ESGOTO DA ETE BOA VISTA RORAIMA NO PERÍODO DE 2012 A 2022.....	67
4.1.1	Análises dos parâmetros de DBO, DQO, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes, na entrada e saída de cada lagoa no período de 2012 a 2022	67
4.1.2	Análises dos parâmetros de DBO, DQO, SS e CT, na entrada e saída de cada lagoa no teste nictemeral, período de 2012 a 2022	95
4.2	ETE BOA VISTA E A DINÂMICA URBANA.....	110
4.2.1	Dinâmica urbana e dinâmica demográfica em Boa Vista	110
4.2.2	ETE Boa Vista e demanda populacional pelo serviço de saneamento básico	119
4.2.3	ETE Boa Vista e sua localização	121
4.2.4	A eficiência da ETE e a interação com a dinâmica urbana	127
5	CONCLUSÕES	128
	REFERÊNCIAS	130

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida, seja ela animal, vegetal ou humana, portanto, para se ter uma população saudável ou não a água deve ser de boa qualidade, de fácil acesso e obtida em quantidades satisfatórias (LIMA; BETHONICO; VITAL, 2018).

Por décadas, a expansão demográfica sem planejamento resultou na geração de uma grande quantidade de águas residuais que são, posteriormente, descarregadas em algum recurso hídrico, impactando negativamente o ecossistema aquático (SANTOS et al., 2021). A ausência de saneamento básico, a falta de salubridade traz consigo doenças transmissíveis de origem fecal-oral, por insetos, por contato com água contaminada, tais como: dengue, malária, febre amarela, esquistossomose, diarreia, leptospirose, dentre outras (PINTANEL; CECCONELLO; CENTENO; 2021).

Diante disso, no município de Boa Vista no estado de Roraima, localizado no extremo norte da Amazônia, à semelhança das demais capitais do Brasil, foi implantado um sistema de tratamento de esgoto do tipo lagoa de estabilização, sendo considerado o mais simples e econômico (SCACABAROSSA et al., 2012). Porém, o mesmo autor já mencionava que devem ser tomadas ações preventivas na instalação e manutenção desses sistemas para não causar danos sociais e ambientais ao seu redor, exemplo disto, conforme Nistal (2014) são os maus odores causados da liberação do gás sulfeto de hidrogênio e a contaminação de corpos hídricos por efluentes que não possuem boa qualidade, ambos decorrentes de problemas operacionais.

Quando o Igarapé Grande era o corpo hídrico que recebia efluentes da ETE Boa Vista-RR, sua qualidade foi impactada negativamente e, ao desaguar no rio Branco, também foi afetada, por isso foi recomendada a implementação de ações conjuntas para reverter os danos causados a esse recurso (SATELLES et al., 2018). Além disso, a ETE foi alvo de reclamações e denúncias por parte da comunidade que vive no seu entorno, sendo sancionada por órgãos de controle competentes e, da mesma forma, foram realizados estudos que demonstram o preocupante impacto ambiental causado por sistemas do tipo de lagoas de estabilização (SCACABAROSSA et al., 2012).

Devido a isto, o objetivo nesta pesquisa é avaliar a interação entre a dinâmica urbana e a eficiência da ETE Boa Vista no período de 2012 a 2022, a partir dos parâmetros DBO, DQO, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes na entrada e saída de cada lagoa, no período de 2012 a 2022 visando verificar seu funcionamento, atendendo às exigências ambientais dos órgãos competentes (é muito importante verificar que os parâmetros de qualidade do efluente cumpram com os valores preconizados pela legislação vigente), conservando a qualidade do rio Branco, corpo receptor dos efluentes da ETE, e protegendo a saúde da população (BRASIL, 2011; SATELLES et al., 2018). Esses parâmetros são os básicos para estudar o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto (HIDEO, 1991).

O acima exposto contribui para o que está estabelecido no objetivo nº. 6 “Água potável e saneamento” pertencente aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) das Nações Unidas e seus parceiros (ONU, 2015a), verificando a gestão realizada pela cidade de Boa Vista para reduzir a poluição dos recursos hídricos através da estação de tratamento de águas residuais, tanto nos afluentes e efluentes de cada lagoa e do sistema, com o objetivo de preservar a qualidade do Rio Branco. Além disso, no âmbito do objetivo 11 "Cidades e comunidades sustentáveis" (ONU, 2015b), Boa Vista dispõe de uma estação de tratamento de esgoto que contribui para a criação de uma cidade sustentável e, por conseguinte, habitável, através da limpeza da água, da preservação dos recursos naturais e da melhoria da qualidade de vida. Os resultados obtidos indicarão o planejamento e a gestão dos assentamentos humanos na cidade, que devem ser participativos, abrangentes e sustentáveis. Ademais, mostrarão o impacto ambiental e socioespacial da ETE na cidade e no seu entorno.

Quanto aos processos de produção socioespaciais, eles geram diversos impactos negativos nas esferas ambiental, social, econômica e cultural, quando não há uma relação equilibrada entre as ações realizadas pelos entes governamentais e outros setores da sociedade (GALDINO et al., 2019). O projeto e construção de uma Estação de Tratamento de Esgoto do tipo de lagoas de estabilização de acordo a Jordão e Pessoa (2011), deve ser implantado longe de áreas residenciais e seus efluentes devem ser monitorados periodicamente, devido a que pode causar incomodidades (mal odores) a vizinhança se errar as dimensões das variáveis de operação, se não é feita uma boa supervisão e manutenção, refletindo em um bom serviço ou não para a população.

Levando em consideração o exposto, se discutiu a interação entre a dinâmica urbana e a instalação da ETE Boa Vista de 2012 a 2022, verificando a tomada de decisão dos atores produtores deste espaço, como o governo, o setor privado e social. Além disso, a produção do espaço foi analisada, por meio de um enfoque histórico e espaço-temporal, de modo que se relacionou a origem da ETE, suas motivações iniciais com os processos espaciais, históricos, econômicos e políticos.

De acordo ao dito anteriormente, apresentam-se os seguintes questionamentos: O tratamento do esgoto tem se mostrado eficiente para a realidade urbana atual? A presença de uma Estação de Tratamento de Esgoto influenciou na dinâmica urbana da cidade de BV? Como a Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Boa Vista impacta dinâmica urbana do seu entorno?

Esta pesquisa está inserida na área de concentração Manejo e conservação de bacias hidrográficas do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais/PRONAT e na linha de pesquisa Manejo e Dinâmicas de Recursos Naturais. Sua relevância está nos resultados obtidos com o monitoramento da eficiência do processo de tratamento da ETE Boa Vista, da qualidade do efluente tratado, verificando o cumprimento dos padrões oficiais de lançamento de seus efluentes no Rio Branco, que é fonte de abastecimento, zonas de pesca e zonas balneares para os habitantes da cidade, pelo que a segurança hídrica deste recurso deve ser garantida. Além disso, é importante analisar a interrelação entre a dinâmica urbana e a eficiência da estação de tratamento, sua influência na cidade, seu impacto na população por estar localizada dentro de uma área residencial urbana.

Este estudo contribuirá para o fornecimento de informações relevantes nas áreas de gestão de recursos hídricos, saneamento básico e planejamento urbano do município de Boa Vista, de forma que pesquisadores, órgãos gestores municipais e público em geral possam ter dados históricos que os auxiliem na tomada de decisões, planejamento estratégico, elaboração e execução de projetos que corrijam, minimizem ou melhorem situações prejudiciais ao bem-estar social e ambiental. Todo isto em conformidade com o marco legal do saneamento básico, com alimentação de dados do seu Sistema de Informação - SINISA (BRASIL, 2020), Política Nacional de Recursos Hídricos com alimentação de dados do seu Sistema de Informações - SINGREH (BRASIL, 1997) e do Plano de Direção Estratégico e Participativo do Boa Vista (BOA VISTA, 2006).

Esta dissertação foi subdividida em seções que abordam o referencial teórico que sustenta o estudo, os objetivos que orientam a pesquisa, os materiais e métodos adotados para a execução do estudo, os resultados a discutir com base na literatura conhecida e as conclusões obtidas.

A seguir serão apresentadas informações teóricas e conceituais que darão suporte a esta pesquisa científica. Tais como: saneamento básico e estação de tratamento de esgoto em Boa Vista, definição da estação de tratamento de esgoto, lagoas de estabilização, características e tipos, parâmetros de qualidade da água nos efluentes a serem lançados em corpos hídricos, instrumentos legais utilizados, dinâmica urbana e demográfica em Boa Vista, após a instalação da estação de tratamento de águas residuais, história de Boa Vista, que contribuirá para o desenvolvimento dos objetivos propostos, alcance de resultados e conclusão.

1.1 SANEAMENTO BÁSICO EM BOA VISTA ESTADO RORAIMA

O saneamento básico é a gestão realizada por entes governamentais e instituições privadas de organizar, planejar, executar, operar e universalizar o acesso efetivo e contínuo ao grupo de serviços de: abastecimento de água potável para a população, coleta, transporte e tratamento dos esgotos sanitários, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, com as infraestruturas e instalações operacionais adequadas para garantir à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente (BRASIL, 2020).

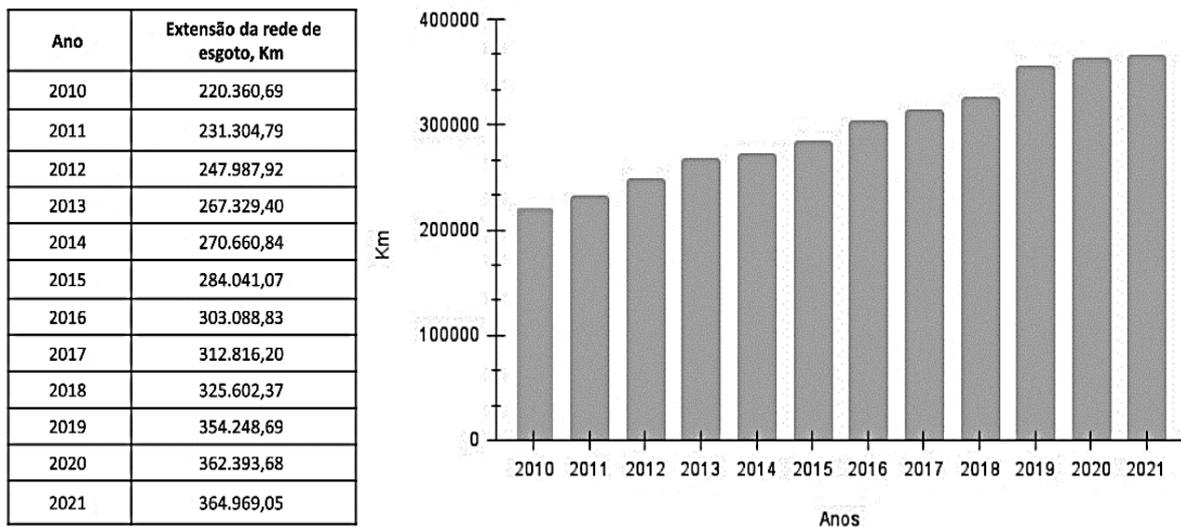
Na capital de Roraima, a cidade de Boa Vista, as primeiras obras de saneamento básico tiveram início na década de 1940, quando o Eng. Darcy A. Derenusson, diante o resultado no diagnóstico de doenças na população relacionadas à falta de saneamento básico, instou ao então governador, a construção inicial e prioritária do sistema de esgotamento sanitário e pluvial, com todas as ruas desarraigadas ao mesmo tempo para a execução dessas obras, tais como: avenida Floriano Peixoto, ruas Bento Brasil, Benjamin Constant, Jaime Brasil, 5 de Setembro (VERAS, 2009).

Em 1980, a cidade de Boa Vista com 12 bairros, Centro, São Vicente, 13 de setembro, Jardim Floresta, Mecejana, São Francisco, 31 de Março, Dos Estados, Aparecida, Canarinho, São Pedro e Pricumã. Possuía uma rede de distribuição de água com 170 km de extensão, que abastecia 80% da população, além de quase

2.000 ligações ao sistema de esgoto na área central, atendendo 26% da população (VERAS, 2009). Entre 1993 e 1996 segundo o mesmo autor, a Prefeitura de Boa Vista fez um grande investimento no setor de drenagem e saneamento nas áreas críticas da cidade, devido aos problemas que surgem em períodos de chuvas intensas, já que é plana e possui bairros criados sem nenhum tipo de planejamento conforme o Plano Diretor de 1991. Em 2006, Boa Vista tinha uma rede de esgoto que cobria 207 km de rede e 12.978 ligações domiciliares em 13 bairros próximos ao Centro, enquanto o sistema de esgoto nos demais bairros (representando 70% da população) era uma fossa séptica ou “negra” (VERAS, 2009).

Entre os anos 2010 e 2021, Brasil mostrou (Figura 1) um acréscimo na extensão da rede de esgoto (ligações às estações de tratamento de esgoto) utilizando indicadores de esforços para universalização, redes e extensão da rede de esgoto, o qual é favorável para diminuir os riscos na saúde da população, preservar e conservar ao meio ambiente, conseguir a meta de universalização dos serviços de saneamento (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023a).

Figura 1 - Extensão da rede de esgoto no Brasil entre os anos 2010 e 2021.



Fonte: A autora (2023). Adaptado do Instituto Trata Brasil (2023a)

O relatório da 15ª edição do Ranking de Saneamento 2023 do Instituto Trata Brasil (2023a), focado nos 100 maiores municípios do Brasil com base na população, analisou os indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), ano 2021, divulgados pelo Ministério das Cidades. Assim, o município de Boa

Vista foi o que mais fez novas ligações com 92.762 representadas por 100% do ILE (Indicador de Ligação de Esgoto), isso indica que este município foi o que mais esforçou para universalizar seus serviços de saneamento (faltam ainda 27.838 ligações para a universalização). Para este indicador especificamente, foram considerados como parâmetro de universalização os municípios que atingem 90% de coleta de esgoto. O relatório afirma que praticamente metade dos municípios da amostra teve queda no andamento do esgotamento sanitário, ao realizar entre 0 e 20% das ligações faltantes para a universalização, algo que consideram preocupante (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023a).

Segundo o Painel Saneamento Ambiental (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023b), em Boa Vista, 34.647 pessoas não possuem coleta de esgoto, o que representa um 7,9%, 1.015,24 mil m³ de esgoto não são tratados e, o índice de esgoto tratado referido à água consumida é de 95,0%. No Quadro 1, é possível verificar a comparação de alguns dados de cobertura (ligações à estação de tratamento de esgoto) e esgoto tratado em Brasil, região Norte, estado de Roraima e município de Boa Vista, sua capital.

Quadro 1 – Comparação de valores de coleta e tratamento de esgoto entre Brasil, região Norte, estado Roraima e município Boa Vista

LOCALIDADE /MUNICÍPIO	POPULAÇÃO (hab.)	PARCELA DA POPULAÇÃO COM COLETA DE ESGOTO (% DA POPULAÇÃO)	ESGOTO COLETADO (MIL M ³)	ESGOTO TRATADO (MIL M ³)	ÍNDICE DE ESGOTO TRATADO REFERIDO À ÁGUA CONSUMIDA (%)	ESGOTO NÃO TRATADO (MIL M ³)
Boa Vista	436.591	92,1	19.369,41	19.369,41	95,0	1.015,24
Brasil	213.317.639	55,8	6.046.802,34	4.862.544,76	51,2	5.221.572,64
Região Norte	18.906.962	14,0	100.128,84	84.330,06	20,6	466.603,83
UF Roraima	652.713	66,0	21.413,19	20.520,19	77,0	4.714,68

Fonte: Instituto Trata Brasil (2023b).

Percebe-se que o Brasil e principalmente a região Norte, têm um longo caminho a percorrer para a universalização do serviço de saneamento, comparado com Boa Vista; por outro lado, como estado, Roraima ainda precisa atingir a cobertura de 34% das ligações de esgoto (Quadro 1). Com respeito ao tratamento de esgoto, apenas três capitais tratam ao menos 90% do esgoto produzido: Brasília (DF) com 91,77% de coleta e 86,65% de tratamento, Boa Vista (RR) com 92,06% de coleta e

95,02% de tratamento, e Curitiba (PR) com 99,98% de coleta e 95,62% de tratamento (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023a, 2023b).

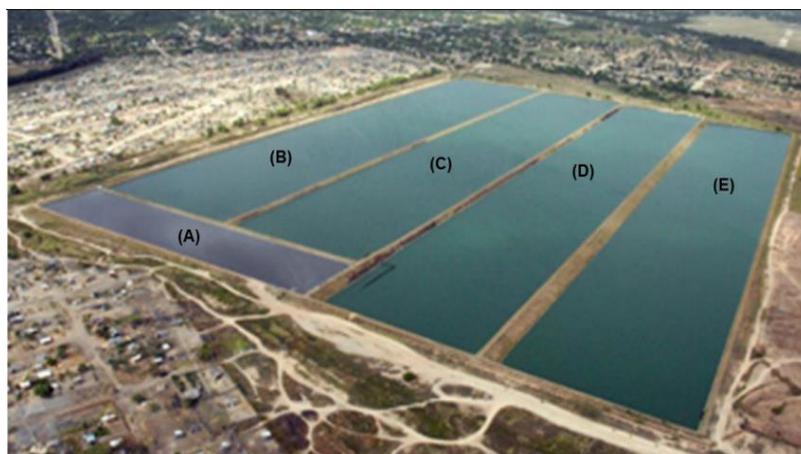
Em 2006, foi possível construir a rede de abastecimento de água potável, de esgoto, a drenagem e pavimentação para 1.275 domicílios com recursos do Plano de Aceleração do Crescimento - PAC. O bairro São Bento foi o primeiro bairro da zona oeste onde foi instalada infraestrutura de saneamento básico (NISTAL, 2014).

A rede coletora de esgoto de Boa Vista chega até a Estação de Tratamento de Efluentes, que será explicada teoricamente a seguir.

1.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE BOA VISTA POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

O sistema de coleta de esgoto sanitário de Boa Vista iniciou-se em 1975, com 52 Km em ligações ou coleta de esgoto até a primeira Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), a qual foi inaugurada em 1994 (AESBE, 2023). A área da superfície ocupada pelas lagoas é de 50 ha (Figura 2) (SCACABAROSSO et al., 2012), possibilitando a depuração dos esgotos por processos naturais com a ação de bactérias e algas e seus efluentes lançados no Igarapé Grande (CAER, 2023), e com as características mostradas no Quadro 2.

Figura 2 - Estação de tratamento de esgoto antes da reengenharia composto por cinco lagoas de estabilização em série



(A) Lagoa anaeróbia; (B) Lagoa facultativa I (C) Lagoa de maturação I; (D) Lagoa maturação II; (E) Lagoa de maturação III.

Fonte: Acervo técnico de CAERR de 2016 (RODRIGUES, 2018)

Quadro 2 - Características da Estação de tratamento de esgoto de Boa Vista, RR no ano 1994 e após reforma no ano 2013

CARACTERÍSTICAS	ANO 1994	REFERÊNCIA	ANO 2013	REFERÊNCIA
Capacidade de tratamento (m ³ /h)	1.260	AESBE (2023)	3.600	AESBE (2023)
Número de lagoas de estabilização	5	AESBE (2023)	4	Scacabarossi et al. (2012)
Número de lagoa anaeróbia (LA)	1	Scacabarossi et al. (2012)	0	
Número de lagoa facultativa (LF)	1		2	
Número de lagoa de maturação (L.M)	3		2	
Saída da água tratada	Igarapé Grande	CAER (2023)	Rio Branco	CAER (2023)
Percentual de domicílios com tratamento de esgotos	50	Scacabarossi et al. (2012)	65	AESBE (2023)

Fonte: A autora (2023).

Em relação à profundidade, a lagoa anaeróbia tinha 4 m, a lagoa facultativa tinha 2 m e cada uma das três lagoas de maturação possuía 1,5 m. A Companhia de Água e Esgotos de Roraima - CAER, empresa responsável pelo abastecimento e tratamento de esgoto no estado de Roraima, optou pelo sistema de lagoas de estabilização devido à instabilidade do serviço de energia elétrica na época, porque seu processo de tratamento é econômico (SCACABAROSSO et al., 2012), pela disponibilidade de áreas e clima favorável na região (RODRIGUES, 2018).

Para o ano de 2006, segundo Esbell (2006), ocorreram diferentes situações. Os moradores do entorno da ETE sofriam com o mau cheiro proveniente das lagoas de estabilização, motivo pelo qual a CAER retirou o lodo armazenado no fundo das lagoas para reduzir o gás sulfuroso. Mau cheiro era sentido principalmente na descarga de efluentes e a jusante do Igarapé Grande, produto do processo de decomposição. Por outro lado, o entorno da ETE estava totalmente habitado, com casas improvisadas localizadas a 50 m do sistema, que não poderiam ser mais próximas devido a uma vala cavada entre as lagoas e as casas.

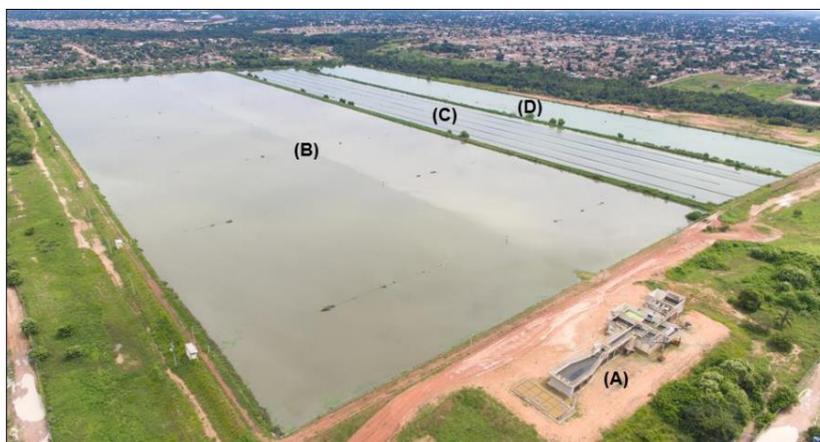
De acordo com o estudo de impacto ambiental realizado pela CAER para a instalação da ETE, a área ideal para sua localização era o Distrito Industrial, sendo o local onde foi implantado impróprio, nas imediações do Igarapé Grande, tangente ao seu talude, dentro da área de expansão urbana e, tudo com o intuito de minimizar custos de canalização, projetando que no futuro o crescimento populacional ocorreria nesta área, sem considerar que poderiam causar danos ambientais e à população (CAER, 1992). Durante o ano de 2005, a CAER não procedeu ao controle da qualidade dos efluentes lançados no corpo hídrico receptor, demonstrando falta de

compromisso. O Igarapé Grande estava sendo contaminado pelo lançamento de efluentes da ETE, através de DBO, pH, condutividade elétrica, temperatura e OD, além de apresentar aumento na quantidade de nutrientes (ESBELL, 2006).

Segundo Scacabarossi et al. (2012), na mesma época, em 2005, um caminhão de limpeza de fossa séptica quis descarregar seu conteúdo na lagoa anaeróbia da ETE, pois não concederam permissão porque poderia causar rápida sedimentação. Descarregou no solo, em uma trincheira cavada na área da ETE para fazer uma cerca verde, estando o solo e os lençóis freáticos susceptíveis à contaminação. O mesmo autor refere que, durante mais de uma década, o sistema de lagoas de estabilização não teve vigilância, nem vedação da área e, por isso, houve livre circulação de pessoas e animais, deixando as lagoas expostas e vulneráveis ao descarte inadequado de objetos e, resíduos sólidos, além disso, a ETE carecia de manutenção, o que gerava uma deficiência no processo de tratamento da água.

Em 2008, para atender a demanda quatro vezes maior, o Governo do Estado viu a necessidade de modernizar e ampliar o sistema de coleta de esgoto e, portanto, a capacidade da estação de tratamento de esgoto de Boa Vista. Projeto implementado através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), resultando em uma expansão de 18% para 70% a cobertura da rede coletora de esgotos (CAER, 2023). No ano 2013, todo sistema de tratamento foi modernizado (Figura 3), com uma capacidade de tratamento de 3.600 m³/h e projetado para atender uma expansão demográfica até 2038.

Figura 3 - Estação de tratamento de esgoto de Boa Vista após reforma do ano 2013



(A) Unidade de pré-tratamento do esgoto; (B) Lagoas facultativas I e II juntas; (C) Lagoa de maturação I; (D) Lagoa de maturação II.
Fonte: Acervo técnico de CAER de 2016 (RODRIGUES, 2018)

As lagoas foram modificadas em sua estrutura e com o novo sistema de coleta de esgoto (AESBE, 2023). Conservou-se o tipo de tratamento baseado na autodepuração da água com o auxílio da luz solar e do calor, com as características operacionais e físicas (capacidade de tratamento, número de lagoas, corpo hídrico receptor de efluente da ETE, a área do espelho de água, a profundidade, o comprimento e largura de cada lagoa) presentes nos Quadros 2 e 3, com a trajetória interna mais prolongada, ademais da construção de: a) um emissário para descarregar o efluente da ETE ao rio Branco, por possuir maior vazão que o Igarapé Grande e o impacto provavelmente é menor; b) um sistema de pré-tratamento e, c) um muro para proteger o sistema de lagoas da população e a disposição de objetos e resíduos em seu interior (NISTAL, 2014).

Quadro 3 - Características físicas da ETE após reforma, ano 2013

PARÂMETRO	1ª LAGOA	2ª LAGOA	3ª LAGOA	4ªLAGOA
Tipo	Facultativa I	Facultativa II	Maturação I	Maturação II
Área de espelho (m ²)	141.729	117.915	110.208	114.918
Profundidade (m)	2,10	2,10	1,50	1,80
Comprimento (m)	856,32	856,32	856,32	856,32
Largura (m)	165,51	137,70	128,70	134,20

Fonte: Santos (2022).

Atualmente, o processo de tratamento do esgoto no sistema de lagoas de estabilização (Figura 4), pode ser descrito conforme Rodrigues (2018) como: a estação elevatória de esgoto - EEE Igarapé Grande recebe o esgoto coletado em sua totalidade das sub-bacias, está localizado dentro da área da ETE Boa Vista e na margem direita do Igarapé Grande. O efluente é direcionado para a unidade de pré-tratamento onde são eliminados os sólidos mais grossos, que podem causar obstruções nas tubulações, abrasões ou danos aos equipamentos eletromecânicos e redução do volume útil a jusante. Os resíduos coletados com esteiras são armazenados em contêineres, transportados e, finalmente, dispostos no aterro sanitário. Posteriormente é levado através de uma calha Parshall, para medir sua vazão. Continua com a descarga do esgoto nas lagoas de estabilização onde é tratado nas duas lagoas facultativas que estão em paralelo, e que na atualidade se encontram unificadas. Após, é encaminhado para as duas lagoas de maturação em série, das quais, cada uma possui cinco chicanas (placas de concreto) ao longo de seu

comprimento, com altura ao nível dos taludes para condução do efluente desde sua entrada até a saída do tratamento, com um tempo de retenção hidráulica de 27 dias em média, tornando-o processo de tratamento mais eficiente. Descarga do efluente através de um emissário (tubulação) até o rio Branco no bairro Distrito Industrial, coordenadas geográficas 02°45'43.3" N e 60°41'31.2"W.

Figura 4 - Descrição do processo operacional da Estação de tratamento de esgoto de Boa Vista, RR



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2018).

A seguir serão divulgadas mais informações que permitirão um melhor entendimento do tipo de tratamento por lagoas de estabilização presentes na estação de tratamento de Boa Vista.

1.3 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico de esgoto sanitário onde a remoção da matéria orgânica na água é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (CHERNICHARO, 1997). Constitui uma grande bacia rasa cercada por taludes de terra. Seu processo acontece naturalmente, utilizando algas e bactérias para tratar o esgoto bruto, se desenvolvendo a uma taxa de oxidação lenta, com um tempo de detenção hidráulica (TDH) longa, em dias (MARA, 2004; MEDEIROS et al., 2019). Opera através da interação entre a luz solar com as algas e bactérias, tornando esta tecnologia econômica (MAHAPATRA; SAMAL; DASH, 2022).

Esta tecnologia, tem se mostrado uma alternativa econômica em comparação com as convencionais devido às suas vantagens exclusivas, incluindo facilidade de operação, entrada mínima de energia, requisitos mínimos de manutenção, alta eficiência de remoção de patógenos, que a tornaram uma escolha popular para o tratamento de águas residuais, especialmente como lagoas terciárias (LIU; HALL; CHAMPAGNE, 2018).

São utilizadas no tratamento de esgoto municipais e industriais em todo o mundo. Consideram-se adequados apenas nos países em desenvolvimento, porém, nos Estados Unidos estão presentes desde há 90 anos com mais de 7.000 lagoas em operação atualmente (PHUNTSHO et al., 2009; USEPA, 2002). Constituem um dos mais relevantes processos de tratamento de efluentes em países como o Brasil, por apresentarem características ideais para sua implantação, tais como: disponibilidade de terreno, temperaturas ambientais adequadas para seus processos, além de viabilidade econômica e operacional (MEDEIROS et al., 2019).

No Brasil, de acordo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2020), até o ano de 2020, existiam 3.668 estações de tratamento de esgoto com diferentes tipos de tecnologias, das quais 35% (1.291 estações) correspondem a variações no sistema de lagoas de estabilização, com reatores anaeróbios em primeiro lugar, com 37% (1.373 estações). Segundo a mesma instituição, embora o sistema operacional dessa tecnologia seja de fácil manuseio e não exija muita manutenção, ela pode apresentar dificuldades quando localizada próxima a áreas urbanas, principalmente se lagoas anaeróbicas estiverem presentes no processo, portanto, segundo Jordão e Pessoa (2011), eles tendem a exalar maus odores.

Dos 1.291 sistemas de lagoas de estabilização, a ANA (2020) afirma que o sistema mais utilizado com 414 unidades é o australiano, formado por uma lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa facultativa. Seguido do sistema formado apenas por lagoas facultativas com 222 unidades, segue-se o sistema de lagoas facultativas combinadas com uma lagoa de maturação com 169 unidades, e o sistema de lagoas anaeróbicas seguido de lagoas facultativas e de maturação com 160 unidades. Os demais sistemas lagunares juntos representam apenas 25,3% do total desta tecnologia. As vantagens e desvantagens dos sistemas de lagoas de estabilização podem ser descritas de acordo com informações de diferentes autores como segue (Quadro 4):

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de tratamento de esgoto de lagoas de estabilização

VANTAGENS	REFERÊNCIA
<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade no projeto e operação. - Baixa produção de lodo biológico. - Baixo custo de capital, operação e manutenção. - Alta eficiência de tratamento ao ser projetado corretamente. - Robusto e relativamente confiável. - Menos sensível a cargas de choque. 	(PHUNTSHO et al., 2009)
<ul style="list-style-type: none"> - Esse tipo de sistema, além de ser um tratamento sustentável e eficiente das águas residuárias, auxilia na produção de energia limpa e renovável. - As emissões de gases de efeito estufa desse sistema são baixas em comparação com outros métodos de tratamento convencionais. 	(MAHAPATRA; SAMAL; DASH, 2022)
<ul style="list-style-type: none"> - Altamente eficiente na remoção de organismos patogênicos e outros coliformes. 	(VON SPERLING, 2002)
DESvantagens	REFERÊNCIA
<ul style="list-style-type: none"> - Precisa de grandes extensões de terra para sua instalação. - É necessário o controle da vegetação para evitar a proliferação de mosquitos e outros insetos. - Problemas de odor no sistema se não for projetado corretamente. 	(PHUNTSHO et al., 2009)
<ul style="list-style-type: none"> - Depósito de maior quantidade de lodo em épocas de clima frio por diminuição da atividade microbiana. - A concentração de amônia no efluente é difícil de controlar. 	(USEPA, 2002; PHUNTSHO et al., 2009)
<ul style="list-style-type: none"> - Altas concentrações de sólidos em suspensão nos efluentes das lagoas de estabilização, atribuídas principalmente à biomassa fitoplanctônica que se forma nas lagoas facultativas e de maturação. 	KELLNER; PIRES, 1998; VON SPERLING, 2002)

Fonte: A autora (2023).

No que se refere a eficiência ou desempenho de uma ETE é um indicador do comportamento do processo ou operação efetiva em relação à qualidade, capacidade de tratamento em termos de vazão (m^3/s), remoção de matéria orgânica (Kg DBO/d) entre outros parâmetros físico-químicos e operacionais, para verificar o cumprimento dos objetivos para os quais foi concebido, visando obter um efluente tratado com

características bem definidas em termos quantitativos diários (HIDEO et al., 1991). A combinação desta tecnologia com outros métodos de tratamento de efluentes, resulta em um processo com maior eficiência, sendo esta técnica implementada em muitos países (MARA, 2004; VON SPERLING, 2002).

Os fatores que afetam a eficiência de remoção de organismos patogênicos podem incluir luz solar, pH, oxigênio dissolvido, temperatura, sedimentação, fixação, tempo de retenção hidráulica, profundidade da lagoa, predação e disponibilidade de nutrientes (LIU; HALL; CHAMPAGNE, 2018). Outros fatores que afetam a eficiência do sistema de lagoas de estabilização são: armazenamento de sólidos, florescimento de algas, alterações de pH e condições de operação como tempo de detenção hidráulica, irradiação solar, carga orgânica aplicada (MEDEIROS et al., 2019), as estações do ano, onde na estação seca a eficiência das lagoas é maior que na chuvosa (MAHAPATRA; SAMAL; DASH, 2022), e o vento (VON SPERLING, 2002).

Dos principais fatores ambientais que afetam as lagoas de estabilização, a radiação solar influencia a velocidade das reações químicas, a viscosidade e a sedimentação das frações orgânicas particuladas e é a principal fonte de energia no processo de fotossíntese das algas marinhas. A temperatura influencia a velocidade das reações bioquímicas, além de gerar zonas de estratificação com diferentes gradientes de temperatura e taxas de decomposição bacteriana, solubilidade e transferência de gases, e condições de mistura em água. Quanto ao vento, é o principal responsável pela aeração das lagoas ao introduzir oxigênio dissolvido no meio, além de provocar a mistura de materiais, permitindo o contato entre a biomassa e os substratos (MARA, 2004; VON SPERLING, 2002).

1.3.1 Tipos de lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização variam de acordo ao processo de estabilização da matéria orgânica (JORDÃO; PESSOA, 2011), sendo classificadas da seguinte maneira:

- Lagoas anaeróbias;
- Lagoas facultativas;
- Lagoas de maturação;
- Lagoas totalmente aeradas;
- Lagoas parcialmente aeradas;

- Lagoas de descarga controlada;
- Lagoas de retenção completas;
- Liberação controlada por hidrógrafo (PHUNTSHO et al., 2009).

As lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação são utilizadas e, frequentemente, sem nenhum dispositivo mecânico (PHUNTSHO et al., 2009), é por isso que a seguir serão explicadas estas lagoas e com mais detalhe aquelas que compõem o sistema de tratamento de efluentes de Boa Vista, RR, as lagoas facultativas e de maturação, foco desta pesquisa.

1.3.1.1 Lagoas anaeróbias

O processo de estabilização nas lagoas anaeróbias desenvolve-se sem oxigênio dissolvido (JORDÃO; PESSOA, 2011). As lagoas anaeróbias têm a importante função de remover DBO com eficiência entre 50 e 70%, e sólidos em suspensão com eficiência de remoção de 70% (SILVA FILHO, 2007; VON SPERLNG, 2002). Segundo o mesmo autor, esses sólidos depositam-se no fundo da lagoa, onde são metabolizados por bactérias anaeróbias e, a partir da produção de ácidos por microrganismos acidogênicos, inicia-se a redução da DBO, com a geração de gases metano, dióxido de carbono e água através de microrganismos metanogênicos. Por outro lado, o mesmo autor menciona que a remoção de coliformes nesta lagoa é baixa comparada ao que ocorre nas lagoas facultativas e de maturação.

No Quadro 5, estão às principais especificações para a realização de um projeto de lagoas anaeróbias, porém, é importante saber que os principais parâmetros de dimensionamento hidráulico-sanitário para realizar um projeto de um sistema de tratamento de esgoto são: taxa de aplicação superficial, taxa de aplicação orgânica, carga orgânica volumétrica, profundidade e tempo de detenção hidráulica (MORAES et al., 2020).

Quadro 5 - Principais especificações para um projeto de lagoas anaeróbias

PARÂMETRO	FAIXA DE VALORES
Tempo de detenção hidráulica (d)	3,0 - 6,0
Carga orgânica volumétrica (KgDBO ₅ /m ³ d)	0,1 - 0,3
Profundidade (m)	4,0 - 5,0
Taxa de acumulação de lodo (m ³ /hab.ano)	0,3 - 0,4

Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997)

De acordo a D'Alessandro et al. (2015, p. 194) o tempo de detenção pode-se definir como: "Um parâmetro de verificação resultante da determinação de volume da lagoa e diz respeito ao tempo necessário para que os microrganismos procedam à estabilização da matéria orgânica na lagoa".

Por outro lado, Von Sperling (2002) menciona que o tempo de detenção necessário depende da cinética de remoção de DBO_5 e do regime hidráulico da lagoa. Nas lagoas de estabilização, o valor do parâmetro tempo de detenção é maior comparado com outros sistemas de tratamento biológicos, portanto, a remoção da DQO lentamente degradável é mais elevada. O parâmetro de profundidade da lagoa de estabilização é importante para seu bom funcionamento, pois influencia no tempo de detenção hidráulica, aumenta a zona eufótica e, portanto, a taxa fotossintética das algas (D'ALESSANDRO et al., 2015).

Em quanto a carga orgânica volumétrica ou taxa de aplicação volumétrica (L_v), constitui o principal e mais importante parâmetro de projeto das lagoas anaeróbias, sendo expressada como a quantidade de volumem necessária na lagoa anaeróbia para a conversão da carga de DBO aplicada, é função da temperatura (VON SPERLING, 2002).

Na atividade biológica da lagoa anaeróbica que é realizada na ausência de oxigênio dissolvido, são gerados maus odores derivados de gás metano e enxofre (PHUNTSHO et al., 2009), ou mais especificamente, sulfeto de hidrogênio, que sempre foi um motivo de preocupação para os engenheiros projetistas devido a incomodidade que causa. Porém, esta situação não representa uma dificuldade se a lagoa for corretamente projetada e a concentração de sulfato no efluente bruto for inferior a $500 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{l}$ (VARÓN; MARA, 2004).

