

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS - *CAMPUS BAMBUI*

MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL

Shirley Soares de Oliveira

**DIAGNÓSTICO DO EFLUENTE SANITÁRIO EM UNIDADES PRISIONAIS DE  
MINAS GERAIS: ESTUDO DE CASO EM QUATRO INSTITUIÇÕES  
LOCALIZADAS NOS MUNICÍPIOS DE SETE LAGOAS, SANTA LUZIA E  
CARATINGA**

Bambuí - MG

2024

SHIRLEY SOARES DE OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO DO EFLUENTE SANITÁRIO EM UNIDADES PRISIONAIS DE  
MINAS GERAIS: ESTUDO DE CASO EM QUATRO INSTITUIÇÕES  
LOCALIZADAS NOS MUNICÍPIOS DE SETE LAGOAS, SANTA LUZIA E  
CARATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Bambuí como requisito para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte  
Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental.  
Projeto estruturante: Educação e Sustentabilidade II – Recuperação de Áreas Degradadas.

Bambuí - MG

2024



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
Campus Bambuí  
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação  
Seção de Pós-Graduação  
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Bunitis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG  
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

## FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação intitulada “**Diagnóstico do efluente sanitário em unidades prisionais de Minas Gerais: Estudo de caso em quatro instituições localizadas nos municípios de Sete Lagoas, Santa Luzia e Caratinga**”, de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Shirley Soares de Oliveira**, sob a orientação do prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 26/06/2024, com a média de 79,7 pontos.

Bambuí (MG), 26 de junho de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Izabel Cristina de Matos Andrade, Usuário Externo**, em 08/07/2024, às 17:02, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Shirley Soares de Oliveira registrado(a) civilmente como Shirley soares de Oliveira, Usuário Externo**, em 08/07/2024, às 17:08, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Verônica Bernardes de Souza Léo, Professora EBTT**, em 08/07/2024, às 17:26, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Neimar de Freitas Duarte, Professor**, em 09/07/2024, às 11:50, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Simone Magela Moreira, Professora**, em 25/09/2024, às 16:49, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1965434** e o código CRC **95D71ED1**.

23209.000147/2023-63

1965434v1

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

O48d Oliveira, Shirley Soares de.  
Diagnóstico do efluente sanitário em unidades prisionais de Minas Gerais: estudo de caso em quatro instituições localizadas nos municípios de Sete Lagoas, Santa Luzia e Caratinga. / Shirley Soares de Oliveira. – Bambuí, 2024.

83 f.: il.; color.

Orientador: Dr. Neimar de Freitas Duarte.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2024.

1. Efluente sanitário. 2. Reúso. 3. Sistema prisional. I. Duarte, Neimar de Freitas. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 628.44564

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho às populações das áreas rurais e comunidades isoladas, que enfrentam dificuldades decorrentes da falta de saneamento básico. Minha motivação transcende os limites da pesquisa, pois almejo que este estudo inspire mais estudos para a implementação e valorização dos sistemas descentralizados. Essa abordagem visa proteger e respeitar a vida e os recursos hídricos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha família e todos que, de certa forma, contribuíram para a realização desta pesquisa e torceram pela minha qualificação profissional.

Agradeço, de forma especial, à minha amiga, Isabela Ferreira Batista, cuja contribuição e incentivo foram fundamentais para que eu decidisse iniciar e finalizar o mestrado. E também à Adriana Luppis, gerente-geral da APAC Caratinga, que confiou plenamente no meu trabalho, me dando total suporte para desenvolver minha pesquisa na unidade.

Agradeço ao meu orientador, Neimar de Freitas Duarte, que me aceitou como orientanda, sempre calmo, me apoiando e mostrando meu potencial, incentivando meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço ao Fernando Teles Bastos, Técnico da COPASA, a sua constante disposição em me atender e a troca de conhecimentos valiosos, que foram fundamentais para o progresso da pesquisa.

Agradeço à SEJUSP, em nome do Thiago Maduro, que acreditou e apoiou meu trabalho.

Agradeço aos colegas e amigos de sala, em especial, Mariana Gontijo, que sempre resolvia todos os problemas da turma; Giovana Batista, que me ensinou a buscar força na base do energético e aguentar todos os perrengues; e à Juliana Noceli, sempre apoiando e incentivando com muitas risadas dos desesperos.

Agradeço também à minha banca, composta por mulheres tão especiais, inteligentes e incentivadoras. Sua presença e contribuição foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Sou grato pelo apoio e orientação oferecidos ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço ao IFMG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Bambuí e *Campus* Santa Luzia, que me proporcionaram tantos reencontros e momentos significativos. Conhecer pessoas maravilhosas, entre alunos e professores, foi uma experiência enriquecedora.

## **EPÍGRAFE**

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba.”

Guimarães Rosa

## RESUMO

A reutilização de águas residuais tem se tornado um problema cada vez mais presente devido à escassez de água e à contaminação proveniente das atividades humanas. O sistema penitenciário mineiro também vivencia essa realidade em suas unidades e necessita urgentemente de estudos que possibilitem o reaproveitamento dos efluentes de suas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), com o objetivo de reduzir custos e preservar os cursos d'água próximos às unidades. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do tratamento de esgoto em quatro unidades do sistema prisional dos municípios de Caratinga, Santa Luzia e Sete Lagoas, com vistas ao reaproveitamento do efluente para fins não potáveis. Foram realizadas coletas de amostras na entrada e saída do esgoto, bem como análise da ETE. Efetuaram-se as seguintes análises: Sólidos Suspensos, Sólidos Decantados, pH, Nitrogênio, Fósforo, DBO e DQO. Na ETE da APAC em Santa Luzia, os parâmetros de DBO, DQO, PH, Sólidos Suspensos e Sólidos Sedimentáveis apresentaram resultados satisfatórios acima de 60%, revelando ineficiência apenas nos parâmetros Nitrogênio e Fósforo. Na ETE da APAC em Caratinga, a eficiência também foi acima de 60% para os parâmetros Sólidos Suspensos e Sólidos Sedimentáveis, DBO, DQO, porém apresentando uma variação muito significativa em uma das amostras DBO, DQO, com remoção inferior a 35%. As ETEs das unidades Prisionais de Sete Lagoas e Caratinga estão inoperantes; não sendo possível, portanto, a análise da eficiência. Sendo assim, foi apresentado um diagnóstico com as sugestões de correção e melhoria dos sistemas. Nenhum dos sistemas estudados apresentou redução satisfatória nos parâmetros de coliformes totais e fecais. Foram observados valores de desempenho satisfatórios, mas ainda insuficientes para reutilização do efluente, sendo os problemas operacionais e de projeto os principais responsáveis pela baixa eficiência do tratamento dos efluentes das estações analisadas.

**Palavras-chave:** Efluente sanitário, reúso, sistema prisional, caracterização de efluente.

## ABSTRACT

The reuse of wastewater has become an increasingly present problem due to water scarcity and contamination from human activities. The Minas Gerais penitentiary system also experiences this reality in its units and urgently needs studies that enable the reuse of effluents from its Sewage Treatment Stations (ETE), with the aim of reducing costs and preserving watercourses close to the units. The objective of this work was to evaluate the efficiency of sewage treatment in four units of the prison system in the municipalities of Caratinga, Santa Luzia and Sete Lagoas with a view to reusing the effluent for non-potable purposes. Samples were collected at the inlet and outlet of the sewage as well as analysis of the ETE. The following analyzes were carried out: Suspended Solids, Decanted Solids, pH, Nitrogen, Phosphorus, BOD and COD. At the APAC ETE in Santa Luzia, the parameters of BOD, COD, PH, Suspended Solids and Settled Solids, the results showed satisfactory results above 60%, showing inefficiency only in the Nitrogen and Phosphorus parameters. At the APAC ETE in Caratinga, efficiency was also above 60% for the Suspended Solids and Settled Solids parameters; BOD; COD, however showing a very significant variation in one of the BOD samples, COD with removal of less than 35%. The ETEs of the Prison units of Sete Lagoas and Caratinga are inoperative and, therefore, it is not possible to analyze efficiency, therefore, a diagnosis was presented with suggestions for correction and improvement of the systems. None of the systems studied showed a satisfactory reduction in parameters of total and fecal coliforms. Satisfactory performance values were observed, but still insufficient for effluent reuse, with operational and design problems being the main responsible for the low efficiency of effluent treatment at the analyzed stations.

**Keywords:** Sanitary effluent, reuse, prison system, effluent characterization.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

APAC - Associação de Proteção e Assistência a Condenados

APP - Áreas de Preservação Permanente

CERESP - Centro de Remanejamento do Sistema Prisional

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CRS - Centro de Reintegração Social

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DEOP - Departamento Estadual de Obras Públicas

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE - Estação de Tratamento de Efluentes

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

LEP - Lei de Execução Penal

NT - Nitrogênio Total

ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

OMM - Organização Meteorológica Mundial

ONU - Organização das Nações Unidas

pH - Potencial Hidrogeniônico

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico

PT - Fósforo Total

SD - Sólidos Dissolvidos

SEJUSP - Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública

SST - Sólidos Suspensos Totais

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa mental das perguntas que a pesquisa pretende responder.....	198
<b>Figura 2</b> - Cobertura regional dos serviços de água para consumo, 2000-2017 (%).....	243
<b>Figura 3</b> - Proporção da população nacional que usa serviços de saneamento gerenciados com segurança, 2017 (%) .....	265
<b>Figura 4</b> - Proporção da população que usa pelo menos serviços de saneamento básico, 2017 (%) .....	267
<b>Figura 5</b> - Proporção de mulheres e meninas de 15 a 49 anos que menstruaram nos últimos meses, por local em que costumam lavar e trocar produtos menstruais.....	288
<b>Figura 6</b> - Proporção de mulheres e meninas que usam instalações sanitárias para lavar e trocar produtos durante a menstruação, por condição da instalação .....	28
<b>Figura 7</b> - Dados regionais referente a abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto. ....	30
<b>Figura 8</b> - Avaliação dos serviços nas 100 maiores cidades brasileiras. ....	311
<b>Figura 9</b> - Panorama do Plano Municipal de Saneamento básico no estado de Minas Gerais .....	345
<b>Figura 10</b> - Percentual da população urbana atendida por coleta de esgoto no estado de Minas Gerais.....	356
<b>Figura 11</b> - Percentual da população urbana atendida por tratamento de esgoto no estado de Minas Gerais.....	366
<b>Figura 12</b> - Estações de tratamento de esgoto em operação por região no estado de Minas Gerais.....	377
<b>Figura 13</b> - Fluxograma das etapas do tratamento convencional de esgoto .....	401
<b>Figura 14</b> - Demonstrativo atual do reúso de água em diferentes regiões do mundo .....	502
<b>Figura 15</b> - Metodologia fragmentada em quatro etapas.....	579
<b>Figura 16</b> - Localização do município de Caratinga. ....	581
<b>Figura 17</b> - Vista aérea da APAC de Caratinga, MG. ....	592
<b>Figura 18</b> - Entrada do Presídio de Caratinga, MG. ....	592
<b>Figura 19</b> - Localização do município de Sete Lagoas.....	60
<b>Figura 20</b> - Entrada do Presídio “Promotor José Costa” .....	615
<b>Figura 21</b> - Localização do município de Santa Luzia .....	626
<b>Figura 22</b> - Vista aérea da APAC Santa Luzia .....	637
<b>Figura 23</b> - Etapas metodológicas .....	637