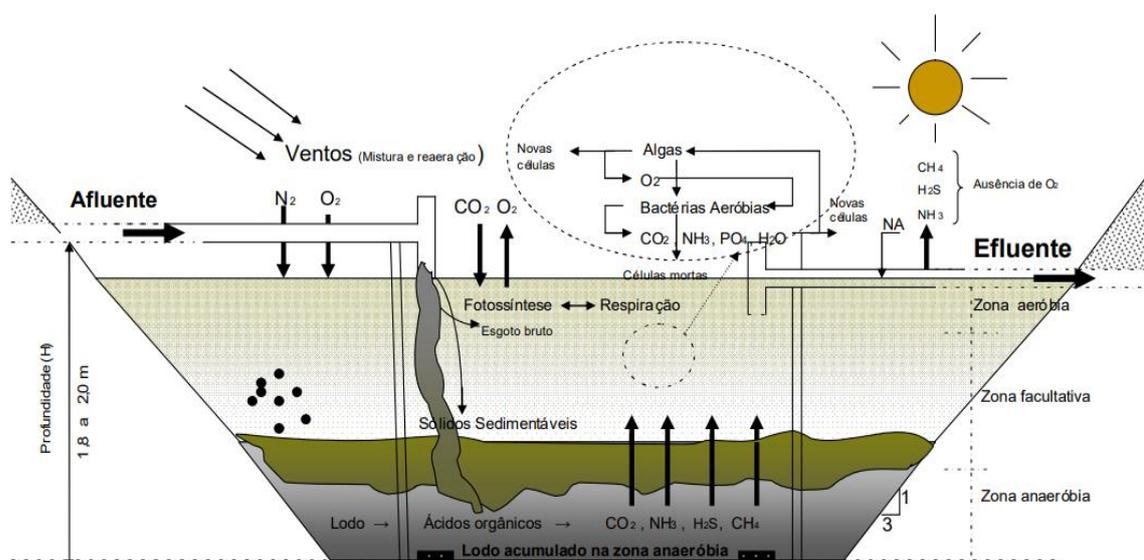
Por outro lado, as lagoas anaeróbias são as menores da série e são utilizadas como processo de tratamento primário e não necessariamente para produzir efluentes de alta qualidade (PHUNTSHO et al., 2009). As lagoas anaeróbias funcionam extremamente bem em climas quentes: por exemplo, um tanque adequadamente projetado atingirá cerca de 60% de remoção de DBO_5 a 20°C e mais de 70% a 25°C ou acima (VARÓN; MARA, 2004).

1.3.1.2 Lagoas facultativas

Dos tipos de sistemas de lagoas de estabilização, as lagoas facultativas são as mais simples. Seu processo baseia-se na retenção do efluente por tempo suficiente para que a estabilização da matéria orgânica ocorra por meios naturais, ou seja, remoção de DBO e patógenos em três áreas da lagoa com atividades distintas, como:

1. Aeróbica: a matéria orgânica dissolvida é oxidada pela respiração aeróbica, está localizada na parte superior da lagoa. O oxigênio existente na lagoa é fornecido pelas algas durante o dia mediante a fotossíntese e é consumido à noite.
2. Facultativa: a estabilização da matéria orgânica acontece com bactérias que podem sobreviver e proliferar na presença ou ausência de oxigênio, condição característica desse tipo de zona (VON SPERLING, 2007). Está localizada na parte intermediária da lagoa, é conhecida também como zona anóxica, varia de aeróbica perto do topo a anaeróbica na parte inferior.
3. Anaeróbica: a matéria orgânica sedimentada ou lodo de fundo é convertida em gás carbônico, água e metano, está localizada na parte inferior da lagoa. Após certo tempo, a fração inerte ou não biodegradável fica na camada inferior, e o sulfeto de hidrogênio gerado não causa problemas de maus odores, pois é oxidado por processos químicos e bioquímicos na zona aeróbica (VON SPERLING, 2007). Esse processo pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Desenho esquemático da lagoa facultativa



Fonte: Silva Filho (2007).

Estas lagoas podem ser utilizadas como primárias, recebendo águas residuais brutas, após tratamento preliminar, e como secundárias recebendo águas residuais sedimentadas da primeira etapa (em muitas oportunidades o efluente é de uma lagoa anaeróbia) (VARÓN; MARA, 2004). Quando a lagoa facultativa funciona como primária, a sedimentação dos sólidos acontece em maior volume, a profundidade mínima corresponde a 1,50 m, e quando a lagoa facultativa funciona como secundária, deve possuir uma profundidade de 1,20 m (JORDÃO; PESSÔA, 2011). A eficiência de remoção de DBO é de 75 a 85%, de DQO de 65 a 80%, de SS de 70 a 80%, coliformes 90 a 99%, para uma área de (2,0 – 4,0) m²/hab (VON SPERLING, 2002).

A cor que as algas fornecem à água é um bom indicador da qualidade do processo de tratamento da lagoa facultativa, o qual acontece por uma leve sobrecarga de DBO₅, deste modo, a cor das algas é verde escura (USEPA, 2002), a cor vermelha ou rosa na lagoa indica presença de bactérias fotossintéticas anaeróbias oxidadoras de sulfeto roxo (VARÓN; MARA, 2004). Algumas características do projeto de lagoas facultativas podem ser verificadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Características e principais parâmetros de projeto de lagoas facultativas

NOME DO PARÂMETRO DO PROJETO	FAIXA DE VALORES DO PARÂMETRO DO PROJETO	REFERÊNCIA
Taxa de aplicação superficial (Ls)	A taxa adotada muda com a temperatura, latitude, exposição solar e altitude, variando entre 100 a 350 kgDBO/ha.d. Para locais com clima e insolação elevados, é preferível usar o valor máximo.	(VON SPERLING, 2002; JORDÃO; PESSOA, 2011)
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	Para esgoto doméstico, normalmente situa-se na faixa de 15 a 45 d.	
Profundidade (h)	Neste tipo de lagoa, encontra-se na faixa: 1,5 a 2,0m.	(VON SPERLING, 2002)
Demanda de área	2,0-4,0 m ² /hab	
Custo implantação	40-80 R\$/hab	
Custo operação e manutenção	2,0-4,0 R\$/hab.ano	
Coefficiente decaimento bacteriano (mistura completa a 20°C)	0,4 -1,0 d-1	
Coefficiente decaimento bacteriano (fluxo disperso a 20°C)	0,2-0,4 d-1	
Geometria (relação comprimento/largura)	Geralmente situa-se na faixa (L/B) de 2 a 4	
Acúmulo de lodo	0,03 a 0,08m ³ /hab.ano	

Fonte: Adaptado de Silva Filho (2007).

A taxa de aplicação superficial é a carga por unidade de área da lagoa, constitui o principal parâmetro do projeto (VON SPERLING, 2002), é a área exposta (superficial) à luz solar (MARA, 2004) na lagoa, para que possa ocorrer a fotossíntese, visando o crescimento de algas, e garantir a produção de oxigênio suficiente para atender a demanda de oxigênio, ou seja, baseia-se na necessidade de oxigênio para estabilizar a matéria orgânica. A atividade das algas e o equilíbrio entre a produção e o consumo de oxigênio estão relacionados (VON SPERLING, 2002). A carga de DBO também deve ser função da área (MARA, 2004). Algumas vantagens e desvantagens das lagoas facultativas são (Quadro 7):

Quadro 7 - Vantagens e desvantagens das lagoas facultativas

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> - Usadas para tratar efluentes municipais brutos, filtrados ou decantados da primeira etapa, e industriais biodegradáveis. - Relativamente eficaz na remoção de sólidos sedimentáveis, DBO, patógenos, coliformes fecais e amônia. - Processo confiável e simples de operar. - Precisa de pouca energia, com sistemas projetados para operar com fluxo de gravidade. - Quantidade moderadamente pequena de material a ser removido em comparação com outros tratamentos secundários. - Não requer manutenção intensiva. - Ao realizar algum trabalho analítico para verificar o bom funcionamento do sistema, no geral não é preciso um amplo programa de amostragem e monitoramento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Precisa remoção de sólidos sedimentados ou lodo e de material inerte. - Dificuldade no controle ou previsão da concentração de amônia no efluente. - Diminuição da atividade microbiana em épocas de frio com maior geração e depósito de lodo. - O descuido ou falta de controle do crescimento da vegetação, pode provocar problemas de presença de mosquitos e insetos vetores. - Requer áreas moderadamente grandes de terra (USEPA, 2002). - Produção de maus odores quando o cobertor aeróbico desaparece. - A presença de animais escavadores pode ser um problema. - A descarga do efluente deve ser controlada ou às vezes proibida, durante os meses do período de chuva ou climas frios e, em períodos pico de proliferação de algas na época de seca. - Em climas quentes, há incapacidade do processo de atingir o limite de 30 mg/L de SS pela presença de algas no efluente (USEPA, 2002).

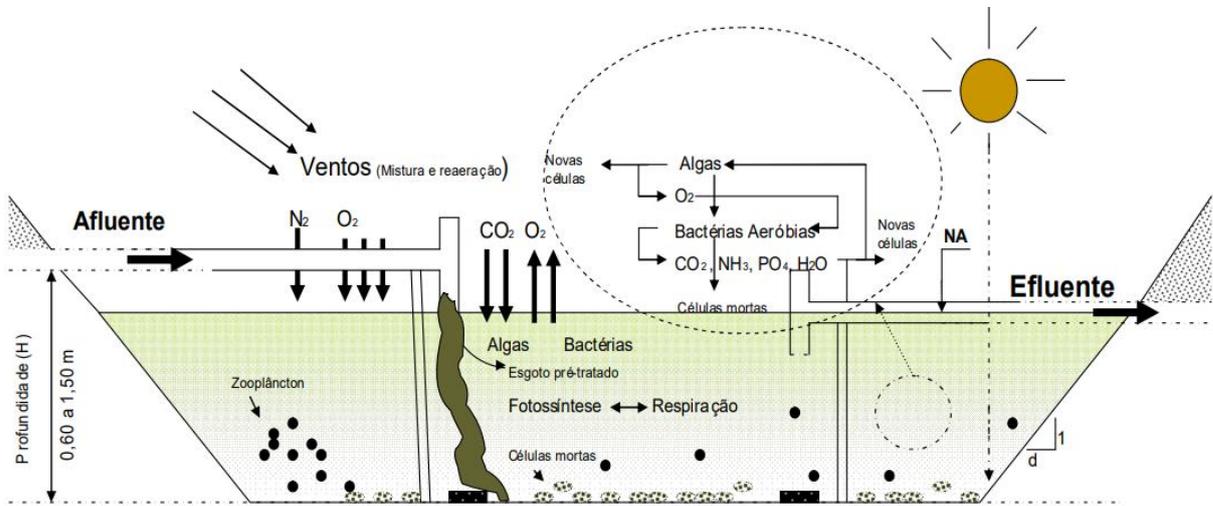
Fonte: A autora (2023).

1.3.1.3 Lagoas de maturação

Estas lagoas são utilizadas no final de um sistema tradicional de lagoas de estabilização, com o objetivo de melhorar a qualidade do efluente previamente tratado, reduzindo a concentração de microrganismos patogênicos, bactérias, vírus, cistos de protozoários, ovos de helmintos, principalmente coliformes fecais, no corpos de água

e, portanto, reduzir as doenças de veiculação hídrica, buscando proteger a saúde pública (JORDÃO; PESSOA, 2011), por meio de condições ambientais adversas a esses organismos presentes na lagoa, como radiação ultravioleta, pH elevado, OD elevado, temperatura mais baixa (em comparação com o trato intestinal humano), carência de nutrientes e predação por outros organismos (VON SPERLING, 2007). Um desenho do processo da lagoa de maturação (Figura 6), e a percentagem de remoção de organismos patogênicos (Quadro 8) para vários tipos de lagoas.

Figura 6 - Desenho esquemático da lagoa de maturação



Fonte: Silva Filho (2007).

Quadro 8 - Percentagem de remoção (*) de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização

ORGANISMOS PATOGENICOS	LAGOA FACULTATIVA	LAGOA ANAERÓBIA + FACULTATIVA	LAGOA FACULTATIVA + MATURAÇÃO	LAGOA ANAERÓBIA + FACULTATIVA + MATURAÇÃO
Coliformes	90 - 99	90 - 99	99,9 - 99,9999	99,9 - 99,9999
Vírus	≤ 90	-90	99 - 99,99	99 - 99,99
Bactérias patogênicas	90 - 09	0 - 99	9,9 - 99,9999	9,9 - 99,9999
Cistos de protozoários	- 100	-100	100	100
Ovos de helmintos	-100	-100	100	100

(*) remoção de 90% = 1 log; remoção de 99% = 2 log; remoção de 99,9% = 3 log; remoção de 99,9999% = 6 log.

Fonte: Jordão e Pessoa (2011)

As lagoas de maturação constituem uma etapa de pós-tratamento para processos de remoção de DBO, sendo geralmente projetadas como uma série de lagoas ou uma lagoa defletora única, na qual, a eficiência de remoção de coliformes é muito alta (VON SPERLING, 2007).

Segundo Silva Filho (2007), as lagoas de maturação desinfetam o efluente que vem das lagoas de estabilização. Além de remover patógenos, também removem nutrientes, devido à influência de ter uma profundidade menor, favorecendo alta penetração e ação dos raios ultravioletas sobre microrganismos presentes em toda a coluna de água. Segundo o mesmo autor, a eficiência de remoção de patógenos é de 99,99% para uma série de mais de três lagoas. Algumas características e parâmetros deste tipo de lagoa (Quadro 9).

Quadro 9 - Características e principais parâmetros de projeto de lagoas de maturação

NOME DO PARÂMETRO DO PROJETO	FAIXA DE VALORES DO PARÂMETRO DO PROJETO	REFERÊNCIA
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	Para esgoto doméstico, normalmente situa-se na faixa de: 2d a 4d	(VON SPERLING, 2002; JORDÃO; PESSOA, 2011)
Profundidade (H)	0,60 m a 1,5m	(JORDÃO; PESSOA, 2011)
	Lagoas mais rasas na faixa de 0,80m a 1,0m apresentam mais eficiências	(KELLNER; PIRES, 1998; VON SPERLING, 2002)
Demanda de área	3,0-5,0 m ² /hab	(VON SPERLING, 2002)
Custo implantação	50-100 R\$/hab	
Custo operação e manutenção	2,5-5,0 R\$/hab.ano	
Coefficiente temperatura (fluxo disperso)	1,07d-1	
Coefficiente decaimento bacteriano (mistura completa a 20°C)	0,6-1,2 d-1, em série	
Coefficiente decaimento bacteriano (fluxo disperso a 20°C)	0,4 a 0,7 d-1, em série.	
Geometria (relação comprimento/largura)	A geometria da lagoa influencia o seu regime de escoamento, podendo está se aproximar de fluxo em pistão ou de mistura completa. A relação L/B é um importante critério para o dimensionamento de lagoas.	
	As lagoas chicaneadas em célula única devem ser maiores que 10; para sistema com mais de três lagoas, essa relação deve variar entre 1-3.	(VON SPERLING, 2002)

Fonte: Adaptado de Silva Filho (2007).

No Quadro 10, podem ser verificadas as concentrações médias das águas tratadas e das eficiências de remoção dos principais parâmetros de contaminação presentes no esgoto e de interesse de um sistema de lagoas de estabilização.

Quadro 10 – Concentrações médias efluentes e eficiências típicas de remoção dos principais poluentes de interesse no esgoto (lagoas facultativa e de maturação)

QUALIDADE MÉDIA DO EFLUENTE		EFICIÊNCIA MÉDIA ESPERADA	
DBO ₅ (mg/L)	10-74	DBO ₅ (%)	80-85
DQO (mg/L)	145-345	DQO (%)	70-83
SS (mg/L)	28-170	SS (%)	70-80
Amônia-N (mg/L)	-	Amônia-N (%)	40-80
P-Total (mg/L)	<8	P-Total (%)	>40
N-Total (mg/L)	-	N-Total (%)	40-65
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	<10 ³	Coliformes Fecais (unid. Log)	3-5

Fonte: Adaptado de Silva Filho (2007).

Quanto à disposição das lagoas, um sistema de lagoas em série, com determinado tempo de detenção, apresenta maior eficiência do que uma única lagoa, com o mesmo tempo total de detenção (VON SPERLING, 2002). Segundo o mesmo autor, um sistema de lagoas paralelas tem a mesma eficiência que uma lagoa única, a vantagem é que caso o fluxo para uma lagoa tenha que ser interrompido, por algum problema de operação ou manutenção, tem maior flexibilidade e segurança operacional.

Os efluentes lançados em um corpo hídrico devem ter valores de parâmetros de qualidade da água adequados para não causar nenhum impacto negativo naquele recurso, portanto, esses parâmetros serão explicados a seguir.

1.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os parâmetros da qualidade da água são “substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água” (BRASIL, 2005, p. 58) os quais são avaliados e controlados através de disposições definidas em instrumentos legais como a Resolução CONAMA nº 357/2005, para verificar a evolução da qualidade das águas e de seu uso, de maneira a classificar os corpos de águas superficiais doces, salobras

e salinas por diretrizes ambientais para seu enquadramento em classes, condicionado mediante padrões ou valores limites dos parâmetros de qualidade. Assim mesmo, a Resolução CONAMA n° 430/2011, complementa e altera a Resolução n° 357/2005, e define as condições e padrões dos parâmetros de qualidade dos efluentes tratados ou não, diretamente ou indiretamente a ser lançados (dispostos) em um corpo de água, sem prejudicar sua qualidade (BRASIL, 2011).

Na Resolução CONAMA n° 430/2011, em seu Art. 20 estabelece que o lançamento de efluentes tratado através de emissários submarinos, deve cumprir com os padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura, e ao padrão de balneabilidade, conforme com a legislação vigente (BRASIL, 2011). O corpo receptor no caso desta pesquisa, corresponde ao rio Branco, principal fonte de abastecimento de Boa Vista, cuja água é potabilizada através de tratamento convencional (BOA VISTA, 2017), constituindo-o, conforme a Resolução CONAMA n° 357/2005 no seu art. 4 como corpo de água doce classe 2 (BRASIL, 2005).

No Art. 20 da Resolução n° 430/2011 também se menciona a realização de um programa de monitoramento ambiental (BRASIL, 2011), sendo monitoramento definido como “medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água” (BRASIL, 2005, p. 58).

A Lei n° 513, de 10 de abril de 2000, da Prefeitura municipal de Boa Vista, sobre a política de proteção, controle e conservação do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida estabelece na Seção III a Classificação das Águas segundo seus usos preponderantes, sendo igualmente de Classe 2 para o rio Branco e, na Seção IV estão os padrões de lançamento onde o Órgão Municipal de Meio Ambiente e órgãos afins poderá limitar ou propor o número de atividade e emissão de efluente ao um corpo d' água receptor (BOA VISTA, 2000). Por outro lado, na Seção V da mesma lei, sobre padrões de qualidade no Art. 68 expõe que nas águas de Classe 1, 2 e 3, poderão ser lançados efluentes tratados sempre e quando não prejudiquem a qualidade de suas águas.

No âmbito do município de Boa Vista, na Lei Complementar n° 924, de 28 de novembro de 2006, sobre o Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e dá outras providências (BOA VISTA, 2006), em seu Art. 62, indica diversas ações necessárias aos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, dentro

do qual serão nomeados aqueles que estão relacionados com esta investigação, tais como:

- Controlar o lançamento de cargas contaminantes nos mananciais, sobretudo de resíduos sólidos e de esgotos clandestinos domésticos e industriais, com ênfase na área a montante da captação do rio Branco;

- Possibilitar a disposição final dos resíduos dos caminhões limpa-fossas conforme avaliações realizadas pela concessionária no sistema de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização;

- A concessionária deve realizar um plano de manutenção de estações elevatórias, redes de recalque e área de tratamento de esgotos, eficiência do tratamento das lagoas de estabilização, área física do tratamento, guarita, cercamento e vigilância;

- Monitoramento da eficiência de operação das lagoas de estabilização através de amostragens mensais comprovados, a montante e jusante do ponto de lançamento do Igarapé Grande (BOA VISTA, 2006).

Nesta parte é importante destacar, que na atualidade o efluente tratado da ETE Boa Vista é descarregado no rio Branco, pelo que esse Plano Diretor de Boa Vista do ano 2006 está desatualizado.

Em fevereiro de 2023 foi produzido e dado a conhecer o primeiro produto, o plano de trabalho da revisão do Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e legislação urbanística complementar (BOA VISTA, 2023a), de acordo ao estabelecido no Art. 182 da Constituição Federal de 1988, sobre políticas urbanas de elaboração do Plano Diretor Participativo como instrumento da política de desenvolvimento e de expansão urbana (BRASIL, 1988).

Complementando o que foi dito acima, a avaliação da qualidade da água com o intuito de verificar seu grau de contaminação é realizada analisando as seguintes características: a) físicas, indicam a presença de sólidos na água amostrada; b) químicas, revelam a existência de sólidos dissolvidos e; c) biológico, denota a presença de microrganismos na água como bactérias, fungos, protozoários, vírus, algas e outros grupos de vegetais e de animais (FIORESE et al., 2019; NEVES et al., 2015). A seguir, serão apresentados os parâmetros físico-químicos e biológicos a serem analisados nesta pesquisa.

1.4.1 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físicos presentes na água são: cor, odor, turbidez, temperatura e sólidos, e os químicos são: pH, dureza, ferro, manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica (DBO, compostos proteínas, carboidratos, gordura e óleos, ureia, surfactantes, fenóis, pesticidas, outros) e inorgânica (areia, outras), DQO envolve as duas matérias (NEVES et al., 2015).

1.4.1.1 Temperatura da água (T°C)

A temperatura influencia nos processos bióticos e abióticos de um sistema aquático, por exemplo, no crescimento e desenvolvimento dos organismos, na degradação da matéria orgânica e reações químicas. A temperatura pode variar por perturbações naturais como energia solar e antropogênicas como os efluentes industriais (LIMA; BETHONICO; VITAL, 2018).

A temperatura influi no processo de tratamento do esgoto, tal e como segue: a) na atividade biológica acrescentando a velocidade de decomposição da água residuária com o aumento da temperatura, portanto, de 25 a 35°C desenvolve-se uma atividade ideal, aos 15°C as bactérias formadoras de metano tornam-se inativas na digestão anaeróbia; b) nos processos de transferência de oxigênio, onde a solubilidade do oxigênio diminui a altas temperaturas e; c) no processo de sedimentação, já que a altas temperaturas a viscosidade é menor e portanto, melhoram as condições de sedimentação (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A temperatura do efluente a ser lançado em um corpo d'água deve ser inferior a 40°C, e a variação de temperatura no corpo receptor não pode ultrapassar 3°C a partir da zona de mistura (BRASIL, 2011).

1.4.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Consiste na concentração de íons de hidrogênio em uma solução, pelo que seus valores podem mudar por fatores naturais como fotossíntese, ou por antrópicos como efluentes domésticos. O pH às vezes influi no comportamento da solubilidade dos nutrientes, em reações de oxirredução, provoca a formação de precipitados de

elementos químicos tóxicos como os metais pesados (LIMA; BETHONICO; VITAL, 2018). O valor de pH em efluentes a ser lançados em corpos d'água classe 2, deve estar entre 6,0 e 9,0 (BRASIL, 2011).

1.4.1.3 Sólidos suspensos (SS)

Segundo Jordão e Pessoa (2011) os sólidos em suspensão não constituem sólidos que estão suspensos no líquido, mas sim partículas sólidas presentes em um volume da amostra de efluente, que podem ser retidas através de membrana filtrante adequada, sendo resíduos não filtráveis.

A importância da análise desse parâmetro em efluentes reside no fato de que sua presença na água pode ocasionar o armazenamento de lodo, problemas estéticos, adsorção de contaminantes, proteção de patógenos e processos anaeróbios, quando lançado em corpos hídricos sem tratamento adequado (MENDONÇA; MENDONÇA, 2017).

A Resolução nº430/2011 possui valores para a concentração de SS para lançamento do efluente de um sistema de tratamento de água a um corpo de água por emissário submarino, mas, para realizar as análises requer de um balanço de massa e trabalhar com modelo hidrodinâmico, por isso, se utilizará a Resolução Nº 034/2012 da Prefeitura de Manaus para lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários a corpos de água 100 mg/L (MANAUS, 2012).

1.4.1.4 Nitrogênio total (N-Total)

O nitrogênio é um nutriente inorgânico que em altas concentrações favorece o crescimento dos microrganismos (CHERNICHARO, 1997). De acordo com o mesmo autor, a amônia e o teor de nitrogênio orgânico liberado durante a degradação são as principais fontes de nitrogênio utilizadas pelos microrganismos, em quanto que o nitrogênio em condições anaeróbias, nas formas de nitrito e nitrato não estão disponíveis para crescimento bacteriano, devido a que são reduzidos a nitrogênio gás e liberado na atmosfera.

Por outro lado, a remoção do nitrogênio amoniacal no sistema de lagoas de estabilização ocorre da seguinte forma: a) segundo diversos autores, o processo de

volatilização em pH maior que 8 constitui o principal mecanismo de remoção deste parâmetro; b) diretamente, é digerido pela biomassa algal e; c) em menor proporção, é eliminada pelos processos de nitrificação e desnitrificação, o que mostra eficiências diferentes em um mesmo sistema (SOUSA; LIMA, 2015).

Segundo Von Sperling (2007), dentro dos tipos de lagoas de estabilização existentes, as de polimento ou maturação com profundidade inferior a 1,0 m são as que mais eficientemente removem N e P, pois o líquido da lagoa tende a ter um alto valor de pH devido à fotossíntese que ocorre em todo o volume da lagoa, favorecendo o processo de volatilização da amônia livre e a precipitação de fosfatos. Da mesma forma, ele menciona que as lagoas anaeróbias praticamente não removem nutrientes e que as lagoas facultativas e aeradas também não são eficientes nisso.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011, o valor máximo do parâmetro nitrogênio total no efluente que será lançado no corpo d'água receptor, corresponde ao estipulado de acordo com sua classificação (Rio Branco Classe 2), e definido na Resolução nº 357/2005, onde estabelece-se que quando o nitrogênio for o fator limitante para a eutrofização, nas condições dispostas pelo órgão ambiental competente, o valor do nitrogênio total (após a oxidação) deve ser inferior a 2,18 mg/L N em ambientes lóticos, na vazão de referência (BRASIL, 2005, 2011).

1.4.1.5 Fósforo total (P-Total)

O fósforo faz parte das águas residuais, aparecendo como fosfatos derivados de produtos de limpeza, principalmente detergentes, e em menor quantidade em carnes e alimentos (SOUSA; LIMA, 2015). O fósforo, juntamente com o carbono e o nitrogênio, são fontes de nutrientes para o crescimento de algas e bactérias, por isso devem estar presentes em maiores concentrações (MENDONÇA; MENDONÇA, 2017).

Nas lagoas de estabilização, a remoção do fósforo ocorre principalmente em pH básico, precipitando na forma de fosfatos, sendo digerido pela biomassa de algas existente no sistema, o que explica as diferentes concentrações de fósforo total (SOUSA; LIMA, 2015).

O valor do parâmetro fósforo total presente no efluente a ser lançado no corpo d'água receptor, lótico e de classe 2, está definido em até 0,1 mg/L P (BRASIL, 2005, 2011).

1.4.1.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Na lagoa facultativa, a matéria orgânica em suspensão é o DBO particulado, o qual tende a sedimentar formando o lodo de fundo (zona anaeróbia) (VON SPERLING, 2002). Por outro lado, conforme o mesmo autor, a matéria orgânica dissolvida é a DBO solúvel, e com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada) não sedimenta, permanece dispersa na massa líquida.

O teste de DBO é uma medida indireta da matéria orgânica; ele mede a mudança na concentração de oxigênio dissolvido (OD) causada por microrganismos enquanto eles degradam a matéria orgânica em uma amostra mantida em uma garrafa rolhada incubada por 5 dias no escuro a 20°C. Os analistas medem o OD antes e depois da incubação e calculam o DBO usando a diferença entre as medições de OD. Como a OD inicial é determinada logo após a diluição, todo o consumo de oxigênio que ocorre após essa medição é incluído no cálculo da DBO (APHA, 2005).

Segundo a Resolução N° 430/2011 o valor do parâmetro de DBO 5 dias presente no efluente oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários a ser lançado diretamente no corpo hídrico corresponde a máximo 120 mg/L, limite que pode ser ultrapassado no caso de o efluente ter uma eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2011).

1.4.1.7 Demanda química de oxigênio (DQO)

O parâmetro demanda química de oxigênio (DQO) é um indicador da eficiência do sistema de tratamento, mede a quantidade de oxigênio consumida no processo de oxidação química de todo composto oxidável no esgoto, pelo qual, é uma referência indireta da matéria orgânica presente na água (FRANCENER et al., 2015).

A DQO é obtida pela oxidação de quase todos os compostos orgânicos presentes nas águas residuais a dióxido de carbono e água, utilizando solução ácida de dicromato em ebulição para a reação, a qual acontece em mais de 95% (MARA, 2004). O mesmo autor expressa que, a vantagem das medições de DQO é que os

resultados das análises são obtidos muito rapidamente, em 3 horas, mas têm a desvantagem de não fornecer nenhuma informação sobre a proporção de águas residuais que pode ser oxidada por bactérias, nem sobre a taxa em qual ocorre a bio-oxidação.

Atualmente, a legislação federal nas Resoluções nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e 430/2011 (BRASIL, 2011) não padronizam o valor limite máximo acessível do parâmetro DQO, porém, existem alguns estados que possuem leis sobre esta área que padronizam esse parâmetro e são ainda mais restritivos com os valores limites dos demais parâmetros (MORAIS; SANTOS, 2019). Segundo os mesmos autores, o município de Manaus, no estado do Amazonas, possui legislação nesta área, sendo que a concentração máxima de DQO presente nos efluentes lançados pelos sistemas de tratamento de efluentes sanitários em corpos d'água é de 150 mg/L (MANAUS, 2012).

1.4.2 Parâmetros biológicos

Nos parâmetros biológicos tem-se coliformes totais, coliformes fecais, *Escherichia coli*, protozoários, cianobactérias, enterococos fecais, estreptococos, helmintos, entre outros (NEVES et al., 2015). Nesta pesquisa, será analisado o parâmetro coliformes termotolerantes, escolhido como um dos principais indicadores de poluição dos corpos de água, portanto, sua avaliação e monitoramento é fundamental para o diagnóstico da qualidade das águas de um corpo receptor (MORAIS; SANTOS, 2019).

1.4.2.1 Coliformes termotolerantes (CT)

Um indicador de contaminação recente por lançamento de efluentes domésticos e presença de animais nas margens de um corpo d'água é o número de coliformes termotolerantes, indicando condições higiênico-sanitárias inaceitáveis e, portanto, colocando em risco a saúde da população (MELO; MELO; MELO, 2020). Estas bactérias indicam uma contaminação de procedência fecal ao existir grandes quantidades nas fezes humanas e de animais; nos esgotos sanitários e ausentes em águas limpas (LIMA; BETHONICO; VITAL, 2018).

As lagoas de polimento e a de maturação são as que removem com alta eficiência aos coliformes fecais e aos ovos de helmintos, sendo uma de suas finalidades (VON SPERLING, 2007). De acordo com a Resolução nº 430/2011, o valor limite estabelecido para este parâmetro está definido de acordo ao enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2011), nesse caso o rio Branco de classe 2, então, não deve exceder um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral (BRASIL, 2005).

Os instrumentos legais que ajudarão a fundamentar as análises realizadas nesta pesquisa serão nomeados a seguir.

1.5 INSTRUMENTOS LEGAIS BRASILEIROS

No Quadro 11 se mostraram alguns instrumentos legais nacionais e municipais a considerar dentro da temática deste projeto, nas áreas de proteção dos recursos hídricos, meio ambiente, melhoria da qualidade de vida da população, saneamento básico e planejamento urbano.

É importante mencionar que na Resolução nº 357/2005, os valores dos parâmetros de qualidade das diferentes classificações de corpos d'água representam as concentrações da mistura após o lançamento de efluentes, ou seja, lançamento de efluente diretamente de uma fonte poluidora e, na Resolução nº 430/2011, são definidos os limites dos parâmetros para o efluente a ser lançado, ou seja, no efluente de uma estação de tratamento de esgoto que vai ser descarregado (JORDÃO; PESSOA, 2011).

As Resoluções nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e 430/2011 (BRASIL, 2011) não regulamentam os parâmetros de qualidade da água, demanda química de oxigênio e sólidos em suspensão, por isso foram tomadas como referência na análise do valor de concentração destes parâmetros no efluente da ETE no Rio Branco, a Resolução do Conselho Municipal de Desenvolvimento e Meio Ambiente - COMDEMA nº 034, de 27 de julho de 2012 - Câmara Municipal de Manaus (MANAUS, 2012), que estabelece normas e padrões de qualidade da água, condições para lançamento de efluentes, devido a que os dois estados Roraima-Amazonas pertencem à Amazônia Legal e são muito próximos.

Quadro 11 - Instrumentos legais nacionais e municipais a trabalhar nesta pesquisa

LEGISLAÇÃO NACIONAL
Lei Federal no 9.433 de 08 de janeiro de 1997 - Presidência da República: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
O objetivo da Política Nacional de Recursos Hídricos é a prevenção, defesa, captação, preservação dos recursos hídricos para assegurar sua disponibilidade e padrões de qualidade segundo seu tipo de uso para as futuras gerações.
Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
Instrumento criado para avaliar a evolução da qualidade das águas em relação a sua classificação, condições e padrões específicos (enquadramento), de modo de assegurar seus usos preponderantes para cobrir as necessidades da comunidade e o equilíbrio ecológico.
Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
Estabelece sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020 - Presidência da República: Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984/2000, a Lei nº 10.768/2003, a Lei nº 11.107/2005, a Lei nº 11.445/2007, a Lei nº 12.305/2010, a Lei nº 13.089/2015, a Lei nº 13.529/2017.
Busca a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, estruturar eficientemente e efetivamente a prestação regionalizada do serviço.
LEGISLAÇÃO MUNICIPAL
Lei Nº 513, de 10 de abril de 2000 - Prefeitura Municipal de Boa Vista: Dispõe sobre a política de proteção, do controle e da conservação do meio ambiente e da melhoria da qualidade de vida no município de Boa Vista-RR.
O objetivo desta lei é a administração, proteção e preservação do meio ambiente, para melhorar a qualidade de vida dos habitantes e proporcionar condições ao desenvolvimento socioeconômico do município de Boa Vista.
Lei Complementar Nº 924, de 28 de novembro de 2006 do Poder Executivo da Prefeitura Municipal de Boa Vista: Dispõe sobre o Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e dá outras providências.
Constitui um instrumento da política de desenvolvimento municipal fundamental para a implementação de ações dos agentes públicos e privados que atuam no município de Boa Vista, na área de planejamento urbanístico e zoneamento.
Resolução do Conselho Municipal de Desenvolvimento e Meio Ambiente - COMDEMA Nº 034, de 27 de julho de 2012 - Prefeitura de Manaus: Estabelece Normas e padrões para qualidade das águas, condições para lançamentos de efluentes e dá outras providências.
Esta Resolução estabelece as condições, parâmetros, padrões e diretrizes ambientais para o lançamento de efluentes pós-tratamento em corpos de águas superficiais receptores, pelo qual, gerencia às ações integrais das bacias hidrográficas.

Fonte: A autora (2023).

A dinâmica demográfica está relacionada à dinâmica urbana e, à medida que essa relação cresce, cresce também a necessidade de oferecer serviços de saneamento básico para proteger a saúde da população, cuidar dos recursos naturais e, na mesma linha desta pesquisa, por meio de uma gestão adequada do esgoto gerado, através de seu tratamento e disposição final dos efluentes cumprindo com a qualidade exigida pela lei. Portanto, a seguir será explicada a relação entre a dinâmica urbana, dinâmica demográfica com a instalação da Estação de Tratamento de Esgoto de Boa Vista.

1.6 DINÂMICA URBANA E DEMOGRÁFICA EM BOA VISTA

As dinâmicas urbanas estão relacionadas aos movimentos que a população realiza entre diferentes áreas, e influenciam significativamente a configuração dos espaços de atração ou repulsão, portanto registrar suas tendências ajuda a compreender uma nova configuração espacial (PINHEIRO et al., 2011). Da mesma forma, os mesmos autores narram que a dinâmica urbana reúne as causas que marcam as mudanças na produção do espaço, impulsionadas principalmente por incentivos do setor econômico, como investimentos públicos e alocações privadas em setores estratégicos. Estes fatores configuram espaços que se destacam pela concentração de equipamentos e serviços, pela centralização de atividades econômicas atrativas para novos investidores e fluxos migratórios.

A dinâmica demográfica produz-se por acontecimentos que se suscitam por décadas, entre o início e identificação dos momentos de câmbios no volume e crescimento populacional, onde são coletadas informações como a faixa etária da população, já que esse dado impacta na demanda de políticas de serviços públicos básicos (saúde, educação), bem como a disponibilidade de pessoas com características específicas de idade e sexo para trabalhar. As mudanças que ocorrem na distribuição espacial e na composição da população podem ser atribuídas a variáveis como taxa de natalidade, mortalidade e migração (imigração e emigração) (CARMO; CAMARGO, 2020).

Ao longo da história, a migração tem uma forte correlação entre a origem e o destino dos fluxos e a forma como esses locais funcionam, em termos de oportunidades, rendimento econômico, qualidade de vida, de acordo com a

experiência, visão de mundo e as redes migratórias e sociais pré-estabelecidas (DOTA; FERREIRA, 2023). As relações entre a dinâmica do espaço e a dinâmica demográfica traçam formas e as argumentações da desigualdade socioespacial (VERAS, 2009). A dinâmica caracteriza-se pela divisão do espaço urbano, onde as cidades são fragmentadas em zonas de alta e baixa renda, gerando uma segregação socioespacial, que cria uma paisagem urbana desigual, com a existência de grupos sociais em desiguais condições de acesso às oportunidades e serviços (SANTOS, 1993).

Boa Vista, segundo Veras (2009), deve ser compreendida como uma criação do homem que vai se desenhando ao longo de uma sequência histórica desde sua fundação, de fazenda a povoado, de povoado para freguesia, de freguesia para vila e sede municipal, seguidamente cidade.

Na mesma ordem de ideias, Veras (2009, p. 40) define:

A cidade, em cada uma das diferentes etapas do processo histórico, assume formas, características e funções distintas. Levando-se em conta a sua organização política, a estrutura do poder da sociedade, a natureza e repartição das atividades econômicas e as classes sociais.

Para Carlos (2007), a cidade fundamenta-se na sociedade urbana em processo de formação, em movimento. Isto significa, desde um ponto de vista geográfico, a cidade vislumbra-se a partir da particularidade das relações sociais em sua natureza social e histórica (a cidade é uma realização humana), que se transforma constantemente e, por tanto, o cidadão muda seu enfoque, desejos e necessidades, alterar as relações com o outro e com a cidade, redefinindo as formas de apropriação e o modo de reprodução do espaço.

O conceito oficial outorgado pelo IBGE no ano 2013, de cidade é de caráter político administrativo, definindo-se como a localidade onde está a sede do município (Prefeitura Municipal), constituída pela área urbana do distrito-sede e delimitada pelo perímetro urbano estabelecido por lei municipal. A limitação física do crescimento das cidades é determinada administrativamente pelo perímetro do município que a contém (VEIGA; MATTA; VEIGA, 2017).

De outra forma, segundo o IBGE (2023b, p.68) define a cidade como:

Nos espaços de predomínio do urbano, as cidades são a principal referência espacial. As cidades são, simultaneamente, a fusão da urbs, da civitas e da polis. A urbs é o espaço construído, a morfologia das cidades que se

concretiza em prédios, ruas, serviços de infraestrutura e que percebemos com mais facilidade. A cidade também é a civitas, uma realidade social constituída pela condição natural de uma pessoa pertencer a um lugar, implicando em noções de cidadania e pertencimento, através do ordenamento, controle da produção, dos fluxos, das ideias etc. A polis é a dimensão política e cultural da cidade e acarreta a disputa urbana pelo controle dos meios de reprodução que se estenderam além das cidades.

Sobre a criação de cidades, Silva (2015) aponta que existem três aspectos possíveis para a sua constituição, como o político, o econômico e o defensivo (considerado um sub-aspecto do político). Neste sentido, os mesmos autores referem que cada cidade é definida, desde as suas origens, e em certas circunstâncias de forma permanente, pela escolha inicial destas três vertentes. Além disso, explicam que esses fatores-chave se originam segundo uma cronologia histórica, resultando em um ordenamento territorial, atribuindo uma característica e uma hierarquia entre os centros urbanos existentes com base na realidade imposta, como no contexto de Roraima, onde estes três aspectos estão visivelmente enquadrados na realidade local ao longo da história, economicamente, como a mineração, politicamente, como o evento rodoviário e de colonização, e defensivamente, como os pelotões militares de fronteira.

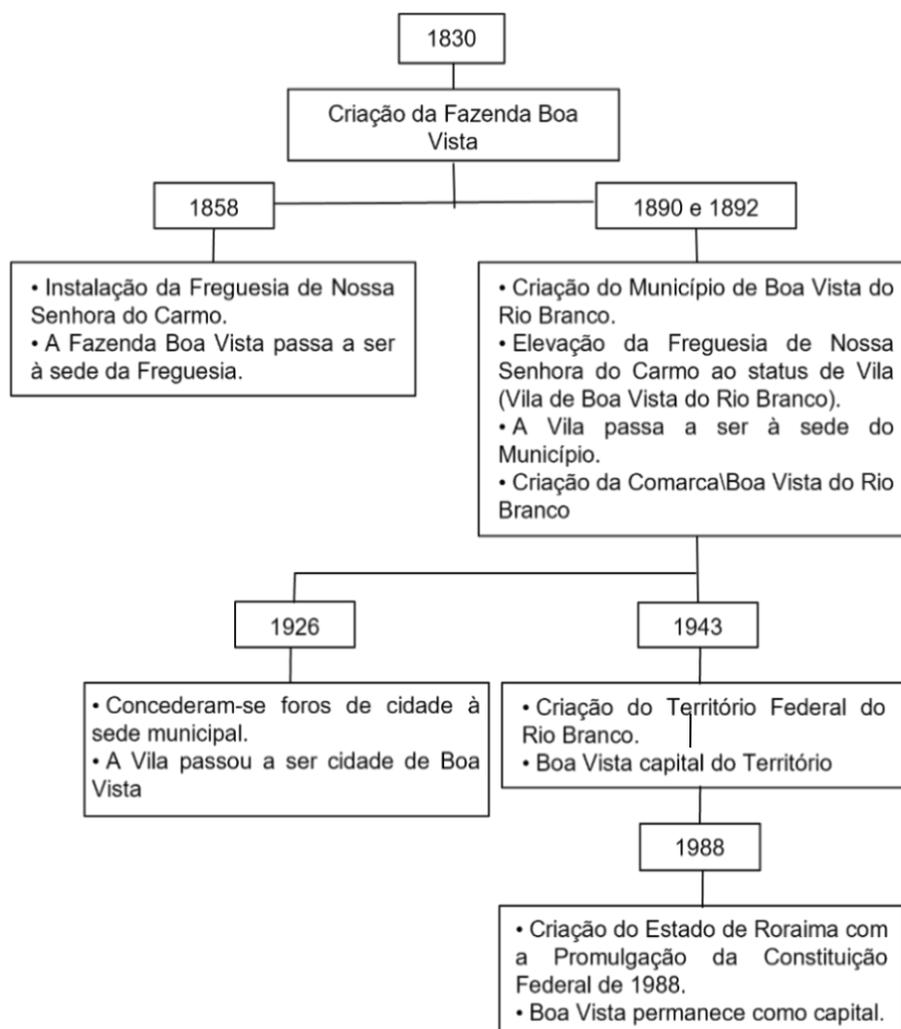
Boa Vista, capital de Roraima, é o local de convergência de atividades políticas e de serviços, que, juntamente com os acontecimentos históricos de sua ocupação, acumula o maior número de habitantes do estado. Esta cidade mostra-se como um espaço repleto de contrastes e contradições, o que reflete numa desigualdade socioespacial entre as zonas Leste e Oeste da capital (SALES; OLIVEIRA; GALDINO, 2021).

Analisar a produção do espaço e a expansão urbana de Boa Vista segundo Oliveira e Costa (2018) implicam, destacar a história de um território em formação, um lugar que esteve isolado do resto do Brasil durante séculos, até que, recentemente, foram realizadas ações que o conectaram, provocando uma verdadeira expansão demográfica. Da mesma forma, o autor exclama que se trata de uma área que em menos de 150 anos deixou de fazer parte do Território do Amazonas para se tornar capital após a formação do estado de Roraima pela Constituição Federal de 1988.

1.7 HISTÓRIA DE BOA VISTA

O desenho urbano da capital Boa Vista surge da articulação entre gestões sociais, econômicas e políticas desenvolvidas ao longo da história no espaço, delineando a gênese da formação/ocupação da área urbana em três cenas, resumida pelo autor como: a) a Fazenda Boa Vista do rio Branco (1830); b) a formação da Freguesia Nossa Senhora do Carmo (1858) e; a constituição da Vila (Município) Boa Vista do rio Branco (1890) (GALDINO et al., 2019). De acordo com Veras (2009), a história da Capital de Roraima, Boa Vista pode ser sintetizada (Figura 7).

Figura 7 - Organograma da periodização da dinâmica político-administrativa de Boa Vista.



Fonte: Adaptado de Veras (2009)

O crescimento populacional e urbano da cidade de Boa Vista, pode ser visto através de sua história iconográfica do período de 1830 a 1970 nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12 a seguir:

Figura 8 - Ano 1830. Fazenda Boa Vista.



Fonte: Acervo da Família Cafuti

A partir desta fazenda surgiu a cidade de Boa Vista, fundada em 1830, localizada na margem direita do rio Branco, distava aproximadamente 32 km do Forte São Joaquim (base da primeira população em aldeias localizadas no entorno da região do alto Rio Branco em 1775). Com o passar dos anos foi crescendo até se converter no principal povoado do alto rio Branco. Os agentes promotores do espaço foram: fundador o capitão cearense Inácio Lopes de Magalhães, que era ex-comandante do Forte de São Joaquim, populações indígenas (trabalhadores). A fazenda foi um indicador da ocupação pecuarista para abastecer as regiões do rio Negro e Amazonas (VERAS, 2009).

Figura 9 - Ano 1858. Fazenda Boa Vista com a Paróquia Nossa Senhora do Carmo (Igreja Matriz)



Fonte: Acervo de George Huebner e Maurício Zouein, 1904.

Ao redor da Fazenda Boa Vista, começou a surgir o povoado que logo se chamaria Freguesia de Nossa Senhora do Carmo em 1858, quando a região ainda fazia parte da Província do Amazonas. Em 1865, toda a região compreendida “das corredeiras do rio Branco para o Norte” passou a fazer parte da Freguesia. Em 1890, o povoado foi elevado à condição de Vila de Boa Vista do Rio Branco, sede do criado também município de Boa Vista do Rio Branco da Província do Amazonas (VERAS, 2009). Os agentes promotores do espaço foram: governo municipal, pecuaristas, garimpeiros, ordens religiosas, comerciantes, fazendeiros, a camada pobre da população (aqui inclui os indígenas residentes em Boa Vista), e famílias influentes os principais proprietários fundiários da Vila de Boa Vista. A realidade socioespacial ainda se constituía enquanto a defesa da fronteira Norte do país.

Figura 10 - Ano 1924. Espaço urbano da cidade de Boa Vista



Fonte: Adaptação do acervo de Hamilton Rice

Na década de 1920, segundo Batista e Silva (2018), já era possível perceber a implantação de novas distribuições urbanas com a construção de ruas, prédios públicos e privados e residências, dispostas sob modelo octogonal, tipo de tabuleiro. Ademais de algumas casas, possuíam a igreja, intendência, armazém. Por ausência de políticas públicas do governo do Estado do Amazonas, as residências e comércios ficaram próximos à margem direita do rio Branco. Em 1926, A Vila passou a ser cidade de Boa Vista. O sistema de abastecimento d'água era arcaico (por meio de aguadeiros), com ruas largas e retas, sem iluminação e sem arborização. Desenvolvimento da atividade pecuária, mineira, comércio (VERAS, 2009). Agentes promotores do espaço: moradores que formavam parte da população para esse

período, como: fazendeiros, comerciantes, governo municipal, pecuaristas, garimpeiros, religiosos, setor saúde, entre outros.

Figura 11 - Ano 1945. Antigo assentamento de Boa Vista



Fonte: Acervo da família Derenusson.

Em 1943, criou-se o Território Federal do Rio Branco (hoje Roraima), a cidade passou a ter independência político-administrativa, ao mesmo tempo em que foi elevada à categoria de capital do novo Território. A raiz disso, produz-se um acréscimo do fluxo migratório de outras regiões do país, incentivado pelos governadores nomeados à época, pela demanda populacional necessária para formar o centro urbano administrativo da cidade. Isto produz deficiências de moradias, alguns migrantes ao chegar por não ter onde morar, ocupavam irregularmente terrenos insalubres, degradação ambiental, ausência de serviços básicos e a necessidade de planejamento urbano sustentável. Em 1944, não havia saneamento nem saúde, iniciou-se a urbanização da cidade com o desenho do Eng. Darcy A, Derenusson, com forma radial centrado, elaborou o primeiro Plano Diretor Urbanístico até 1950. A partir desta década de 1940, inicia a distorção de uso do espaço urbano, o setor Leste foi definido como área nobre, o setor Oeste, periférico, da população mais pobre. Em 1950, já a cidade mostrava tendência de crescimento ao Oeste (VERAS, 2009). Agentes promotores do espaço: pecuaristas, fazendeiros, garimpeiros, religiosos, Estado Nacional, funcionários públicos, comerciantes entre outros.

Figura 12 – Ano 1969. Boa Vista.



Fonte: Acervo Jaime de Agostinho (SILVA, 2009).

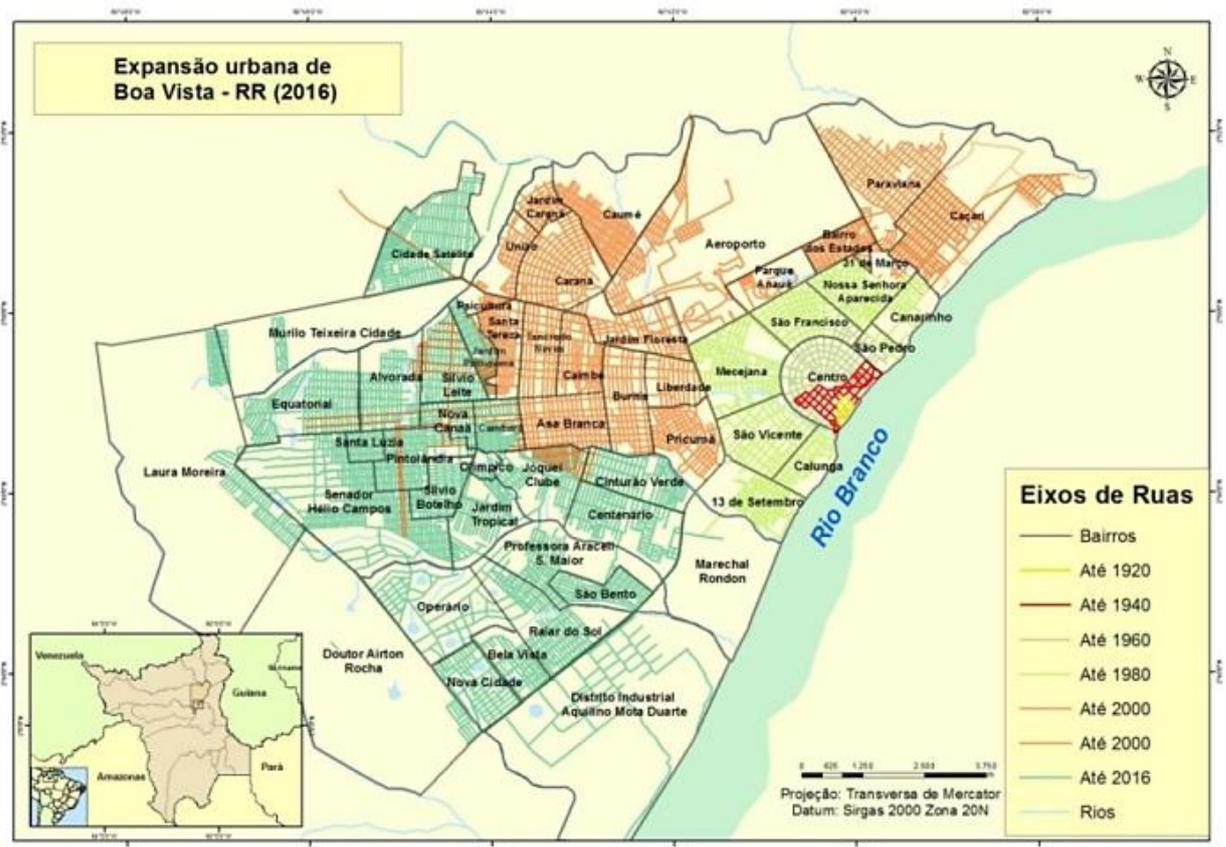
O período de 1960 e 70 esteve marcado como uma nova etapa de colonização e ocupação demográfica de Roraima (GALDINO, 2019). Em 1962, o Território Federal do Rio Branco mudou de nome para Território Federal de Roraima. O novo Plano Urbanístico de Boa Vista foi implantado. Na década de 1960 até 1970, esteve caracterizada pela atuação do Estado como principal agente promotor da expansão interna na região Amazônica, com o incentivo de inversão de capital nacional e internacional no mercado de terras para o desenvolvimento agropecuário, aproveitando as rodovias construídas que conectam com São Paulo. Estas ações visavam garantir o poder do Estado sobre as fronteiras nacionais, através da ocupação do território, atraindo trabalhadores rurais para programas de colonização dirigida, abrindo estradas e consolidando infraestruturas de transportes, comunicações e energia elétrica sobretudo para grandes indústrias do setor mineral. Em 1976, foi sancionada a Lei que dispõe sobre o Plano de Urbanismo e Zoneamento de Boa Vista, juntamente com a Primeira Coletânea de Códigos do Município, em 1977 (VERAS, 2009). Agentes promotores do espaço: Governo, fundiários, migrantes, pecuaristas, garimpeiros, comerciantes entre outros.

No final da década de 1970, o Plano Diretor Urbanístico realizado por Derenusson para que a cidade crescesse de forma ordenada foi esquecido por outros governantes, resultando na deformação do modelo centro radial (VERAS, 2009). A partir de 1985, como resultado de estratégias de diferentes lideranças governamentais do tipo assistencialista de incentivo migratório para áreas rurais, urbanas e de distribuição fundiária urbana, houve uma expansão urbana com o surgimento de novos bairros, de maneira desordenada, trazendo consigo problemas na infraestrutura

urbana, ocasionado pela lógica dos políticos de primeiro ocupar e depois estruturar (BATISTA; SILVA, 2018). Em 1988, produz-se a transição do Território Federal para o Estado de Roraima, com independência político-administrativa (VERAS, 2009).

A dinâmica de produção do espaço urbano de Boa Vista e, portanto, de Roraima, acontece pelo mínimo a três aspectos importantes: a febre dos garimpos de ouro e diamante na década de 1970, ativação e incentivo do setor agrícola e o incentivo às migrações. Adicionalmente, o Governo Federal promoveu e implementou, programas habitacionais, sobretudo nos limites da malha urbana ou em áreas de expansão. Esse intenso movimento de crescimento urbano, causou a proliferação dos bairros periféricos e a ocupação irregular de áreas de proteção ou de risco ambiental, crescimento populacional e com isso demanda de serviços públicos (educação, saúde, transporte dentre outros), afetando diretamente os índices de emprego, desemprego e trabalho informal (OLIVEIRA; COSTA, 2018). Ademais, as ocupações estão se produzindo ao redor de Áreas de Proteção Permanentes - APP's (VERAS, 2009). O crescimento da cidade orientado para a zona Oeste é refletido na Figura 13.

Figura 13 – Expansão de Boa Vista desde o ano 1920 a 2016



Fonte: Oliveira e Costa (2018).

Existe uma relação entre a dinâmica demográfica e a urbana, onde a população, na busca-a de melhores condições de vida, desloca-se em uma mesma localidade, para outro estado ou país, abrindo caminho para o progresso da dinâmica urbana, produzindo espaços. A evolução da dinâmica demográfica em Boa Vista desde 1940 a 2022 pode ser observada no Quadro 12, Figura 14.

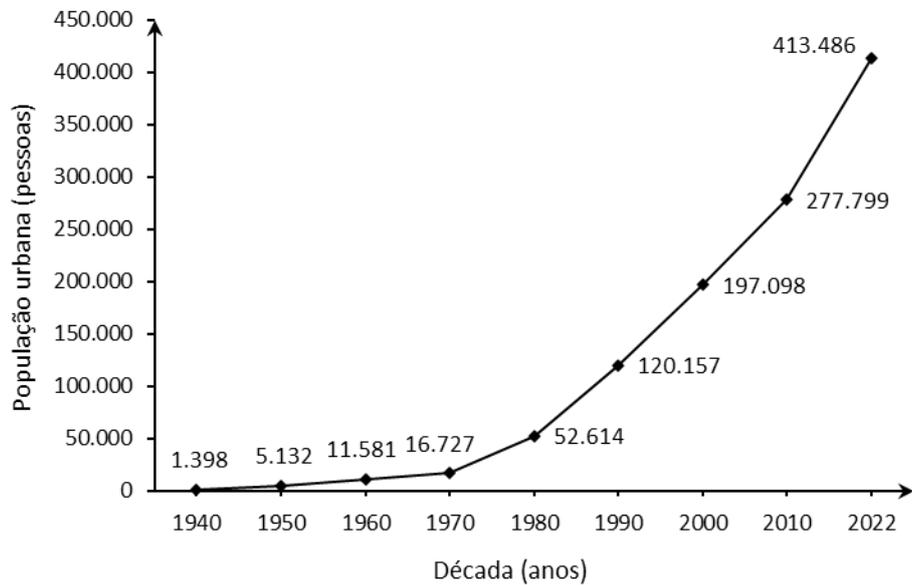
Quadro 12 – Dinâmica demográfica do município de Boa Vista desde 1940 a 2022

Década	População urbana	Referências
1940	1.398	IBGE (1940). Município do estado do Amazonas
1950	5.132	IBGE (1950, 1960, 1970, 1980). Município do Território Federal.
1960	11.581	
1970	16.727	
1980	52.614	
1990	120.157	IBGE (1991, 2000, 2010). Município do estado de Roraima.
2000	197.098	
2010	277.799	
2022	413.486	IBGE (2023a). Aproximação de população urbana (está incluída a rural)

Fonte: A autora (2023). Adaptação de Oliveira e Costa (2018)

Verifica-se, que antes do ano 1980 o crescimento populacional produzia-se lentamente, porém, após esse ano, foi marcado por um grande desenvolvimento da região causada por diferentes situações: a) a construção e abertura das rodovias BR-174, BR-210 e BR-401 entre os anos de 1970 e 1990 (SOUZA; SILVA, 2021); b) a elevação de Roraima a estado em 1988; c) o governo de Ottomar de Souza Pinto entre 1979 a 1983 e entre 1991 e 1995 intercalado pelo governo de Romero Jucá, entre 1987 e 1989, desenvolveram políticas públicas de doação de terrenos rurais e urbanos incentivando a migração com o surgimento de novos bairros (WALTER, 2021); d) Outros autores, Sales, Oliveira, Galdino (2021) expressam que esse grande fluxo migratório que se verificaria anos mais tarde, seria causado pela ativação do garimpo.

Figura 14 – Dinâmica demográfica de Boa Vista anos 1940 a 2022



Fonte: A autora (2023). Adaptação de Oliveira e Costa (2018).

Para o ano 2021, as migrações dentro do mesmo território do Brasil com destino a capital de Roraima diminuíram, mas, é produzida por estrangeiros venezuelanos, haitianos e cubanos dentre outros (SOUZA; SILVA, 2021). A partir de 2016 e 2017, verificou-se um aumento de imigrantes venezuelanos que permaneceram em Roraima, especificamente em Boa Vista, e foi crescendo até 2019 (FGV, 2020). Esse processo de migração segundo Souza e Silva (2021) desenvolveu-se rapidamente, causando uma mudança na vida e imagem visual de Boa Vista. Os mesmos autores narram, que se a “situação fronteiriça” do estado, marcou a cidade de Boa Vista com migrações internas, ainda mais com esse novo movimento migratório internacional (chegada de milhares de venezuelanos), aspecto que gera um contexto urbano repleto de encontros e desencontros, de diferenças, em que surgem todas aquelas inconformidades sociais típicas da área urbana, que atualmente se manifestam através de vínculos causais concedidos a novos personagens e atores sociais, aumentando a demanda por serviços públicos, equipamentos e infraestrutura urbana (de saneamento básico), os quais normalmente são precários, e também o caráter dinâmico da única capital brasileira localizada inteiramente no hemisfério norte.

1.8 A ETE NO ESPAÇO URBANO: BAIRROS SÃO BENTO E PROFESSORA ARACELIS SOUTO MAIOR

O bairro São Bento originou-se de uma ocupação ilegal chamado “Brigadeiro” que com muita perseverança foi legalizado (MEDEIROS; VERAS, 2018). Através da Lei nº 543, sancionada pelo governador em 15 de maio 2006, estando a cargo o Instituto de Terras e Colonização de Roraima - ITERAIMA, aprovaram a regularização fundiária sustentável de 380 casas de alvenaria e 923 de madeira (sendo 1.275 famílias) de uma quantidade de 499 casas de alvenaria e 1.475 de madeira construídas pelos mesmos moradores. Entre os anos de 2008 a 2010 o bairro São Bento foi declarado como “Área Especial de Interesse Social”, com cessão de casas para 2.123 famílias, mas, no ano de 2014 já várias famílias não moravam no bairro (NISTAL, 2014).

Além disso, expressa que o projeto de urbanização do bairro foi desenvolvido com a demarcação da área de preservação ambiental de 200 m ETE, com as mesmas ruas construídas durante a ocupação, mas que numa segunda etapa foram urbanizadas pelo Governo Nacional por meio de políticas sociais, sendo construídas 1.275 moradias, obras de infraestrutura como rede de distribuição de água, rede de coleta de esgoto, drenagem e pavimentação de ruas. Para esse ano de 2014, o autor afirma ainda que os gases liberados pela estação de tratamento de esgoto e causados por deficiências operacionais afetaram negativamente a população por muito tempo, mas foram reduzidos após as obras de reforma.

O bairro Professora Aracelis Souto Maior nasceu como uma invasão às margens do Igarapé Grande, devido ao fácil acesso ao curso d'água que a população poderia ter. O processo de ocupação do bairro sem planejamento causou a destruição dos recursos naturais, principalmente das matas ribeirinhas. A cobertura vegetal nativa, representada por diferentes biomas, fragmentou-se, dando lugar à urbanização. Um dos motivos da formação deste bairro foi o estabelecimento de moradias irregulares às margens do Igarapé Grande (FORTES et al. 2018).

2 OBJETIVOS

Nesta seção será mostrado o que se pretende desenvolver neste trabalho de investigação.

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a interação entre a dinâmica urbana e a eficiência da ETE Boa Vista no período de 2012 a 2022.

2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar a eficiência no tratamento de esgoto da ETE Boa Vista/RR no período de estudo de 2012 a 2022, para os parâmetros de DBO, DQO, sólidos suspensos, coliformes termotolerantes, na entrada e saída de cada lagoa.
2. Discutir a interação entre a dinâmica urbana e a instalação da ETE Boa Vista.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa tem abordagem qualiquantitativa, quanto aos objetivos são do tipo explicativos. Seus procedimentos baseiam-se em revisão de material documental, bibliográfico, que inclui livros, publicações periódicas, artigos científicos, mapas cartográficos, documentos diversos, em formato físico e digital, em sites.

Este tópico abordará aspectos como localização e características geográficas da área de estudo. O delineamento da pesquisa realizou-se para saber a origem dos dados que foram utilizados, tratados e analisados para atingir os objetivos declarados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida na cidade de Boa Vista, capital do estado de Roraima. Esta cidade possui uma área urbanizada de 116,77 Km², e uma população no município para o ano 2022 de 413.486 pessoas (IBGE, 2023a). Está localizado na porção setentrional da Amazônia, sua área corresponde a 2,54% do estado de Roraima (Figura 15) (RODRIGUES; SANDER; WANKLER, 2019).

A área de estudo é composta pela Estação de Tratamento de Esgotos - ETE das Lagoas de Estabilização de Boa Vista, analisando a interação entre a dinâmica urbana e a eficiência da Estação de Tratamento de Efluentes. A ETE está localizada no bairro São Bento, limite com o bairro Professora Araceli Souto Maior, na zona oeste (Figuras 15), coordenadas geográficas 2°47'08.73"N 60°42'51.03"O (GOOGLE EARTH, 2023), e está rodeado por os igarapés Grande e Paca (CHAVES et al., 2020), os quais deságuam no rio Branco (MENEZES; COSTA, 2007).

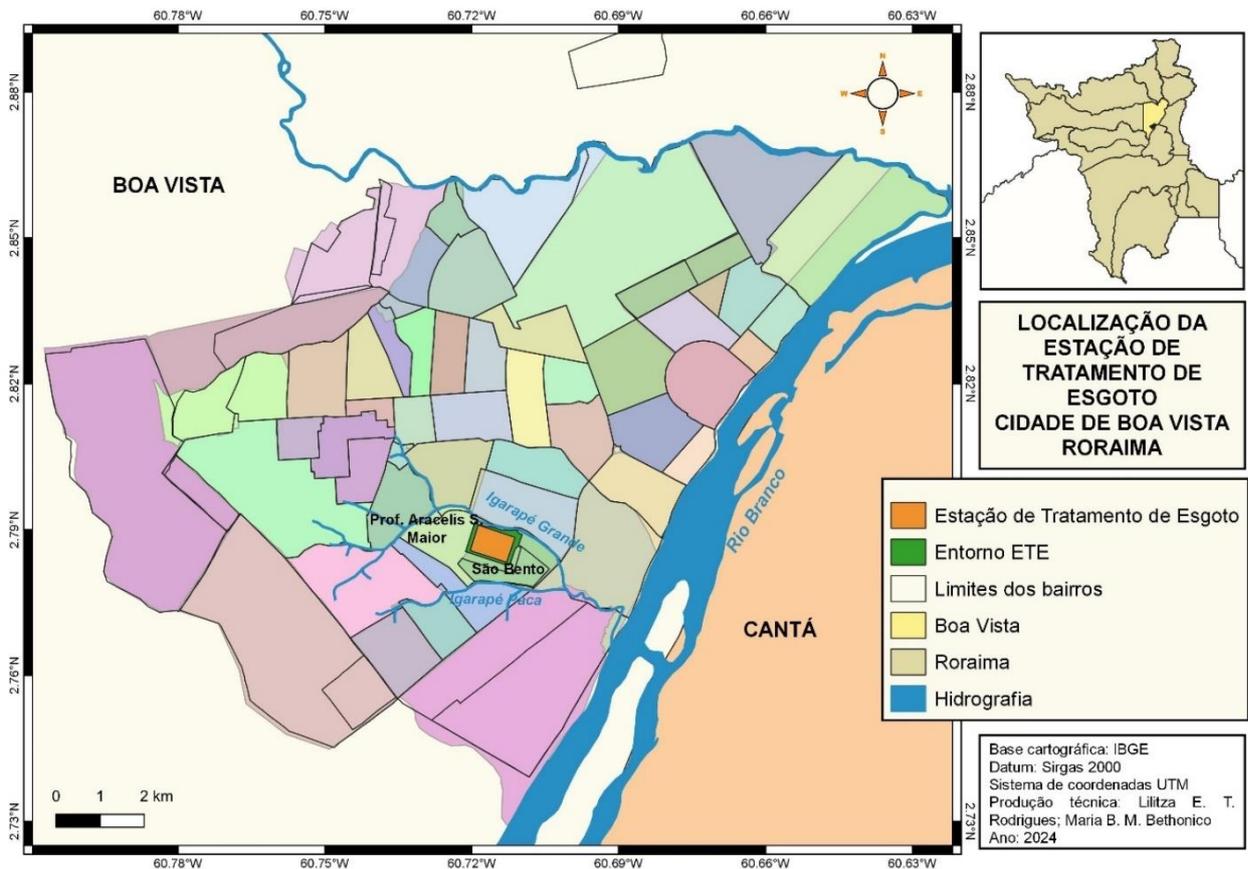
A localização do bairro São Bento conforme Nistal (2014, p. 92):

O bairro São Bento está situado em uma pequena colina, cuja base a sudoeste estabelece limites com a Rodovia BR-174 (Boa Vista – Manaus); a leste e a nordeste faz divisa com a usina de asfalto e com o remanescente do antigo lixão de Boa Vista (área não recuperada); ao norte, com as lagoas de estabilização que tratam o esgoto da cidade; a oeste, com o bairro Profa. Araceli Souto Maior; a sudoeste e ao sul, seu limite é com o igarapé Paca, que tem sofrido processo de assoreamento.

Os igarapés Grande e Paca estão cercados pelos bairros Jardim Silvio Botelho, Raiar do Sol e Jardim Olímpico, bairros que surgiram nos últimos anos como ocupações irregulares, da necessidade da população recém chegada a Boa Vista que

não dispunha de recursos para ocupar áreas legalmente organizadas (MENEZES; COSTA, 2007). Segundo o mesmo autor, muitas residências foram construídas nas margens dos igarapés, removendo a mata ciliar e implantando-os ambientalmente.

Figura 15 - Localização da área de estudo no município e cidade de Boa Vista estado Roraima



Fonte: Trias e Bethonico (2024). Adaptado do IBGE (2024).

A cidade de Boa Vista, assim como outras cidades amazônicas do Brasil, nasceu na margem direita do rio Branco, é abundante em recursos hídricos como lagos e igarapés, além de possuir grande reserva de águas subterrâneas do Aquífero Boa Vista e também contribui para o seu abastecimento urbano (RODRIGUES; SANDER; WANKLER, 2019). A característica climática do município de Boa Vista é de clima úmido, com moderada deficiência hídrica no inverno, classificado pelo método de Thornthwaite como B2WA para o período de 1991 a 2020. De acordo aos mesmos autores, na classificação climática por Köppen, o clima é Am (Tropical chuvoso com curta duração seca), com temperatura média anual de 28,2 °C e médias mensais oscilando entre 26,8 °C (julho) e 29,3 °C (outubro), com pluviosidade média

de 1761,8 mm.ano-1 e às médias mensais flutuando entre 29,1 mm (janeiro) e 347,3 mm (maio) (ARAÚJO *et al.* 2024).

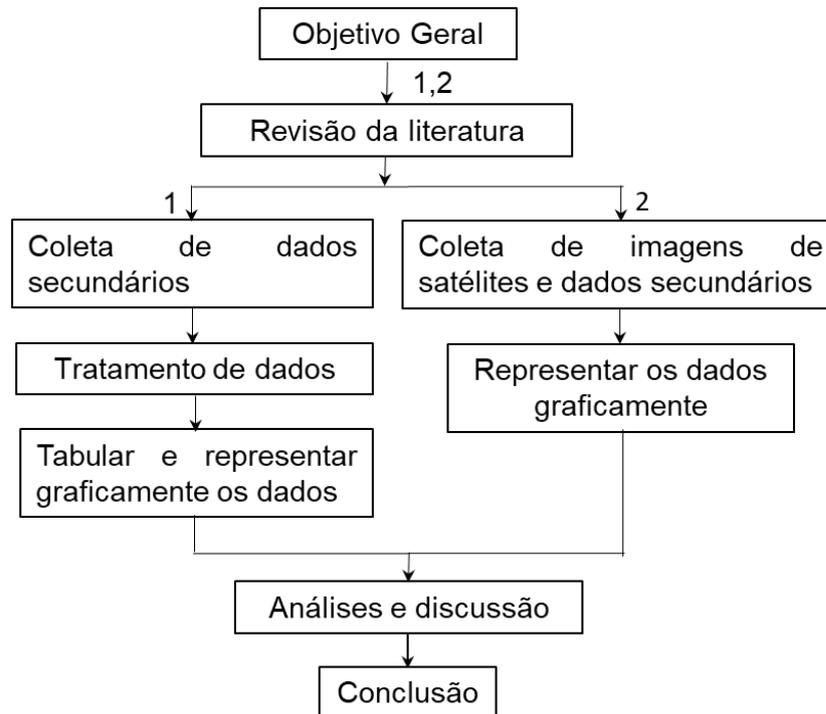
A vegetação se caracteriza pela presença das savanas (lavrado), com floresta de galeria e buritizais (*Mauritia flexuosa L.*) ao longo dos rios e igarapés. A hidrografia está marcada pela presença dos rios Branco (principal rio do estado) e do principal afluente da margem direita, o rio Cauamé, no qual se associam os lagos e igarapés que atravessam a capital. Geologicamente, está inserido na Formação Boa Vista (sedimentos que datam do final do período terciário e início do quaternário), que compreende uma área plana, a geomorfologia pertence a Depressão Boa Vista que se caracteriza pela presença de relevo plano suavemente dissecado sendo interrompida por ondulações suaves, que se destacam na planura. Os solos formados a partir de sedimentos pré-intemperizados, cauliniticos e pobres em óxidos de ferro, se caracterizando pela presença dos Latossolos Amarelos, estes em geral associados à Argissolo Amarelo, cujo material de origem são sedimentos argilo-arenosos da Formação Boa Vista (FALCÃO; SOUZA, 2022).

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para o levantamento bibliográfico, base teórica da pesquisa, foram utilizados dados secundários para o período de 2012 a 2022, coletados dos sites: Google Academic, Sciencedirect, Scielo, Scopus, Researchgate e outros; dos quais os de tipo governamental são: Portal periódicos CAPES, Painel Saneamento Brasil, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Trata Brasil. Entre as palavras-chaves utilizadas na pesquisa nos sites, estão: estação de tratamento de esgoto em Boa Vista Roraima, lagoa de estabilização, saneamento básico, bairro São Bento, Igarapé Grande, caracterização da qualidade de esgoto, dinâmica demográfica e urbana, expansão urbana em Boa Vista - RR, crescimento populacional de Boa Vista - RR, ocupações irregulares, outros.

A seguir, na Figura 16 mostra-se o fluxograma da pesquisa com o procedimento metodológico que foi desenvolvido.

Figura 16 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: A autora (2023).

Para atingir os objetivos propostos, foram desenvolvidos os seguintes procedimentos:

1. Determinar a eficiência no tratamento de esgoto da ETE Boa Vista/RR no período de estudo de 2012 a 2022, para os parâmetros de DBO, DQO, sólidos suspensos, coliformes termotolerantes, na entrada e saída de cada lagoa.

Os dados das análises dos parâmetros da qualidade da água da DBO, DQO, sólidos suspensos, coliformes termotolerantes (adaptado dos dados básicos para avaliar o desempenho da ETE de Von Sterling (2002)), na entrada e saída de cada lagoa, foram fornecidos pelo Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB (2020) e a Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAER), compõem o banco de dados vinculado à pesquisa no período dos anos 2012 a 2022. A amostragem foi realizada uma no período de verão, uma no período de chuva e uma nictemeral (24H) anualmente para cada parâmetro analisado.

A técnica de análises utilizada para esses parâmetros foi dos Standard methods for the examination of water and wastewater da American Public Health Association - APHA (2005), tal como pode ser observado na Tabela 1.

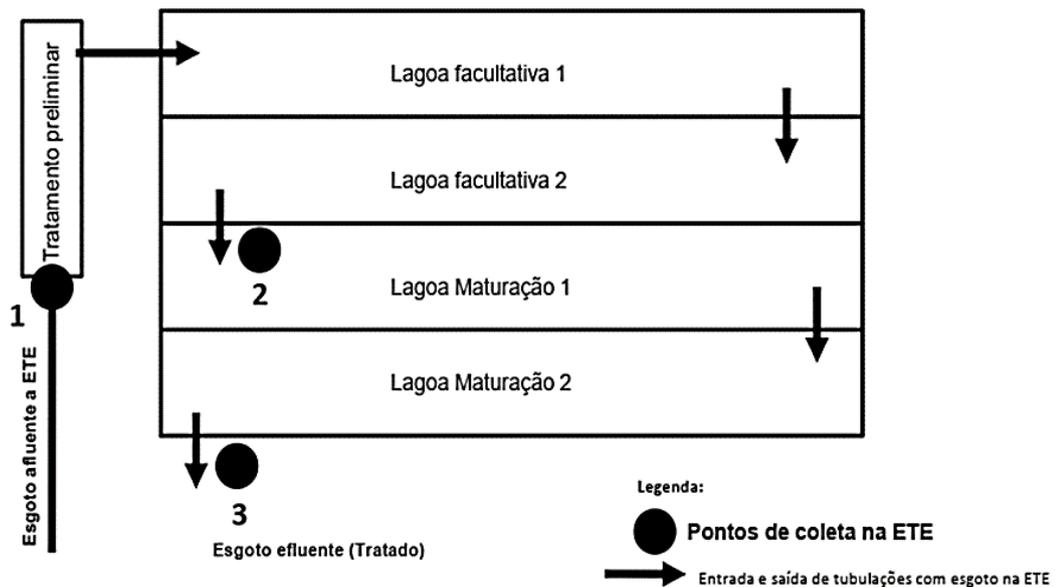
Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, métodos usados e referências

Parâmetros	Unid.	Método	Ref.
DBO	(mg/L)	Frascos padrões	APHA et. al. (2005)
DQO	(mg/L)	Refluxação fechada	
SS	(mg/L)	Gravimétrico	
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	Membrana de filtração	

Fonte: Planos Municipais de Saneamento Básico – PMSB e CAER (2020).