<b>Figura 24</b> - Estação de Tratamento de Esgoto APAC Caratinga, 2023 .....	181
<b>Figura 25</b> - Concentrações média, mediana e desvio padrão de sólidos suspensos e sedimentáveis (mg/l) de seis amostras do Sistema Prisional APAC em Caratinga/MG. ....	236
<b>Figura 26</b> - Avaliação do pH das seis amostras do Sistema Prisional APAC em Caratinga, MG.....	247
<b>Figura 27</b> - Concentrações média, mediana e desvio padrão DBO e DQO das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Caratinga, MG. ....	258
<b>Figura 28</b> - Concentrações média, mediana e desvio padrão de Nitrogênio e Fósforo total das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC de Caratinga, MG. ....	269
<b>Figura 29</b> - Concentrações média, mediana e desvio padrão E. coli e coliformes termotolerantes das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Caratinga, MG. ....	80
<b>Figura 30</b> - Estação de Tratamento de Esgoto do Presídio Caratinga. ....	326
<b>Figura 31</b> - Estação elevatória “Presídio Promotor José Costa”, 2022 .....	358
<b>Figura 32</b> - Estação de Tratamento de Esgoto APAC em Santa Luzia .....	369
<b>Figura 33</b> - Concentrações média, mediana e desvio padrão dos sólidos suspensos e sedimentáveis (mg/l) de 6 amostras do Sistema Prisional APAC em Santa Luzia, MG.....	393
<b>Figura 34</b> - Avaliação do pH das seis amostras do Sistema prisional APAC em Santa Luzia, MG.....	404
<b>Figura 35</b> - Concentrações média, mediana e desvio padrão DBO e DQO das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Santa Luzia, MG.....	415
<b>Figura 36</b> - Concentrações média, mediana e desvio padrão Nitrogênio e Fósforo total das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Santa Luzia, MG .....	426
<b>Figura 37</b> - Concentrações média, mediana e desvio padrão E.coli e Coliformes termotolerantes das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Santa Luzia, MG.....	426

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estimativa global do relatório do programa de monitoramento conjunto para abastecimento de água ONU 2017. ....	233
<b>Tabela 2</b> - Domicílios particulares urbanos e rurais, número de domicílios x 1000 .....	333
<b>Tabela 3</b> - Municípios que atendem acima de 50% da população urbana por tratamento de esgoto por faixa populacional.....	367
<b>Tabela 4</b> - Relação IDH x Percentual de Saneamento Adequado entre os dez melhores municípios e os dez piores.....	389
<b>Tabela 5</b> - Municípios envolvidos neste estudo.....	399
<b>Tabela 6</b> - Principais componentes no tratamento de esgoto e sua relevância. ....	489
<b>Tabela 7</b> - Metodologia utilizada nas análises físico-químicas e biológicas, e norma de comparação.....	168
<b>Tabela 8</b> - Parâmetros e faixa aceitável COPAM-CERH/MG N° 08/ 2022 .....	70
<b>Tabela 9</b> - Estatísticas descritivas referentes às diferentes concentrações dos parâmetros analisados na Estação de Tratamento de Esgoto da APAC de Caratinga, MG.....	225
<b>Tabela 10</b> - Percentual de redução dos parâmetros avaliados da ETE APAC Caratinga. ....	281
<b>Tabela 11</b> - Valores de padrão de reúso conforme DN CERH-MG n.º 65.....	303
<b>Tabela 12</b> - Estatística descritiva referente a concentrações dos parâmetros analisados da Estação de Tratamento de Esgoto em Santa Luzia, MG. ....	382
<b>Tabela 13</b> - Percentual de redução dos parâmetros avaliados da ETE APAC em Santa Luzia. ....	447

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	JUSTIFICATIVA	17
3.	OBJETIVOS	19
3.1.	Objetivo geral	19
3.2.	Objetivos específicos	19
4.	REVISÃO DE LITERATURA	20
4.1.	Disponibilidade e Crise Hídrica Mundial	22
4.2.	Saneamento Básico no Mundo	24
4.3.	Saneamento Básico no Brasil	29
4.3.1.	Saneamento Rural no Brasil	32
4.3.2.	Saneamento em Minas Gerais	34
4.3.3.	Relação Saneamento X Índice de Desenvolvimento Humano	37
4.4.	Processos de Tratamento de Esgoto	39
4.4.1.	Definição e Características do Esgoto Sanitário	39
4.4.2.	Níveis de Tratamento de Esgoto	40
4.4.2.1.	Tratamento preliminar	41
4.4.2.2.	Tratamento primário	41
4.4.2.3.	Tratamento secundário	41
4.4.2.3.1.	Métodos secundários	41
4.4.2.3.1.1.	Lagoas de estabilização	41
4.4.2.3.1.2.	Reatores anaeróbios	42
4.4.2.3.1.3.	Lodos ativos	42
4.4.2.3.1.4.	Reatores aeróbios com biofilmes	43
4.4.2.3.1.5.	Processos de disposição sobre o solo	43
4.4.2.3.1.6.	Disposição e Tratamento do Lodo	44
4.4.2.4.	Tratamento Terciário	45
4.4.2.4.1.	Tipos de tratamento terciário	45
4.4.3.	Parâmetros de qualidade do esgoto	46
4.4.4.	Viabilidade Econômica do Tratamento de Esgoto	48
4.5.	Reúso do Efluente	49
4.6.	Sistema Prisional	53
5.	METODOLOGIA	56
5.1.	Áreas de estudo	57
5.1.1.	Município de Caratinga	57
5.1.1.2.	APAC Caratinga	58
5.1.1.3.	Presídio de Caratinga	59

5.1.2	Município de Sete Lagoas	59
5.1.2.2	Presídio “Promotor José Costa”	61
5.1.3	Município de Santa Luzia	61
5.1.3.1	APAC de Santa Luzia	62
5.2	Etapas Metodológicas	63
5.2.3	Plano de amostragem das coletas	63
5.2.4	Análises Físico-químicas e Biológicas	64
5.2.5	Estatística descritiva dos dados	16
5.2.6	Descrição das tecnologias de tratamento das ETEs e análise da eficiência dos tratamentos	16
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
6.1	Estação de Esgoto APAC Caratinga/MG	17
6.2	Estação de tratamento de esgoto do Presídio de Caratinga/MG	31
6.3	Estação de Esgoto do Presídio “Promotor José Costa” em Sete Lagoas/MG	33
6.4	Estação de Esgoto APAC em Santa Luzia/MG	35
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
8	PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO	48
8.1	Critérios para o Produto Técnico-Tecnológico (PTT)	48
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXO I	60
	ANEXO II	81

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital não apenas para a sobrevivência humana, mas para todos os seres vivos e processos produtivos. A crescente demanda e a dependência humana exacerbada por este recurso têm evidenciado a sua finitude, especialmente em contextos onde a poluição e o esgotamento dos recursos hídricos se tornam sintomas alarmantes da crise ecológica atual. Despejos, sem tratamento, de esgoto doméstico e industrial, juntamente com o descarte irresponsável de resíduos, intensificam a contaminação dos recursos hídricos globais, inclusive, com microplásticos, destacando uma necessidade urgente de ações sustentáveis e eficientes em gestão hídrica ( Pasini e Damke, 2020).

A eficiência do saneamento básico, garantida pela Constituição e regulamentada pela Lei 11.445 de 2007 (BRASIL, 2007), alterada pela Lei 14.026, de 2020, emerge como um pilar fundamental para a promoção da saúde pública, qualidade de vida e preservação dos mananciais hídricos. Entretanto, apesar dos avanços legais e das metas de universalização, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos para alcançar toda a sua população. De acordo com dados de 2021 do Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional, enquanto 84,2% da população têm acesso à água potável, apenas 55,8% contam com acesso ao esgotamento sanitário (BRASIL, 2021), evidenciando uma lacuna na garantia dos direitos básicos de saneamento.

Este cenário de desafios e necessidades é ainda mais amplificado no contexto das unidades prisionais brasileiras, onde estudos sobre as condições de saneamento são escassos, apesar de sua relevante implicação social e ambiental. O Brasil, que possui a terceira maior população carcerária do mundo, enfrenta uma realidade prisional complexa, com Minas Gerais apresentando um dos maiores contingentes de detentos (DEPEN, 2022). A gestão adequada de águas residuais nessas unidades se mostra como um potencial caminho para a promoção da sustentabilidade e a melhoria das condições sanitárias e ambientais locais.

A revisão sistemática conduzida por Oliveira e Duarte (2023) destaca a escassez de pesquisas focadas no tratamento e reutilização de efluentes em ambientes prisionais, apesar do crescente interesse em questões relacionadas à saúde pública e à sustentabilidade ambiental. Diante desse cenário, o presente estudo busca preencher essa lacuna, investigando as práticas de tratamento de esgoto nas unidades prisionais de Minas Gerais e avaliando o potencial para o reúso de águas residuais para fins não potáveis. Essa iniciativa não apenas está alinhada com as diretrizes nacionais para saneamento básico e sustentabilidade, mas também propõe soluções

concretas para uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos em ambientes com alta demanda e impacto social.

Além de contribuir para a literatura acadêmica e para as práticas de gestão sustentável, este estudo tem o potencial de influenciar políticas públicas, ressaltando a importância do saneamento básico eficaz e da reutilização de efluentes como estratégias essenciais para a sustentabilidade ambiental e a saúde pública, especialmente em contextos prisionais, onde tais práticas são ainda mais necessárias devido às condições específicas e desafiadoras.

## 2. JUSTIFICATIVA

De acordo com dados recentes da Organização das Nações Unidas (ONU), o saneamento continua a ser uma preocupação global urgente, especialmente considerando a atual população mundial, que ultrapassa os 7,8 bilhões de habitantes. Estima-se que cerca de 2,6 bilhões de pessoas, representando aproximadamente 40% da população global, ainda não tenham acesso adequado à rede de coleta e tratamento de esgoto, resultando em uma descarga anual de aproximadamente 200 milhões de toneladas de dejetos humanos em rios e lagos ao redor do mundo (SNIS, 2023). As consequências diretas desse déficit são alarmantes. Segundo dados da pesquisa de Santos *et al.* (2018), no mundo, uma criança morre a cada 20 segundos devido a doenças transmitidas pela água, como diarreia, cólera e tifo, o que equivale a aproximadamente 1,5 milhão de mortes de crianças a cada ano. Esses números destacam a gravidade da situação e a necessidade urgente de medidas para melhorar o saneamento básico em todo o mundo.

O sistema de saneamento do Brasil ainda é uma grande problemática social e ambiental. Segundo o Instituto Trata Brasil (2019), em 2018, 16% da população não tinham acesso à água tratada, 53% dos brasileiros não tinham coleta de esgoto, apenas 46% do esgoto coletado eram tratados e 3,1% das crianças e adolescentes não possuíam banheiro em casa. Atualmente, no Brasil, são despejados na natureza, diariamente, o equivalente a 5,3 mil piscinas olímpicas de esgoto sem tratamento. Neste mesmo contexto, está o sistema prisional de Minas Gerais, que sofre com o problema de saneamento em seus presídios e penitenciárias. A maioria das unidades está localizada em áreas rurais ou de expansão urbana e não conta com serviços de coleta do esgoto, apresentando problemas associados à destinação deste. A ausência de um saneamento adequado leva a problemas de saúde para detentos, funcionários e, principalmente, a população vizinha. De acordo com a pesquisa realizada por Oliveira *et al.* (2017), a maioria

das ETEs instaladas no sistema prisional mineiro apresentava problemas operacionais, acarretando a impossibilidade de tratamento do esgoto, o que faz com que ele seja despejado *in natura* no meio ambiente.

O interesse do autor para este projeto de pesquisa é decorrente do aumento de denúncias encaminhadas pelo Ministério Público à Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública (SEJUSP), com origem na população ao redor das unidades, agricultores, funcionários, familiares de detentos e dos próprios funcionários que convivem com essa situação há anos. O presente projeto se faz oportuno para o momento por se tratar de uma realidade no estado de Minas Gerais, problema esse que vem acarretando sérios danos à saúde pública e ao meio ambiente. E se justifica por verificar o cumprimento legal na disposição do efluente, bem como sua característica físico-química e biológica. Mas, além deste fator, pretende-se conhecer a eficiência da tecnologia empregada com o intuito de reutilizar o efluente, conforme a determinação da legislação quanto ao reúso.

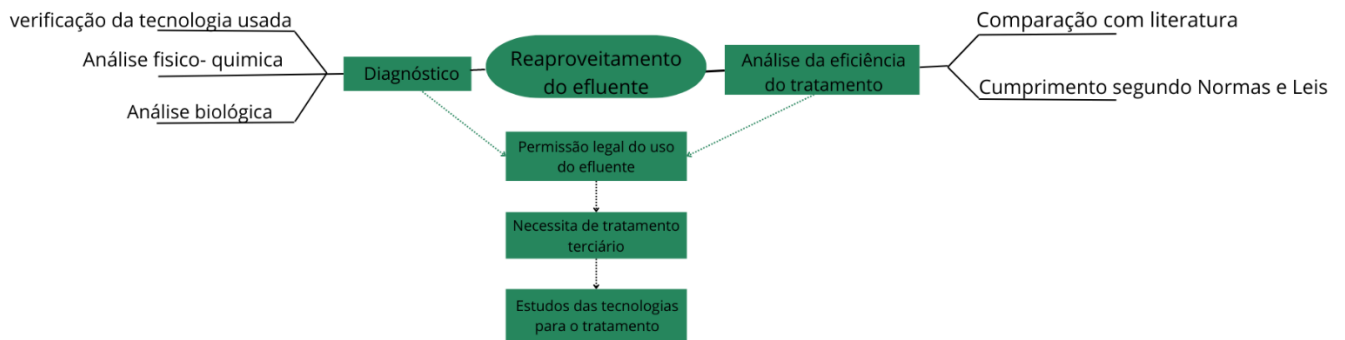
As características do efluente das ETEs das unidades prisionais ainda são desconhecidas, o que torna este trabalho inédito. Nesse sentido, considera-se de grande relevância para a área de saneamento do sistema prisional, pois será avaliado o desempenho das ETEs em operação, fornecendo informações reais quanto à eficiência do processo de tratamento, em termos da qualidade específica do efluente gerado. Pelo fato de, no Brasil, haver escassa experiência em reutilização planejada e institucionalizada, torna-se necessário promover a implementação de projetos-piloto, os quais servirão como base para o desenvolvimento de padrões e códigos de conduta, devidamente adaptados às condições e particularidades nacionais. A partir disto, o reúso de efluentes apresenta diferentes desafios, apresentados como perguntas na listagem a seguir:

- O reúso do efluente será para qual finalidade?
- Quais são os sistemas de tratamento utilizados nas unidades prisionais?
- Quais são as características do esgoto gerado ?
- Qual é a eficiência das tecnologias utilizadas nas estações do sistema prisional?

As perguntas que este trabalho pretende responder desencadeiam diferentes ações que foram realizadas para tentar respondê-las, conforme apresentado no mapa mental disposto na Figura 1. Para isso, dois grandes trajetos foram necessários: o diagnóstico e a análise da eficiência da tecnologia empregada. Após esses caminhos serem realizados, foi determinado o

potencial de uso do efluente das estações de tratamento.

**Figura 1** - Mapa mental das perguntas que a pesquisa pretende responder



Fonte: Autora (2024).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo geral

Mapear a destinação atual dos esgotos nas unidades prisionais realizando um levantamento detalhado sobre os sistemas de tratamento e disposição final dos esgotos gerados nas unidades selecionadas, identificando práticas atuais, desafios e oportunidades para melhoria ambiental e sustentabilidade.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto nas unidades prisionais segundo parâmetros físico-químicos e biológicos;
- Conduzir análises comparativas dos sistemas de tratamento de esgoto, medindo a eficácia na remoção de contaminantes com base em parâmetros físico-químicos e biológicos.
- Determinar a adequação desses sistemas para atender às normas de qualidade ambiental e viabilizar o reúso seguro do efluente.
- Identificar os pós-tratamentos de maior eficácia para atingir os parâmetros de qualidade para reúso.
- Elaborar Relatório técnico, visando orientar as unidades prisionais quanto ao funcionamento de uma estação de tratamento de esgoto (ETE).

#### 4. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Pasini e Damke (2020), a água é o elemento vital essencial para a vida e a sustentação dos ecossistemas. A maioria dos seres vivos começa sua vida em um ambiente aquoso, numa bolsa que promove seu desenvolvimento e os prepara para a vida externa. É importante ressaltar também que toda produção envolve a participação da água em alguma fase de seu processo. A água é sinônimo de vida e é o ponto de partida nas pesquisas espaciais, pois, onde há água, há vida e, conseqüentemente, a probabilidade de continuidade da espécie.

Presente em várias situações na vida humana, a água tem tido um grande protagonismo em conflitos socioeconômicos e socioculturais, além de fazer parte de ritos de cura e libertação. Como narrado na Bíblia em seu primeiro livro (Gênesis, 21-25): “Abrão, porém, respondeu a Abimaleque por causa de um poço de água que os servos de Abimaleque haviam tomado à força”. Estudos históricos mencionam as grandes construções hidráulicas para condução das águas, obras realizadas pelas primeiras civilizações, como na Índia, no Egito e na Mesopotâmia, os chamados berços da humanidade (Junior, 2012). Em Roma, o primeiro aqueduto foi o Aqua Appia, construído no ano de 312 a.C. por Appius Claudius Caecus, e o aqueduto mais extenso é o Aqua Marcia, com 91 km, também romano (Veríssimo, 2021).

Além disso, a água está presente nas tradições culturais, nas religiões e lendas, tendo seu significado mais comum associado à pureza, cura e libertação do pecado e da sujeira. Esse poder de purificação confere à água um status de elemento vital sagrado, predominante em várias religiões e rituais.

No Cristianismo, ela é utilizada no batismo simbolizando o renascimento para uma nova vida. No Islamismo, as mesquitas possuem fontes de água para a ablução, sendo obrigatória a lavagem das mãos antes das orações. No Judaísmo, a água é utilizada nos rituais para manter o estado de pureza, sendo obrigatório lavar as mãos antes e depois das refeições. Na religião Wicca, ela é símbolo da grande Deusa, juntamente com os outros elementos da natureza - o ar, a terra e o fogo - representando a manifestação divina na terra. Para as religiões afro, a água é representada nos banhos oferecidos pelos Orixás para limpeza e purificação da alma e do corpo, sendo considerada a manifestação material do amor divino (Alonso, 2012).

No contexto da literatura brasileira, destacam-se obras significativas como “O Quinze”, de Rachel de Queiroz, que aborda a grande seca de 1915 vivenciada pela autora na infância, e “Vidas Secas”, de Graciliano Ramos, publicada em 1938, retratando a vida de uma família nordestina em situação de extrema pobreza, enfrentando diariamente a fome e a seca,

denunciando o descaso social e a exploração humana. Seguindo essa linha, temos “Morte e Vida Severina”, de João Cabral de Melo Neto, que, por meio de poemas regionalistas, descreve o sofrimento de Severino, um retirante sertanejo em busca de uma vida melhor na capital, distante da fome e da seca (Heller, 2022). Um livro mais recente, “O século da escassez”, de 2016, escrito por Marussia Whately e Maura Campanili, aborda a complexidade do tema da escassez de água, introduzindo o conceito de “crise da água”, e propõe possíveis soluções para evitar uma crise real de abastecimento, visando reverter o uso predatório desse recurso vital para a sobrevivência do Planeta (Whately e Campanili, 2016).

Nos presídios e penitenciárias, a água desempenha um papel fundamental para garantir condições mínimas de saúde e higiene aos detentos e também possui uma posição subjetiva. Infelizmente, algumas vezes utilizada como forma de controle, punição ou até mesmo como moeda de troca. Os motins causados pela escassez de água são eventos frequentes e refletem questões sistêmicas mais amplas dentro do sistema prisional.

Pasini e Damper (2020) afirmam que a água é tão vital para nossas vidas quanto o ar que respiramos. Além de ser conhecida como o solvente universal, ela tem capacidade de dissolver uma ampla variedade de substâncias e facilitar a absorção de nutrientes. Sua presença é observada não apenas nos corpos hídricos, mas também no ar, na terra e em outros seres vivos.

Devido à sua importância, a legislação brasileira conta com um conjunto de leis e normas referentes aos recursos hídricos, com o objetivo de proteger e preservar a água. Entre elas, está o Código das Águas, criado em 1934 pelo Decreto n.º 24.643, de 10 de junho de 1934 (BRASIL, 1934). Para promover a proteção contra o uso indiscriminado e a contaminação da água, é destacado na Declaração Universal dos Direitos da Água em seus artigos:

Art. 7º – A água não deve ser desperdiçada, nem poluída, nem envenenada. De maneira geral, sua utilização deve ser feita com consciência e discernimento para que não se chegue a uma situação de esgotamento ou de deterioração da qualidade das reservas atualmente disponíveis.

Art. 8º – A utilização da água implica no respeito à lei. Sua proteção constitui uma obrigação jurídica para todo homem ou grupo social que a utiliza. Esta questão não deve ser ignorada nem pelo homem nem pelo Estado.

Art. 9º – A gestão da água impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as necessidades de ordem econômica, sanitária e social.

Em 8 de janeiro de 1997, instituiu-se a Lei n.º 9.433/97, Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos, regulamentando o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e alterando o art. 1º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Em 2000, criou-se a Agência Nacional de Água - ANA (BRASIL 2000), e, em 2004, foi aprovada a Lei n.º10.881, que dispõe sobre os contratos de gestão entre a ANA e entidades delegatárias das fundações de agências de água sobre domínio da União (BRASIL 2004). Vale ressaltar que, em 15 de julho de 2020, a Lei n.º14.026 incorporou às atribuições da ANA a competência para editar normas de referência sobre os serviços de saneamento básico (Costa, 2023).

#### **4.1. Disponibilidade e Crise Hídrica Mundial**

Segundo dados do relatório do Programa de Monitoramento Conjunto, o progresso no abastecimento de água, saneamento e higiene de 2000 a 2017: uma a cada três pessoas no mundo não tem acesso a água potável; aproximadamente 2,2 bilhões de pessoas não têm acesso a serviços de água potável gerenciados de forma segura; 4,2 bilhões não têm serviços de esgotamento sanitário e 3 bilhões não possuem instalações básicas para higiene das mãos (OPAS BRASIL, 2019).

O relatório da situação dos serviços climáticos 2021: ÁGUA, da Organização Meteorológica Mundial (OMM), indica que a crise climática e o crescimento populacional têm contribuído cada vez mais para o aumento de pessoas enfrentando escassez de água e estresse hídrico. Em 2018, cerca de 3,6 bilhões de pessoas no mundo tiveram acesso inadequado à água, e, em 2050, espera-se que esse número aumente para 5 bilhões de pessoas (OMM, 2022).

De acordo com dados da Unicef (2020), menos da metade da população mundial tem acesso à água potável, enquanto a agricultura consome 70% da água disponível para irrigação, sendo o setor que mais consome água potável no mundo. A taxa de crescimento do uso da água tende a ser duas vezes maior que o crescimento populacional, e, até 2025, espera-se que esses gastos aumentem até 50% nos países em desenvolvimento, como o Brasil, apresentando um índice de consumo de 72% para atividade agrícola, 22% para a indústria e 6% para uso exclusivamente humano (Barbosa, Tavares e Navoni, 2019). A água de reúso classe 4 destaca-se como uma opção sustentável viável para reduzir o consumo de água potável em casos como produção de forragem, pastagens para gado, trigo, café, entre outros (ONU, 2021).

Em 2022, no relatório anual de mudanças climáticas, Petteri Taalas, secretário-geral da Organização Meteorológica Mundial, alerta que o aumento da temperatura está resultando em mudanças nos padrões de precipitação, afetando significativamente a segurança alimentar,

a saúde e o bem-estar da população. O número de tragédias causadas por enchentes aumentou 134% desde 2000, especialmente na Ásia e na Europa, enquanto a duração das secas na África cresceu 29% na última década. Taalas enfatiza a necessidade de melhorias no manejo da água e mais investimentos em políticas hídricas e climáticas para enfrentar a iminente crise hídrica (OMM, 2022).

Dentre os 17 objetivos da agenda de desenvolvimento sustentável, o sexto objetivo é assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos os países até 2030 (ONU, 2015). De acordo com o Relatório do Programa de Monitoramento Conjunto para Abastecimento de Água, Saneamento e Higiene (JMP) do Fundo das Nações Unidas para a Infância e Organização Mundial da Saúde (UNICEF/OMS, 2019), de 2000 a 2017, houve um aumento de 61% para 71% de pessoas no mundo com serviços de abastecimento de forma segura. Nos países em desenvolvimento, o aumento foi de 25% para 35%, e, nas áreas rurais, de 39% para 53%, proporcionando acesso a serviços básicos a cerca de 1,8 bilhão de pessoas. Na Tabela 1, segue a divulgação da primeira estimativa global em 2017.