No que se refere as coletas, a Figura 17 detalha os locais onde foram feitas as coletas pela CAER:

Figura 17 – Pontos de coletas das amostras no período de estudo



Fonte: PMSB e CAER (2020).

Os pontos de coleta de amostras realizadas pela CAER foram na entrada (tratamento preliminar) e saída nas lagoas facultativa secundária, e lagoa de maturação secundária do sistema, o que totaliza 03 pontos de amostragens na ETE Boa Vista. As coletas foram coletadas sempre nas primeiras horas da manhã, entre 6h as 8h, numa profundidade não superior a 30 cm. da superfície de cada ponto da Estação de Tratamento de Esgoto.

- a) Os valores resultantes das análises de laboratório para cada parâmetro, por sazonalidade, no período de 2012 a 2022, foram organizados em tabelas, tratados com estatística descritiva (média, mínimo, máximo) por tipo de lagoa, e realizou-se representações gráficas utilizando a planilha eletrônica do Microsoft Excel.
- b) Esses dados tabulados e em gráficos foram comparados com valores de referência da literatura e com os valores padrão estabelecidos pela legislação, Resoluções N° 357/2005, 430/2011 e 034/2012 (Quadro 12).

Quadro 13 - Limites máximos acessíveis dos parâmetros de qualidade a analisar nesta pesquisa, das águas doces classe 2

Parâmetro de qualidade	Limite máximo acessível	Fonte
Demanda bioquímica de oxigênio, DBO 5 dias a 20°C	5 mg/L O ₂	(BRASIL, 2005, 2011)
Coliformes termotolerantes	1.000 CT/100 mL em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante um período de um ano com frequência bimestral	
Sólidos suspensos totais, SST	100 mg/L	(MANAUS, 2012)
Demanda química de oxigênio, DQO	150 mg/L	

Fonte: A autora (2023).

- c) Realizou-se o cálculo das eficiências de cada parâmetro, por sazonalidade, por ano do período de estudo, para cada lagoa e para todo o sistema, foi calculado a partir da diferença entre o afluente e o efluente final (Equação N° 1 adaptada de Von Sperling (2002)) resultando na eficiência expressa em percentual, a seguir:

$$E_i = [(P_o - P)/P_o] \times 100 \quad (1)$$

E_i (%) = eficiência de remoção do parâmetro i .

P_o = valor do parâmetro no afluente.

P = valor do parâmetro no efluente.

i = DBO (mg/L), DQO (mg/L), SS (mg/L), CT (NMP/100 mL).

- d) Com o apoio da literatura consultada, os dados foram analisados, discutidos e realizou-se as conclusões.

2. Discutir a interação entre a dinâmica urbana e a instalação da ETE Boa Vista.

a) Realizou-se pesquisa, seleção e leitura prévia da bibliografia como: artigos, dissertações, teses e sites oficiais que abordam os tópicos necessários para produzir o referencial teórico da pesquisa.

b) Revisão de material bibliográfico que indique a dinâmica urbana e demográfica da cidade de Boa Vista.

c) Realizou-se uma visita *in situ* no IBGE sede Boa Vista para buscar informações sobre a data de origem dos bairros de Boa Vista com sua população, a fim de verificar e analisar a produção do espaço, suas circunstâncias, atores formadores do espaço, ou seja, a dinâmica urbana e, além disso a populacional antes e após da instalação da ETE.

A informação fornecida para os anos 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010 (não possuíam dados deste tipo posteriores ao ano 2010, o último Censo do ano 2022 está em fase de finalização para disponibilizarem os dados) organizou-se em duas tabelas para melhor observação dos dados, colocando em uma o número total da população distribuídos por zonas norte, sul, leste e oeste e centro, e em outra, a quantidade de bairros formados em diferentes anos. Assim mesmo, elaborou-se diagramas de pizza de acordo a cada ano, com o intuito de identificar a zona que apresentou o maior percentual de crescimento urbano, para sua posterior análises. Mediante pesquisa em sites da internet conseguiu-se informações sobre os novos bairros criados após do ano de 2010. A análises realizou-se comparando os resultados estatísticos com a informação coletada da bibliografia.

d) Para a elaboração dos produtos cartográficos for utilizado o histórico das imagens de satélite do programa Google Earth Pro 2024. Buscou-se as imagens correspondentes a datas anteriores e posteriores da ETE Boa Vista, anos 1991, 1996, 2000, 2012, 2016 e 2022, tomando em conta aspectos importantes da dinâmica urbana e demográfica. Esta análise foi complementada com a coleta de material cartográfico na escala temporal de 2012 a 2022 do lugar de interesse. As imagens foram tratadas destacando em cor amarelo o crescimento urbano.

e) A partir do mapa disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal e a Prefeitura de Boa Vista (BOA VISTA, 2023b), sinalizando os loteamentos aprovados na cidade desde 2006 até 2023, contendo às áreas consolidadas e de

expansão urbana dos Planos Diretores do ano 2006 e de 2011, acrescentou-se análises, discussões sobre o tema de interesse.

f) Às análises, discussões dos resultados e conclusões realizou-se correlacionando estas informações com a literatura acadêmica, científica (FALCÃO; SOUZA, 2022).

4 RESULTADOS E DISCUSÃO

Com base no referencial teórico, com os materiais e métodos realizados, poderão então ser verificados os resultados obtidos após a análise e discussão da informação de interesse recolhida.

4.1 EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ESGOTO DA ETE BOA VISTA RORAIMA NO PERÍODO DE ESTUDO DE 2012 A 2022

Os parâmetros básicos para avaliar o desempenho no tratamento de esgoto das lagoas de estabilização são vazão, DBO, DQO, sólidos suspensos, N-total e P-total. Nesta pesquisa serão analisados DBO, DQO, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes na entrada e saída de cada lagoa. É importante a análise desses, uma vez que, os efluentes da ETE são descarregados ao rio Branco, fonte de abastecimento de água de parte da cidade de Boa Vista e de recreação. A seguir, serão analisados os parâmetros da qualidade da água selecionados nesta pesquisa.

4.1.1 Análises dos parâmetros de DBO, DQO, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes, na entrada e saída de cada lagoa no período de 2012 a 2022.

Tratando os dados com estatística descritiva (média, mínimo, máximo), tabulando e realizando os gráficos em Excel para os parâmetros DBO, DQO, SS e coliformes termotolerantes no período de 2012 a 2022, classificados por estação (seca e chuvosa) e por tipo de lagoa, serão analisados, discutidos e concluídos a seguir:

a) Demanda bioquímica de oxigênio – DBO (mg/L)

Os valores obtidos para o parâmetro DBO a partir das amostragens e análises laboratoriais realizadas pela Concessionária CAER, por época do ano para o período de 2012 a 2022, são apresentados a seguir (Tabelas 2 e 4).

O valor mínimo da DBO no EB no ano de 2012 é de 216,6 mg/L, o máximo corresponde ao ano 2022 com 423,0 mg/L. Segundo Jordão e Pessoa (2011) o esgoto doméstico normalmente varia entre 100 a 400 mg/L, portanto, 82% dos dados do

período de estudo encontram-se dentre essa faixa, exceto o valor máximo de 423,0 mg/L que excede a referência.

Tabela 2 – Médias dos valores do parâmetro DBO (mg/L) da ETE Boa Vista na estação seca do período de 2012 até 2022.

Tipo de lagoa/Ano	Valores do parâmetro DBO (mg/L)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
EB	216,6	278,0	311,0	275,4	358,0	375,0	387,0	355,0	375,0	401,0	423,0	
ELA	147,2	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.										
ELF	136,1	139,0	109,5	111,4	145,6	135,0	145,0	131,0	145,0	205,7	210,4	
ELM	72,2	56,0	63,9	79,4	109,0	65,9	78,0	53,0	85,0	109,8	101,5	

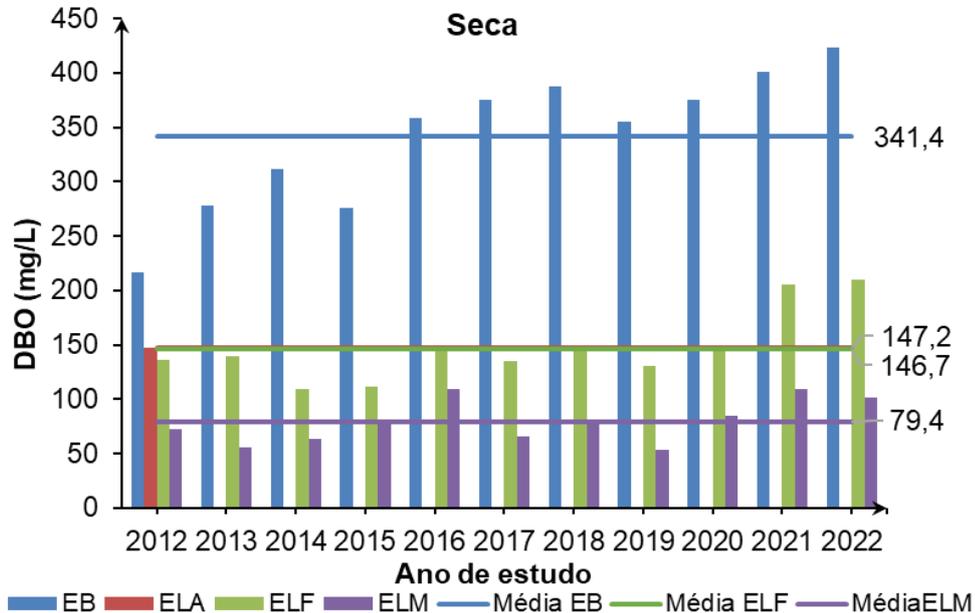
EB: esgoto bruto; ELA: efluente da lagoa anaeróbia (entrada lagoa facultativa 1); ELF: efluente lagoa facultativa 2 (entrada lagoa de maturação 1); ELM: efluente lagoa de maturação (saída lagoa de maturação 2). Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo.

Fonte: A autora (2024). Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (2023).

Para melhor compreensão dos dados a serem analisados, a figura abaixo (Figura 18) permite visualizar o comportamento da DBO nos afluentes e efluentes de cada lagoa. Verifica-se uma tendência de aumento na concentração da demanda bioquímica de oxigênio no esgoto bruto. Apesar do crescimento populacional da cidade de Boa Vista/RR nesse período, e com isso um maior consumo de água pela população, ao diminuir o consumo de água *per capita* (segundo FUNASA (2019) a faixa é de 150 a 300 L/hab.d para cidades com população maior a 250.000 hab.) maior é a concentração da DBO. Uma menor concentração no efluente pode representar uma maior diluição dos efluentes devido ao maior consumo de água pela população.

Quanto ao comportamento das concentrações de DBO nos efluentes das lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação para cada ano, verifica-se uma diminuição, indicando remoção de DBO. De acordo com a legislação, a concentração máxima de DBO no efluente a ser lançado em um corpo hídrico é de 120 mg/L (BRASIL, 2011), portanto a concentração da DBO no efluente da lagoa de maturação para todos os anos de estudo (Tabela 2) cumpre com o estabelecido com a Resolução 430/2011 (BRASIL, 2011).

Figura 18 – Comparação temporal da DBO (mg/L) na estação seca do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024)

Para determinar o valor de remoção, foram calculadas as eficiências de cada lagoa e a eficiência operacional desse parâmetro Tabela 3.

Tabela 3 – Eficiências de remoção de DBO (%) operacional e por tipo de lagoa na estação seca

Tipo de lagoa/Ano	Eficiência de remoção de DBO (%)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
L.A	32,0	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia									
L.F	7,5	48,7	64,8	59,5	59,3	64,0	62,5	63,1	61,3	48,7	50,3
L.M	47,0	46,6	41,6	28,7	25,1	51,2	46,2	59,5	41,4	46,6	51,8
Operacional ETE	66,7	72,6	79,5	71,2	69,6	82,4	79,8	85,1	77,3	72,6	76,0

L.A: lagoa anaeróbia; L.F: lagoa facultativa; L.M: lagoa de maturação. A cor vermelha destaca o valor mínimo e máximo de cada lagoa. Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo.

Fonte: A autora (2024).

A principal função das lagoas anaeróbias é remover DBO da água, com eficiência de 50 a 70% (SILVA FILHO, 2007; VON SPERLING, 2002) e de 50 a 60%

(JORDÃO; PESSOA, 2011). Em 2012, a eficiência de remoção da DBO foi de 32,0%, valor baixo comparado à literatura, o que pode ter acontecido devido à influência da presença de oxigênio dissolvido, da temperatura da água (inferior a 15°C) e do pH inadequado (pH ácido), o impacto do clima nas bactérias metanogênicas (redução da sua taxa de reprodução), com acúmulo de ácidos formado na primeira etapa (conversão da matéria orgânica em outras formas mais simples e ácidos). Esses ácidos podem causar interrupção na remoção de DBO e gerar maus odores (os ácidos são extremamente malcheirosos) (VON SPERLING, 2002).

A eficiência das lagoas facultativas (lagoas facultativas 1 e 2) em 2012 foi de 7,5%, bem abaixo da referência (75 a 85%). Este valor pode ser devido a problemas operacionais nas lagoas, tais como: pouca passagem de energia luminosa devido à proliferação de algas (formando um creme esverdeado na superfície da lagoa), pouca circulação de vento, presença de algum material estranho (VON SPERLING, 2002). Os valores de eficiência de remoção de DBO das lagoas facultativas nos demais anos estão todos próximos do valor reportado na literatura, sendo a maior eficiência de 64% em 2017.

Em relação às lagoas de maturação, vale lembrar que são utilizadas no final de um sistema de lagoas de estabilização, com o objetivo de melhorar a qualidade do efluente previamente tratado, reduzindo a concentração de microrganismos patogênicos, especialmente coliformes fecais (JORDÃO; PESSOA, 2011). Portanto, a eficiência da lagoa de maturação pode ser medida através da eficiência de remoção de coliformes fecais, e seu valor contribui para o cálculo da eficiência operacional do sistema.

Segundo referências bibliográficas, a eficiência de um sistema de lagoas facultativas e de maturação está entre 80 e 85% de remoção de DBO (SILVA FILHO, 2007), de modo que das eficiências operacionais apenas 18% estão dentre dessa faixa (82,4% de 2017 e 85,1% de 2019). A Resolução nº 430/2011 estabelece que a eficiência de remoção de DBO deve ser de no mínimo 60% para ser lançada em corpo hídrico (BRASIL, 2011), sendo o valor oficial, as eficiências operacionais da Tabela 2 cumprem com o limite máximo permissível estabelecido.

Os valores da concentração da DBO no processo de depuração do esgoto na época chuvosa no período de estudo, podem ser observados no Tabela 4.

Tabela 4 – Médias dos valores do parâmetro DBO (mg/L) da ETE Boa Vista na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.

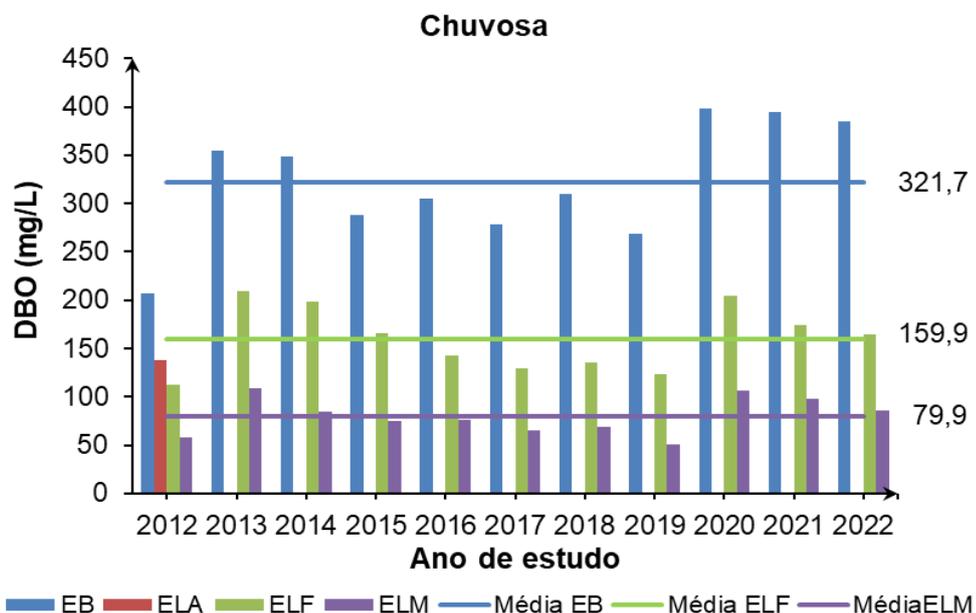
Tipo de lagoa/Ano	Valores do Parâmetro DBO (mg/L)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EB	206,4	355,0	349,2	288,0	305,0	278,0	310,0	269,0	398,0	395,0	385,0
ELA	137,6	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.									
ELF	112,1	209,2	198,0	165,3	143,2	129,0	135,0	123,0	205,0	174,0	165,1
ELM	58,2	109,1	85,0	75,2	76,4	65,0	69,0	51,0	106,0	98,0	85,7

EB: esgoto bruto; ELA: efluente da lagoa anaeróbia (entrada lagoa facultativa 1); ELF: efluente lagoa facultativa 2 (entrada lagoa de maturação 1); ELM: efluente lagoa de maturação (saída lagoa de maturação 2). Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo.

Fonte: A autora (2024). Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (2023).

A faixa da concentração da DBO presente no esgoto doméstico normalmente é de 100 a 400 mg/L (JORDÃO; PESSOA, 2011), o máximo encontrado no esgoto bruto na Tabela 4 é de 398,0 mg/L (ano 2020) e o mínimo de 206,4 mg/L (ano 2012), e a média corresponde a 321,7 mg/L, assim, todos os valores coincidem com os reportados na literatura. A seguir, será realizado o gráfico comparativo da DBO na estação chuvosa do período de estudo (Figura 19).

Figura 19 – Comparação temporal da DBO (mg/L) na estação chuvosa do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

O comportamento da concentração de DBO na lagoa facultativa e de maturação possui o mesmo comportamento suscitado no EB, de aumento e diminuição. Os valores mais baixos podem ser atribuídos a diluição pela época de chuva, os mais altos poderiam corresponder a pouco consumo de água *per capita*. Além disso, os valores da concentração da DBO no efluente do sistema para todos os anos de estudo e a média, cumprem o limite máximo estabelecido pela Resolução nº 430/2011, de 120 mg/L.

Para verificar o desempenho do sistema na remoção da DBO, foram calculadas as eficiências por tipo de lagoa e operacional (Tabela 5). A eficiência de remoção de DBO no ano 2012 para a lagoa anaeróbia foi de 33,3%, por baixo da referência de 50 a 70% (SILVA FILHO, 2007), sendo possivelmente por afetação do clima no equilíbrio da atividade biológica (bactérias, algas, dentre outros), interrompendo em ocasiões o processo de estabilização da matéria orgânica.

Tabela 5 – Eficiências de remoção de DBO (%) operacional e por tipo de lagoa na estação chuvosa

Tipo de lagoa/Ano	Eficiência de remoção de DBO (%)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
L.A	33,3	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia										
L.F	18,5	41,1	43,3	42,6	53,0	53,6	56,5	54,3	48,5	55,9	57,1	
L.M	48,1	47,8	57,1	54,5	46,6	49,6	48,9	58,5	48,3	43,7	48,1	
Operacional ETE	71,8	69,3	75,7	73,9	75,0	76,6	77,7	81,0	73,4	75,2	77,7	

Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo.

Fonte: A autora (2024).

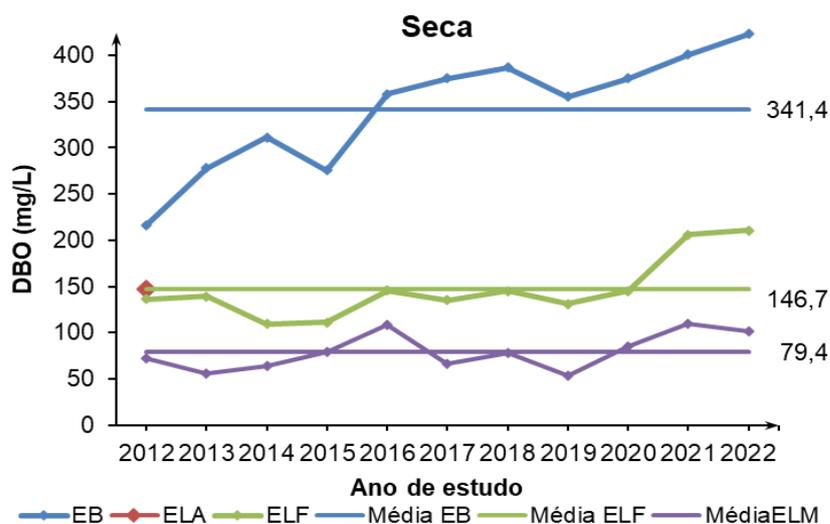
A eficiência das lagoas facultativas teve mínimo de 18,5% em 2012, bem abaixo da referência de 75 a 85% (VON SPERLING, 2002), isso pode ser por problemas de operação, tais como: presença de espuma por admissão de afluentes com altas concentrações de óleos e graxas, floração de algas que formam uma nata esverdeada na superfície da lagoa, impedindo a entrada dos raios UV inibindo a atividade fotossintética na região logo abaixo da camada das algas, igualmente acontece com a acumulação da vegetação no meio líquido da lagoa, falta de manutenção da lagoa e outros (KELLNER; PIRES, 1998). O valor máximo é 57,1%,

portanto o restante das eficiências dos outros anos foi inferior à faixa apresentada na literatura. Com a eficiência da lagoa de maturação verifica-se a eficiência operacional do sistema, com um mínimo de 69,3% para o ano de 2013, e um máximo de 81,0% no ano de 2019, cumprindo a norma, assim, constatou-se que todas as eficiências são superiores a 60%, valor estabelecido na Resolução nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

A Figura 20 permite analisar o comportamento da DBO, por sazonalidade, no período de estudo. Como esperado, a concentração de DBO para o EB na estação de estiagem tende a ser maior do que para a estação chuvosa, possivelmente devido às condições do clima próprias de cada estação; no período seco há pouca precipitação, temperatura ambiente mais elevada e, portanto, maior evaporação natural apresentando maior valor de concentração de DBO que no período chuvoso.

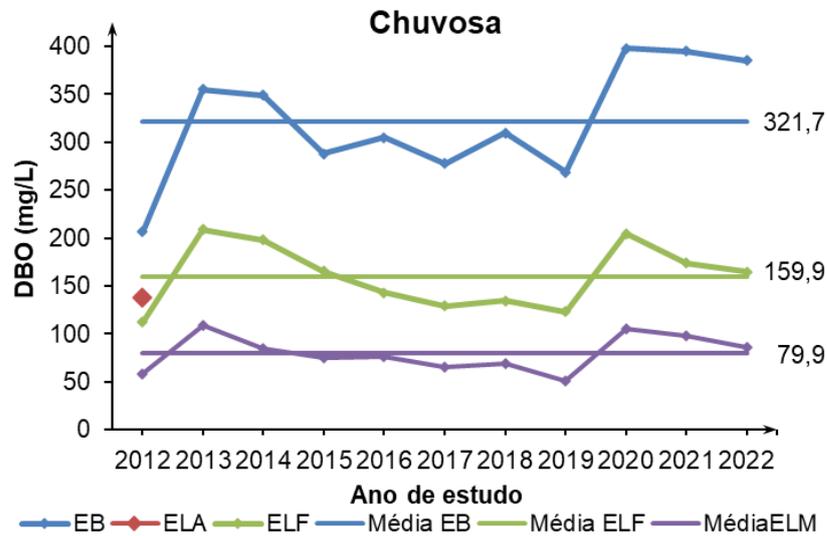
Na estação chuvosa, ao contrário, deve haver maior diluição no afluente que entra na ETE, devido às chuvas (canais de águas pluviais) que ficam ligadas à estação de tratamento. Os autores Mahapatra, Samal e Dash (2022) afirmam que na estação seca a eficiência das lagoas é maior que na estação de chuva, neste caso, a eficiência média de remoção da DBO no período de estiagem é de 83,28% e no chuvoso é de 82,73%.

Figura 20 – Comportamento temporal da DBO (mg/L) de acordo a sazonalidade seca-chuvosa do período de 2012 até 2022 (continua)



Fonte: A autora (2024).

Figura 20 – Comportamento temporal da DBO (mg/L) de acordo a sazonalidade seca-chuvosa do período de 2012 até 2022 (conclusão)



Fonte: A autora (2024).

Ao comparar os valores da concentração da DBO para as lagoas facultativa e de maturação, de acordo a sazonalidade (Figura 20), pode-se observar que ela é menor no período de estiagem, isso sugere que há uma maior remoção de DBO, conforme indicado na literatura (MARA, 2004; VON SPERLING, 2002), a temperatura, a radiação solar influenciam a velocidade das reações bioquímicas (taxas de decomposição bacteriana, velocidade da fotossíntese das algas), viscosidade, solubilidade e transferência de gases, e sedimentação de frações orgânicas particuladas, tornando-as mais rápidas.

b) Demanda química de oxigênio – DQO (mg/L)

Os valores de concentração de DQO, na estação seca no período de 2012 a 2022, fornecidos pelo Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB e CAER, após amostragem e análise laboratorial, foram organizados na Tabela 6 e representados graficamente na Figura 21.

Tabela 6 – Valores do parâmetro DQO da ETE Boa Vista na estação seca do período de 2012 até 2022.

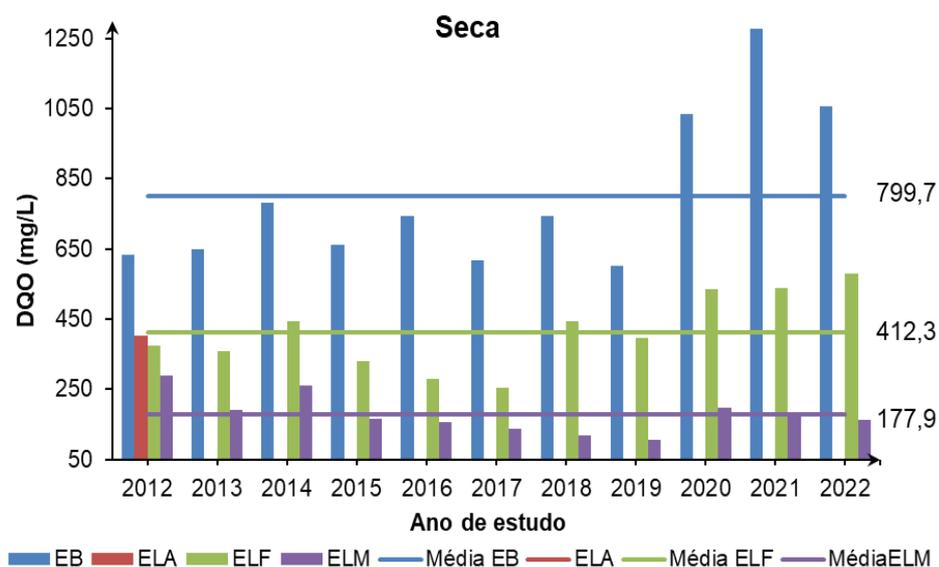
Tipo de lagoa/Ano	Valores do Parâmetro DQO (mg/L)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EB	633,9	650,0	780,0	660,3	745,0	618,0	744,0	601,0	1034,0	1276,0	1055,0
ELA	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.										
ELF	374,4	359,0	445,0	330,4	280,2	254,0	442,0	396,0	536,0	539,1	579,1
ELM	288,0	190,0	259,0	165,3	155,0	137,0	118,0	105,0	198,0	177,2	164,1

Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo. Cor vermelho: fora do limite máximo permitido pela lei.

Fonte: A autora (2024). Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (2024).

Observando a Figura 21 e Tabela 6, percebe-se que a concentração de DQO no EB para 2019 é de 601,0 mg/L, representando o valor mínimo. O valor máximo corresponde a 1276 mg/L no ano de 2021. O valor máximo pode corresponder ao baixo consumo de água pela população, o que torna as águas residuais mais concentradas. Entre os anos de 2012 a 2019 a concentração de DQO não variou muito, apresentando-se um aumento brusco no ano de 2020 até 2022.

Figura 21 – Comparação temporal da DQO (mg/L) na estação seca do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

A DQO no EB varia entre 400 e 1500 mg/L (SOUSA; LIMA, 2015), e quando comparamos os valores da Tabela 6 com essa faixa, eles coincidem em 100%. Porém, para outros autores como Jordão e Pessoa (2011) a DQO presente nos esgotos domésticos está na faixa de 200 a 800 mg/L, podendo atingir concentrações muitas vezes maiores nos casos de esgotos industriais, faixa que é superada pelos valores obtidos para os anos de 2020 a 2022, os quais correspondem a 1034,0; 1276,0 e 1055,0 mg/L respectivamente, o qual deve ser analisado.

A ETE Boa Vista, recebe esgoto proveniente de fossas sépticas, por empresas que prestam esse serviço no município (verificado em Visita Técnica realizada o dia 06 de março do presente ano). Os esgotos de fossas sépticas possuem características análogas a esgoto industrial, pelo fato de ficar um período de detenção muito grande até que são retirados e levados para a ETE. Um exemplo de faixa de concentração média da DBO e DQO em esgotos de caminhões limpa fossa é de 288 a 6.050 mg/L e 1.500 a 137.600 mg/L respectivamente (ANDREOLI, 2009), superando a faixa da DBO e DQO para esgotos domésticos. Não existe uma lei que proíba o lançamento desses tipos de efluentes em lagoas de estabilização.

As concentrações médias da DQO por lagoa mostram claramente a remoção deste parâmetro com tendência central de 799,70 mg/L no EB, a 412,3 mg/L no efluente das lagoas facultativas até 177,9 mg/L no efluente das lagoas de maturação. Comparando o valor de DQO da lagoa facultativa com a literatura de 120 a 200 mg/L (VON SPERLING, 2002), constatou-se que 100% dos dados estão fora da faixa (acima) definida na referência.

Uma maneira de entender o comportamento do parâmetro DQO é através da relação DQO/DBO, a qual especifica a biodegradabilidade do esgoto e define seu melhor tipo de tratamento. Na literatura, existem vários significados para os valores que resultam dessa relação, para Jordão e Pessoa (2011) se o valor se encontra de 1,7 a 2,5 indica que o esgoto é de origem doméstico e que deve ser tratado biologicamente, se está acima de 2,5 indica presença de efluentes industriais e que deve receber tratamento físico-químico, porque existem substâncias menos facilmente degradáveis. Calculando esta relação para o período de estudo na época de estiagem (Tabela 7).

Tabela 7 – Relação de tratabilidade DQO/DBO do esgoto bruto na estação seca do período de 2012 a 2022

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DQO/DBO	2,93	2,34	2,51	2,40	2,08	1,65	1,92	1,69	2,76	3,18	2,49

Cor vermelho: valores que correspondem a esgotos com despejos industriais.
Fonte: A autora (2024).

Esses resultados da Tabela 7 mostram que 55% dos valores da relação de tratabilidade no período de estudo apresentam características de esgoto bruto de origem doméstico. Os anos de 2012 com um valor da relação de 2,93, 2014 com 2,51, 2020 com 2,76 e 2021 com 3,18 (45% dos dados) indicam esgoto bruto com presença de materiais orgânicos não biodegradáveis ou análogo a águas com despejos industriais. É importante monitorar esse parâmetro para melhorar as condições operativas da ETE e evitar a poluição do rio Branco.

A remoção da DQO no efluente da lagoa anaeróbia (403,2 mg/L) no ano 2012 (antes da reforma), apresentou pouca variação comparado ao valor registrado no efluente da lagoa facultativa (afluente da lagoa de maturação, de 374,4 mg/L), e por sua vez, esse valor variou pouco com respeito ao obtido no efluente da lagoa de maturação (288,0 mg/L).

Os valores da concentração de DQO no efluente da lagoa de maturação, ou seja, o efluente do sistema apresenta um mínimo de 105,0 mg/L, resultado que corresponde ao estabelecido na Resolução N° 034/2012 de 150 mg/L (MANAUS, 2012), e um máximo de 288,0 mg/L, valor que excede a norma. Dos dados estudados, 73% das concentrações de DQO ultrapassaram o limite máximo permissível estabelecido pela norma, além disso, a concentração média resultou em 177,9 mg, mostrando a tendência dos dados a incumprir a norma, podendo comprometer a qualidade da água do corpo receptor (rio Branco), dependendo também da vazão de descarrega a esse recurso hídrico.

Quanto à eficiência de remoção da DQO e eficiência operacional, tem-se a Tabela 8. Como é conhecido, as lagoas anaeróbias são planejadas basicamente para a remoção de carga orgânica ou estabilização da matéria orgânica biodegradável, porém, também pode em menor grau remover parte da matéria orgânica não biodegradável presente na DQO, neste caso com uma eficiência de 36%. As

eficiências de remoção da DQO em lagoas facultativas na literatura é de 65 a 80% (JORDÃO; PESSOA, 2011; VON SPERLING, 2002).

Tabela 8 – Eficiências de remoção de DQO (%) operacional e por tipo de lagoa na estação seca

Tipo de lagoa/Ano	Eficiência de remoção de DQO (%)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
L.A	36,4											
					ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia							
L.F	7,1	44,8	42,9	50,0	62,4	58,9	40,6	34,1	48,2	57,7	45,1	
L.M	23,1	47,1	41,8	50,0	44,7	46,1	73,3	73,5	63,1	67,1	71,7	
Operacional ETE	54,6	70,8	66,8	75,0	79,2	77,8	84,1	82,5	80,9	86,1	84,4	

Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo.
Fonte: A autora (2024).

Ao observar a Tabela 8, nenhuma das eficiências aproxima-se a essa faixa, significando pouca remoção de DQO na lagoa facultativa. Isso pode acontecer quando parte dos sedimentos acumulados no fundo da lagoa, incorporam-se ao volume líquido, aumentando a DQO (KELLNER; PIRES, 1998). Por outro lado, há um valor pequeno da concentração de DQO para o ano de 2012, de 7,1, caso similar com a concentração da DBO, isto pode acontecer por um erro de transcrição de dados.

Verificando a eficiência de remoção da DQO por tipo de lagoa no período de 2012 a 2022, a lagoa de maturação mostra a maior eficiência comparado a lagoa facultativa, aproximadamente em um 70%. Concernente a eficiência de remoção da DQO do sistema, na literatura, para um sistema de lagoa facultativa e de maturação a faixa é de 70 a 83% (SILVA FILHO, 2007). Comparando as eficiências calculadas, apenas 18% ficou fora dessa faixa (54,6 de 2012 e 66,8% de 2014), as demais tem uma representação de 82% que coincide com a bibliografia.

Analisando o parâmetro de DQO por tipo de lagoa na estação chuvosa do período de estudo (Tabela 9). Com os valores do parâmetro DQO fornecido pelo Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (Tabela 9), procede-se a realização do gráfico correspondente para seu posterior análises (Figura 22).

Tabela 9 – Valores do parâmetro DQO da ETE Boa Vista na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.

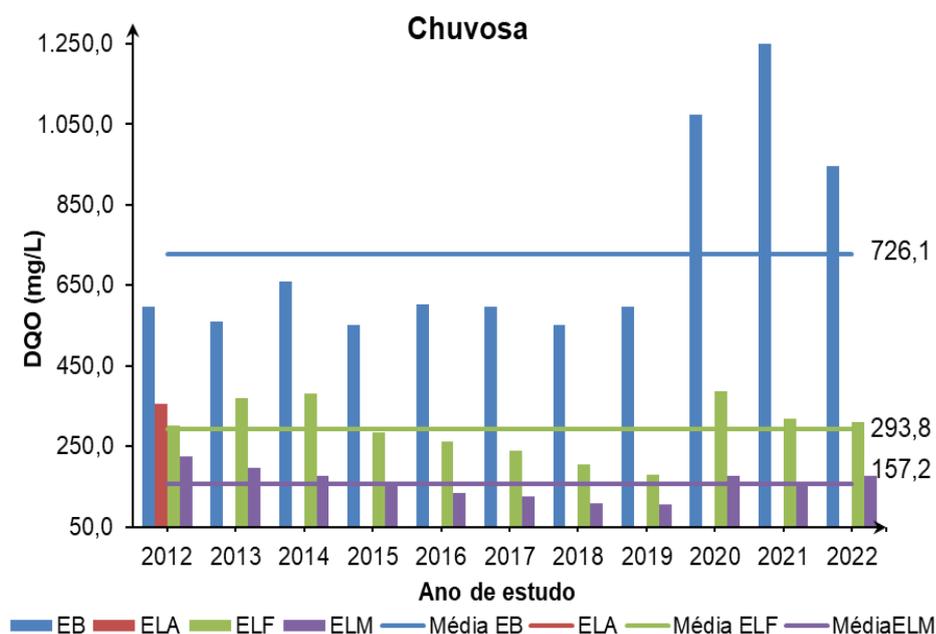
Tipo de lagoa/Ano	Valores do Parâmetro DQO (mg/L)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EB	598,0	560,0	660,0	550,2	602,3	598,0	550,0	598,0	1075,0	1250,0	945,2
ELA	356,7	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.									
ELF	302,1	368,1	380,0	284,4	261,4	239,0	205,0	178,0	387,0	317,0	309,5
ELM	225,2	195,5	175,1	155,2	132,5	125,0	107,1	105,0	175,0	156,0	177,2

Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo. Cor vermelho: fora do limite máximo permitido pela lei.

Fonte: A autora (2024). Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (2023).

A mínima concentração de DQO no EB na Figura 22, corresponde ao ano 2018 com 550,0 mg/L, o máximo pertence ao ano 2021 com 1250,0 mg/L, coincidindo com o máximo verificado no mesmo ano na época de seca, isto faz presumir que nesse ano, na hora da amostragem havia pouco consumo de água *per capita* e por isso maior concentração da DQO.

Figura 22 – Comparação temporal da DQO (mg/L) na estação chuvosa do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

De 2012 a 2019, o comportamento da DQO no EB foi semelhante, com um aumento acentuado na concentração de 2020 a 2022, coincidindo com o aumento da população em Boa Vista e a instalação de novas ligações à rede de esgoto que descarrega na ETE, tal como verificou-se no referencial teórico. Comparando os valores da concentração de DQO no EB com a referência da literatura de 400 a 1500 mg/L para efluentes de origem doméstico (SOUSA; LIMA, 2015), 100% dos dados coincidem com essa faixa.