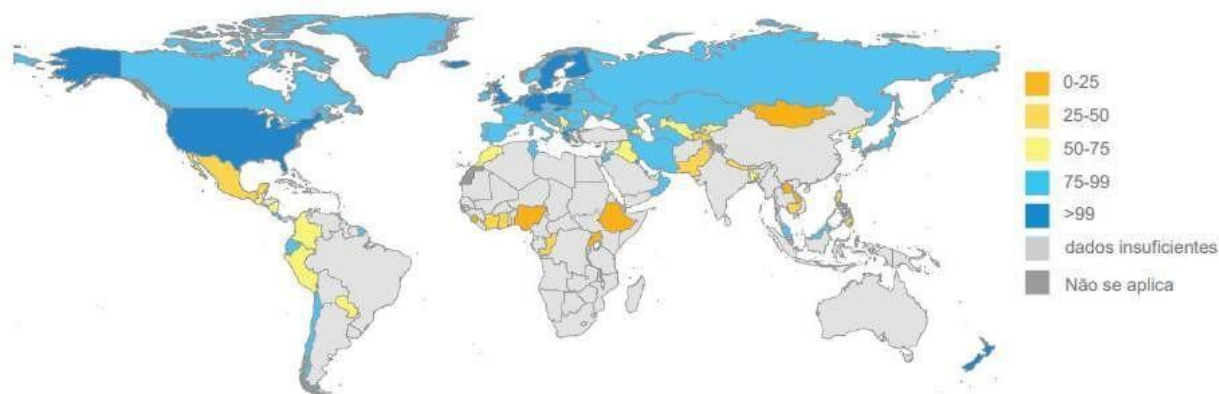
**Tabela 1** - Estimativa global do relatório do programa de monitoramento conjunto para abastecimento de água  
ONU 2017

CATEGORIA	Nº DE PESSOAS
Cobertura dos serviços básicos de água gerenciados de forma segura	5,3 bilhões
Número de pessoas utilizando serviços básicos no mínimo	1.400 milhões
Número de pessoas utilizando fontes não melhoradas	435 milhões
Número de pessoas consumindo água extraída da superfície	144 milhões
Proporção de pessoas que usaram serviços de água para consumo gerido de forma segura	Sete em cada dez

Fonte: Adaptado UNICEF (2019).

Na Figura 2, observam-se os dados do monitoramento da JMP sobre o progresso de 232 países, áreas e territórios, abrangendo todos os Estados membros das Nações Unidas. É evidente que cerca de metade desses países não alcançou cobertura total nos serviços de abastecimento de água potável. As estatísticas neste relatório são relativas a países, áreas ou territórios.

**Figura 2** - Cobertura regional dos serviços de água para consumo, 2000-2017 (%)



Fonte: UNICEF/OMS (2019).

#### 4.2. Saneamento Básico no Mundo

As ações de saneamento desempenham um papel fundamental no processo civilizatório e na melhoria da qualidade de vida da população. Desde os primórdios da civilização, os seres humanos têm buscado condições adequadas que promovam e mantenham sua saúde (Carli e Costa, 2020).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS, saneamento básico envolve o controle dos fatores do meio físico que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social do ser humano. Também é importante destacar que o saneamento abrange um conjunto de medidas implementadas com o propósito de preservar as condições ambientais, visando melhorar a qualidade de vida da população e promover avanços conscientes nas atividades econômicas (Rodrigues, Souto e Santana, 2021).

O acesso ao saneamento básico é um direito fundamental, assim como o acesso à água potável limpa e segura. Um serviço de saneamento adequado desempenha um papel crucial na proteção da saúde, prevenindo doenças transmitidas pela água e infecções, como a COVID-19, cólera, febre tifoide, entre outras. No entanto, mais da metade da população mundial não tem acesso a esgoto tratado, e cerca de 40% dos habitantes do globo vivem sem água e sabão para lavar as mãos. Além disso, mais de 800 crianças morrem diariamente de doenças como diarreia e outras infecções causadas pela falta de saneamento e água contaminada (Senra, 2020).

De acordo com a professora Conceição de Maria Albuquerque Alves, do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB), as doenças relacionadas à água resultam em 3,5 milhões de mortes por ano nas regiões da América Latina, África e Ásia, destacando que os custos mais elevados em termos de saúde estão associados aos

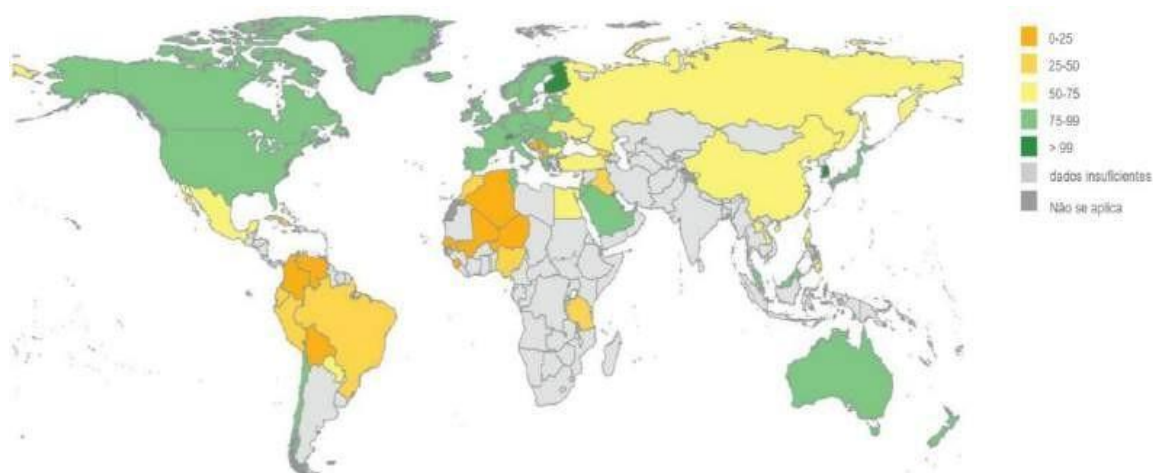
problemas médicos derivados da carência de saneamento básico, com crianças e idosos sendo os mais afetados (Carli e Costa, 2020).

O dia 19 de novembro foi designado o Dia Mundial do Banheiro. Durante uma reunião organizada pela ONU em 2020, foi apresentado um dado alarmante: mais de 4,2 milhões de pessoas no mundo ainda não têm acesso a instalações sanitárias. A ONU fez um apelo por ações mais contundentes para enfrentar a "crise global" relacionada à água, saneamento sustentável e mudanças climáticas, de acordo com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 6, que busca garantir esses direitos a todos até 2030. E ainda ressalta que problemas climáticos como as cheias e inundações são fatores para contaminação dos poços, rios e fontes de água potável, levando dejetos humanos a contaminar plantações e causar doenças letais (ONU, 2020).

Os índices de saneamento são cruciais para avaliar o desenvolvimento de um país, influenciando diretamente nos indicadores de saúde pública, mortalidade infantil, educação, turismo, economia e preservação ambiental. O déficit no saneamento também afeta os índices de violência e vulnerabilidade social e de gênero (Lange e Dutra, 2021).

Por falta de saneamento, mais de 400 mil pessoas morrem no mundo por diarreia e outras doenças causadas por veiculação hídrica (UNICEF/OMS, 2019). Entretanto, apenas 94 países apresentaram estimativas de saneamento administrados de forma segura e apenas 54% da população mundial eram usuários de serviços gerenciados com segurança, enquanto outros 2,2 bilhões usaram serviços básicos, pelo menos. Sabe-se que 627 milhões de pessoas utilizaram serviços limitados, 701 milhões utilizaram instalações não melhoradas e 673 milhões continuaram a praticar defecação a céu aberto (Figura 3).

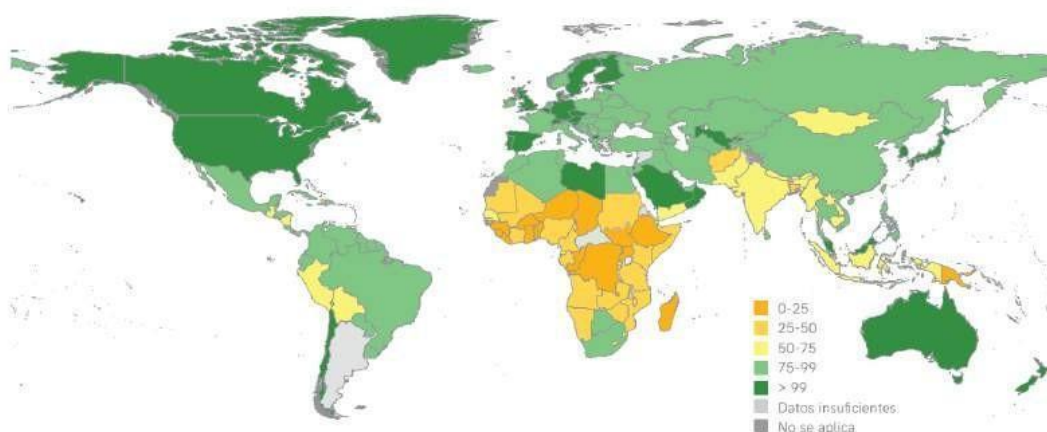
**Figura 3** - Proporção da população que usa serviços de saneamento gerenciados com segurança, 2017 (%)



Fonte: UNICEF/OMS (2019).

O Relatório de 2019 do Programa de Monitoramento Conjunto para Abastecimento de Água, Saneamento e Higiene (JMP) do UNICEF/OMS revelou que 51 nações praticamente alcançaram uma cobertura universal de serviço, com taxas superiores a 99% (Figura 4). Durante o período de 2000 a 2017, houve um aumento na cobertura dos serviços básicos de saneamento em todas as regiões relacionadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com exceção da Oceania, onde houve uma redução de 7% devido a uma queda significativa em Papua Nova Guiné. Em 27 países, a utilização dos serviços de saneamento básico cresceu mais de 20 pontos percentuais, enquanto 16 países expandiram sua cobertura em mais de 25 pontos. O maior crescimento foi registrado nos Estados Federados de Micronésia, que passaram de 25%, em 2000, para 88% em 2017. Em 2000, a Nova Zelândia e a Austrália já haviam alcançado uma cobertura acima de 99%.

**Figura 4** - Proporção da população que usa serviços de saneamento básico, 2017 (%)



Fonte: UNICEF/OMS (2019).

No novo relatório da JMP, um dado crucial é apresentado sobre a meta 6.2 dos ODS, que trata dos serviços de higiene adequados e equitativos para todos. Este dado refere-se ao percentual de pessoas que possuem instalações em casa para lavagem das mãos com água e sabão. O relatório aponta que 71% da população global possuem essas instalações básicas, enquanto 2,3 bilhões de pessoas carecem dos serviços básicos, com 670 milhões sem instalações para lavar as mãos e 374 milhões vivendo em contextos frágeis. Em 2020, 79 países tinham estimativas para serviços básicos de higiene (Silva, 2021).

A higiene é essencial para a manutenção da saúde e prevenção de doenças. Um termo cada vez mais relevante é o gerenciamento da higiene menstrual, que aborda as necessidades específicas das mulheres e meninas durante o período menstrual. Isso está em linha com o ODS 5, que visa à igualdade de gênero e ao empoderamento das mulheres e meninas. A falta de higiene adequada durante o período menstrual afeta negativamente o convívio social, profissional e estudantil (Kaur, 2018).

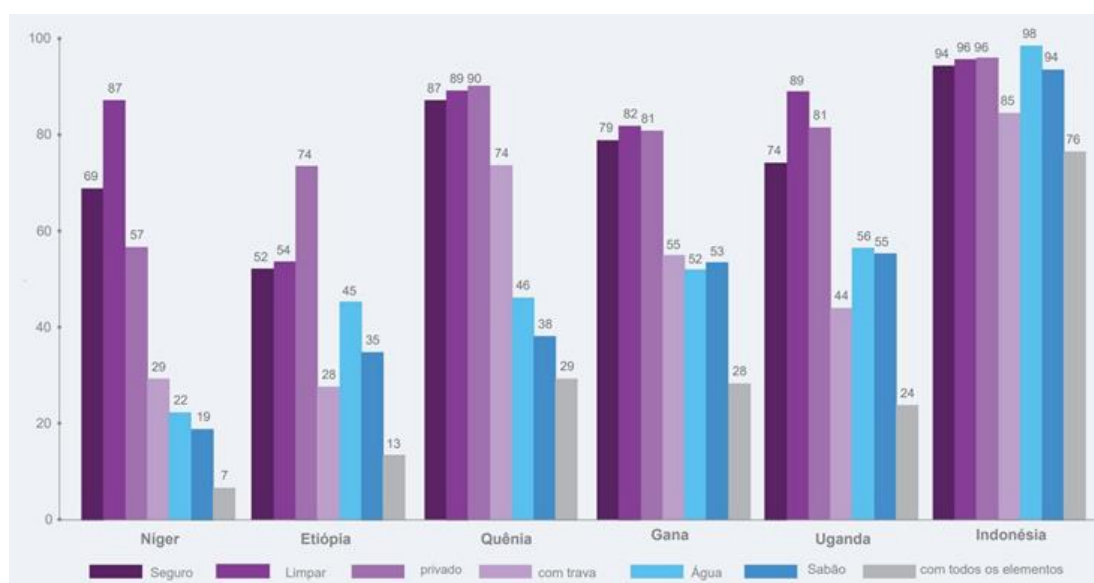
Novos indicadores relacionados à saúde menstrual e às necessidades de serviços de WASH (água, saneamento e higiene) estão sendo progressivamente incluídos nos questionários de pesquisas domiciliares para mulheres e meninas de 15 a 49 anos. Esses indicadores incluem a conscientização sobre menstruação antes da menarca, o uso de materiais menstruais para conter o sangue menstrual (divididos em materiais descartáveis e reutilizáveis), o acesso a um local privado para higiene e troca de roupa, e a participação em atividades durante a menstruação, como escola, trabalho e atividades sociais. Dados foram coletados de 42 países, dos quais 29 possuíam informações sobre pelo menos três dos indicadores mencionados, como evidenciado na Figura 5 e Figura 6. Embora o uso de materiais menstruais seja alto, algumas mulheres ainda enfrentam dificuldades em encontrar um local privado para higiene e troca de roupa (UNICEF, ONU, 2020).

**Figura 5** - Proporção de mulheres e meninas de 15 a 49 anos que menstruaram nos últimos meses, por local em que costumam lavar e trocar produtos menstruais



Fonte: UNICEF/OMS (2019).

**Figura 6** - Proporção de mulheres e meninas que usam instalações sanitárias para lavar e trocar produtos durante a menstruação, por condição da instalação



Fonte: UNICEF/OMS (2019).

Além da questão da higiene, a pesquisa revelou dados significativos sobre a exclusão e a desigualdade de gênero. Muitas mulheres enfrentam exclusão no emprego, na educação e em oportunidades sociais durante o período menstrual devido à falta de higiene adequada. Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua do IBGE (PNADC,2021), 80% da população feminina já precisaram se afastar de suas atividades por

causa de doenças de veiculação hídrica, ginecológicas e obstétricas, ou para cuidar de familiares doentes em casa.

Recentemente, o estudo trouxe uma análise inédita sobre a pobreza menstrual, evidenciando que as mulheres mais pobres enfrentam um esforço econômico 16 vezes maior para adquirir produtos de higiene pessoal em comparação com as de maior renda (IBGE, 2021).

Nesse mesmo contexto, encontram-se as mulheres e adolescentes privadas da liberdade. O saneamento adequado em prisões e centros de recuperação femininos é crucial para garantir a saúde e a dignidade das detentas. O acesso a instalações sanitárias adequadas, água limpa e serviços de higiene é essencial para protegê-las de doenças e promover sua integridade física e mental. Investir em instalações sanitárias e serviços de higiene não apenas melhora as condições de vida das mulheres encarceradas, mas também promove um ambiente mais seguro e saudável para todos dentro dessas instituições.

### **4.3. Saneamento Básico no Brasil**

O saneamento no Brasil teve seu início no final do século XIX, durante o período imperial. Embora as primeiras ações não tenham sido sistematizadas, medidas pontuais foram tomadas para melhorar a saúde pública e a qualidade de vida nas cidades. Uma dessas medidas foi a criação, em 1860, da Junta Central de Higiene Pública, responsável pela vigilância sanitária e pela implantação de medidas básicas de saneamento (Santos *et al.*, 2018).

Com o crescimento contínuo e desordenado das cidades, ficou evidente a necessidade de melhorias no sistema de saneamento, devido ao aumento de doenças e mortalidade, especialmente entre crianças. Isso exigiu a implementação de ações para melhorar o abastecimento de água, resultando no acúmulo de resíduos e detritos no meio ambiente (Andrade *et al.*, 2022).

Historicamente, no Brasil, grupos marginalizados, como comunidades rurais, pobres e residentes em assentamentos informais, sofrem mais com a falta de serviços de saneamento. Aqueles privados de acesso à água e ao saneamento, frequentemente, são privados de outros direitos econômicos e sociais, como saúde, educação e moradia digna (Heller, 2022).

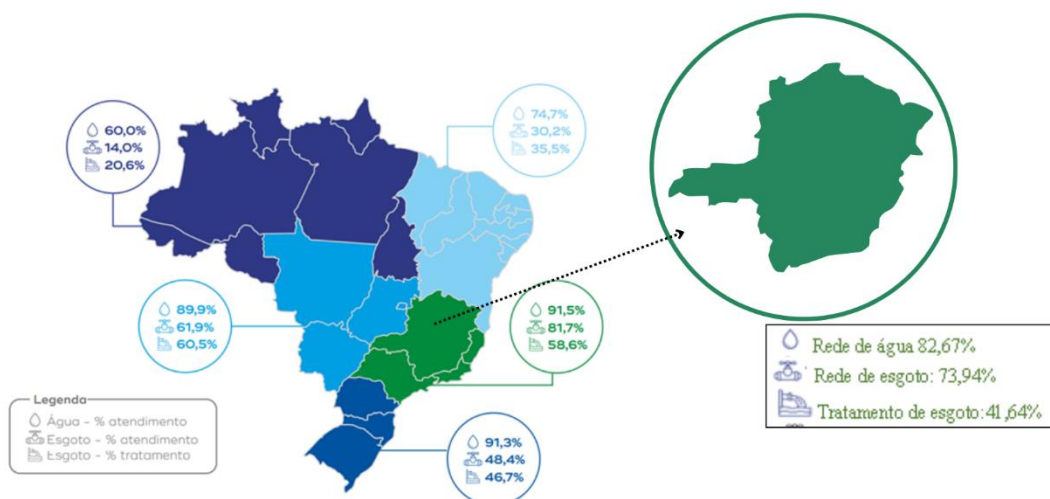
O saneamento compreende um conjunto de ações, serviços e obras que visam garantir a salubridade ambiental, incluindo abastecimento de água potável, coleta, tratamento e disposição adequada de esgotos, drenagem de águas pluviais, controle de vetores e disposição de resíduos sólidos urbanos (Lei n.º 11.445, 2007).

Embora não haja uma norma jurídica específica no Brasil que estabeleça o direito fundamental à água e ao esgotamento sanitário, esses direitos são reconhecidos como protegidos por princípios constitucionais, conforme previsto no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, e vinculam-se às resoluções de 2010 do Conselho de Direitos Humanos e da Assembleia Geral das Nações Unidas (nahas *et al.*, 2019).

Apesar do avanço da legislação brasileira relacionada ao abastecimento de água potável e saneamento básico, o país ainda caminha a passos lentos e enfrenta grandes disparidades no acesso a esses serviços. O saneamento, no Brasil, é deficitário e heterogêneo, devido à sua vasta extensão territorial e à organização política, especialmente em relação aos investimentos na área (SNIS, 2023).

Segundo o Instituto Trata Brasil (2019), em 2018, 16% da população não tinham acesso à água tratada, 53% não tinham coleta de esgoto, apenas 46% do esgoto coletado eram tratados e 3,1% das crianças e adolescentes não possuíam banheiro em casa. Em busca da universalização dos serviços, o novo Marco Legal do Saneamento Básico, estabelecido em 15 de julho de 2020, estabelece metas ambiciosas para levar as redes de água e esgoto a uma grande parcela da população até 2033 (Instituto Trata Brasil, 2019). Na Figura 7, observa-se que as regiões Sudeste e Sul estão próximas de atingir a meta de acesso à água potável, porém ainda distantes da meta de coleta e tratamento de esgoto, enquanto as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste estão mais aquém de todas as metas. Observam-se, também, diferenças significativas entre os Estados da mesma região, onde os déficits são maiores nos locais com menor desenvolvimento socioeconômico.

**Figura 7** - Dados regionais referente a abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto



Fonte: Adaptado, Instituto Trata Brasil (2019).

Segundo dados do SNIS (2023), o Brasil enfrenta sérias dificuldades no tratamento de esgoto, com apenas 50% do volume gerado sendo tratados. Isso significa que mais de 5,3 mil piscinas olímpicas de esgoto sem tratamento são despejadas na natureza diariamente. Além disso, os investimentos realizados em 2020 atingiram o montante de R\$ 13,7 bilhões, porém esse valor é considerado insuficiente para alcançar as metas estabelecidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei Federal 14.026/2020) (BRASIL, 2020).

De acordo com o Instituto Trata Brasil, o ranking do saneamento de 2022 revela os vinte melhores e os vinte piores municípios do país. Historicamente, os rankings publicados pelo Instituto Trata Brasil mostram uma predominância de municípios dos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais ocupando as primeiras posições. Por outro lado, entre os 20 piores municípios, encontram-se, comumente, localidades da região Norte, algumas do Nordeste e do Rio de Janeiro, como evidenciado na Figura 8, a seguir.

**Figura 8 - Avaliação dos serviços nas 100 maiores cidades brasileiras**



Fonte: Instituto Trata Brasil (2022).

Conforme a pesquisa realizada por Lange e Dutra (2021), é crucial compreender o valor de cada real investido em saneamento no Brasil, visto que a falta desse serviço impacta diretamente não apenas a saúde, mas também o meio ambiente, o turismo, a educação, o trabalho e a cidadania. O Brasil é detentor de 12% de toda a água doce do mundo, figurando entre os países com maior disponibilidade hídrica; porém, despeja quase 5,3 mil piscinas

olímpicas de esgoto sem tratamento na natureza diariamente.

Segundo as autoras, até 2017, cerca de 8 milhões de pessoas estavam empregadas no setor de turismo, com uma média salarial de R\$1.610,30 por mês. A universalização do saneamento no Brasil é estimada para gerar ganhos de renda de aproximadamente R\$2,1 bilhões por ano. Além disso, a escolaridade média das pessoas em residências com acesso integral ao saneamento básico é quatro anos maior do que nas residências sem acesso ao saneamento. O aluguel médio das moradias com saneamento é de R\$741,81, enquanto nas residências sem saneamento é de R\$394,48. Em 2017, ocorreram 17.633.590 afastamentos do trabalho devido a diarreia ou vômito, afetando principalmente as mulheres, que representaram cerca de 52,8% desse total (Lange e Dutra, 2021).

É importante ressaltar que a presença dos serviços de esgotamento sanitário em determinadas áreas não garante sua eficiência ou qualidade de atendimento. Existem diversas razões pelas quais algumas pessoas não aderem aos sistemas de esgoto aprimorados, mesmo que disponíveis em suas áreas de residência. Entre essas razões, podem estar restrições financeiras, dificuldades de acessibilidade econômica, condições precárias de urbanização ou, simplesmente, falta de conhecimento sobre a importância do saneamento básico e seus benefícios para a saúde pública e o meio ambiente (MINAS GERAIS, 2021).

#### **4.3.1. Saneamento Rural no Brasil**

Na história do saneamento no Brasil, as áreas urbanizadas e economicamente prósperas sempre receberam mais investimentos e atenção por parte do poder público, o que contrasta fortemente com o cenário rural. O Plano Nacional de Saneamento Básico Rural – PNSR, agora conhecido como Programa Saneamento Brasil Rural (PSBR), é um documento crucial que orienta a elaboração de políticas de saneamento rural no país. Reconhece-se que as áreas rurais e comunitárias abrigam uma diversidade de características sociais e produtivas, incluindo agricultores, comunidades tradicionais e povos indígenas, cada um com suas próprias necessidades específicas. Essa diversidade torna o fornecimento de serviços de saneamento um desafio, devido à necessidade de alcançar e atender muitas localidades dispersas (FUNASA, 2019).