Outros autores como Jordão e Pessoa (2011) referem uma faixa de 200 a 800 mg/L para esgotos brutos domésticos, coincidindo um 73% dos dados com essa referência. O 27% que ficou fora da faixa de referência foram 1075,0 mg/L (2020), 1250,0 mg/L (2021) e 945,2 mg/L (2022). Altas concentrações de DQO (maiores que o valor máximo dessas faixas na literatura) indicam efluentes de origem industrial. Nesse caso, temos os efluentes dos caminhões de limpeza de fossas descarregando na ETE, que, como mencionado acima, apresentam comportamento da DQO semelhante aos efluentes industriais, situação que deve ser analisada.

Os valores da concentração de DQO no efluente do sistema possui um mínimo de 105,0 mg/L, coincidindo com o limite máximo permissível da Resolução N° 034/2012 de 150 mg/L (MANAUS, 2012), e um máximo de 225,2 mg/L, valor que não cumpre com a norma. Nos dados obtidos (Tabela 9) 36% das concentrações de DQO cumprem com o limite máximo permissível estabelecido pela norma.

A remoção da DQO nas lagoas facultativas e de maturação aparentemente apresentam o mesmo comportamento do esgoto bruto ao longo dos anos. Para conhecer se o processo de cada lagoa e do sistema estão funcionando bem, é necessário verificar suas eficiências. Ademais, uma forma de analisar o comportamento da DQO é através de sua relação com a DBO (Tabela 10).

Tabela 10 – Relação de tratabilidade DQO/DBO do esgoto bruto na estação chuvosa do período de 2012 a 2022

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DQO/DBO	2,90	1,58	1,89	1,91	1,97	2,15	1,77	2,22	2,70	3,16	2,46

Cor vermelha: valores fora da faixa.

Fonte: A autora (2024).

Utilizando como referência a faixa de valores da relação de tratabilidade da DQO/DBO de Jordão e Pessoa (2011), de 1,7 a 2,5, o 27% do estudado (2,90 de 2012; 2,70 de 2020 e 3,16 de 2021) apresentaram no esgoto bruto condições análogas às de origem industrial ou com presença de outros tipos de materiais orgânicos não biodegradável, porém, a tendência é de um esgoto doméstico, satisfazendo as condições de desenho da ETE. O desempenho operacional para cada lagoa, em relação a remoção da DQO, pode ser verificado na Tabela 11.

Tabela 11 – Eficiências de remoção de DQO (%) operacional e por tipo de lagoa na estação chuvosa

Tipo de lagoa/Ano	Eficiência de remoção de DQO (%)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
L.A	40,4	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia										
L.F	15,3	34,3	42,4	48,3	56,6	60,0	62,7	70,2	64,0	74,6	67,3	
L.M	25,5	46,9	53,9	45,4	49,3	47,7	47,8	41,0	54,8	50,8	42,7	
Operacional ETE	62,3	65,1	73,5	71,8	78,0	79,1	80,5	82,4	83,7	87,5	81,3	

Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo. Cor vermelho: fora da faixa estabelecida pela literatura.

Fonte: A autora (2024).

Comparando a eficiência de remoção da DQO na lagoa anaeróbia na estação seca, na chuvosa resultou maior, 40%, possivelmente por uma maior concentração da DQO em época seca e uma maior diluição na chuvosa, devido a adição das águas pluviais. As eficiências de remoção da DQO em lagoas facultativas é de 65 a 80% (JORDÃO; PESSOA, 2011; VON SPERLING, 2002), ao observar o Tabela 11, o 27% coincide com a faixa da literatura, com 70% (2019), 75% (2021) e 67% (2022), significando pouca remoção de DQO na lagoa facultativa. Nas eficiências pode se verificar uma maior eficiência de remoção de DQO da lagoa de maturação que da lagoa facultativa.

Assim mesmo, tal e como aconteceu com a concentração da lagoa facultativa na época seca, no ano de 2012 há um valor baixo de 15,3 mg/L, deve-se possivelmente a um erro na transcrição dos dados obtidos em laboratório para as planilhas de resultados ou, por problemas operacionais e monitoramento inadequado, que é muito comum, nessa modalidade de tratamento, sobretudo, por acreditar na não

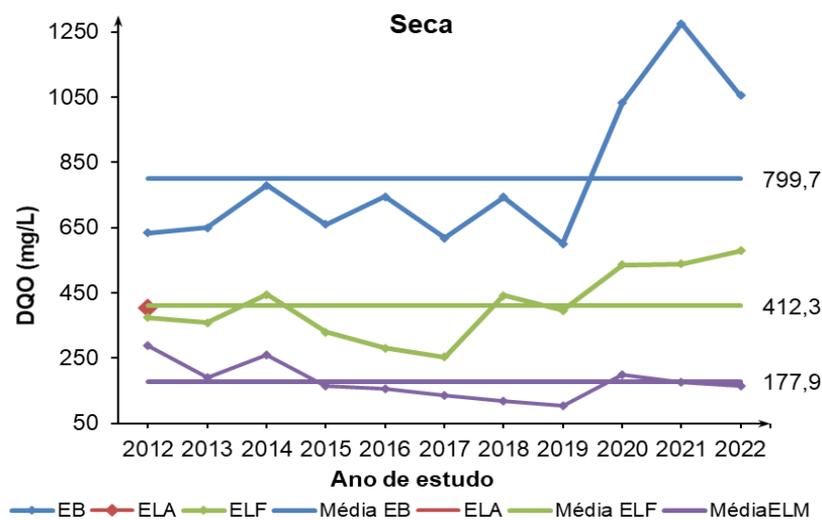
necessidade de uma operação/manutenção adequada, uma vez que esse tipo de tratamento de esgoto, não exige mão-de-obra qualificada, e o tratamento é por processos puramente natural, conforme afirma (SILVA FILHO, 2007).

Nas eficiências operacionais mostradas no Tabela 11 para cada ano, 34% dos valores estão fora da faixa estabelecida pela literatura para um sistema de lagoa facultativa e de maturação, de 70 a 83% (SILVA FILHO, 2007). Esses valores são 62% (2012), 65% (2013), 84% (2020) e 88% (2021). Isto representa uma remoção de DQO no sistema mais eficiente no período chuvoso.

A tendência na eficiência da remoção da DQO para lagoa facultativa foi de um melhor desempenho desde o ano 2017 ao ano 2022, isso pode ser decorrente de um controle operacional maior seguido de um monitoramento mais rotineiro na referida ETE.

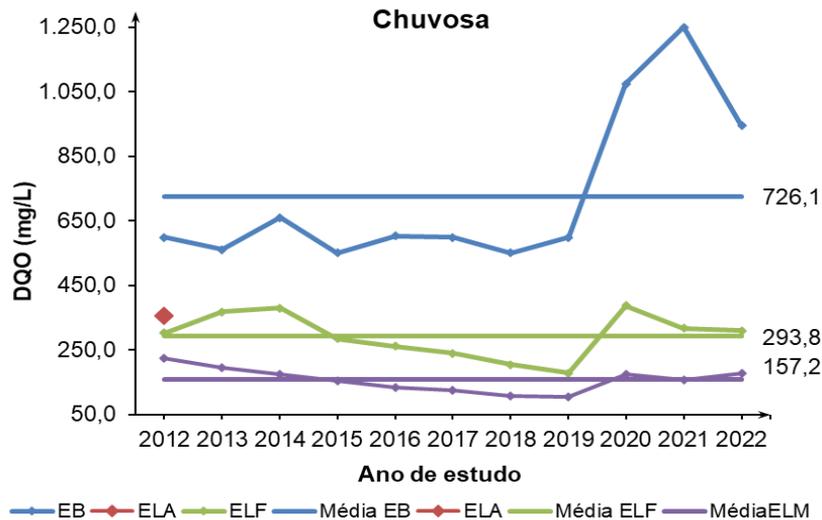
No que se refere ao comportamento da concentração da DQO de acordo a sazonalidade no período de 2012 a 2022, a Figura 23 mostra, uma tendência ao aumento da concentração da DQO, sobretudo desde o ano 2020 a 2022 (apesar da diminuição no valor de 2021 a 2022). Isso pode ser porque a população realiza um menor consumo da água comparado com a referência da literatura da faixa de 150 a 300 L/hab.d para cidades com população maior a 250.000 hab. (FUNASA, 2019).

Figura 23 – Comportamento temporal da DQO (mg/L) na estação seca-chuvosa do período de 2012 até 2022 (continua)



Fonte: A autora (2024).

Figura 23 – Comportamento temporal da DQO (mg/L) na estação seca-chuvosa do período de 2012 até 2022 (conclusão)



Fonte: A autora (2024).

Na época de chuva, verifica-se um comportamento da concentração da DQO com pouca variação entre os anos 2012 e 2019, a partir do ano 2019 inicia o aumento da concentração da DQO, o qual coincide com a mesma situação na estiagem. Por outro lado, a remoção da concentração da DQO nas lagoas facultativas e de maturação de acordo a tendência é maior na época de chuva que em sequia. Na lagoa facultativa no período seco e chuvoso o valor da média é de 412,3 e 293,8 mg/L respectivamente, e na lagoa de maturação é de 177,9 mg/L na época seca e de 157,2 mg/L na época de chuva.

c) Sólidos suspensos – SS (mg/L)

Os sólidos suspensos, são caracteristicamente orgânicos e, portanto, responsáveis de uma parte razoável da DBO (HIDEO, 1991). Um dos principais problemas das lagoas facultativas é a enorme quantidade de algas presentes nos efluentes (KELLNER; PIRES, 1998). Os valores das concentrações dos sólidos suspensos para a entrada e saída de cada lagoa, foram tabulados no Tabela 12.

Tabela 12 – Valores do parâmetro SS da ETE Boa Vista na estação seca do período de 2012 até 2022.

Tipo de lagoa/Ano	Valores do Parâmetro SS (mg/L)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EB	309,0	245,0	321,0	333,0	255,0	278,4	131,0	93,0	188,0	265,0	133,0
ELA	213,0	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.									
ELF	185,0	198,0	175,5	153,0	149,0	289,8	97,4	74,3	206,0	109,5	145,0
ELM	152,0	144,0	129,1	106,0	111,0	291,3	130,6	139,0	234,0	227,0	121,0

Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo. Cor vermelho: fora do limite máximo permissível pela lei.

Fonte: A autora (2024). Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (2023).

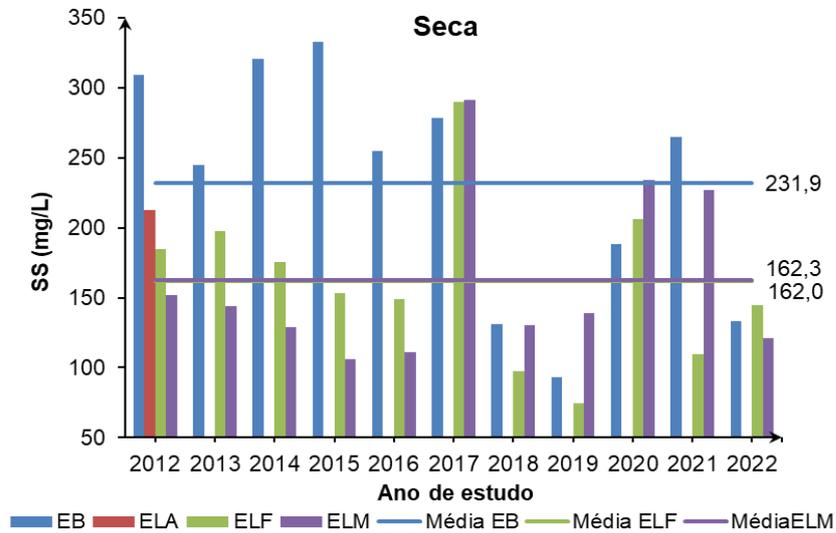
O valor da concentração dos sólidos suspensos no esgoto bruto do tipo doméstico é de 120 a 360 mg/L (JORDÃO; PESSOA, 2011). O esgoto bruto nos anos de estudo apresentou um valor mínimo de 93,0 mg/L (2019) e um máximo de 333,0 (2015), pertencendo um 91% dos dados obtidos a faixa definida pela literatura, exceto os 93 mg/L do ano 2019.

Verificando o comportamento da concentração dos SS (Tabela 12), no efluente do sistema apresenta um mínimo de 106,0 mg/L, um máximo de 291,3 mg/L, e uma média de 162,3 mg/L, onde os resultados (100%) ultrapassam o limite máximo permissível estabelecido na Resolução N° 034/2012 de 100 mg/L (MANAUS, 2012), incumprindo a norma. Isto pode acarretar poluição ao rio Branco por meio de algas e outros materiais tóxicos, não biodegradáveis.

No diagrama de barras (Figura 24), verificam-se 27% dos dados com uma alta concentração de SS no EB (309 mg/L de 2012, 321 mg/L de 2014, 333 mg/L de 2015) e sua respectiva remoção nas diferentes etapas do processo de tratamento. Porém, nos anos de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, existe uma maior concentração dos SS no efluente da lagoa facultativa que no EB.

Quando parte do material degradável que entra a lagoa anaeróbia ou facultativa, sedimenta e acumula-se no fundo da lagoa, é incorporado ao volume líquido, aumenta a concentração dos sólidos suspensos no meio (KELLNER; PIRES, 1998). Em outros casos, é maior a concentração dos SS no efluente da lagoa de maturação que no EB, situação inusual que pode indicar mau funcionamento de cada lagoa ou operacional, ou uma transcrição errada dos dados na planilha do laboratório.

Figura 24 – Comparação temporal da SS (mg/L) na estação seca do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

Comparando as concentrações médias com a informação da Figura 24, observa-se grande variabilidade dos dados entorno a essa tendência central. Em relação ao processo da lagoa facultativa, as algas acumulam-se nas camadas superiores da lagoa (10-15cm), representando um 80% dos sólidos suspensos (KELLNER; PIRES, 1998). Com o objetivo de melhorar as análises, é bom verificar às eficiências de remoção dos SS de cada lagoa e de todo o sistema (Tabela 13).

Tabela 13 – Eficiências de remoção de SS (%) operacional e por tipo de lagoa na estação seca

Tipo de lagoa/Ano	Eficiência de remoção de SS (%)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
L.A	31,1											
L.F	13,1	19,2	45,3	54,1	41,6	-4,1	25,7	20,1	12,5	-13,8	-33,1	
L.M	17,8	27,3	26,4	30,7	25,5	-0,5	-34,1	-87,1	-43,2	-13,9	48,3	
Operacional ETE	50,8	41,2	59,8	68,2	56,5	-4,6	0,3	-49,5	-25,3	-29,6	31,2	

L.A: lagoa anaeróbia; L.F: lagoa facultativa; L.M: lagoa de maturação. Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo.
 Fonte: A autora (2024).

A eficiência de remoção dos SS na lagoa anaeróbia (Tabela 13) no ano 2012 é de 31,1%, comparado com a faixa de 70% a 80% da literatura (JORDÃO; PESSOA, 2011; SILVA FILHO, 2007; VON SPERLING, 2002), não coincide com os valores recomendados. Para as lagoas facultativas, a eficiência deve ser de 70 a 80% (VON SPERLING, 2002), onde nenhuma das eficiências dos dados obtidos na Tabela 13, coincidem ou cumprem com essa referência. A baixa eficiência de remoção de sólidos na lagoa facultativa pode estar influenciada pela proliferação das algas por alta disponibilidade de nutrientes (D´ALESSANDRO et al., 2015). Esses valores que ficaram fora da faixa da literatura, devem ser comparados com valores limites máximo permissíveis estabelecidos pela lei.

Os valores da concentração de SS no efluente do sistema apresenta um mínimo de 31,2% e um máximo de 68,2%, resultados que estão fora da faixa de referência da literatura, de 70 a 80% (VON SPERLING, 2002). Por outro lado, às eficiências operativas (Tabela 13) resultaram negativas ou praticamente nulas, descrevendo um deficiente desempenho do sistema.

Os valores do parâmetro sólidos suspensos na época chuvosa em cada lagoa, para os anos de 2012 a 2022 mostram-se a seguir (Tabela 14).

Tabela 14 – Valores do parâmetro SS da ETE Boa Vista na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.

Tipo de lagoa/Ano	Valores do Parâmetro SS (mg/L)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EB	233,0	295,5	199,4	177,6	155,4	97,0	55,0	77,0	127,0	104,0	157,0
ELA	259,0	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.									
ELF	221,0	274,1	278,2	143,2	127,4	103,0	78,0	96,0	111,1	118,3	209,0
ELM	182,0	145,1	122,1	109,2	105,6	116,0	94,0	104,0	159,1	134,8	108,0

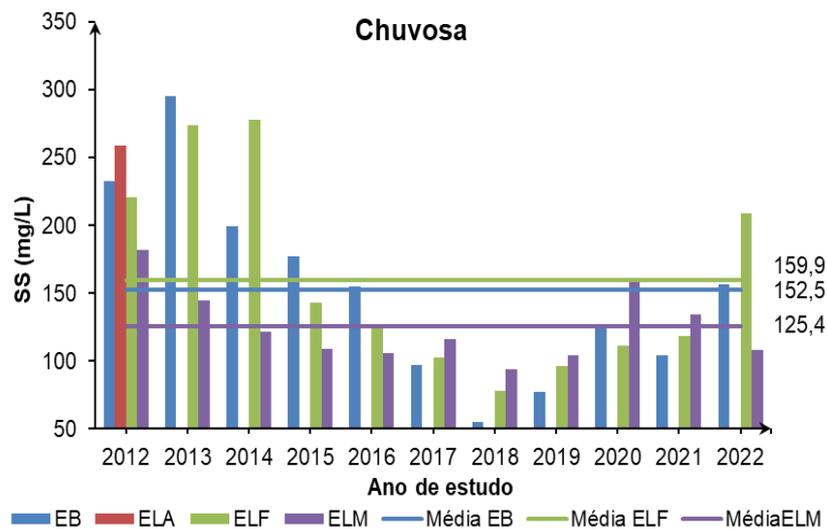
Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo. Cor vermelho: indica fora da faixa.

Fonte: A autora (2024). Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (2023).

O valor mínimo da concentração dos SS no EB é de 55,0 mg/L, o máximo de 295,5 mg/L, porém, 64% dos dados mostrados (Tabela 14), pertencem a faixa da concentração de SS presente no esgoto doméstico de 120 a 360 mg/L (JORDÃO; PESSOA, 2011), confirmando que o EB é do tipo doméstico. Em quanto ao valor limite

máximo permissível da concentração dos sólidos suspensos do sistema, de acordo a Resolução N° 034/2012, de 100 mg/L (MANAUS, 2012), só o 9% (94 mg/L) cumpriram com a norma, o que indica que não se está removendo os sólidos suspensos, o desempenho das lagoas e operacional está falhando. Verificando o comportamento da concentração dos SS na estação chuvosa (Figura 25).

Figura 25 – Comparação temporal da SS (mg/L) na estação chuvosa do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

Esse diagrama de barras (Figura 25), mostra um aumento da concentração dos sólidos suspensos no ano 2012 (antes da reforma) após a lagoa anaeróbia, na lagoa facultativa, possivelmente decorrente de descartes de esgotos oriundos de empresas imunizadoras de limpa fossa em Boa Vista/RR, esses tipos de efluentes costumam vir com DBO elevadas e altas concentrações de sólidos suspensos. O mesmo caso apresenta-se no ano de 2014, 2017, 2018, 2019, 2021 e 2022, porém, na lagoa de maturação foi maior a remoção dos SS evidenciado nos anos 2014, 2018 e 2022, em uma menor concentração desse parâmetro. Nos anos de 2017, 2019, 2020 e 2021, a concentração de SS acrescentou-se na lagoa de maturação, isso pode acontecer se a saída da lagoa facultativa se encontra superficialmente, o fluxo de algas ou outros presentes no meio líquido passam de uma lagoa a outra (KELLNER; PIRES, 1998). Além disso, observa-se uma tendência de diminuição da concentração de SS no esgoto bruto ao longo dos anos. O desempenho operacional e de cada lagoa

pode ser apreciado na Tabela 15. De acordo ao verificado, 73% dos dados mostraram eficiências negativas, isto confirma a necessidade de analisar possíveis soluções para uma efetiva remoção dos sólidos suspensos.

Tabela 15 – Eficiências de remoção de SS (%) operacional e por tipo de lagoa na estação chuvosa

Tipo de lagoa/Ano	Eficiência de remoção de SS (%)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
L.A	-11,2										
	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia										
L.F	14,7	7,2	-39,5	19,3	18,0	-6,2	-41,8	-24,7	12,5	-13,8	-33,1
L.M	17,6	47,1	56,1	23,8	17,1	-12,6	-20,5	-8,3	-43,2	-13,9	48,3
Operacional ETE	21,9	50,9	38,8	38,5	32,0	-19,6	-70,9	-35,1	-25,3	-29,6	31,2

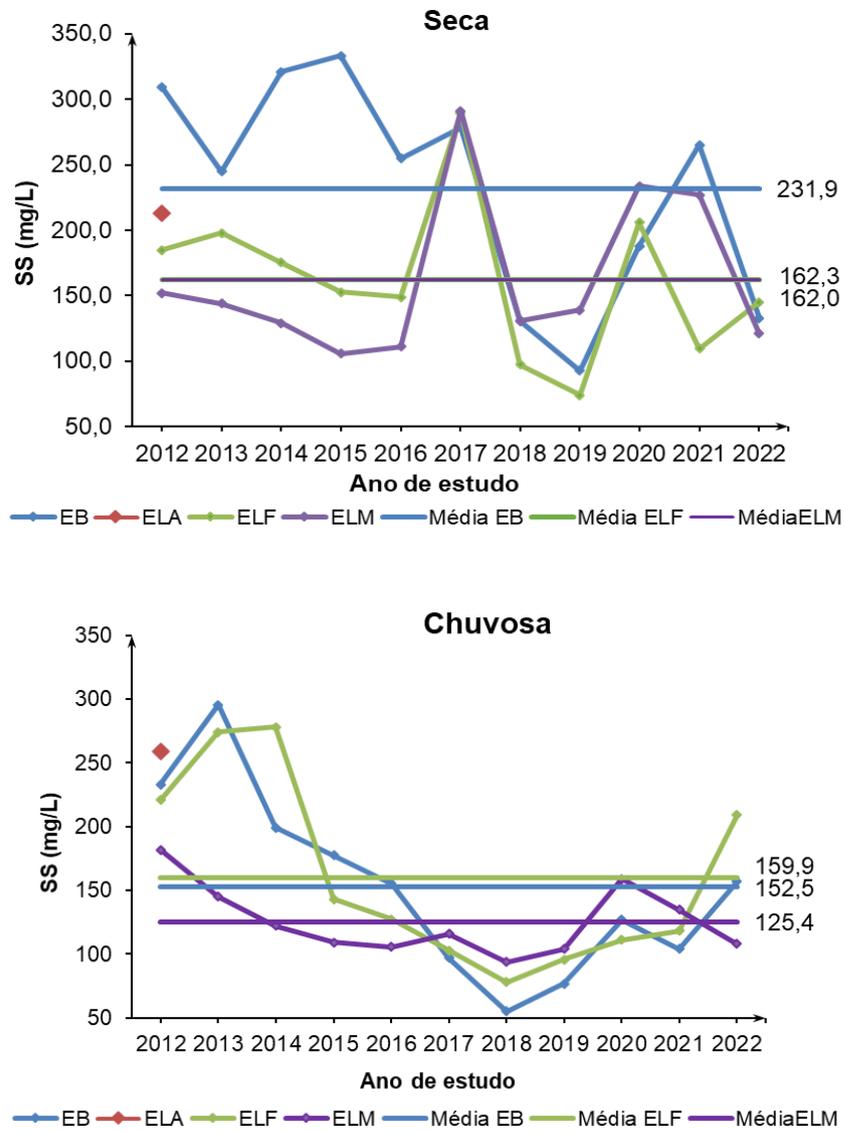
L.A: lagoa anaeróbia; L.F: lagoa facultativa; L.M: lagoa de maturação. Cor vermelho: indica fora da faixa.

Fonte: A autora (2024).

Comparando o comportamento da concentração dos sólidos suspensos na época se sequia e de chuva (Figura 26), no esgoto bruto na época seca apresenta maior valor entorno da média que na época de chuva, isso pode ser pelo florescimento das algas na época de estiagem favorecido pelas fotossínteses com ajuda dos raios solares (KELLNER; PIRES, 1998; VON SPERLING, 2002). Caso contrário, o clima característico da época chuvosa, a pluviosidade, a formação de nuvens contribuem a uma diminuição do crescimento das algas, principais constituintes desse parâmetro.

Existe um comportamento semelhante na concentração de sólidos suspensos no sistema no percurso dos 2012 a 2016 para ambos períodos seco-chuvoso, seu valor diminui, mostrando a remoção dos sólidos suspensos. Na lagoa facultativa, o processo de remoção dos SS apresenta melhor comportamento na época de chuva, onde existe maior quantidade de precipitações e diluição, assim, o tempo de detenção hidráulica é menor, e conseqüentemente, há maior escoamento da água e acréscimo na diluição dos nutrientes (D´ALESSANDRO et al., 2015). As algas proliferam-se com a concentração de nutrientes (VON SPERLING, 2002).

Figura 26 – Comportamento temporal da SS (mg/L) na estação seca-chuvosa do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

No ano de 2017, na época seca pode se observar um acréscimo brusco da concentração de SS, podendo ser por um aumento do volume de esgotos oriundos de limpa fossa a lagoa facultativa.

d) Coliformes termotolerantes – CT (NMP/100 mL)

Os coliformes termotolerantes ou fecais são indicadores da poluição da água. São bactérias de origem fecal do ser humano ou de animais, e grandes transmissores

de doenças gastrointestinais, as quais podem causar a morte desse ser vivo (JORDÃO; PESSOA, 2011). Os valores do parâmetro coliformes termotolerantes ou fecais fornecidos pelo Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB e CAER, foram organizados no Tabela 16.

Tabela 16 – Valores do parâmetro CT da ETE Boa Vista na estação seca do período de 2012 até 2022.

Tipo de lagoa/Ano	Valores do Parâmetro CT (NMP/100 mL)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EB	6,1* 10 ⁸	9,7* 10 ⁸	5,6* 10 ⁸	6,6* 10 ⁷	1,7* 10 ⁷	1,02* 10 ⁷	2,9* 10 ⁷	3,05* 10 ⁸	1,8* 10 ⁷	2,9* 10 ⁷	9,1* 10 ⁷
ELA	3,1* 10 ⁶	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.									
ELF	4,1* 10 ⁴	2,5* 10 ⁶	4,4* 10 ⁴	9,4* 10 ⁴	1,2* 10 ⁴	3,2* 10 ⁴	1,11* 10 ⁴	2,07* 10 ⁴	3,71* 10 ⁴	8,05* 10 ⁴	1,45* 10 ⁴
ELM	4,9* 10 ³	1,7* 10 ³	1,1* 10 ³	3,7* 10 ³	1,05* 10 ³	0,95* 10 ³	1,35* 10 ³	0,99* 10 ³	2,5* 10 ³	1,78* 10 ³	6,53* 10 ³

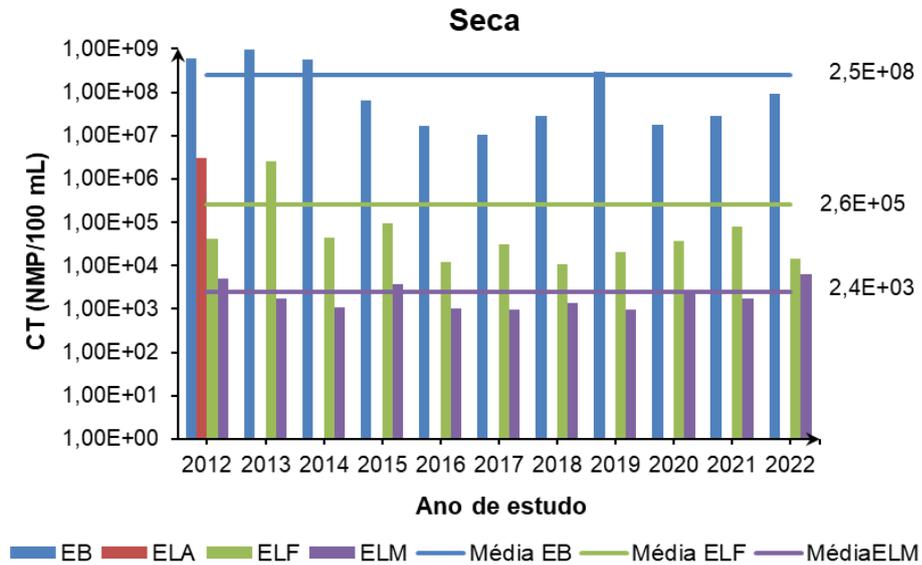
Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo. Cor vermelho: indica fora da faixa.

Fonte: A autora (2024). Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (2023).

O valor máximo no esgoto bruto é $9,7 \times 10^8$ NMP/100mL do ano 2013, e mínimo $1,02 \times 10^7$ NMP/100mL no ano de 2017. O esgoto bruto doméstico segundo Jordão e Pessoa (2011), possui de 10^5 a 10^8 NMP/100mL de coliformes fecais. Dos dados coletados da contagem de coliformes no EB, um 34% (anos 2012, 2013, 2014 2017 e 2019) excedem a faixa de valores de referência da literatura, isto sugere o possível lançamento de esgotos de um caminhão limpa fossa nas lagoas. A tendência é de um esgoto de origem doméstico.

O valor limite máximo permissível dos coliformes termotolerantes no efluente a ser lançado ao rio Branco de classe 2 não deve exceder de 1000 NMP/100mL (BRASIL, 2005). Quatro valores de contagem de coliformes cumprem com a norma, anos 2014, 2016, 2017 e 2019, representando um 36% dos dados de estudo. A comparação temporal dos CT na época seca para o período de 2012 até 2022 será mostrado a seguir na Figura 27.

Figura 27 – Comparação temporal da CT (NMP/100 mL) na estação seca do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

Concerne a quantidade dos coliformes fecais presentes no efluente de cada lagoa e sua aproximação a média, mostra pouca variabilidade nos dados. Os valores das eficiências de remoção dos coliformes termotolerantes de cada lagoa e de todo o sistema se apresentam no Tabela 17.

Tabela 17 – Eficiências de remoção de CT (%) operacional e por tipo de lagoa na estação seca

Tipo de lagoa/Ano	Eficiência de remoção de CT (%)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
L.A	99,5	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia										
L.F	98,7	99,7	100,0	99,9	99,9	99,7	100,0	100,0	99,8	99,7	100,0	
L.M	88,0	99,9	97,5	96,1	91,3	97,0	95,2	95,2	93,3	97,8	55,0	
Operacional ETE	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

L.A: lagoa anaeróbia; L.F: lagoa facultativa; L.M: lagoa de maturação. Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo. Cor vermelho: indica fora da faixa.
 Fonte: A autora (2024).

A faixa da eficiência de remoção dos CT na literatura é de 90 – 99% (JORDÃO; PESSOA, 2011; VON SPERLING, 2002). De acordo aos resultados das

eficiências, no sistema de tratamento da ETE Boa Vista na época de estiagem, é de 100% para todos os anos de estudo, cumprindo com o estabelecido na literatura. Valores baixos da eficiência na lagoa de maturação (55% ano 2022), isso pode ser pela elevada profundidade das lagoas de maturação, devido a que a literatura recomenda que a máxima profundidade desse tipo de lagoas seja de 1,50 m, e na atualidade uma das duas lagoas de maturação possui 1,80 m de profundidade. Os valores dos coliformes termotolerantes na estação chuvosa no período de estudo encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores do parâmetro CT da ETE Boa Vista na estação chuvosa do período de 2012 até 2022.

Tipo de lagoa/Ano	Valores do Parâmetro CT (NMP/100 mL)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EB	7,18* 10 ⁸	3,56* 10 ⁸	8,2* 10 ⁸	7,1* 10 ⁷	1,35* 10 ⁶	2,01* 10 ⁶	5,77* 10 ⁶	2,56* 10 ⁶	7,45* 10 ⁷	3,31* 10 ⁶	1,45* 10 ⁷
ELA	2,5* 10 ⁶	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.									
ELF	3,1* 10 ⁴	1,65* 10 ⁸	1,65* 10 ⁵	5,3* 10 ⁵	2,4* 10 ⁴	1,02* 10 ⁴	3,52* 10 ⁴	1,57* 10 ⁴	3,9* 10 ⁴	2,7* 10 ⁴	3,41* 10 ⁴
ELM	2,5* 10 ³	1,03* 10 ³	2,07* 10 ³	1,77* 10 ³	2,04* 10 ³	1,08* 10 ³	1,01* 10 ³	1,59* 10 ³	2,77* 10 ³	1,08* 10 ³	2,05* 10 ³

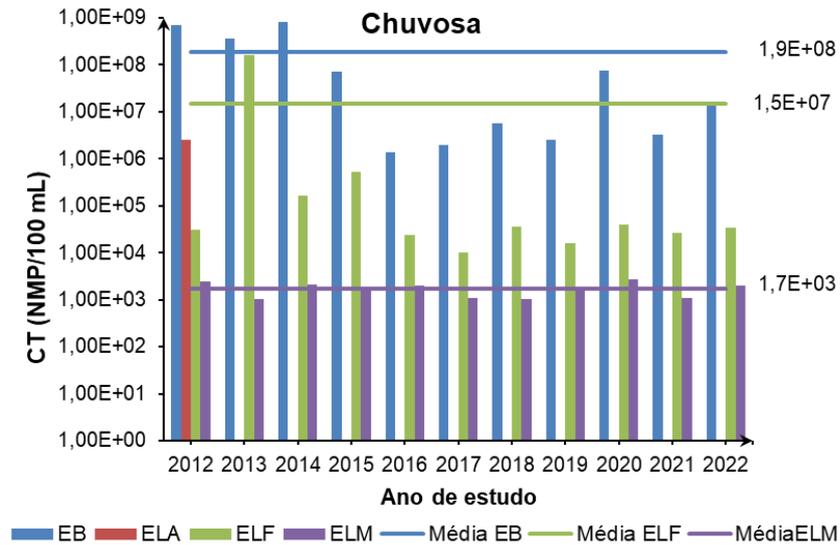
Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo. Cor vermelho: indica fora da faixa.

Fonte: A autora (2024). Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico e CAER (2023).

O valor máximo no esgoto bruto é $8,2 \times 10^8$ NMP/100mL do ano 2014 (Tabela 18), e mínimo $1,35 \times 10^6$ NMP/100mL no ano de 2016. De acordo a faixa de referência da literatura, do esgoto bruto com 10^5 a 10^8 NMP/100mL de coliformes fecais (JORDÃO; PESSOA, 2011), os dados coletados da contagem de coliformes no EB, um 27% (anos 2012, 2013 e 2014) excedem a faixa de valores de referência da literatura.

A contagem de coliformes termotolerantes não deve exceder valor limite máximo permissível no efluente a ser lançado ao rio Branco de classe 2, de 1000 NMP/100mL (BRASIL, 2005). Um 18% dos contagem de coliformes no sistema cumprem com a norma, anos 2013 e 2018. Os valores dos CT para a época de chuva no período de interesse, será mostrado na Figura 28 e às eficiências de remoção desse parâmetro na Tabela 19.

Figura 28 – Comparação temporal da CT (NMP/100 mL) na estação chuvosa do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

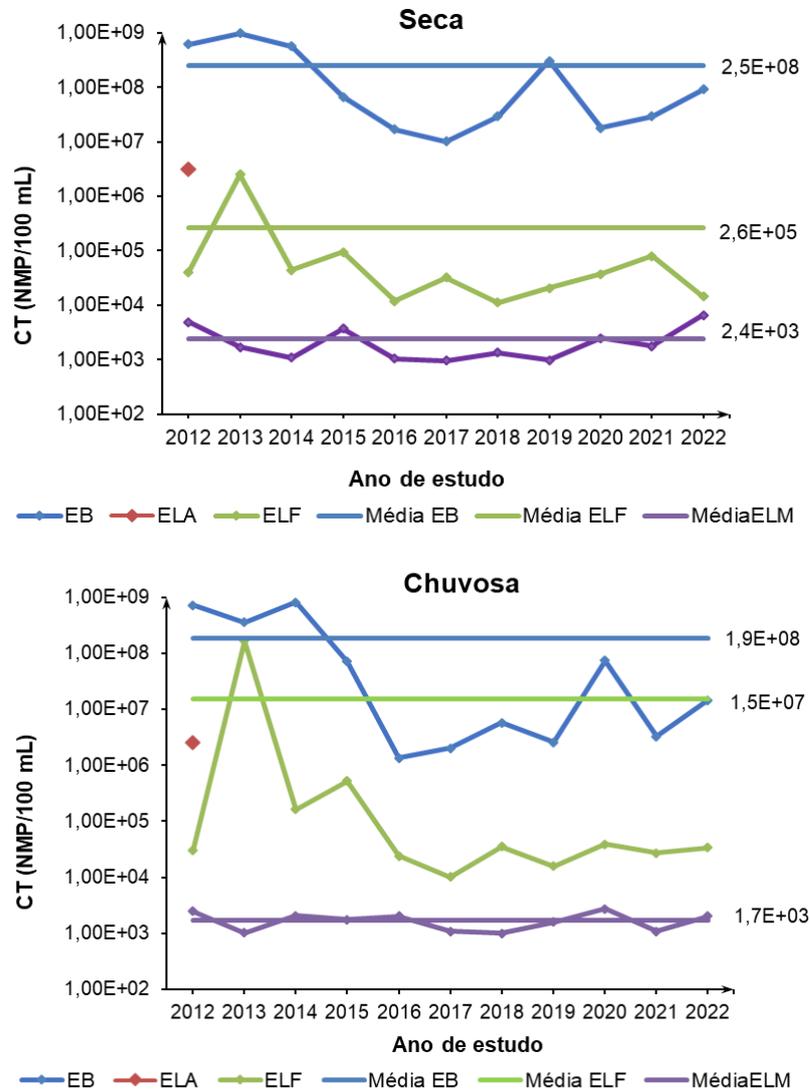
Tabela 19 – Eficiências de remoção de CT (%) operacional e por tipo de lagoa na estação chuvosa

Tipo de lagoa/Ano	Eficiência de remoção de CT (%)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
L.A	99,7	ETE Reformada. Sem lagoa anaeróbia.									
L.F	98,8	53,7	100,0	99,3	98,2	99,5	99,4	99,4	99,9	99,2	99,8
L.M	91,9	100,0	98,7	99,7	91,5	89,4	97,1	89,9	92,9	96,0	94,0
Operacional ETE	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	99,9	100,0	99,9	100,0	100,0	100,0

L.A: lagoa anaeróbia; L.F: lagoa facultativa; L.M: lagoa de maturação
Fonte: A autora (2024).

Com os valores da eficiência de remoção da contagem de coliformes e a faixa da eficiência de remoção dos CT da literatura, de 90 – 99% (JORDÃO; PESSOA, 2011; VON SPERLING, 2002), todos cumpriram o estabelecido pela literatura na época de chuvosa (Tabela 19). Para poder entender o comportamento dos coliformes termotolerantes por sazonalidade por lagoa no período de estudo, apresenta-se a seguinte Figura 29.