Dados do Censo Demográfico de 2010 revelam a existência de sedes urbanas com baixa densidade populacional e escassez de equipamentos e serviços. Dos 5.570 municípios brasileiros, 273 têm população urbana com menos de 1.000 habitantes, e mais de 2.000 setores censitários considerados urbanos não possuem sequer 20 residências. A definição atual de áreas

rurais, no Brasil, muitas vezes, baseia-se em critérios demográficos e administrativos, como a quantidade de habitantes ou a existência de sedes municipais. No entanto, esses critérios podem não refletir a realidade das comunidades rurais, especialmente aquelas com baixa densidade populacional e falta de infraestrutura. É essencial levar em consideração características específicas, como aspectos socioeconômicos, geográficos e culturais, para garantir um acesso adequado aos serviços básicos de saneamento nessas áreas (IBGE, 2017).

O IBGE (2017) também aponta oficialmente a escassez de dados sobre saneamento rural. Uma das razões para essa lacuna de informações é a complexidade em coletar dados precisos. De acordo com o IBGE, 75% das residências rurais não possuem sistemas adequados de tratamento ou destino do esgoto, sendo comum o despejo em fossas rudimentares, valas, diretamente no solo ou em corpos hídricos. O manejo inadequado dos resíduos sólidos também é um problema significativo nas propriedades rurais, contribuindo para a poluição dos recursos hídricos locais.

Na Tabela 2, observa-se que apenas 38,7% da população rural têm acesso a algum tipo de sistema adequado de esgotamento sanitário (rede coletora ou fossa séptica), enquanto 61,3% têm acesso inadequado ou nenhum sistema de esgoto. É importante notar que os dados da pesquisa PNAD são autodeclarados, ou seja, os próprios moradores informam sobre o sistema que possuem, o que pode levar a distorções nos números devido à falta de entendimento sobre os sistemas ou informações imprecisas (FUNASA, 2019).

**Tabela 2 - Domicílios particulares urbanos e rurais, número de domicílios x 1000**

<b>Tabela 2 - Domicílios particulares urbanos e rurais, para o esgotamento sanitário. Número de domicílios x 1000</b>		
<b>Esgotamento sanitário na residência</b>	<b>Rural (absoluto)</b>	<b>Rural (%)</b>
1- Rede coletora	530	5,4
2 - Fossa séptica ligada à rede coletora	439	4,5
3 - Fossa séptica não ligada à rede coletora	2.802	28,8
4 - Fossa rudimentar	4.260	43,7
5 - Outro	712	7,3
6 - Não tem	996	10,2
<b>Total</b>	<b>9.739</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de IBGE (2021).

A localização das unidades prisionais em áreas rurais ou mais afastadas dos centros

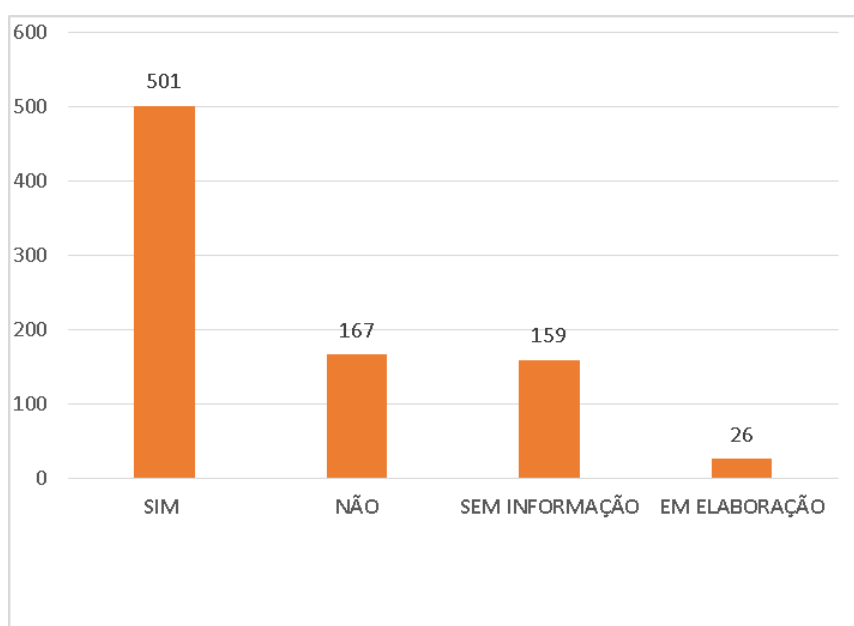
urbanos é frequentemente determinada por uma combinação de fatores, com o principal sendo a segurança pública. No entanto, é importante reconhecer que a localização das prisões em áreas rurais também apresenta desafios significativos, especialmente em termos de infraestrutura, e isso cria dificuldades adicionais para as autoridades penitenciárias na operação e manutenção das instalações prisionais.

#### 4.3.2. Saneamento em Minas Gerais

O estado de Minas Gerais apresenta diferentes realidades em relação ao acesso à água e ao esgotamento sanitário, sendo o Estado com o maior número de municípios, totalizando 853, e o segundo em quantidade de habitantes, com uma população estimada em 21.411.923 e uma densidade demográfica de 33,41 hab./km<sup>2</sup>, ocupando a 4ª posição em extensão territorial (IBGE, 2017).

Segundo *Oliveira et al. (2023)*, uma das estratégias adotadas pelos municípios para alcançar a universalização é a implementação do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). É responsabilidade das prefeituras elaborá-lo, seguido pela sua aprovação pelo Governo Federal para a disponibilização de recursos destinados às obras de saneamento. No entanto, mesmo com essa iniciativa, o cenário atual do esgotamento sanitário em Minas Gerais ainda apresenta uma considerável lacuna a ser preenchida. Conforme evidenciado na Figura 9, 501 municípios do Estado possuem um Plano Municipal de Saneamento, enquanto 167 não possuem e 26 estão em processo de elaboração.

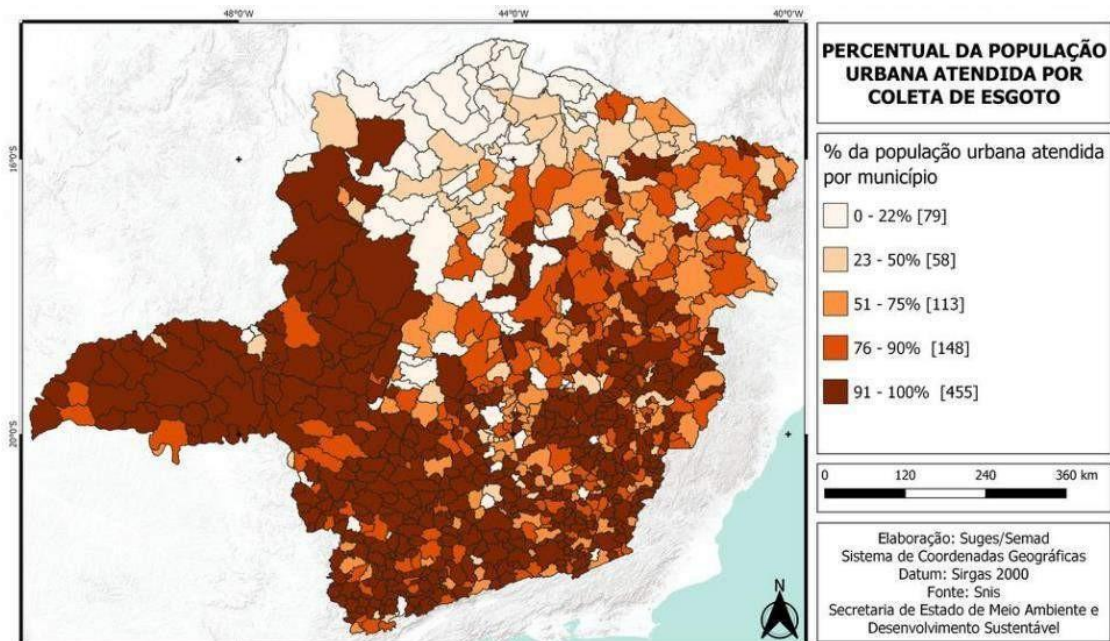
**Figura 9** - Panorama do Plano Municipal de Saneamento básico no estado de Minas Gerais



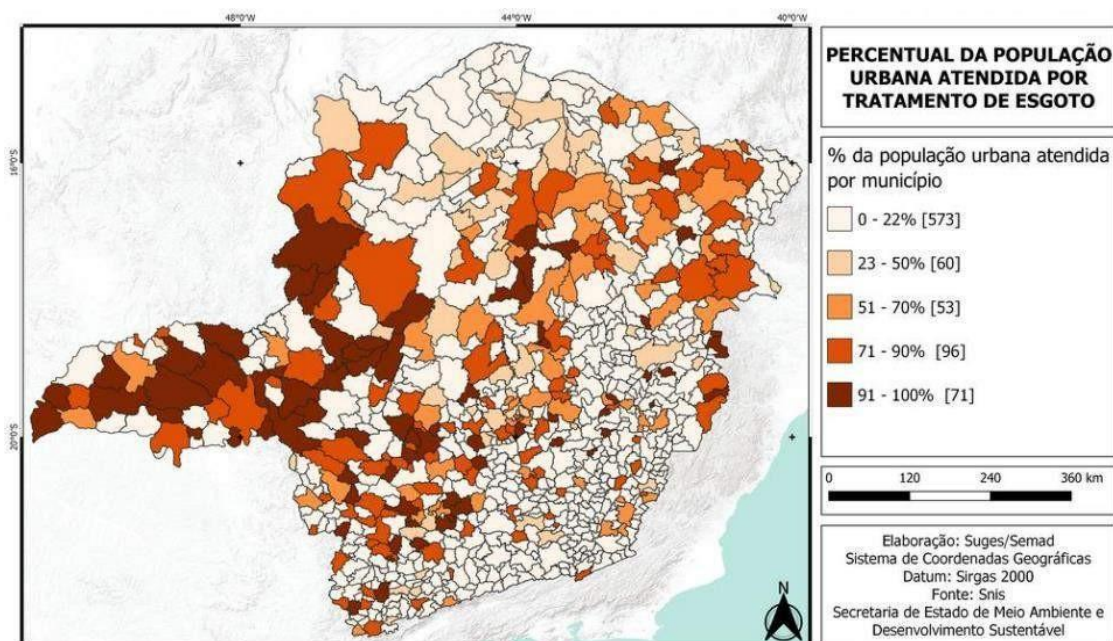
Fonte: Adaptado Minas Gerais (2020).

O estado de Minas Gerais apresenta uma elevada população urbana atendida por coleta de esgoto sanitário, alcançando 87,6%. No entanto, a porcentagem beneficiada com tratamento do esgoto é significativamente menor, atingindo apenas 53,7%, como evidenciado na Figura 10 e Figura 11. É importante ressaltar que esses dados devem ser interpretados com cautela, pois, como mencionado anteriormente, a mera existência dos serviços não garante sua efetividade e acesso a todos os cidadãos (Minas Gerais, 2020).

**Figura 10** - Percentual da população urbana atendida por coleta de esgoto no estado de Minas Gerais



Fonte: Minas Gerais (2021).

**Figura 11** - Percentual da população urbana atendida por tratamento de esgoto no estado de Minas Gerais

Fonte: Minas Gerais (2021).

É relevante destacar que a maior parte da população atendida por tratamento de esgoto encontra-se em municípios com mais de 150.000 habitantes. Conforme observado na Tabela 3, o maior desafio reside na implementação de sistemas descentralizados em municípios com menos de 10.000 habitantes, já que apenas 96 deles possuem estações que atendem mais de 50% da população urbana com tratamento de esgoto, em um universo de 570 municípios. Portanto, há uma necessidade evidente de maiores recursos financeiros para implantação e ampliação de sistemas de tratamento de esgoto nesses municípios, principalmente aqueles com menos de 20.000 habitantes, visto que representam a maioria dos que não possuem estações de tratamento de esgoto (Figura 12).

**Tabela 3** - Municípios que atendem acima de 50% da população urbana por tratamento de esgoto por faixa populacional

Faixa populacional	Até 10.000	de 10.000 a 20.000	20.000 a 50.000	50.000 a 100.000	Acima de 100.000
Urbana total	2.534.864	1.844.974	2.614.428	2.474.105	9.398.614
Urbana atendida	446.278	551.989	945.821	1.331.871	3.088.617
total de Municípios	570	132	86	34	31
Municípios atendidos	96	38	29	19	13

Fonte: Adaptado Minas Gerais (2021).

**Figura 12** - Estações de tratamento de esgoto em operação por região no estado de Minas Gerais

Fonte: Adaptado Minas Gerais (2021).

Os sistemas descentralizados de esgoto desempenham um papel crucial em áreas isoladas ou rurais, onde a conexão aos sistemas de esgoto centralizados pode ser inviável ou economicamente impraticável. Esses sistemas oferecem uma solução eficiente e adaptável para o tratamento de resíduos humanos nessas comunidades. Ao promover a autonomia, reduzir o impacto ambiental e proteger a saúde pública, esses sistemas contribuem significativamente para o desenvolvimento sustentável e o bem-estar de toda a comunidade. Além disso, ao serem acessíveis e sustentáveis, os sistemas descentralizados de esgoto garantem que as necessidades básicas de saneamento sejam atendidas de maneira eficaz, mesmo em áreas onde as soluções convencionais podem não ser viáveis.

#### **4.3.3. Relação Saneamento X Índice de Desenvolvimento Humano**

Assim como no Brasil, Minas Gerais apresenta um desenvolvimento regional extremamente desigual, tanto nos aspectos econômicos quanto nos sociais. Nesse contexto, os estudos sobre saneamento básico trazem indicadores de importância e complexidade relevantes, caracterizados pela vasta extensão territorial, pelas diferentes condições climáticas, relevo, tipo de solo e diversidade socioeconômica e cultural da população (Oliveira e Ervilha, 2019).

No estado de Minas Gerais, algumas regiões possuem indicadores socioeconômicos elevados, com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) acima de 0,750, como é o caso de Uberlândia (IDH 0,789), Lavras (IDH 0,783) e parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Essas regiões estão próximas de alcançar a universalização dos serviços de saneamento básico, conforme estipulado pelo Marco Legal do Saneamento. No entanto, outras regiões do Estado, como os Vales do Jequitinhonha e Mucuri, apresentam IDH próximos de

0,520 (IBGE, 2017). Mesmo em cidades com alto IDH, ainda existem áreas com ocupações irregulares e rurais, onde a discrepância nos indicadores é significativa (Nahas *et al.*, 2019).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é uma medida composta por indicadores de longevidade, educação e renda. Ele varia de 0 a 1 e é dividido em cinco categorias: IDH muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo. O IDHM é calculado pela média geométrica desses três componentes, representando a oportunidade de viver uma vida longa e saudável, ter acesso ao conhecimento e um padrão de vida que atenda às necessidades básicas (PNUD, 2021; Oliveira *et al.*, 2023).

O uso de indicadores de desempenho, como o IDH, são ferramentas importantes para a gestão pública e privada. Esses indicadores permitem avaliar a eficiência, abrangência e impacto das políticas e ações no setor de saneamento. O déficit de saneamento afeta de forma mais significativa as regiões menos favorecidas, retardando seu progresso no processo de desenvolvimento e agravando as desigualdades sociais e de saúde (Silva *et al.*, 2018). Observe, nas Tabelas 4 e 5, a relação diretamente proporcional entre os dois indicadores, sendo a Tabela 4 com os dados dos dez melhores e os dez piores municípios com relação ao IDH e ao Esgotamento Sanitário Adequado - ESA, e, na Tabela 5, os três municípios onde estão instaladas as unidades prisionais em estudo.

**Tabela 4** - Relação IDH x Percentual de Saneamento Adequado entre os dez melhores municípios e os dez piores

<b>POSIÇÃO</b>	<b>10 Melhores Municípios</b>	<b>IDH</b>	<b>ESA %</b>	<b>POSIÇÃO</b>	<b>10 Piores Municípios</b>	<b>IDH</b>	<b>ESA %</b>
<b>1º</b>	Nova Lima	0,813	94%	<b>844º</b>	Itaipé	0,552	35,10%
<b>2º</b>	Belo Horizonte	0,810	96,20%	<b>845º</b>	Fruta de Leite	0,544	0,7%
<b>3º</b>	Uberlândia	0,789	98,20%	<b>846º</b>	Frei Lagonegro	0,543	18,40%
<b>4º</b>	Itajubá	0,787	90,50%	<b>847º</b>	Setubinha	0,542	16,10%
<b>5º</b>	Lavras	0,782	94,60%	<b>848º</b>	Ladainha	0,541	18,50%
<b>6º</b>	Poços de Caldas	0,779	98,00%	<b>849º</b>	Monte Formoso	0,541	33,80%
<b>7º</b>	Juiz de Fora	0,778	94,10%	<b>850º</b>	Catuji	0,540	39,33%
<b>8º</b>	Varginha	0,778	97,60%	<b>851º</b>	Bonito de Minas	0,537	0,6%
<b>9º</b>	Lagoa Santa	0,777	54,70%	<b>852º</b>	Araponga	0,536	29,40%
<b>10º</b>	Itaú de Minas	0,776	96,70%	<b>853º</b>	São João das Missões	0,529	3,2%

Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2022).

**Tabela 5 - Municípios envolvidos neste estudo**

<b>POSIÇÃO</b>	<b>Municípios do Estudo</b>	<b>IDH</b>	<b>ESA %</b>
25°	Sete lagoas	0,760	94%
150°	Santa Luzia	0,715	84%
195°	Caratinga	0,706	71%

Fonte: Adaptado de IBGE Cidades (2022).

#### **4.4. Processos de Tratamento de Esgoto**

##### **4.4.1. Definição e Características do Esgoto Sanitário**

Águas residuais, comumente conhecidas como esgoto e águas servidas, são termos utilizados para descrever as águas cujas características naturais são alteradas após o uso humano. A natureza dessas águas varia dependendo do contexto de onde são provenientes, se comercial, industrial ou doméstico.

O esgoto doméstico, ou sanitário, provém de residências e estabelecimentos comerciais equipados com instalações sanitárias, cozinhas e lavanderias. Essas águas residuais são compostas principalmente por excretas (urina e fezes), água utilizada em banho, detergentes, sabão e água de lavagem (Anício *et al.*, 2022).

Em média, o esgoto sanitário é composto por 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, sendo que cerca de 75% desses sólidos são matéria orgânica em decomposição. Também há microrganismos, incluindo organismos patogênicos que podem proliferar nesses sólidos, além de poluentes tóxicos, como fenóis e metais pesados, provenientes de efluentes industriais (Nuvolari, 2011).

Para devolver essa água transformada em esgoto ao corpo receptor, é necessário tratá-la. Esgotos sanitários contêm alta concentração de matéria orgânica, proveniente de restos de comida, fezes, urina e outros produtos utilizados, que servem como alimento para microrganismos aeróbicos presentes nos corpos d'água. Porém, em grandes quantidades, esses microrganismos podem se multiplicar rapidamente, consumindo o oxigênio disponível na água e causando a eutrofização, afetando toda a cadeia alimentar e a qualidade da água. Nesse contexto, a construção de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) torna-se essencial para controlar esse processo, preservando os microrganismos e removendo a matéria orgânica (Santos *et al.*, 2018).

A identificação das características quantitativas e qualitativas do esgoto gerado é fundamental para viabilizar o tratamento adequado e a construção de ETEs (Von Sperling,

2018). No caso do esgoto industrial, deve-se ter atenção especial, pois ele pode conter substâncias altamente tóxicas e contaminantes, com potencial impacto no processo de tratamento. Para calcular a vazão, é necessário considerar critérios específicos, como a vazão total, número de pontos de lançamento, regime de lançamento, possíveis misturas com águas pluviais e esgoto doméstico, além da área potencial de tratamento (Silva, Egert e Willemann, 2021).

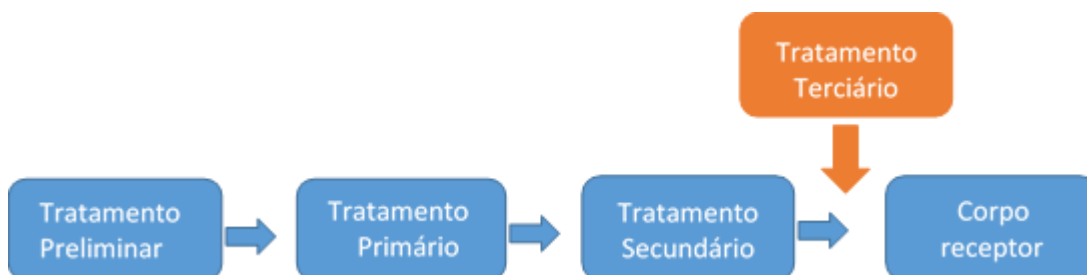
Existem dois sistemas básicos de esgotamento sanitário: individual e coletivo. O sistema individual é uma solução local aplicável a residências individuais ou pequenos grupos, enquanto o sistema coletivo é utilizado em áreas com alta densidade populacional, retirando o esgoto da região servida por meio de uma rede coletora. Esse sistema pode ser unitário, onde esgoto e águas pluviais são conduzidos juntos, ou separador, em que são conduzidos em canalizações separadas.

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), definidas pela NBR 12209 (ABNT, 2011), são conjuntos de unidades de tratamento e equipamentos que removem as cargas poluentes do esgoto por meio de processos físicos, químicos ou biológicos. Após o tratamento do esgoto, são gerados alguns subprodutos, sendo um deles o efluente. Os efluentes gerados podem ser reutilizados ou descartados no ambiente por meio de descarga em ambientes aquáticos ou aplicação no solo (Bertolossi, Neder e Brandão, 2021). Antes de dimensionar um sistema de tratamento de esgoto, é essencial definir objetivos, nível de tratamento e realizar estudos de impacto ambiental no corpo receptor (Von Sperling, 2018).

#### 4.4.2. Níveis de Tratamento de Esgoto

Os níveis de tratamento são de natureza física, química e biológica. Em função das unidades de tratamento, o processo de uma ETE pode ser classificado conforme mostrado no fluxograma disposto na Figura 13.

**Figura 13** - Fluxograma das etapas do tratamento convencional de esgoto



Fonte: Autora (2024).

#### **4.4.2.1. Tratamento preliminar**

O processo preliminar é destinado a remover sólidos grosseiros e areia do esgoto bruto, utilizando operações físicas para preconditionar o esgoto. Essa separação é realizada por meio de grades que retêm materiais cujo tamanho é maior do que o espaçamento entre as barras da grade. A finalidade desse processo é proteger os dispositivos de transporte dos esgotos, como bombas e tubulações, além das unidades de tratamento subsequentes (NBR.12209).

No peneiramento, o objetivo é a remoção de sólidos grosseiros e suspensos. Funciona como um filtro, onde o efluente passa por uma tela metálica com malhas que permitem apenas a passagem de líquidos ou sólidos muito finos, retendo os materiais que não foram removidos no processo de gradeamento (Vasconcelos *et al.*, 2018).

Já a retirada de areia ocorre nos desarenadores, utilizando o processo de sedimentação. Essa etapa é importante para várias finalidades, como prevenir o desgaste nos equipamentos e tubulações, evitar o assoreamento das unidades, o que pode comprometer sua vida útil, eliminar ou reduzir entupimentos em tubulações, tanques e orifícios, e facilitar o transporte do líquido (Von Sperling, 2018).

#### **4.4.2.2. Tratamento primário**

Etapa para remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, bem como de parte da matéria orgânica. Esse processo é feito através de decantadores, que podem ser circulares ou retangulares, onde os esgotos fluem de forma lenta, fazendo com que o sólido tenha uma densidade maior que a do líquido; assim, aos poucos, vai se sedimentando no fundo, formando o lodo primário bruto (Von Sperling,2018).