Figura 29 – Comportamento temporal da CT (NMP/100 mL) na estação seca-chuvosa do período de 2012 até 2022



Fonte: A autora (2024).

As curvas da Figura 29 são semelhantes. Verifica-se que a quantidade de coliformes termotolerantes diminui no esgoto bruto nos anos de 2012 a 2022. Nas curvas da lagoa facultativa e de maturação, verifica-se que a época seca favorece a remoção dos coliformes se for comparado com a época chuvosa, devido a influência das condições climáticas.

Uma maneira de analisar o comportamento da remoção dos parâmetros de qualidade da água no esgoto na estação de tratamento por lagoas de estabilização, é

realizando uma amostragem em um ciclo de 24H e posteriormente analisar os dados como foi feito no seguinte item.

4.1.2 Análises dos parâmetros de DBO, DQO, SS e CT, na entrada e saída de cada lagoa no teste nictemeral, período de 2012 a 2022.

A realização do análises nictemeral oferece dados coletados num ciclo de 24H, para verificar o comportamento dos parâmetros de qualidade em diferentes horas e condições climáticas (temperatura do ar, raios UV, ventos, outros). O resultado do tratamento dos dados teste nictemeral mediante estatística descritiva podem ser observados na Tabela 20.

Tabela 20 - Estatística descritiva (média) aplicada aos dados obtidos do teste nictemeral por parâmetro, por tipo de lagoa e por ano do período de 2012 a 2022 (continua)

Ano	Tipo de lagoa	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mg/L)	CT (NMP/100 mL)
2012	EB	317,8	781,8	43,7	6,7E+08
	ELA	136,4	375,1	209,8	5,4E+06
	ELF	126,0	305,9	204,8	3,9E+04
	ELM	73,0	244,2	305,3	2,7E+03
2013	EB	363,2	734,4	110,1	4,3E+08
	ELF	137,1	349,5	214,5	5,0E+05
	ELM	75,85	230,3	314,9	2,9E+03
2014	EB	326,4	734,6	103,4	3,5E+08
	ELF	138,1	425,4	181,2	1,6E+05
	ELM	73,88	209,3	199,8	4,3E+03
2015	EB	379,6	657,4	93,6	3,9E+08
	ELF	156,6	371,2	164,4	1,0E+05
	ELM	93,7	195,6	181,3	2,1E+03
2016	EB	381,0	810,2	113,5	3,8E+07
	ELF	164,8	409,8	181,8	1,4E+05
	ELM	101,3	175,2	211,4	4,1E+03
2017	EB	377,0	777,0	85,2	1,7E+07
	ELF	175,6	401,4	93,7	1,3E+05
	ELM	113,2	143,2	98,3	3,3E+03

EB: esgoto bruto; ELA: efluente da lagoa anaeróbia (entrada lagoa facultativa 1); ELF: efluente lagoa facultativa 2 (entrada lagoa de maturação 1); ELM: efluente lagoa de maturação (saída lagoa de maturação 2). Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo.

Fonte: A autora (2024).

Tabela 20 - Estatística descritiva (média) aplicada aos dados obtidos do teste nictemeral por parâmetro, por tipo de lagoa e por ano do período de 2012 a 2022 (conclusão)

Ano	Tipo de lagoa	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mg/L)	CT (NMP/100 mL)
2018	EB	358,0	835,4	69,6	3,2E+07
	ELF	154,4	382,2	52,8	2,7E+05
	ELM	82,2	136,8	52,8	3,6E+03
2019	EB	402,5	990,0	168,8	5,7E+08
	ELF	230,2	636,8	132,4	1,2E+06
	ELM	135,2	328,6	228,2	3,7E+03
2020	EB	398,0	840,8	170,0	3,7E+07
	ELF	211,0	459,4	125,8	2,3E+06
	ELM	125,8	204,4	149,0	5,3E+03
2021	EB	389,6	946,6	86,2	9,9E+07
	ELF	228,2	441,8	138,8	2,1E+06
	ELM	140,4	228,9	158,4	1,4E+03
2022	EB	395,0	786,8	161,6	1,6E+08
	ELF	206,6	430,8	133,5	2,6E+06
	ELM	111,7	194,8	118,5	5,2E+03

EB: esgoto bruto; ELA: efluente da lagoa anaeróbia (entrada lagoa facultativa 1); ELF: efluente lagoa facultativa 2 (entrada lagoa de maturação 1); ELM: efluente lagoa de maturação (saída lagoa de maturação 2). Cor roxo: valor mínimo. Cor azul: valor máximo.

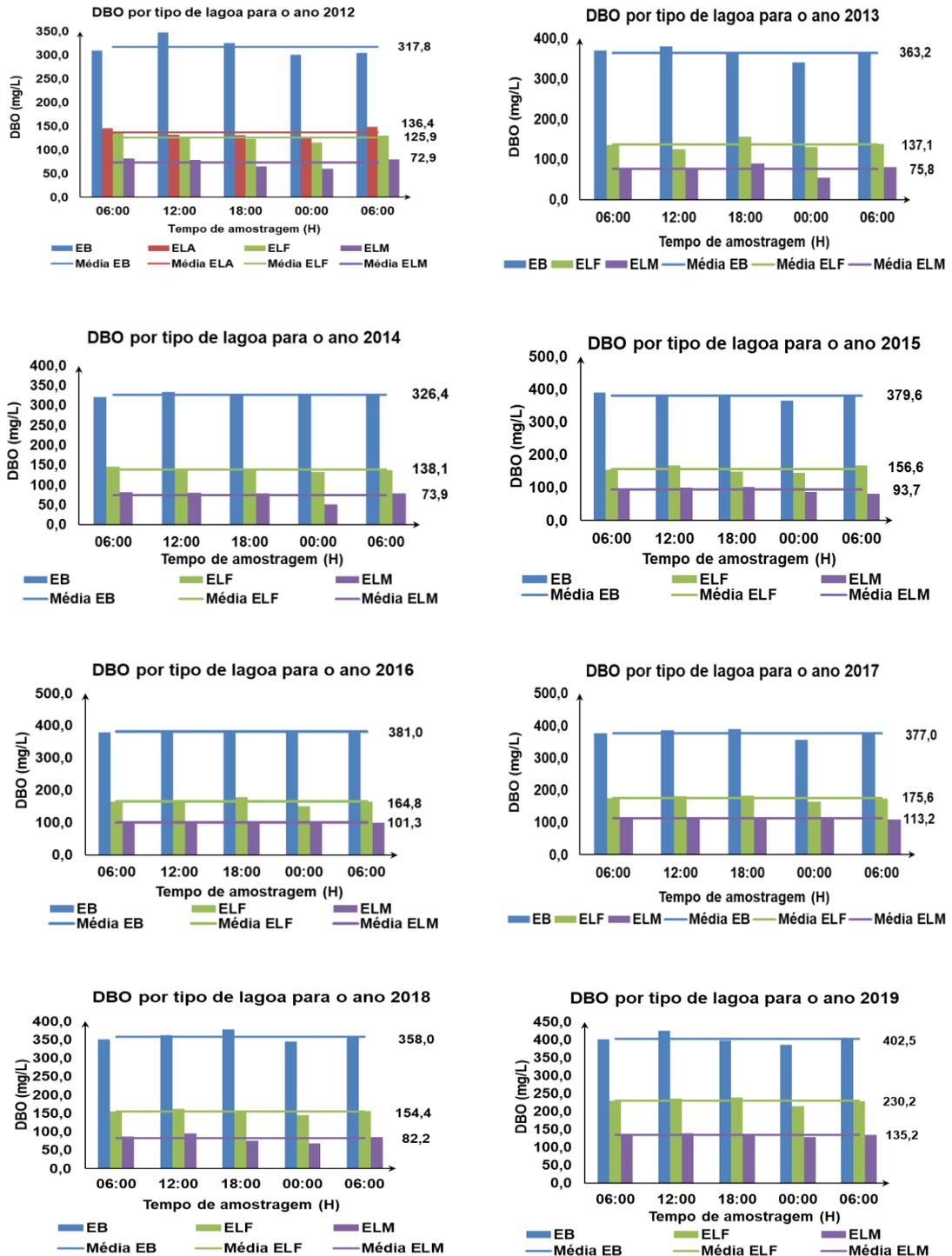
Fonte: A autora (2024).

No análises nictemeral da DBO (Figura 30) observou-se no período de 2012 a 2022, a maior atividade de remoção da DBO foi às 24H, quando predomina a respiração das algas, decrescem as concentrações do oxigênio dissolvido, temperatura, pH (VON SPERLING, 2002). Devido a isso, a fotossíntese é interrompida, prevalece a condição anaeróbia na maior parte da coluna líquida (bactérias anaeróbias), sendo responsáveis junto com as bactérias facultativas da maior redução da DBO no líquido ou estabilização da matéria orgânica biodegradável (KELLNER; PIRES, 1998).

Na noite acrescenta-se a profundidade da zona anaeróbia e diminui a zona aeróbia no caso de lagoas facultativas, quando o esgoto bruto possui alta carga de DBO. Nas lagoas anaeróbias são favorecidas as condições de anoxia (VON SPERLING, 2002). A lagoa de maturação apresenta o mesmo comportamento que as outras lagoas, a maior remoção de DBO acontece no mesmo horário, com a DBO remanescente (praticamente estável oriunda das lagoas previas) e em condições de menor concentração de oxigênio. A concentração média máxima da DBO no esgoto

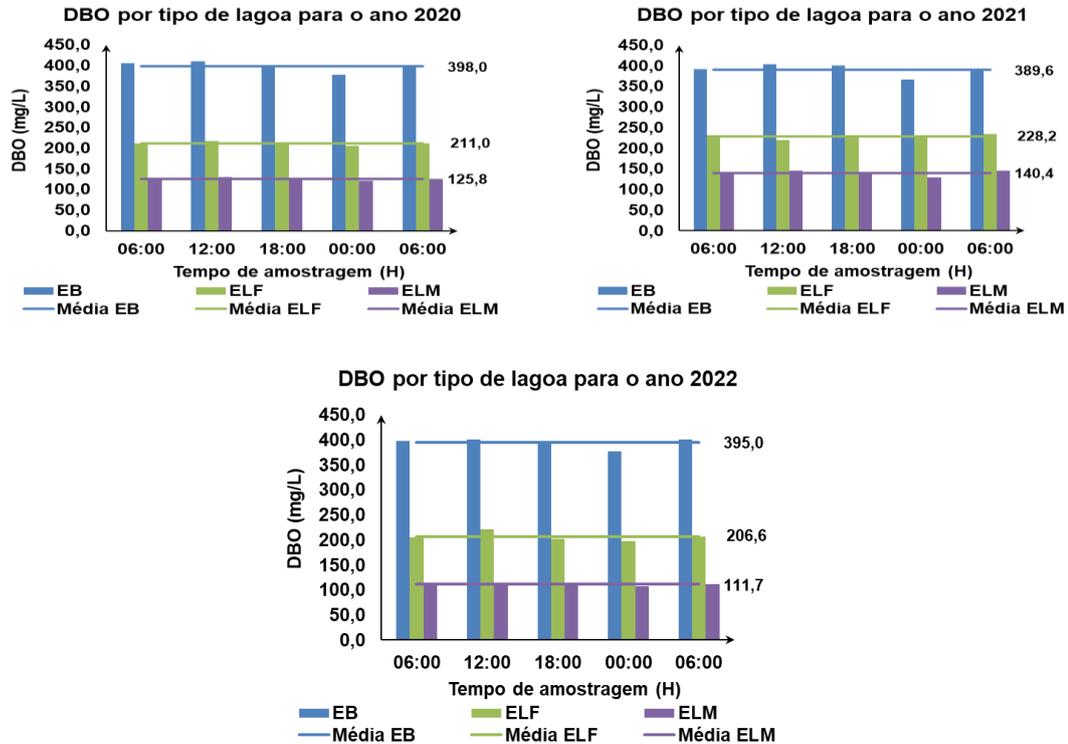
bruto foi no ano de 2019 com 409 mg/L, sendo o mínimo de 317,8 mg/L no ano de 2012 no ciclo nictemeral.

Figura 30 – Comportamento do parâmetro DBO (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo (continua)



Fonte: A autora (2024).

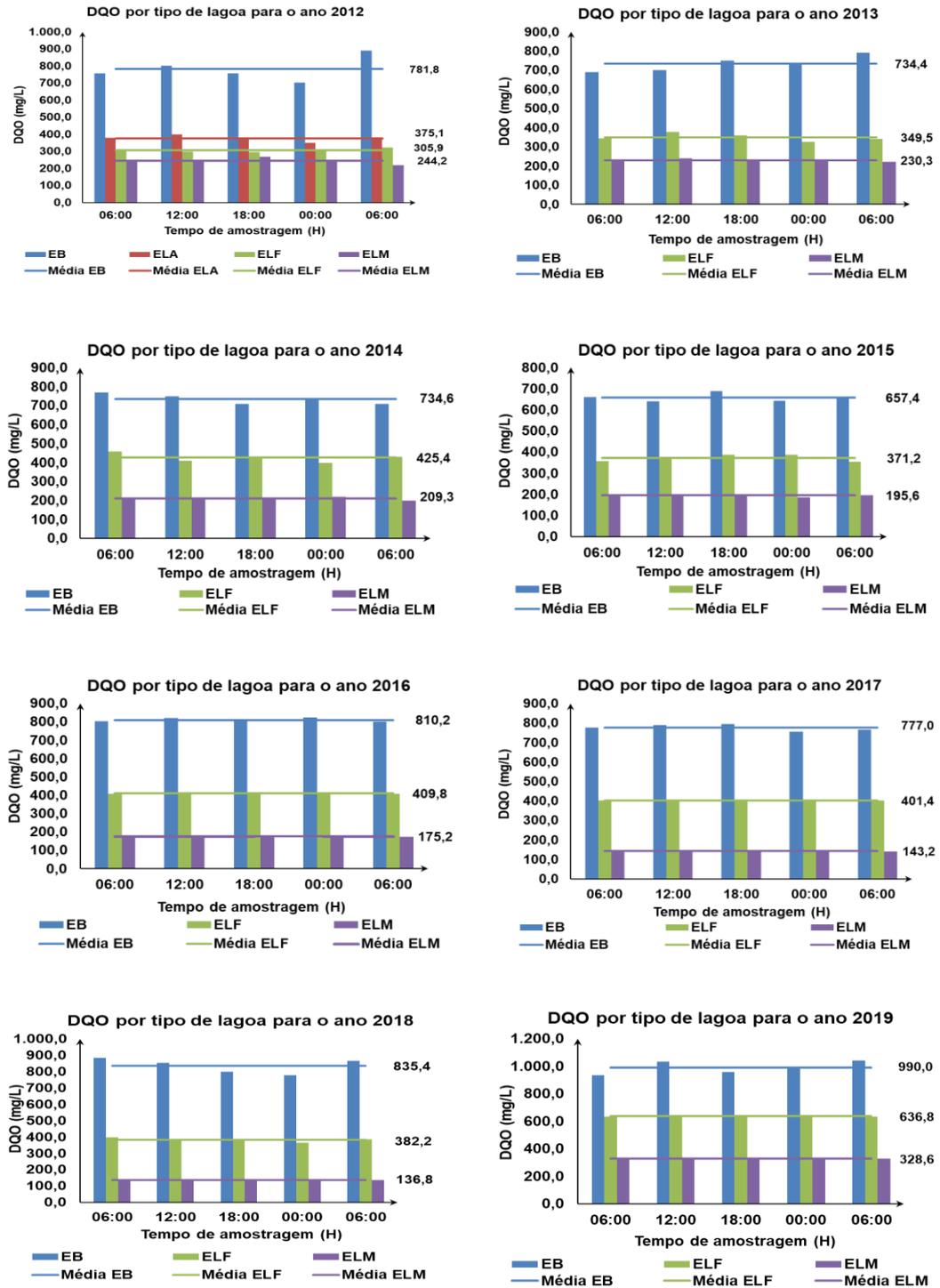
Figura 30 – Comportamento do parâmetro DBO (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo (conclusão)



Fonte: A autora (2024).

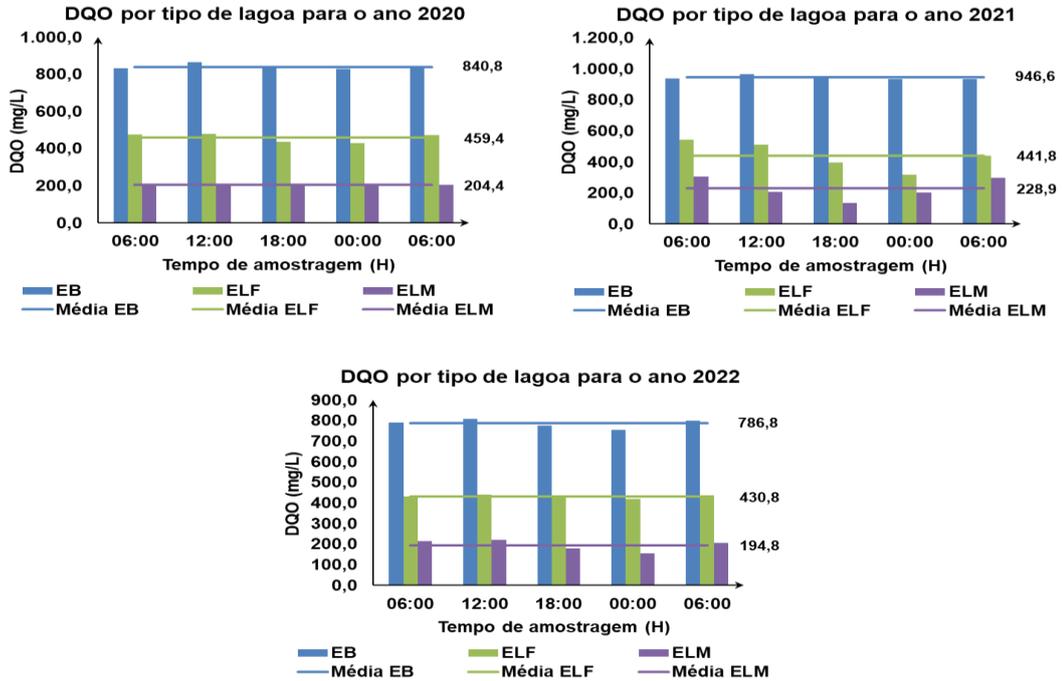
O comportamento de remoção da DQO no ciclo diário através das lagoas desde o ano 2012 a 2022 (Figura 31) é constante e muito semelhante. Nas lagoas anaeróbica e facultativa, a tendência de maior remoção desse parâmetro foi na noite, às 00:00H. Nesse momento, prevalece a condição anaeróbica na maior parte da coluna líquida, por não haver raios luminosos o processo fotossintético é interrompido. Na zona anaeróbica, a matéria orgânica sedimentada (lodo) é estabilizada, pelo que se consome oxigênio, e é convertido em CO_2 , CH_4 , água e outros, após um longo tempo apenas resta o material inerte (não biodegradável) sedimentado (VON SPERLING, 2002). Na lagoa de maturação, verificou-se a maior remoção da DQO às 18H no ano de 2021. Os valores de concentração da DQO no esgoto bruto foram pouco variáveis no comportamento temporal da série de lagoas, apresentando um valor médio máximo de 990,0 mg/L no ano 2019, e um mínimo de 657,4 mg/L no ano de 2015.

Figura 31 – Comportamento do parâmetro DQO (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo (continua)



Fonte: A autora (2024).

Figura 31 – Comportamento do parâmetro DQO (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo (conclusão)

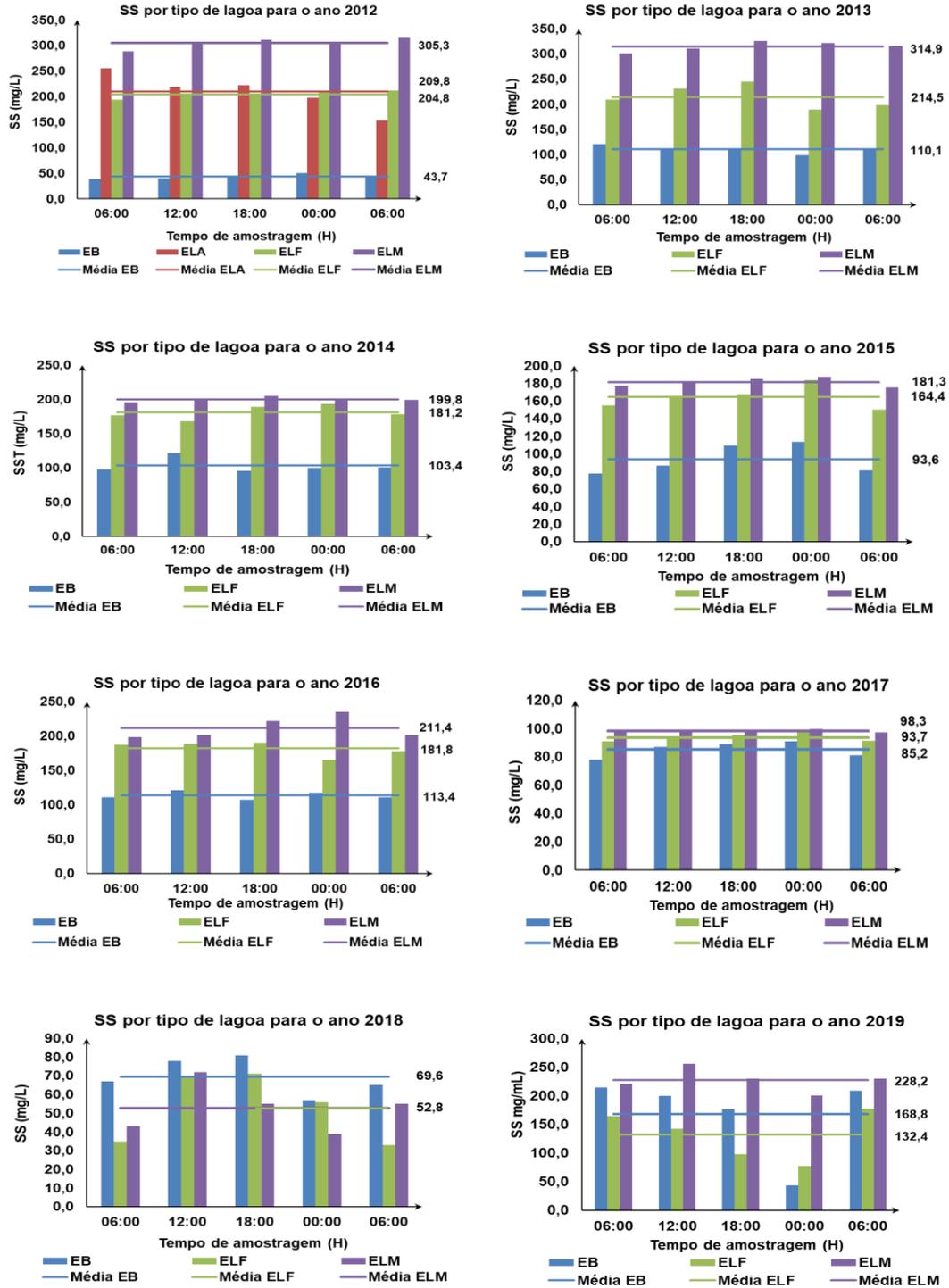


Fonte: A autora (2024).

No comportamento temporal da concentração de SS na série de lagoas, (Figura 32), ocorre uma grande variabilidade nos dados. No ano de 2012, a concentração de SS no esgoto bruto permaneceu constante no ciclo de 24H. Observou-se a redução contínua da concentração de SS na lagoa anaeróbica no ciclo nictemeral, assim, esse período de tempo é vantajoso para a remoção dos SS, uma parte sedimenta e outra entra a lagoa facultativa. Na lagoa facultativa, o valor de SS aumenta ligeiramente no ciclo de 24H. Uma das críticas do uso das lagoas de estabilização é a grande quantidade de SS presente no efluente da lagoa facultativa e que sai do sistema, originado pelas algas (VON SPERLING, 2002).

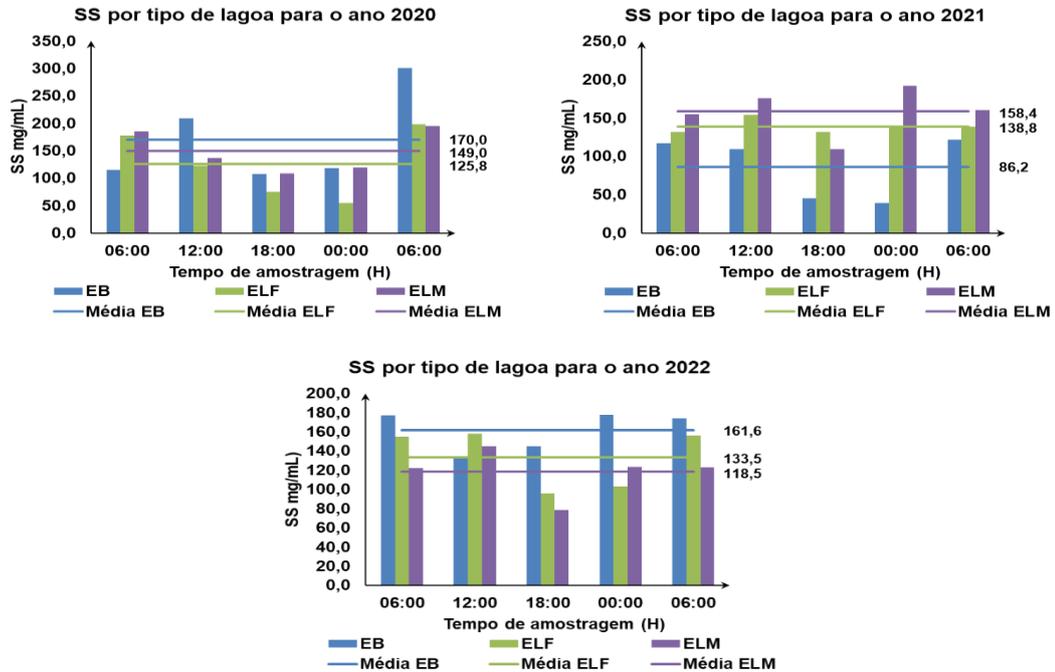
Na lagoa de maturação, os SS aumentaram em 24H, um 80% dos sólidos suspensos presentes no efluente das lagoas de estabilização está constituído pela biomassa de algas. Assim mesmo, a concentração dos sólidos suspensos no efluente da lagoa, apresentam grande variabilidade temporal em função das condições ambientais (KELLNER; PIRES, 1998).

Figura 32 – Comportamento do parâmetro SS (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo (continua)



Fonte: A autora (2024).

Figura 32 – Comportamento do parâmetro SS (mg/L) por tipo de lagoa para cada ano de estudo (conclusão)



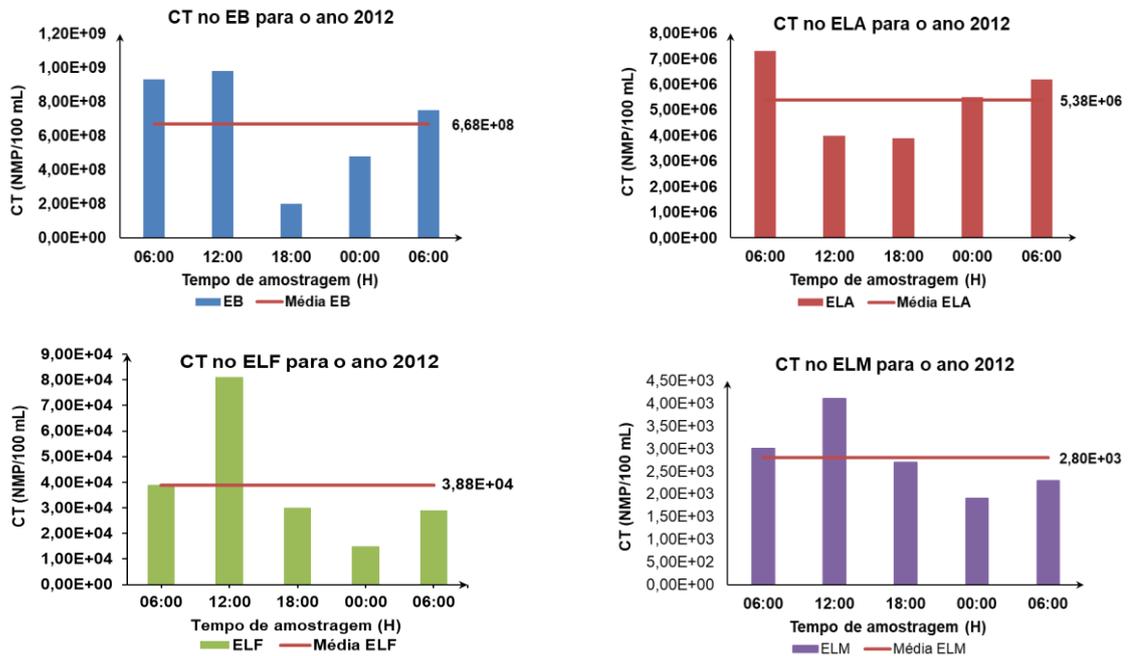
Fonte: A autora (2024).

Desde ano 2012 até 2017, observa-se um acréscimo na concentração dos sólidos suspensos ao longo da série de lagoas, invés de sua remoção, coincidindo com a literatura sobre o desafio de poder cumprir com exigências rigorosas na concentração de SS no efluente do sistema de tratamento por lagoas de estabilização (VON SPERLING, 2002).

De 2018 a 2022, verificam-se mais às oscilações no comportamento do esgoto bruto e das lagoas facultativas e de maturação. A tendência no período de estudo, é de maior remoção de SS às 6H no EB, na lagoa facultativa e de maturação, após da diminuição do oxigênio dissolvido, prevalece a respiração bacteriana sobre a fotossíntese, parte dos sólidos que não sedimentaram permanecem dispersos no líquido, e se a lagoa não possui uma tubulação com saída a 40 cm da superfície, os sólidos suspensos passam de uma lagoa a outra (KELLNER; PIRES, 1998). No período de estudo, a eficiência média de remoção da SS apresenta um máximo de 170 mg/L, e um mínimo de 43,7 mg/L.

Na Figura 33 apresenta-se o comportamento nictemeral dos coliformes termotolerantes por tipo de lagoa.

Figura 33 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2012



Fonte: A autora (2024).

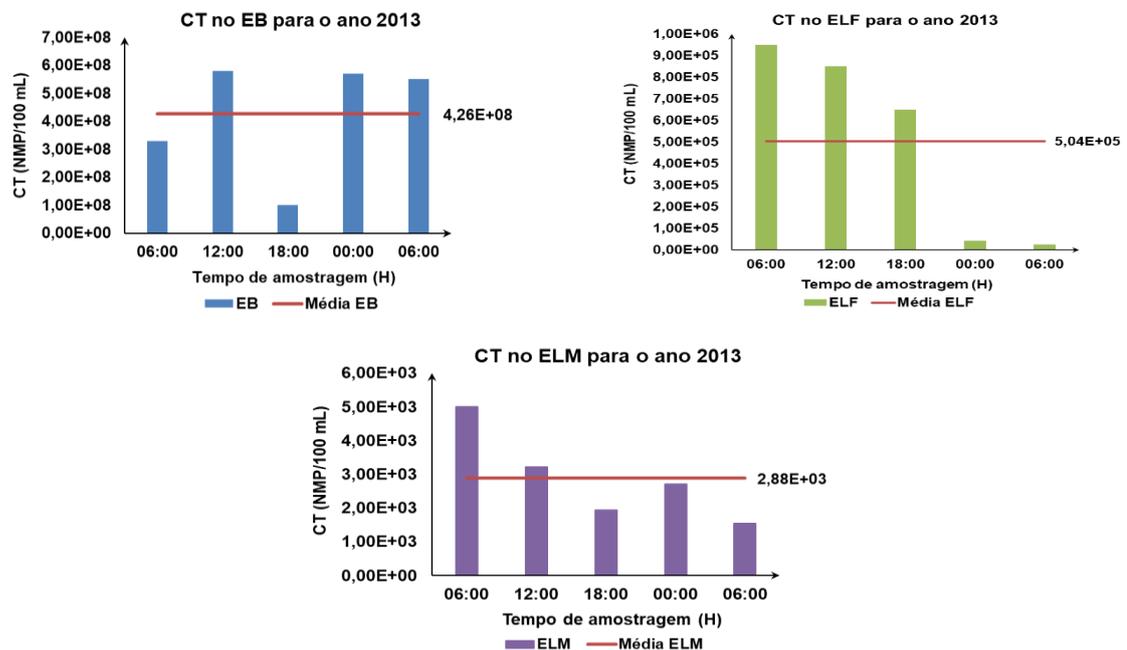
A remoção de coliformes termotolerantes do esgoto bruto realiza-se apenas numa fração nas lagoas anaeróbia e facultativas, a maior remoção acontece na lagoa de maturação (especialmente projetada para isso). A lagoa de maturação funciona como um pós-tratamento, para polir o efluente de qualquer outro sistema de tratamento de esgoto, sejam lagoas de estabilização ou não (VON SPERLING, 2002). O menor valor na quantidade de coliformes termotolerantes no esgoto bruto (Figura 24) foi às 18H, hora de muita movimentação e uso de serviços básicos (como consumo de água) pela população, diluindo o esgoto. Na lagoa anaeróbia, o menor valor de coliformes foi entre 12H e 18. Às 12H existe uma grande intensidade luminosa que afeta ou remove uma parte dos microrganismos patógenos que estão na superfície da lagoa, e apesar que a profundidade desta lagoa não contribui na desestabilização desses patógenos, um pH maior a 9 teria influência no decaimento bacteriano.

Na lagoa facultativa, a maior remoção produz-se as 00:00H, quando a fotossíntese é interrompida e, ainda com uma menor concentração de oxigênio, para que exista remoção deste parâmetro precisam-se combinar diferentes fatores físico-químicos ao mesmo tempo para instabilizar sobrevivência deles. Os fatores que

garantem o decaimento bacteriano são: altas temperaturas, alta intensidade luminosa na água, a concentração de oxigênio dissolvido, altos valores de pH e sedimentação (KELLNER; PIRES, 1998). Na lagoa de maturação, a maior remoção acontece às 00:00H, apresentando um comportamento semelhante que a lagoa facultativa, para essa remoção é necessário que se cumpram estas condições.

Na Figura 34, o comportamento da quantidade de coliformes no EB para o ano 2013 é semelhante ao ano 2012. Na lagoa facultativa, a maior remoção de coliformes sucede entre 00:00H e 24H, porém, foi uma redução contínua no ciclo nictemeral desde às 6H até 24H. Na lagoa de maturação de 06H até 18H estava-se produzindo a remoção, com ligeiro aumento às 00:00H até diminuir novamente às 24H.

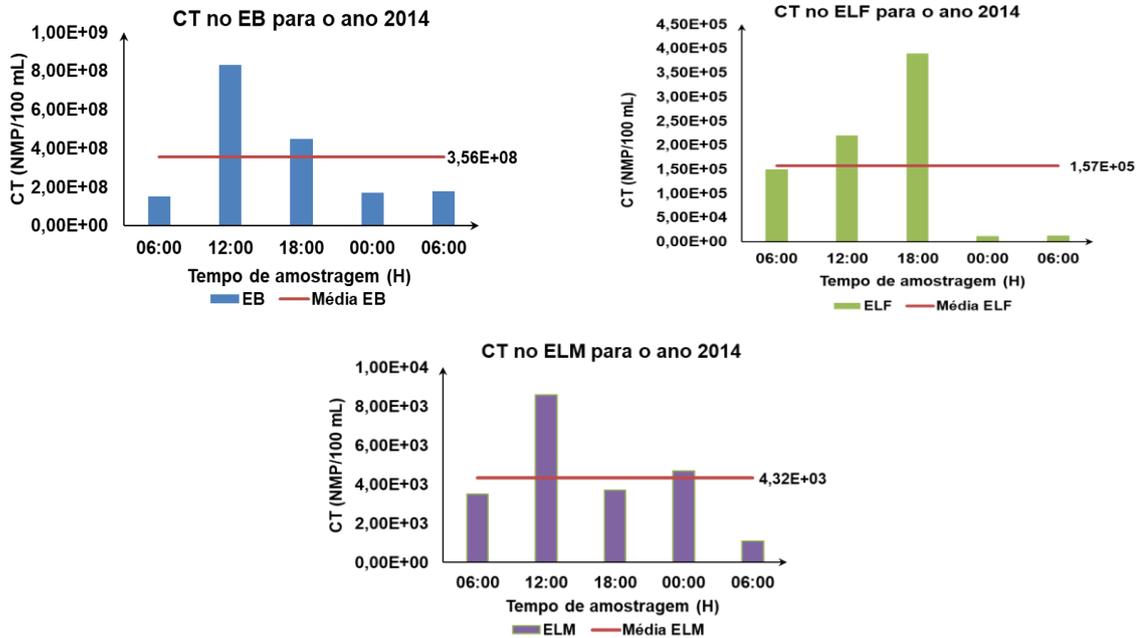
Figura 34 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2013



Fonte: A autora (2024).

No EB a maior remoção de CT foi às 6H, apresentando um brusco acréscimo às 12H. Na lagoa facultativa, apresentou-se um aumento no número de CT desde às 6H até às 18H, continuando com a remoção dos patógenos às desde às 00:00H até 24H (Figura 35).

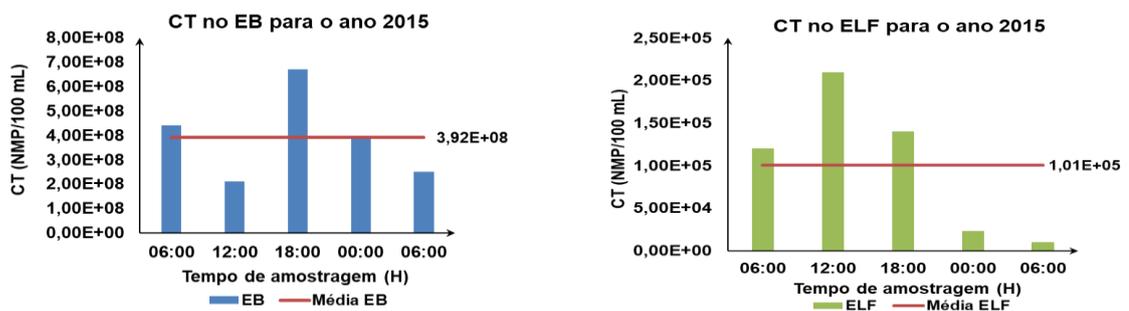
Figura 35 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2014



Fonte: A autora (2024).

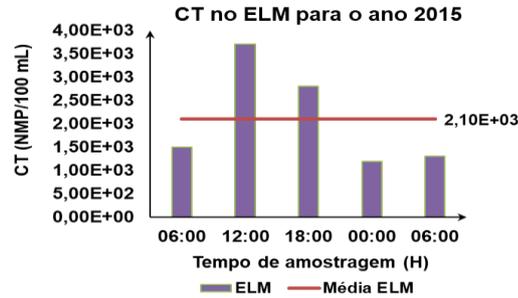
O comportamento do número de CT no esgoto bruto, na lagoa facultativa e de maturação, é semelhante, com umas pequenas variações próprias dos fatores físico-químicos que influenciam no processo de remoção dos CT. A maior remoção de coliformes na lagoa facultativa e de maturação sucedeu às 00:00H e 24H (Figura 36).

Figura 36 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2015 (continua)



Fonte: A autora (2024).

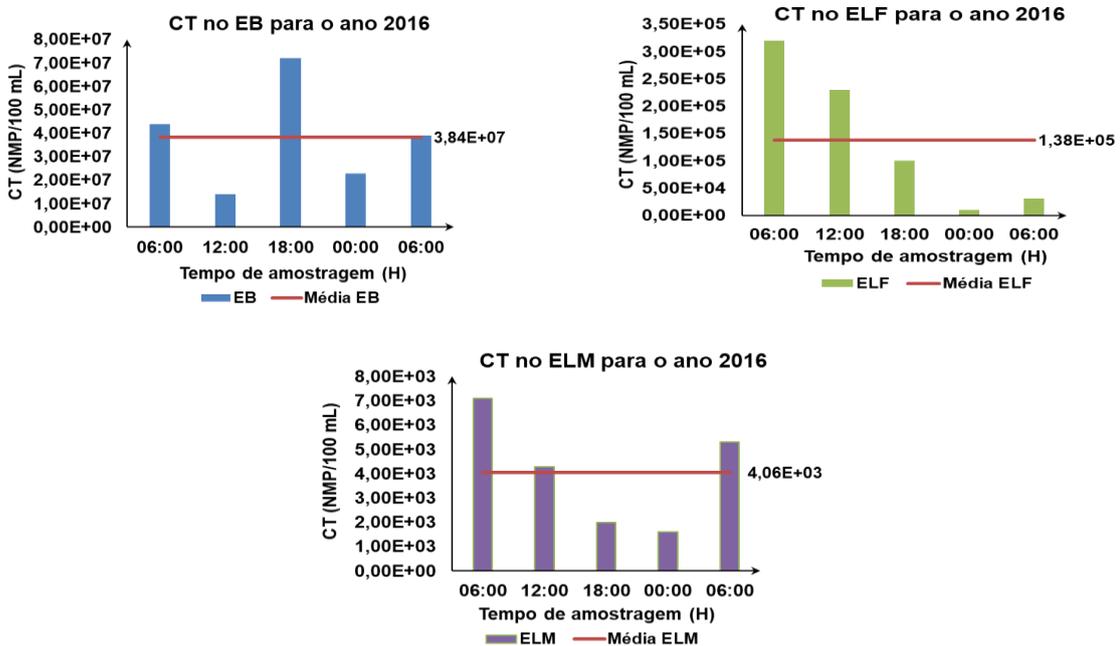
Figura 36 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2015 (conclusão)



Fonte: A autora (2024).

A partir do ano 2016 (Figura 37) desse ano, as lagoas facultativa e de maturação apresentaram maior remoção de coliformes desde 00:00H até 24H.

Figura 37 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2016

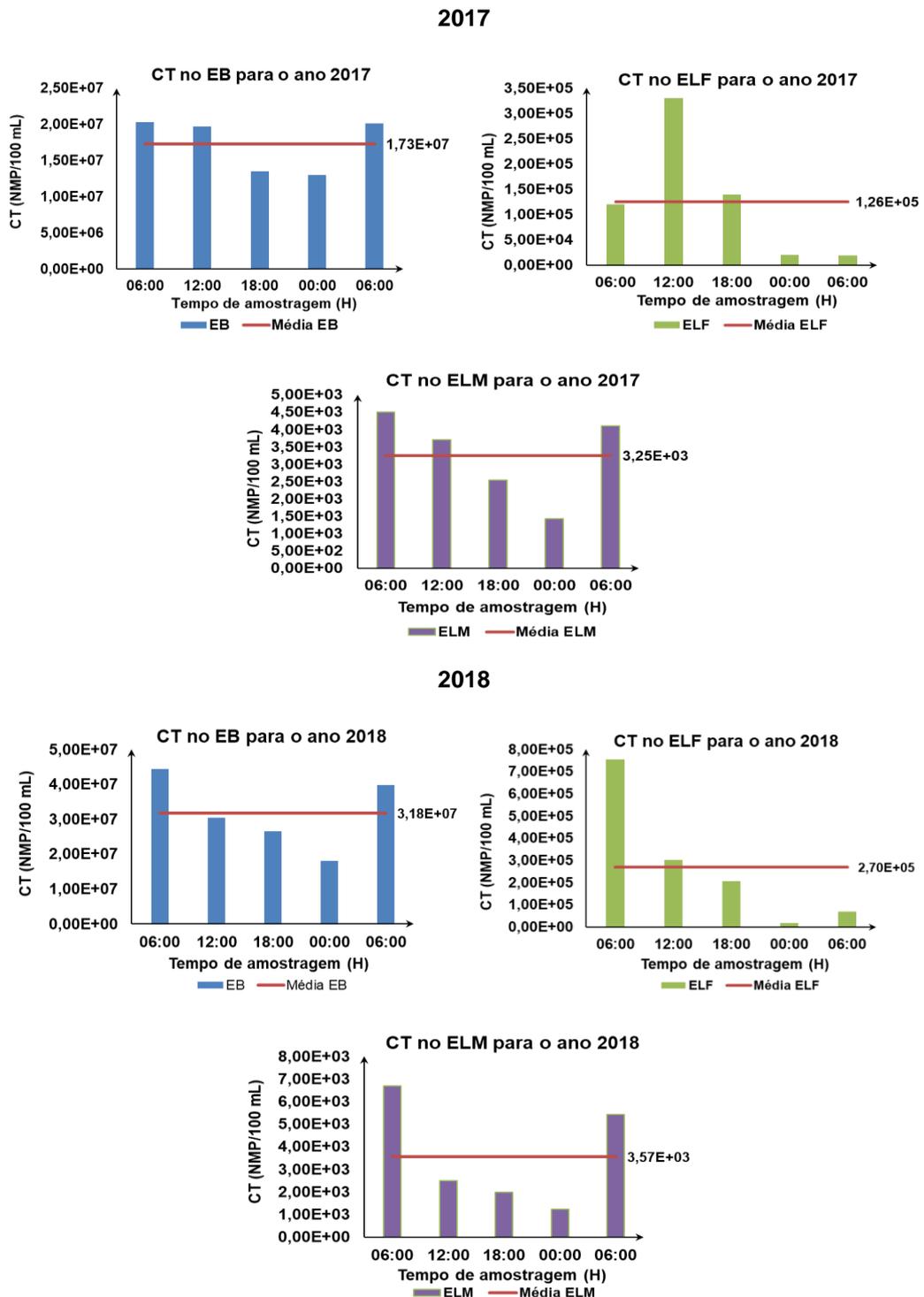


Fonte: A autora (2024).

Na Figura 38, representa-se o comportamento dos CT desde o ano 2017 até 2022. Desde 2017 até 2018, na lagoa facultativa, o ciclo e 24H mostra a remoção dos CT, porém, a partir do ano 2019 até 2022, a diminuição da concentração dos patógenos era maior de 18H a 00:00H, apresentando um aumento de indivíduos às 6,

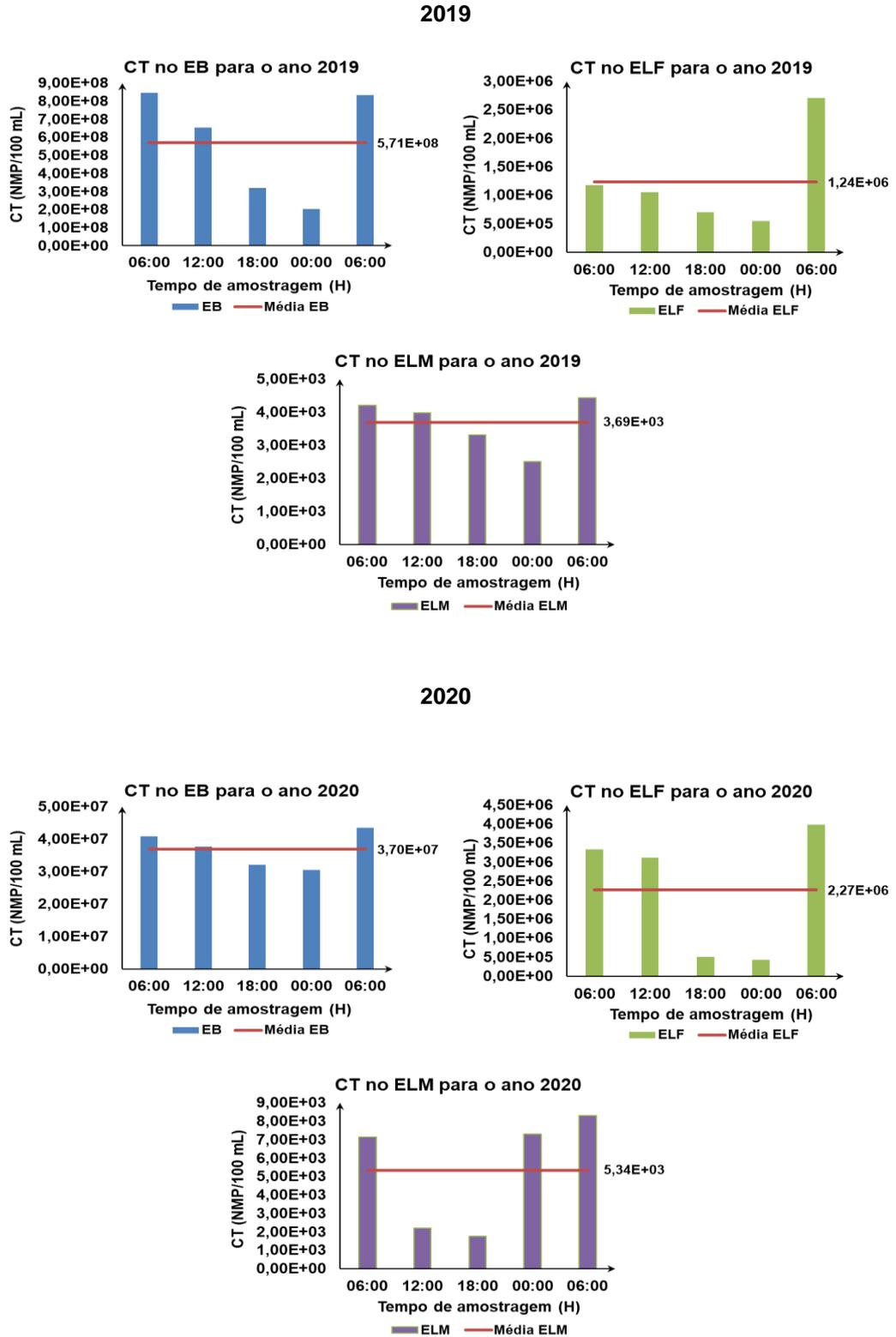
12 e 24H. A lagoa de maturação, apresentou uma remoção continuada desde às 6H até 00:00H com um acréscimo às 24H. O comportamento dos CT no EB, apresentou variabilidade no período de 2012 a 2022.

Figura 38 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2017 a 2022 (continua)



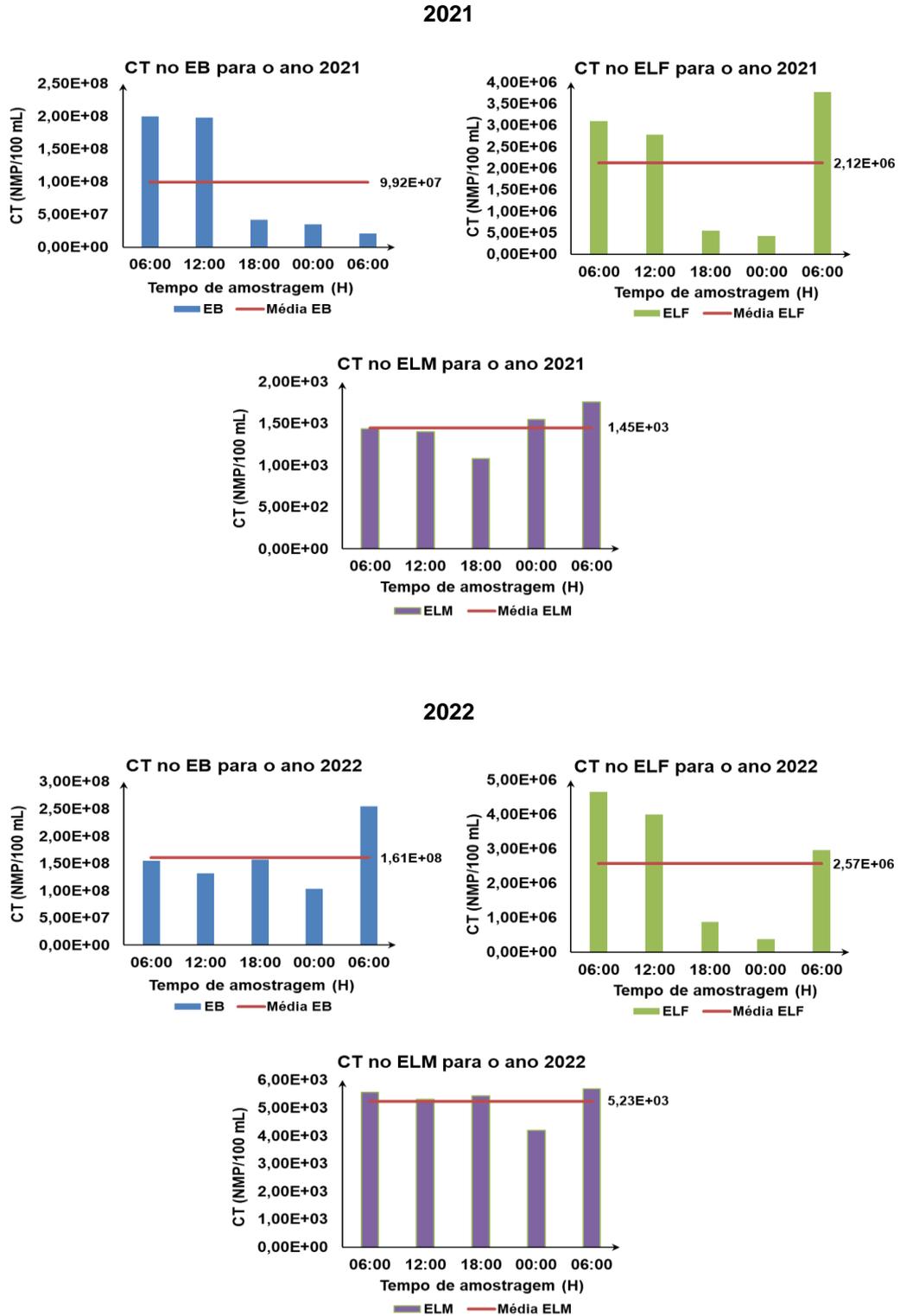
Fonte: A autora (2024).

Figura 38 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2017 a 2022 (continuação)



Fonte: A autora (2024).

Figura 38 – Comportamento do parâmetro CT (NMP/100 mL) por tipo de lagoa para o ano 2017 a 2022 (conclusão)



Fonte: A autora (2024).

Na literatura, a maior remoção de coliformes acontece às horas de maior incidência dos raios solares, porém, na amostragem de 2019 a 2002 sucedeu nas horas finais do dia, devido a condições climáticas que produziram um aquecimento no esgoto e nas lagoas, como os coliformes termotolerantes são sensíveis a temperatura, morrem e sedimentam ao fundo da lagoa.

Ademais de avaliar o desempenho operacional da ETE, na entrada e saída de cada lagoa, esta pesquisa busca entender a dinâmica urbana e populacional a partir de sua instalação.

4.2 ETE BOA VISTA E A DINÂMICA URBANA

A Estação de Tratamento de Águas Residuais foi inaugurada em 1994, ampliada e reformada em 2013 para atender uma maior demanda da população (AESBE, 2023). Quanto à sua localização, uma estação de tratamento de esgoto do tipo de lagoas de estabilização deve ser construída a uma distância que não incomode a população com os maus odores (NISTAL, 2014; VON SPERLING, 2002). Porém, diferente do que é recomendado pela bibliografia, a ETE Boa Vista está atualmente cercada pela ocupação urbana, o que pode ocorrer por diversos motivos que serão explorados a seguir.

4.2.1 Dinâmica urbana e dinâmica demográfica em Boa Vista

Para compreender a correlação da dinâmica urbana e demográfica em Boa Vista, é preciso observar através de dados quantitativos (estatísticos) e espaciais (mapeamento) a cronologia histórica desta relação, verificando aqueles fatores e atores promotores de espaços que marcaram uma diferença ou mudanças nos acontecimentos. O espaço urbano de Boa Vista está marcado por três circunstâncias diferentes: inicialmente, pelo arruamento histórico de sua origem, posteriormente, o espaço formado entre as avenidas Terêncio Lima e Major Willians e o rio Branco, que é o projeto urbanístico de Derenusson. Finalmente, a mancha urbana que surgiu após dos limites desse projeto, o que seria hoje a maior parte do espaço urbano da cidade (SILVA, 2009).

Na década de 40, a dinâmica urbana da capital de Boa Vista foi determinada pela implantação do plano urbanístico, onde a cidade foi projetada a partir do rio

Branco, cuja expansão foi patrocinada pelo poder público local e nacional, com a construção de residências para os novos trabalhadores da administração pública e do exército. Até 1970, Boa Vista era constituída por uma pequena área, mas a partir deste momento iniciou-se o seu crescimento urbano e, com o estabelecimento de novas relações políticas e devido às necessidades que surgiam das pessoas que ali viviam, novos bairros foram criados, de forma desordenada, fragmentando o pequeno tecido urbano (SILVA, 2009).

Entre 1987 e 1990, devido ao fenômeno denominado garimpo, houve um crescimento desorganizado em direção oeste do município. Com a proibição da mineração e a recessão econômica local, muitos garimpeiros mudaram-se para as periferias, causando uma concentração de pobreza. Na década do 90, graças ao incentivo dos governos estaduais e municipais para a criação de conjuntos habitacionais, surgiram novos bairros. Da mesma forma, a falta de investimento no setor agrícola e a implementação de programas de assentamento urbano por parte do Estado levaram à migração de pessoas das áreas rurais para a periferia. A partir de 1992, o Governo do Estado implementou políticas de doação de terras nas áreas Sul e Oeste, com a participação da maioria dos migrantes (VERAS, 2009).

No ano de 2007, os autores Menezes e Costa (2007) referem que o importante acréscimo da população urbana de Boa Vista deve-se às contínuas imigrações, influenciando na expansão urbana da cidade. Expansão urbana que vem acontecendo de maneira horizontal, o qual intensificou-se nos últimos anos e em períodos curtos, originando novos bairros, sem planejamento ou medidas que dinamizem os assentamentos urbanos, de forma desordenada e acelerada, resultando na degradação ambiental, do recurso água, desmatamento das áreas de preservação dentre outros, comprometendo a qualidade de vida da população existente nesses ambientes. Eles afirmam que grande parte dos assentamentos formados surgem de ocupação ilegal ou como se conhece popularmente como invasões, e em minoria por iniciativas governamentais e imobiliárias.

Cortés (2015) explica que em áreas urbanas com crescimento horizontal, a mudança no uso do solo, de natural ou agrícola para residencial ou desenvolvido, é acelerada, especialmente na periferia da cidade. Da mesma forma, as pessoas tomam a decisão de se estabelecerem na periferia, por vezes fora dos limites estabelecidos pelos programas municipais de planejamento territorial, como, por exemplo, áreas sem serviços e infraestrutura adequados, porque o valor dos terrenos em outros

espaços das cidades é maior, razão pela qual possuir casa própria nesses locais não é acessível às pessoas de baixa renda.

A origem cronológica dos bairros, por zona e com sua população, pode ser apreciada nas Tabelas 21 e 22, cuja informação foi fornecida pelo IBGE sede Boa Vista do Censo de 2010.

Tabela 21 – Cronologia do crescimento populacional por zona em Boa Vista durante os anos de 1991 a 2010

Zona/Ano de origem do bairro	População (hab.)				
	1991	1996	2000	2007	2010
Centro	7.030	6.451	6.057	4.858	5.140
Norte	17.609	17.684	21.305	22.922	23.913
Sul	14.745	13.772	13.033	12.434	13.620
Leste	3.925	3.635	4.641	4.676	4.949
Oeste	70.161	108.899	158.395	192.911	229.454
Boa Vista	113.470	127.974	165.309	223.320	260.541

Fonte: A autora (2024). Adaptado do IBGE (2023c).

Por meio da Tabela 21, pode ser observado o maior crescimento populacional ao passar dos anos na Zona Oeste. Na Tabela 22, pode ser verificado o número de bairros conformados por zonas e em diferentes anos, onde entre os anos de 1996 até o ano 2000 formaram-se 17 bairros na Zona Oeste, época que corresponde ao estabelecimento da conexão de Boa Vista com o resto de Brasil através da abertura das rodovias BR-174, a conversão de Roraima em estado e, o fluxo migratório produto da doação de terrenos (WALTER, 2021) e ativação do garimpo (SALES; OLIVEIRA; GALDINO, 2021).

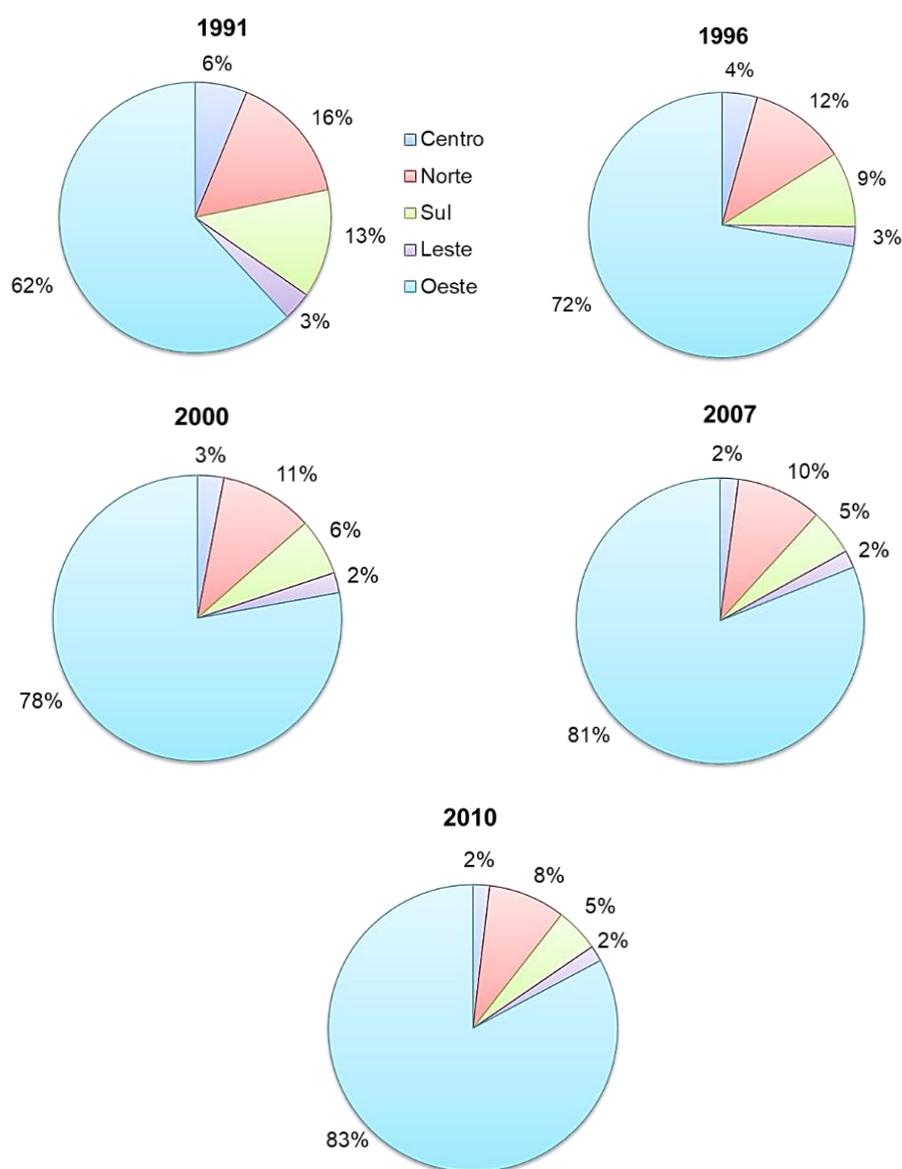
Tabela 22 – Cronologia do número de bairros formados por zona em Boa Vista durante os anos de 1991 a 2010

Zona	Ano de origem do bairro				
	1991	1996	2000	2007	2010
Norte	6				1
Sul	4	1			
Leste	3				
Oeste	10	6	17		6
Boa Vista	23	7	17		7

Fonte: A autora. Adaptado do IBGE (2023c)

Desde o ponto de vista percentual (Figura 39), verifica-se que em todos os anos mostrados a maior concentração da população corresponde a Zona Oeste, apresentando no ano de 2010, 83% dos habitantes (229.454 hab.) da área urbana continuando com o Norte com um 8% (23.913 hab.), Sul com 5% (13.620 hab.), Centro e Leste com 2%.

Figura 39 – Percentual da população da área urbana de Boa Vista por zonas, nos anos de 1991 a 2010 (continua)



Fonte: A autora (2023).

Ao mesmo tempo, ao longo dos anos, à medida que a população da Zona Oeste aumentava, também surgiram novos bairros. Pelo contrário, em outras áreas a população e a formação de bairros diminuíram. Observa-se um deslocamento ou migração intraurbana de pessoas em busca de locais mais adequados ao seu poder aquisitivo, que participaram em programas de habitação social ou aproveitaram oportunidades para adquirir casas ou terrenos mais baratos. De 2000 a 2007 não surgiram novos bairros, mas houve um aumento da população nos bairros da Zona Oeste.

De acordo com Silva, Almeida e Rocha (2009) a dinâmica urbana está relacionada a uma especulação imobiliária que acontece na Zona Leste, onde o perfil das pessoas que moram ali é de alto e médio poder aquisitivo. Se for considerado o tipo do uso do solo, a Zona Oeste tem valorização inferior comparado a Zona Leste. Na Zona Oeste, habita a população assentada, que realizaram ocupação por invasão, mas predominam pessoas de baixo poder aquisitivo, que alegam permanecer ali pelas políticas governamentais de promoção de assentamentos. Com respeito as Zonas Norte e Sul, são semelhantes a dinâmica da Zona Oeste, abrigam parte de uma população carente da cidade de Boa Vista.

Por meio do documento “Relatório Diagnóstico Técnico da Revisão do Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e Legislação Urbanística Complementar” (BOA VISTA, 2023b) realizado pela Prefeitura de Boa Vista, encontrou-se informação sobre os bairros que surgiram após do ano 2010. Somando esses dados com a informação fornecida pelo IBGE sede Boa Vista, resultou a Tabela 23, plasmando os nomes dos bairros de acordo a sua data de origem e o número total de bairros na cidade por zona.

Os bairros Professora Aracelis Souto Maior e São Bento surgiram nos anos 2000 e 2010, após da construção e inauguração da ETE no ano 1994. Inicialmente se originou numa área isolada, e com o tempo e a produção do espaço, formaram-se esses bairros entorno da ETE. Por outro lado, verifica-se a quantidade de bairros conformados na Zona Oeste, comparado com as demais zonas. Aspecto que pode ser apreciado através do diagrama de torta, na Figura 40.

Tabela 23 – Bairros originados por zona em Boa Vista a partir do ano de 1991

Zona	1991	1996	2000	2010	>2010	Nº total de bairros/zona
Norte	31 de Março, Aeroporto, Aparecida, Dos Estados, Paraviana, São Francisco.	-	-	Cinco de Outubro	Pedra Pintada, Said Salomão, Monte Cristo**	10
Sul	13 de Setembro, Calungã, Morichal Rondon, São Vicente	Distrito Industrial Gov. Aquilino Mota Duarte,	-	-	-	5
Leste	Caçari, Canarinho, São Pedro	-	-	-	-	3
Oeste	Asa Branca, Bunitis, Caimbé, Cambará, Caranã, Jardim Floresta, Liberdade, Mecejana, Pricumã, Tancredo Neves	Cauamé, Centenário, Jardim Tropical, Nova Canaã, Operário	Alvorada, Professora Aracelis Souto Maior, Bela Vista, Cinturão Verde*, Senador Hélio Campos, Jardim Caranã, Jardim Primavera, Joquei Club, Nova Cidade, Pintolândia, Piscicultura, Raiar do Sol, Dr. Silvio Botelho, Dr. Silvio Leite, Santa Luzia, Santa Tereza, União	Olímpico, Dr. Airton Rocha, Laura Moreira, Murilo Teixeira Cidade, São Bento, Cidade Satélite	-	39

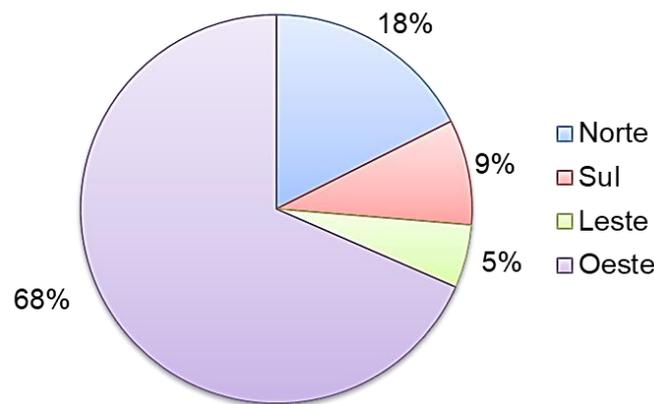
*Ele originou-se 1991, por lei foi extinto e aprovado novamente no ano 2000. – Não surgiram novos bairros. ** Informação de BOA VISTA (2023b)

Fonte: Adaptado do IBGE (2023c).

Verifica-se que 68% dos bairros da cidade de Boa Vista estão localizados na Zona Oeste, distante do centro da capital, onde se concentram bens e serviços públicos, comércio, entre outros (Figura 40). Com a atual dinâmica urbana e demográfica, é essencial repensar e reorganizar a cidade para atender às necessidades da população, como a fragmentação e dispersão comercial. É o caso dos chamados subcentros comerciais, localizados próximos a novos bairros como os da Av. General Ataíde Teive e da Rua Estrela D'Alva no bairro Raiar do Sol, ambos na Zona Oeste, além da Av. Jaime Brasil e Av. Ville Roy, que são as áreas comerciais

mais antigas. Essa é uma forma de contrabalançar a distância do centro da cidade, a dificuldade de locomoção por falta ou ineficiência do serviço de transporte público e atender a demanda da população (OLIVEIRA; COSTA, 2018).

Figura 40 – Porcentagem dos bairros presentes na área urbana de Boa Vista por zonas no ano 2023

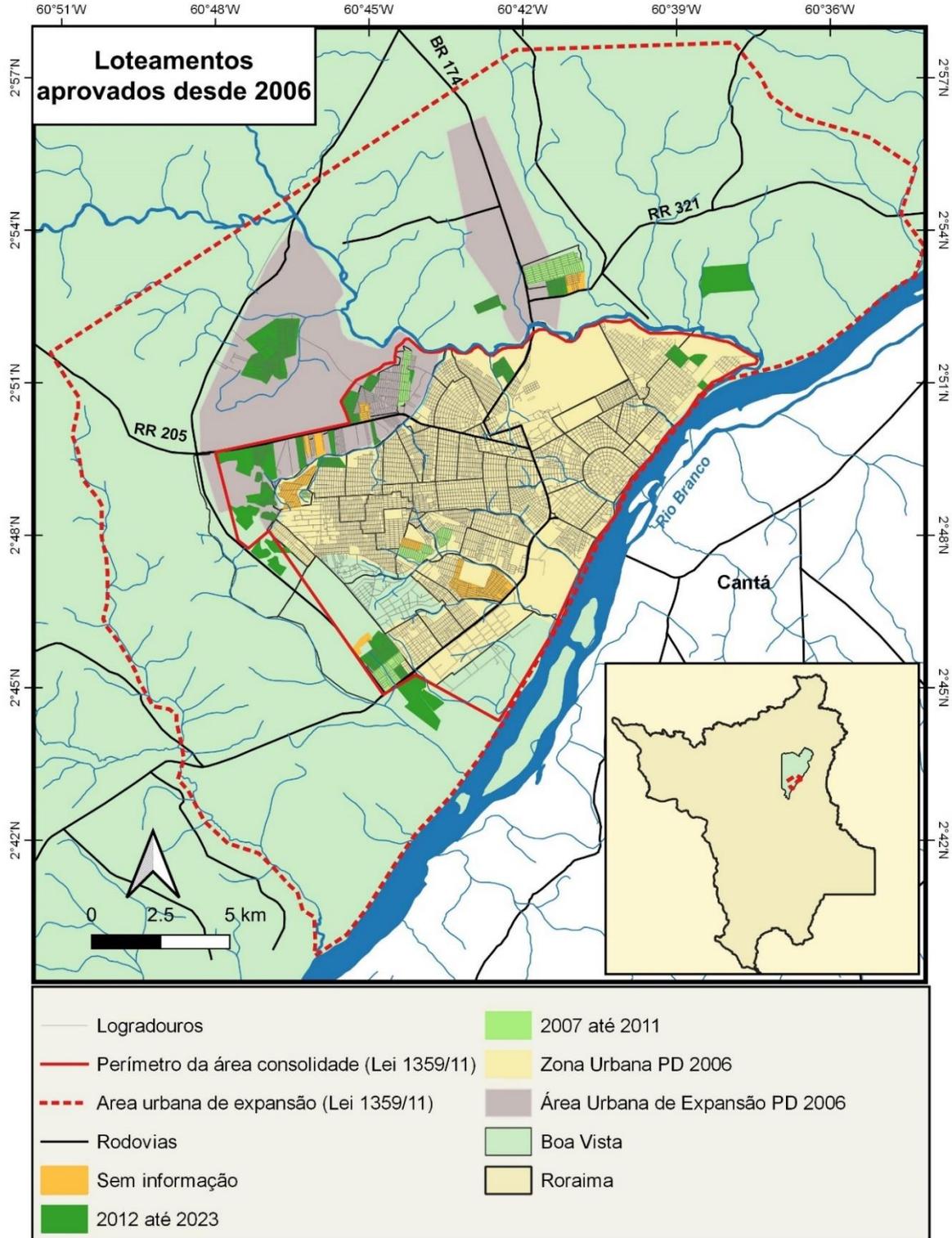


Fonte: A autora (2023).

A delimitação da área consolidada e de expansão urbana de Boa Vista dos Planos Diretores dos anos 2006 e 2011 e loteamentos aprovados desde o ano 2006, podem ser observados na Figura 41.

O crescimento urbano desde o Plano Diretor 2006 tem sido rápido, sem planejamento, existem loteamentos isolados, sem ordem. Boa Vista é uma cidade rodeada de corpos de água, existem muitas áreas de proteção permanente, pelo qual, a possibilidade de expansão segundo o Plano Diretor de 2006 era orientada até a Zona Oeste e Norte, ao Sul está o rio Branco e o município Cantá, e ao leste o rio Cauamé. Porém, o Plano Diretor de 2011, foi planejado com uma área de expansão dirigida a todas as zonas exceptuando a Zona Sul, sem respeitar as áreas de proteção permanente, podendo causar impactos negativos ambientais e sociais.

Figura 41 – Delimitação da área consolidada e de expansão urbana de Boa Vista dos Planos Diretores dos anos 2006 e 2011. Loteamentos aprovados desde 2006



Revisão do Plano Diretor e da Legislação Urbanística complementar do Município de Boa Vista/RR
 Base cartográfica: IBGE/PM Boa Vista/Sistema de Coordenadas Geográficas/Ano: 2024
 Adaptado do Relatório Diagnóstico Técnico (Boa Vista, 2023b)

Fonte: Trias e Bethonico (2024). Adaptado do Relatório Diagnóstico Técnico (Boa Vista, 2023b)

Por outro lado, realizou-se uma visita técnica com a equipe de trabalho in loco à ETE Boa Vista e seu entorno, no dia 6 de março deste ano, observando-se que as estruturas das casas do bairro São Bento, são de madeira e alvenaria, há infraestrutura básica e comércios que oferecem produtos à população, evitando, assim, deslocamentos para outras áreas da cidade. (Figura 42).

Figura 42 – Material de construção das casas do bairro São Bento na atualidade



A: Casa de madeira; B: Casa de alvenaria.
Fonte: A autora (2024).

As ruas entorno da ETE são em sua maioria pavimentadas, o que proporciona melhores condições de circulação dos veículos e pedestres, além de garantir maior durabilidade e resistência (Figura 43).

Figura 43 – Ruas entorno da ETE Boa Vista



C: pavimentadas; D: não pavimentadas.
Fonte: A autora (2024).

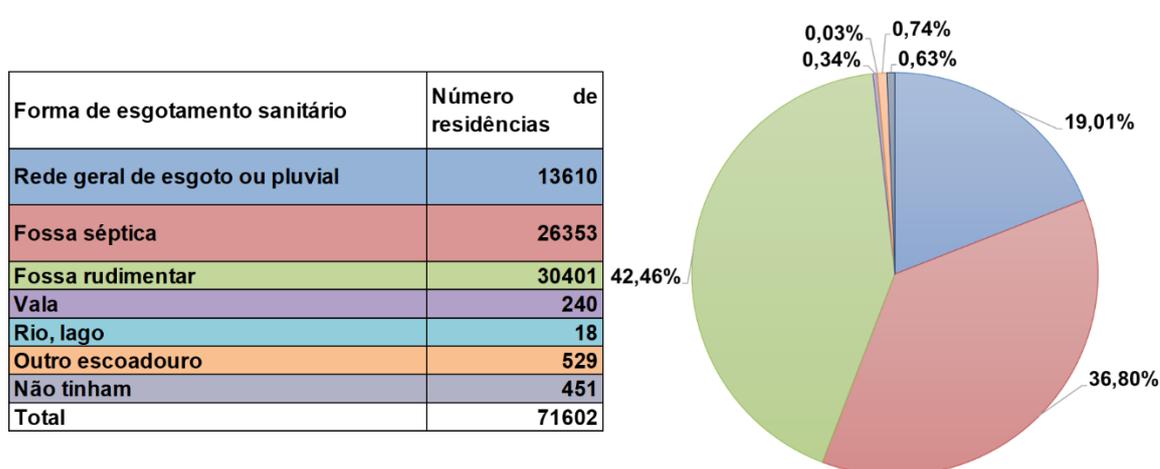
A seguir, realizou-se uma análise da evolução do serviço da ETE Boa Vista e demanda populacional pelo serviço de saneamento básico.

4.2.2 ETE Boa Vista e demanda populacional pelo serviço de saneamento básico

O crescimento populacional e urbano trouxe a necessidade de acrescentar a rede de esgoto e, portanto, a reforma e ampliação da Estação de Tratamento de Esgoto no ano de 2008 a 2013. No ano de 1994, ano de inauguração da Estação de Tratamento de Esgoto, a população do município de Boa Vista era de 167.124 hab. e a capacidade de tratamento da ETE era de 1.260 m³/h. Com a reforma realizada pela demanda populacional a capacidade de tratamento para o ano 2013 acrescentou-se a 3.600 m³/h projetada para atender uma expansão demográfica até 2038.

No Censo demográfico de 2010 (INFOSANBAS, 2024), nos domicílios particulares permanentes ocupados na área urbana do município de Boa Vista, existiam 26.353 residências com fossa séptica (36,80%) e mais de 30 mil com fossa rudimentar (42,46%), apenas 13.610 residências estavam com esgotamento sanitário adequado, representando um 19,01% (Figura 44). Esses dados indicam que em 2010 a cidade de Boa Vista apresentava um alto percentual de águas residuárias que não estavam sendo coletadas pelas redes de esgoto (81%) até a estação de tratamento, gerando potencialmente um impacto negativo nos recursos naturais e doenças à população por falta de segurança sanitária.

Figura 44 – Forma de esgotamento sanitário da área urbana do município de Boa Vista no ano 2010



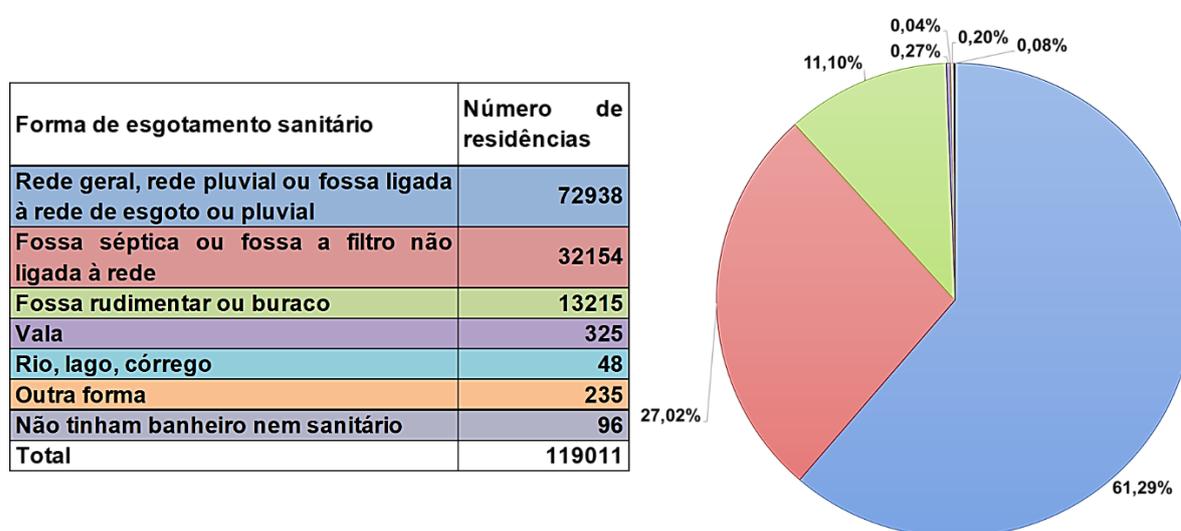
Fonte: A autora (2024). Adaptação do INFOSANBAS (2024).

Para o ano de 2021, o município de Boa Vista foi o que mais atingiu a meta de universalização de seus serviços de saneamento (municípios que atingem 90% de coleta de esgoto), com o estabelecimento novas ligações com 92.762 representadas por 100% do Indicador de Ligação de Esgoto - ILE, faltando apenas 27.838 ligações para a universalização (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023a), indicador focado nos 100 maiores municípios do Brasil com base na população. Com a reforma da ETE em 2013, esta infraestrutura conseguiu suportar a nova demanda pelo serviço de tratamento de esgoto.

No Censo 2022 (IBGE, 2023a), ainda em processo de consolidação e publicação dos dados coletados, apresenta formas de esgotamento sanitário em domicílios particulares com ocupação permanente no município de Boa Vista, número de novas ligações à rede de esgoto, número de domicílios não conectados à rede de esgoto, entre outros.

Comparando os dados obtidos dos anos de 2010 e 2022 (Figuras 44 e 45), que são aproximados, visto que para 2010 correspondem à zona urbana e os de 2022 são do município. Observa-se um aumento nas residências e, portanto, na procura por serviços de saneamento básico. As ligações à rede de esgoto passaram de 19% em 2010 para 61,29% em 2022, indicando maior acesso da população aos serviços de esgotamento sanitário (universalização dos serviços).

Figura 45 - Forma de esgotamento sanitário do município de Boa Vista no ano 2022



Fonte: A autora (2024). Adaptação do INFOSANBAS (2024).

Por outro lado, é importante levar em consideração a localização inicial da ETE e o crescimento urbano e populacional ao seu redor ao longo do tempo, tema que será analisado a seguir.

4.2.3 ETE Boa Vista e sua localização

A Companhia de Águas e Esgotos de Roraima – CAER escolheu um local para a Estação de Tratamento de Esgoto por lagoa de estabilização afastada da área urbana, onde a população não sofreria transtornos devido ao que este tipo de tratamento produz, como maus odores que são produtos de gases provenientes da decomposição da matéria orgânica (VON SPERLING, 2002). Além disso, o Plano Diretor da Câmara Municipal de Boa Vista, Lei nº 244/91, de setembro de 1991 (BOA VISTA, 1991), em sua Seção V estipula que a localização das lagoas de estabilização deve permanecer a uma distância mínima de 200 m (duzentos metros) de áreas residenciais.

Inicialmente, quando esta ETE foi inaugurada no ano de 1994, cumpriu esta premissa, mas com o passar dos anos e com a expansão urbana e demográfica desordenada, acabou rodeada de residências, sendo impactada social e ambientalmente. Tornou-se vítima de processos judiciais devido aos maus odores gerados (SCACABAROSSO et al., 2012), sobretudo quando o processo da ETE contava com a lagoa anaeróbia, com a reforma em 2013 (excluindo a lagoa anaeróbia) esses odores diminuíram (NISTAL, 2014). A razão dos maus odores pode ser por várias circunstâncias como, o odor próprio gerado pelo esgoto afluente a ETE, pelos gases formados no seu processo de decomposição, que pode ser a mofo (típico de esgoto fresco), razoavelmente suportável, a ovo podre (típico de esgoto séptico) com a formação de gás sulfídrico pela decomposição anaeróbia (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Nas lagoas de estabilização, principalmente nas anaeróbias (isso normalmente não acontece nas lagoas facultativas e de maturação), são gerados maus odores devido a: mau funcionamento (falta de manutenção), períodos prolongados de nebulosidade e baixas temperaturas, formação de curtos-circuitos, zonas mortas ou estagnadas nas lagoas, presença de massa flutuante na superfície do líquido e presença de substâncias tóxicas nas águas residuárias, diminuição do pH (KELLNER; PIRES, 1998).

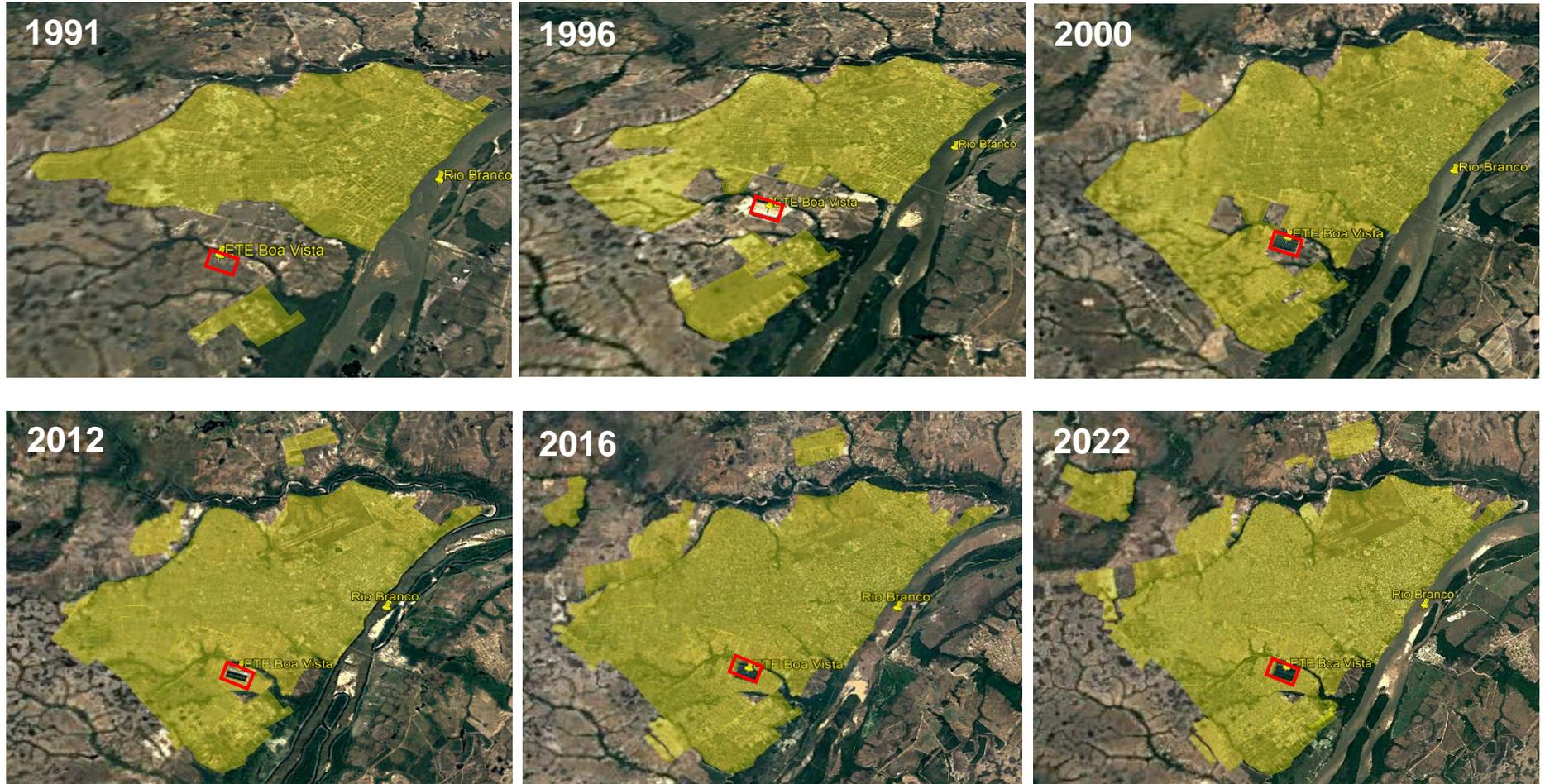
A Figura 46 mostra a evolução urbana e o crescimento populacional de Boa Vista desde 1991 (antes da construção da ETE), a localização da ETE na periferia da cidade (imagem de 1996) e a expansão nos anos 2000, 2012, 2016 e 2022 até pressionar esta infraestrutura de saneamento. Ao mesmo tempo, é possível observar como ocorre o crescimento em todas as áreas, principalmente no Oeste.

O Plano Diretor de 1991, no seu ART. 21 define: “Zonas Especiais (ZE) aquelas que estão diretamente vinculadas a alguma ocupação ou destinação peculiar e necessitam de um tratamento urbanístico diferenciado”, e na Secção III estabelece como: “Zona Especial 4 (ZE-4) é a área destinada à implantação de lagoas de estabilização” (BOA VISTA, 1991, p. 9). Isso indica que a área onde foi construída e inaugurada a ETE não era residencial, respeitando a distância de uma estação de tratamento de esgoto do tipo lagoa de estabilização em relação a última residência, recomendado pela literatura 200 m (BOA VISTA, 1991), 500 m (VON SPERLING, 2002) e 1000 m (KELLNER; PIRES, 1998). Isso pode ser observado na Figura 20, no ano de 1991.

No ano de 1996, verifica-se a produção do espaço com tendência ao oeste. No ano 2000, observa-se a formação do bairro Professora Aracelis Souto Maior no entorno da ETE e, para o 2012, a ETE estava rodeada também pelo bairro São Bento, em todo seu entorno estavam residências e, áreas de proteção permanente como o igarapé Grande e Paca. Para 2016, observa-se a expansão da cidade, no continua e em áreas distantes (periferia), com formação de novos bairros na Zona Norte e Oeste. Isso resulta na origem de problemas sociais (pobreza, criminalidade e doenças, entre outros) derivados da falta de um planejamento urbano que garanta a qualidade de vida das pessoas que ali vivem (OLIVEIRA; COSTA, 2018).

Um efeito da pressão urbana resultou na distância das lagoas de estabilização até as residências, por exemplo, na Figura 47 podem ser verificados valores como: 14, 14,5 e 35,4 m, contrários ao estabelecido no Plano Diretor/1991 de 200m. A falta de cercas da ETE (livre movimentação das pessoas e animais pela ETE), a pouca distância entre as comunidades e a ETE, a falta de monitoramento e manutenção produziram inconvenientes técnicos no tratamento das lagoas, mal cheiro e incomodidades nas pessoas (SCACARABAROSSO, 2012; VON SPERLING, 2002).

Figura 46 - Expansão Urbana de Boa Vista antes, durante e após da instalação da Estação de Tratamento de Esgoto



□ Local de construção da ETE. □ Mancha urbana.

Fonte: A autora (2024). Adaptado de Google Earth Pro, 2023

Figura 47 – Distância das lagoas de estabilização das residências no ano 2010, antes da reforma da ETE



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2023

Posteriormente, na reforma da ETE do ano 2013, trocaram o tipo de lagoas de estabilização, implementaram tratamento primário, eliminaram o tratamento anaeróbico, o qual produzia mal cheiro incomodando as comunidades, por duas lagoas facultativas e duas de maturação, colocaram aeradores, chicanas (para fazer o tratamento mais eficiente), e uma maior distância entre a ETE e às residências, conseguindo por exemplo valores como: 64,2, 100 e 110 m (Figura 48). Ainda não corresponde aos 200 m solicitados pelo Plano Diretor de 1991 (BOA VISTA, 1991), porém, melhorou essa condição com a reforma, ademais, construíram um muro no entorno da ETE evitando assim a entrada e saída livre de pessoas e animais aos espaços da Estação de Tratamento.

Kellner e Pires (1998) explicam que como o processo das lagoas de estabilização depende do clima, vários autores recomendam que deve estar localizada a uma distância próxima ou superior a 1000 m. da última residência, para evitar a presença de maus odores em áreas residenciais, e Von Sperling (2002) sugere 500 m.

Figura 48 – Distância das lagoas de estabilização das residências no ano 2013, após a reforma da ETE



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2023

Em visita técnica realizada pela equipe de trabalho *in loco* à ETE Boa Vista, no dia 6 de março deste ano, constatou-se que o muro que construíram para isolar e proteger esta infraestrutura e seus processos operacionais da população está deteriorado com furos e fratura na parede (Figura 49). Apesar de possuir uma cabine de vigilância e controle na entrada, poderá estar sujeito à entrada de pessoas e animais que possam interferir no seu bom funcionamento.

Figura 49 – Muro da ETE com estrutura enfraquecida e danificada.



Fonte: A autora (2024).

Foi observada entrada e saída de caminhões de limpeza de fossas sépticas (Figura 50), cuja disposição deve ser controlada por técnicos para não provocar alterações que afetem negativamente o desempenho operacional das lagoas, como um afluente com alta carga contaminante, o que repercute no tempo de detenção hidráulica do sistema (BOA VISTA, 2000; SILVA FILHO, 2007).

Figura 50 – Entrada da ETE Boa Vista.



E



F

E: Guarita de vigilância e controle; F: entrada de caminhão de limpeza de fossa.
Fonte: A autora (2024).

No entorno da ETE e no bairro foi constatado descarte de lixo inadequado (Figura 51), podendo originar insalubridade prejudicial para a população (vetores transmissores de doenças).

Figura 51 – Disposição inadequada de lixo no bairro e entorno da ETE.



Fonte: A autora (2024).



4.2.4 A eficiência da ETE e a interação com a dinâmica urbana

A interação entre a eficiência de uma estação de tratamento de esgoto e a dinâmica urbana, representa um tema relevante no desenvolvimento sustentável das cidades. Envolve uma série de fatores inter-relacionados que afetam tanto a qualidade de vida dos habitantes quanto o meio ambiente.

A dinâmica urbana, como o crescimento populacional, expansão urbana e mudanças no uso do solo, afeta diretamente a demanda por infraestrutura de saneamento, incluindo tratamento de esgoto. O aumento da população implica maior geração de esgoto, o que coloca pressão na ETE. É por isso que é essencial monitorar periodicamente a eficiência da ETE e a qualidade do efluente tratado, devido a que um esgoto mal tratado pode comprometer a qualidade das águas do rio Branco, afetando a saúde pública (com doenças de veiculação hídrica) e o meio ambiente.

Analisando os resultados, a eficiência da ETE Boa Vista é parcial, devido a que o sistema está removendo em um 100% a DBO. Os valores dos parâmetros DQO, SS e coliformes termotolerantes presentes no efluente da ETE, incumprem com a Resolução nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e 034/2011 (BRASIL, 2011), causando um impacto negativo nas águas do rio Branco. Com respeito a interação entre a eficiência da ETE e a dinâmica urbana é um desafio constante para a cidade, já que o tratamento de esgoto deve acompanhar o crescimento urbano.

A Estação de Tratamento de Esgoto desde sua inauguração até atualidade, influenciou a dinâmica urbana de maneira positiva e negativa. Uma cidade com uma estação de tratamento de esgoto é sustentável ao eliminar a insalubridade gerada por disposição de esgotos diretamente no solo a céu aberto ou num corpo de água. A reforma da ETE permitiu cobrir a demanda de serviço da população, ademais de solucionar o mal cheiro que incomodava a população com a eliminação da lagoa anaeróbia e, possuir maior proteção do sistema, ao contar com segurança na entrada da estação e com um muro, evitando a entrada livre de pessoas e animais.

Porém, um planejamento urbano cuidadoso, investimento em infraestrutura, manutenção e monitoramento contínuo são essenciais para garantir que o crescimento urbano seja sustentável e que a saúde pública e o meio ambiente sejam protegidos. Na atualidade, o processo de tratamento da ETE não se está mostrando eficiente para a realidade urbana.

5 CONCLUSÕES

A ETE Boa Vista por lagoas de estabilização não está funcionando eficientemente devido ao comportamento dos parâmetros coliformes termotolerantes, sólidos suspensos e demanda química de oxigênio, possivelmente pela descarrega de caminhões limpa fossas ao sistema. O parâmetro de coliformes termotolerantes, em ambas estações, presentes no efluente da ETE a ser lançado ao rio Branco, tendem a não cumprir com o limite máximo permissível definido pela lei (Resolução N° 357/05), com um 64% (época seca) e 82% (época chuva).

A estação de tratamento foi criada para tratar esgoto bruto doméstico, mas, ao calcular o índice de tratabilidade, 45% (no estiagem) e 27% (na época chuvosa) dos dados obtidos no período de 2012 a 2022, indicaram características de esgotos análogos aos de origem industrial ou com presença de materiais orgânicos não biodegradáveis, o que pode ser pela descarrega de esgoto de caminhões limpa fossa (esgoto com alta concentração de DBO, DQO e SS), e somado ao fato de que as concentrações dos parâmetros SS e DQO no efluente do sistema, a ser lançado em um corpo hídrico, excedem o limite máximo permitido estipulado na norma (Resolução nº 034/12 de Manaus), SS em 100% (na época seca) e 91% (na chuvosa) e DQO em 73% (época seca) e 64% (época chuva). É importante monitorar a carga desses parâmetros no efluente para não impactar negativamente as águas do rio Branco.

Sugere-se a instalação de um filtro no efluente da lagoa de maturação para remover os sólidos suspensos e melhorar a qualidade da água.

Os valores do parâmetro da DBO presente no efluente do sistema de lagoas de estabilização da ETE Boa Vista/RR a ser lançado a um corpo de água, cumprem com o limite máximo permissível estabelecido pela Resolução N° 430/11, na época seca e chuvosa. A eficiência de remoção da DBO do sistema também cumpre com o definido nesta resolução, portanto, a estação trata perfeitamente esgotos domésticos com determinada carga contaminante.

O desempenho das lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação para o período de 2012 a 2022 apresentou pouca ou nenhuma eficiência de remoção nos parâmetros de estudo. Se recomenda realizar um maior monitoramento contínuo da operatividade de cada lagoa, a fim de garantir a eficiência do sistema.

O ciclo nictemeral, demonstra a influência do horário do dia e às condições climáticas onde produz-se a maior remoção dos parâmetros de estudo nas lagoas de estabilização.

Sugere-se uma maior vigilância, monitoramento e controle do esgoto dos caminhões limpa fossas descarregadas ao sistema de lagoas, para evitar seu mau desempenho e contaminação das águas do rio Branco.

É importante que os legisladores estabeleçam um valor máximo permissível para os parâmetros sólidos suspensos e demanda química oxigênio a nível nacional.

A presença da estação de tratamento de esgoto influenciou na dinâmica urbana da cidade de Boa Vista. O impacto positivo de sua instalação é a depuração do esgoto sanitário gerado pela população, evitando incomodidades nas áreas residenciais por maus odores, insalubridade, geração de vetores produtores de doenças, fazendo de Boa Vista uma cidade sustentável. A reforma da ETE permitiu atender a demanda populacional e urbana, conectando novas ligações diretamente a rede de esgoto, e eliminação de fossas sépticas.

O impacto negativo a dinâmica urbana estaria representada pelos problemas de desempenho da ETE que acarretariam no deterioro da qualidade da água do rio Branco, fonte de abastecimento de água de parte da cidade, e a geração de maus odores que incomodariam a população.

A instalação da ETE foi realizada com categoria do uso do solo “Zona Especial 4” de acordo ao Plano Diretor de 1991, é uma área com destino peculiar e com tratamento urbanístico diferenciado, na periferia, antes da formação no seu entorno dos bairros São Bento e Professora Araceli Souto Maior. A dinâmica urbana com tendência no tempo ao crescimento para Zona Oeste originou pressão entorno da ETE e, a categoria do uso do solo mudou a residencial.

Recomenda-se a execução de estratégias de orientação, supervisão e controle urbanístico ao público em geral, para um planejamento integral da dinâmica urbana, realização de infraestruturas sanitárias com uma projeção mais ajustada a realidade para sua proteção e cuidado da população.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil**. Brasília: ANA, 2020. 44 p.

ANDREOLI, C.V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 388 p.

APHA et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. New York: Public Health Association Inc, 2005.

ARAÚJO, W.F. et al. Atualização da classificação climática de Boa Vista, Roraima, Brasil Wellington Farias ARA. **Nativa**, Mato Grosso, v.12, n.2, p. 236-240, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO - AESBE. **Companhia de Águas e Esgotos de Roraima lança selo comemorativo alusivo aos 50 anos**. Disponível em: <<https://aesbe.org.br/novo/companhia-de-agua-s-e-esgotos-de-roraima-lanca-selo-comemorativo-alusivo-aos-50-anos/>>. Acesso em: 18 de jul. 2023.

BATISTA, A.N.; SILVA, J.B. da. Políticas Públicas, Planejamento Urbano e a Produção do Espaço em Boa Vista-RR. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiás, v.38, n.1, p. 1-24, 2018.

BOA VISTA. Lei Ordinária Nº 244, de 06 de setembro de 1991. Dispõe sobre: a promoção do desenvolvimento urbano, zoneamento, uso e ocupação do solo, sistema viário, parcelamento do solo e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Boa Vista**, Boa Vista, RR, 06 de set. 1991. Disponível em: <sapl.boavista.rr.leg.br/norma/3437>. Acesso em: 31 jan. 2024.

_____. Lei Ordinária Nº 513, de 10 de abril de 2000. Dispõe sobre a política de proteção, do controle e da conservação do Meio Ambiente e da melhoria da qualidade de vida no Município de Boa Vista. **Diário Oficial do Município de Boa Vista**, Boa Vista, RR, 18 de abr. 2000. Disponível em: <sapl.boavista.rr.leg.br/norma/1549>. Acesso em: 22 jul. 2023.

_____. Lei Complementar Nº 924, de 28 de novembro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Boa Vista**, Boa Vista, RR, 30 de nov. 2006. Disponível em: <sapl.boavista.rr.leg.br/norma/1467>. Acesso em: 15 ago. 2023.

_____. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos de Boa Vista - PMGIRS**. Boa Vista: A2 Gestão Ambiental Ltda. Me, 2017. 222 p.

_____. **Revisão do Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e Legislação Urbanística complementar. Produto 1: Plano de trabalho**. Boa Vista: EMHUR e IBAM, 2023a. 55 p.

_____. **Relatório. Diagnóstico Técnico da Revisão do Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e Legislação Urbanística Complementar**. Boa Vista: EMHUR e IBAM, 2023b. 232 p.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Presidência da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 16 ago. 2023.

_____. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: <planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 08 jun. 2023.

_____. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <legisweb.com.br/legislacao/?id=102255>. Acesso em: 22 jul. 2023.

_____. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Disponível em: <legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 15 ago. 2023.

_____. Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera algumas leis. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: <in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CARLOS, A.F.A. **O espaço urbano: Novos escritos sobre a cidade**. São Paulo: FFLCH, 2007, 123p.

CARMO, R.L. do; CAMARGO, K. Dinâmica demográfica brasileira recente: padrões regionais de diferenciação. In: NETO, A.M. (Org.). **Desenvolvimento regional no Brasil: políticas, estratégias e perspectivas**. Rio de Janeiro: Ipea, 2020. p. 23 -115.

CHAVES, G.B. et al. Caracterização física e aplicação da espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (libs) para a determinação de contaminantes provenientes do depósito tecnogênico do bairro São Bento, Boa Vista – RR. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.14, n.34, p. 182-200, 2020.

CHERNICHARO, C.A.L. de. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias 5: Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1997. 246 p.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DE RORAIMA - CAER. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA**: Lagoa de Estabilização para tratamento de esgoto doméstico da cidade de Boa Vista. Boa Vista, 1992.

_____. **Estação de Tratamento de Esgoto - ETE**. Disponível em: <<http://www.caer.com.br/saneamento/>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

CORTÉS, J.J.S. El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable. **Paradigma económico**, Toluca, v.7, n.1, p. 127-149, 2015.

D'ALESSANDRO, E.B. et. al. Influência da sazonalidade em lagoas de estabilização. **Ingeniería del Agua**, Valencia - ES, v.19, n.4, p.193-209, 2015.

DOTA, E.; FERREIRA, F. Dinâmica econômica e urbano-regional no Espírito Santo: reestruturação produtiva e deslocamentos populacionais. **EURE**, Santiago, v.49, n.146, p. 1-22, 2023.

ESBELL, D.M. **Influência do deságue do sistema de lagoas de estabilização na quantidade de nutrientes no Igarapé Grande, Boa Vista, Roraima**. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2006.

FALCÃO, M.T; SOUZA, R.O. de. Aspectos da ocupação no entorno da bacia do Igarapé Grande - Boa Vista/RR, Brasil. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, Boa Vista, v.15, n.3, p.5-10, 2022.

FIORESE, C.H.U. et al. Análise preliminar dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do córrego Paraíso – trecho urbano do distrito de Vieira Machado, em Muniz Freire - ES. **Agrarian Academy**, Goiânia, v.6, n.11, p. 22-34, 2019.

FRANCENER, S.F. et al. Estudo da influência da hidrodinâmica no perfil de remoção de matéria orgânica em lagoa de estabilização anaeróbia da Amazônia ocidental: estação de tratamento de esgoto sanitário do município de Cacoal – RO. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.12, n.01, p. 31-40, 2015.

FORTES, F.C.A. et al. Impacto ambiental x ação antrópica: um estudo de caso no Igarapé Grande – Barreirinha em Boa Vista/RR. In: OLIVEIRA, A.C. (Org.). **Gestão ambiental e desenvolvimento sustentável**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018. p. 282-298.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS - FGV. Diretoria de Análise de Políticas Públicas - DAPP. **A economia de Roraima e o fluxo venezuelano [recurso eletrônico]: evidências e subsídios para políticas públicas**. Rio de Janeiro: FGV DAPP, 2020. 148p. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/29097>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de Saneamento**. 5. ed. Brasília: FUNASA, 2019. 545 p.

GALDINO, L.K.A. et al. Análise geo-histórica da ocupação humana e impacto ambiental no Igarapé Grande, em Boa Vista-RR. **Revista Geonorte**, v.10, n.36, p. 01-16, 2019.

GOOGLE EARTH PRO. **Estação de Tratamento de Esgoto Boa Vista, RR**. 2023.

HIDEO, K. et al. **Série Manuais**: Avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1991. 38p.

INFORMAÇÕES DO SANEAMENTO BÁSICO DO BRASIL – INFOSANBAS. **Forma de esgotamento sanitário do município de Boa Vista**. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipio/boa-vista-rr/#Esgotamento-sanit%C3%A1rio>>. Acesso em: 12 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama do Censo 2022. População e Domicílios - Primeiros Resultados**. Brasil, 2023a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/boa-vvista/pesquisa/43/0?ano=2010>>. Acesso em: 06 jun 2023.

_____. **Proposta metodológica para classificação dos espaços do rural, do urbano e da natureza no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023b. 174 p.

_____. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Boa Vista: IBGE, 2023c.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento do Instituto Trata Brasil de 2023 (SNIS 2021)**. São Paulo, 2023a. 17 p.

_____. Saneamento e Saúde. **Painel Saneamento Ambiental (SNIS 2021)**. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/localidade/>>. Acesso em: 18 jun. 2023b.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.

KELLNER, E.; PIRES, E.C. **Lagoas de estabilização: projeto e operação**. Rio de Janeiro: ABES, 1998. 244 p.

LIMA, J.A.M. de; BETHONICO, M.B.M. de; VITAL, M.J.S. Água e doenças relacionadas à água em comunidades da bacia hidrográfica do Rio Uraricoera – Terra indígena Yanomami – Roraima 1. **HYGEIA - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v.14, n.27, p. 136-154, 2018.

LIU, L.; HALL, G.; CHAMPAGNE, P. Disinfection processes and mechanisms in wastewater stabilization ponds: a review. **Environmental Reviews**, Ontario, v.26, n.4, p. 417-429, 2018.

MAHAPATRA, S.; SAMAL, K.; DASH, R.R. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. **Journal of Environmental Management**, Amsterdã, v.308, n.114668, 2022.

MANAUS. Resolução N° 034, de 27 de julho de 2012. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, condições para lançamentos de efluentes e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Manaus**, Manaus, AM, 27 de jul. 2012. Disponível em: <<https://www.manaus.am.gov.br/semmas/wp-content/uploads/sites/26/2023/07/034-2012.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2023.

MARA, D.D. **Domestic wastewater treatment in developing countries**. London: Earthscan Publications, 2004. 289 p.

MEDEIROS, C.F; VERAS, A.T.R. de. Segregação socioespacial na Amazônia brasileira: as contrastantes realidades das zonas leste e oeste de Boa Vista/RR. **Revista Eletrônica Casa de Makunaima**, Boa Vista, v.1, n.1, p. 66-77, 2018.

MEDEIROS, V.S. et al. Verificação da conformidade da qualidade do efluente da estação de tratamento de esgotos de Rio Verde – GO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental - RG&SA**, Florianópolis, v.8, n.1, p. 814-831, 2019.

MELO, E.F.R.Q; MELO, R.H.R.Q; MELO, R.H.R.Q. Balneabilidade de um rio: avaliação da qualidade da água. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v.16, n.6, p. 64-74, 2020.

MENDONÇA, S.R.; MENDONÇA, L.C. **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reúso na agricultura**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda., 2017. 364 p.

MENEZES, M.E.N.S. da; COSTA, J.A.V. Urbanização do setor sudoeste de Boa Vista-RR e implicações ambientais na microbacia Igarapé Grande-Paca. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, v.1, p. 67-81, 2007.

MORAES, D.L. de. et al. Análise comparativa de parâmetros hidráulicos para dimensionamento de tecnologias em estações de tratamento de esgoto. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v.10, n.01, p. 22-41, 2020.

MORAIS, N.W.S; SANTOS, A.B. dos. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista DAE**, São Paulo, v.67, n.215, 2019.

NEVES, F. M. C. et al. Avaliação da qualidade da água do rio Bacacheri, Curitiba/PR. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v.8, n.4, p. 81–98, 2015.

NISTAL, L.C. **A dinâmica das ocupações de áreas de potencial exposição a agentes químicos, físicos e biológicos, nocivos à saúde humana. Estudo de caso: Bairro São Bento, Boa Vista, Roraima.** 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências na área de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ, Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, J.V. de; COSTA, M.C.L. Expansão urbana de Boa Vista, Roraima, e os reflexos sobre a desigualdade socioespacial. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais**, Ceará, v.9, n.18, p. 1-18, 2018.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: 6 Água potável e saneamento.** 2015a. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>>. Acesso em: 09 de julho de 2024.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: 11 Cidades e comunidades sustentáveis.** 2015b. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>>. Acesso em: 09 de julho de 2024.

PINHEIRO, A.C.L. et al. Dinâmica urbana do estado do Pará (2000-2008). In: PEREIRA, R.H.M.; FURTADO, B.A. (Org.). **Dinâmica urbano-regional: rede urbana e suas interfaces.** Brasília: Ipea, 2011. p. 145 -182.

PINTANEL, S.R.; CECCONELLO, S.T.; CENTENO, L.N. Análise da correlação entre os indicadores de saneamento básico e as doenças de veiculação hídrica em municípios do sul do Rio Grande do Sul. **Revista Ambientale**, Alagoas, v.13, n.2, p. 41-52, 2021.

PHUNTSHO, S.; SHON, H.K.; VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J. Wastewater stabilization ponds (WSP) for wastewater treatment. In: VIGNESWARAN, S. (Ed.). **Water and wastewater treatment technologies.** Paris: UNESCO- EOLSS Publishers Co. Ltd., 2009. v.2, p. 44-75. Disponível em: <<https://www.eolss.net/sample-chapters/c07/E6-144-12.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

RODRIGUES, A.S. de. **Estudo da vulnerabilidade ambiental do Sistema Aquífero Boa Vista (SABV): uma análise sobre a ótica da expansão do sistema de esgotamento sanitário no perímetro urbano do município de Boa Vista/RR.** 2018. 108f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2018.

RODRIGUES, A.S. de; SANDER, C.; WANKLER, F.L. Vulnerabilidade natural à contaminação do Aquífero Boa Vista (ABV) na área urbana de Boa Vista, Roraima. **Contribuições à Geologia da Amazônia**, Belém, v.11, p. 46-57, 2019.

SALES, H.J. de; OLIVEIRA, I.A.D.; GALDINO, L.K.A. Produção do espaço urbano de Boa Vista, RR: do ordenamento à expansão “desordenada”. **Terra Livre**, São Paulo, v.1, n.56, p.440-461, 2021.

SANTOS, C.L. dos. et al. Aplicação do índice de qualidade da água no rio Ipixuna e avaliação das condições de balneabilidade com a percepção ambiental dos usuários. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v.10, n.4, p.e36810414131, 2021.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Editora HUCITEC, 1993, 155p.

SANTOS, Y.F.C. dos. **Avaliação operacional da ETE Boa Vista/RR quanto às escalas nictemeral e da sazonalidade no período de 2019 e 2021**. 2022. 103 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2022.

SATELLES, J.L. et al. Avaliação dos impactos ambientais da estação de tratamento de esgoto doméstico sobre o Igarapé Grande em Boa Vista/RR. **Periódico Tchê Química**, Porto Alegre, v.15, n.30, p.160-176, 2018.

SCACABAROSSO, H. et al. Análise dos impactos ambientais causados pelo sistema de tratamento de resíduos líquidos na área de expansão urbana da cidade de Boa Vista - RR. **Revista Geonorte**, Manaus, v.1, n.4, p. 422-431, 2012.

SILVA FILHO, P.A. da. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização**. 2007. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SILVA, P.R.F. de. Boa Vista: gênese espontânea e gênese induzida. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, v.3, n.5, p. 63-71, 2009.

_____. Espaço e tempo: reflexões sobre os agentes modeladores do urbano na amazônia brasileira. **Geosaberes**, Fortaleza, v.6, n.1, p. 209-223, 2015.

SILVA, P.R.F. de; ALMEIDA, M.M; ROCHA, R.A. A segregação como conteúdo da nova morfologia urbana de Boa Vista – RR. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, v.3, n.6, p. 47-53, 2009.

SOUSA, M.U; LIMA, L.M.R. Caracterização físico-química e microbiológica do esgoto da UEPB com proposta de tratamento para fins de reuso. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v.10, n.4, p. 54-60, 2015.

SOUZA, C.M. de; SILVA, R.S. Um panorama acerca da importância das migrações internas na cidade de Boa Vista, Roraima. In: CAVALCANTI, E.V. et al. (Org.). **Leituras sobre a Amazônia: cultura, memória e ensino**. São Luís: Universidade Federal do Maranhão - EDUFMA, 2021. p. 158-175.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Wastewater **Technology Fact Sheet: Facultative Lagoons**. Washington: U. S. Disponível em: <www3.epa.gov/npdes/pubs/faclagon.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2023.

VARÓN, M.P.; MARA, D.D. **Waste Stabilization Ponds**. Delft: IRC International Water and Sanitation Centre, 2004.

VEIGA, D.A.M; MATTA, J.M.B. da; VEIGA, A.J.P. Análisis sobre las definiciones territoriales de ciudad, municipio y metrópole en la diversidad del territorio brasileño. Bahia, **GEOPAUTA**, Vitória da Conquista, v.1, n.3, p. 58-78, 2017.

VERAS, A.T.R. de. **Produção do espaço urbano de Boa Vista –Roraima**. 2009. 235 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2002.

_____. **Biological wastewater treatment series 3: Waste stabilization ponds**. London: IWA Publishing, 2007. 177 p.

WALTER, P.A.L. **Requalificação urbana e exclusão socioespacial: Estudo de caso do “Beiral” em Boa Vista (RR)**. Boa Vista: Editora IOLE, 2021, 191p.