#### **4.4.2.3. Tratamento secundário**

Destina-se à remoção de matéria orgânica em suspensão fina ou dissolvida, a qual não foi removida no tratamento primário. Vários processos de tratamento secundários são utilizados na intenção de acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores. No tratamento secundário, pode não haver o tratamento primário, mas é necessário o tratamento preliminar (Crizel e Lara, 2020).

##### **4.4.2.3.1. Métodos secundários**

###### **4.4.2.3.1.1. Lagoas de estabilização**

São unidades de simples construção, mas requerem grandes áreas superficiais, o que nem sempre está disponível. Seu processo retém os esgotos por um período suficiente para

que a matéria orgânica seja estabilizada por processos biológicos, portanto, naturais, principalmente pela ação de algas e bactérias (NBR 12209).

As lagoas de estabilização podem ser: facultativas, associação entre anaeróbias e facultativas; aeradas seguidas de facultativas; aeradas de mistura completa, seguidas de lagoa de decantação, e, ainda, lagoa de maturação. A operação e manutenção das lagoas de estabilização, apesar de simples, não devem ser negligenciadas, devendo ser executadas de forma correta, respeitando o tempo necessário, para evitar ineficiência do sistema e problemas ambientais (Leite *et al.*, 2021).

#### **4.4.2.3.1.2. Reatores anaeróbios**

O sistema de reator anaeróbio é totalmente biológico e anaeróbio, ou seja, a degradação do esgoto ocorre por meio de bactérias anaeróbias (que não necessitam de oxigênio para sobreviverem). A grande vantagem da aplicação deste tipo de sistema é a economia de área que ele proporciona.

No reator anaeróbio, as bactérias ficam dispersas no tanque, estabilizando a matéria orgânica, e o fluxo também é no sentido de baixo para cima. A parte superior do tanque é dividida em zonas de sedimentação e zonas de coleta de gás. Não é necessária a decantação primária, mas sim de uma unidade pós-tratamento (Chernicharo, 2016).

O filtro anaeróbio é empregado atualmente como pós-tratamento de sistema anaeróbio, como os reatores de anaeróbios de fluxo ascendente, mais conhecidos como “UASB”, onde a matéria orgânica é estabilizada por bactérias presas a um suporte, em que, geralmente, utilizam-se pedras em um tanque. Os espaços livres entre as pedras é o que permite a circulação do ar. A parte superior do tanque é dividida em zonas de digestão, de sedimentação e zonas de coleta de gás, predominando a geração do metano. Os filtros biológicos percoladores são sistemas que possuem facilidades de operação e manutenção e também baixo custo e consumo de energia (COPASA, 2012).

#### **4.4.2.3.1.3. Lodos ativos**

Esse sistema é muito utilizado quando se quer alcançar elevada qualidade do efluente, destacando-se que requer menor área de implantação. Porém, o nível de mecanização e o consumo de energia são elevados, bem como a complexidade operacional. A matéria orgânica é transportada por bactérias que crescem dispersas no tanque de aeração, onde são sedimentadas em um decantador final. O lodo que se sedimenta no fundo do decantador secundário é retornado, por bombeamento, ao tanque de aeração, aumentando a eficiência do

sistema (Moura *et al.*, 2020).

#### **4.4.2.3.1.4. Reatores aeróbios com biofilmes**

São os reatores nos quais as bactérias crescem aderidas a um meio de suporte. Existem diversas variantes, sendo que todas podem ser usadas como pós-tratamento do efluente de reator anaeróbio. Os filtros biológicos percoladores de baixa carga são, basicamente, um leito de material grosseiro sobre o qual o esgoto é lançado sob a forma de gotas ou jatos, e a biomassa cresce aderida um meio de suporte. Além disso, a quantidade de DBO é menor, o que resulta numa estabilização parcial do lodo, levando a uma maior eficiência do sistema na remoção da DBO. Sua operação é simples e possui baixo consumo de energia (Oliveira, Sperling, 2005).

Os filtros biológicos percoladores de alta carga, teoricamente, são similares aos de baixa carga. Entretanto, por apresentarem maior carga de DBO por unidade de volume de leito, apresentam algumas diferenças importantes, como: requisitos de áreas são menores, redução na eficiência de remoção de matéria orgânica, o lodo não é digerido no filtro, havendo, também, a recirculação do efluente (Von Sperling, 2018).

Os filtros biológicos aerados submersos, assim como os filtros percoladores, não possuem enchimento do tipo granular nem retêm a biomassa em suspensão pela ação de filtração. Além do mais, raramente, precisam de decantadores secundários. Seu fluxo pode ser ascendente ou descendente, e sua aeração é feita por meio de difusores de bomba grossa na parte superior do filtro alimentada por sopradores (Moura *et al.*, 2020).

O processo nos biodiscos é diferente de todos citados acima, a única semelhança é que o crescimento da biomassa é aderido ao meio de suporte. O processo consiste em uma série de discos espaçados e montados num eixo horizontal que se movimentam de forma bem lenta, fazendo com que metade da área superficial fique imersa no esgoto, e a outra metade, exposta ao ar. Desse modo, a biomassa cresce aderida aos discos, formando um biofilme (Von Sperling, 2018).

#### **4.4.2.3.1.5. Processos de disposição sobre o solo**

Trata-se de um processo de pós-tratamento e reúso, haja vista que os efluentes fornecem os nutrientes ao solo e às plantas. Para isso, é necessário conhecimento das características do solo, bem como das taxas de frequência de alimentação do processo (Von Sperling, 2018).

Parte do líquido do esgoto aplicado ao solo é evaporada e infiltrada, e outra,

absorvida pelas plantas, podendo ser aplicado por meio de valas, canais, alagamento e aspersores. Esse sistema requer grandes áreas elevadas para a implantação (Alves *et al.*, 2019).

#### **4.4.2.3.1.6. Disposição e Tratamento do Lodo**

O esgoto, após ser tratado, gera subprodutos sólidos que são parte integrante do seu tratamento. Entre esses sólidos, estão o material gradeado, a areia e o lodo. O tratamento desses subprodutos sólidos gerados também é uma etapa importante e essencial para a finalização do tratamento do esgoto. Em princípio, todos os processos biológicos geram lodo. No decantador primário, é gerado o lodo primário, composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto, e, no decantador secundário, o lodo biológico ou lodo excedente, que é uma biomassa gerada pelo alimento provindo do esgoto efluente - essa massa tem de ser retirada para não comprometer o tratamento (Moura,2020).

No sistema reator anaeróbico e manta de lodo, seu descarte é eventual, o tempo de retirada é mais longo que o de reator de lodos ativados, e as principais etapas para o gerenciamento desse lodo são as seguintes (Chernicharo, 2016):

- Adensamento: também chamado de espessamento, tem a função de centralizar o lodo, visando reduzir a umidade e seu volume.
- Estabilização: tem a função de reduzir a matéria orgânica, sendo que, atenuando maus odores ao eliminar parte dessa matéria orgânica, acaba reduzindo também a massa de sólido no lodo.
- Condicionamento: é o processo de preparação do lodo para aumentar sua predisposição ao desaguamento; esse processo é feito por produtos químicos como coagulantes e polieletrólitos.
- Desidratação: também chamado de desaguamento, tem como objetivo a redução de água e volume, fazendo com que o lodo tenha um comportamento mecânico sólido, o que influencia no seu destino final como transporte de destino.
- Higienização: essa operação é de grande importância para o destino de disposição ou reutilização do lodo, já que os processos anteriores não reduzem os níveis de patógenos a um parâmetro aceitável.
- Disposição final: as possibilidades de disposição final devem, sempre que possível, procurar alternativas que visam ao uso e benefício desse resíduo, fazendo sempre uma comparação entre a melhor das tecnologias de higienização, associando as

principais alternativas de disposição final do lodo, por exemplo, aterro sanitário, incineração, disposição no solo etc., preocupando-se sempre com os impactos ambientais que essas diferentes alternativas podem trazer.

#### 4.4.2.4. Tratamento Terciário

A etapa terciária do tratamento de esgoto representa a fase final do processo, durante a qual são empregadas tecnologias avançadas para a remoção de substâncias residuais que podem persistir nas etapas anteriores. Esta etapa tem como objetivo principal a eliminação de substâncias nocivas específicas, notadamente nutrientes, como compostos não biodegradáveis ou tóxicos, além da remoção suplementar de substâncias residuais provenientes do tratamento secundário, tais como nitrogênio, fósforo, metais pesados, microrganismos patogênicos, entre outros (Teixeira *et al.*, 2021).

Nesta fase, podem ser incluídas diversas etapas que vão depender do tipo de poluição do efluente e do grau de depuração que se deseja obter. Processos como osmose reversa, filtros de areia, remoção de nutrientes, cloração, adsorção em carvão ativado, proteção contra ozônio ou radiação ultravioleta são exemplos de técnicas que podem ser empregadas. Essas medidas visam garantir que a água tratada esteja conforme os padrões de lançamento e de qualidade ambiental, permitindo sua devolução segura ao meio ambiente ou, em determinadas situações, possibilitando sua reutilização para fins não potáveis, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos (Anício *et al.*, 2022).

De acordo com estudos de Neves *et al.* (2019), esses processos podem ser aplicados de forma individual ou combinada, dependendo das características da água a ser tratada e dos requisitos de qualidade estabelecidos. O tratamento terciário de esgoto é uma parte essencial dos sistemas de tratamento de águas residuais modernos, garantindo que a água tratada atenda aos padrões ambientais e de saúde humana adequados para seu uso planejado. A implementação eficaz desses procedimentos contribui de maneira significativa para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Vale ressaltar que a ausência de tratamento terciário representa não apenas um desafio ambiental, mas também um risco para a saúde pública, dada a persistência de substâncias químicas e patógenos nos efluentes não tratados.

##### 4.4.2.4.1. Tipos de tratamento terciário

- **Desinfecção:** a desinfecção é uma etapa crucial para garantir que o efluente tratado seja seguro para o contato humano e o meio ambiente. Métodos avançados de desinfecção, como o uso de cloro, ozônio, radiação ultravioleta (UV) ou dióxido de cloro, são

aplicados para eliminar ou inativar microrganismos patogênicos remanescentes, como vírus, bactérias e protozoários.

- **Adsorção com Carvão Ativado:** o carvão ativado é capaz de adsorver microrganismos patogênicos, bem como compostos orgânicos presentes na água tratada. Quando a água passa por colunas ou leitos de carvão ativado, os microrganismos presentes são retidos pela superfície porosa do carvão, resultando em uma redução da carga microbiana na água tratada.
- **Oxidação Avançada:** processos de oxidação avançada envolvem a aplicação de oxidantes poderosos, como peróxido de hidrogênio, ozônio e permanganato de potássio, que são eficazes na destruição de microrganismos patogênicos e na redução da carga microbiana na água tratada. Esses oxidantes reagem com os componentes orgânicos e inorgânicos presentes na água, resultando na sua decomposição ou transformação em compostos menos tóxicos.
- **Filtração Avançada:** é um processo no qual a água tratada passa por camadas de filtros finos, como areia, carvão ativado ou membranas de ultrafiltração. Esses filtros removem partículas microscópicas, microrganismos patogênicos e substâncias químicas dissolvidas que podem permanecer após as etapas anteriores de tratamento.
- **Fitorremediação:** esta técnica consiste no uso de plantas para ajudar a diminuir a poluição de solos, águas e até mesmo do ar. O princípio de atuação da fitorremediação é a capacidade de absorção das raízes das plantas. Além de absorver águas e nutrientes que as fazem crescer, algumas espécies são capazes de absorver do ambiente elementos poluentes, funcionando como filtros biológicos. Para o tratamento de esgoto, é muito conhecida como *Wetlands* construídos e jardins filtrantes.

#### 4.4.3 Parâmetros de qualidade do esgoto

Além dos aspectos mencionados, a composição do esgoto, seja ele de origem doméstica ou industrial, desempenha um papel fundamental na elaboração e na operação de uma ETE, tanto durante as etapas de coleta e tratamento quanto nos processos de reutilização. Os parâmetros de qualidade são variáveis que fornecem informações sobre as características físicas, químicas e biológicas do esgoto. Conforme destacado por Jordão e Pessoa (2017), os principais parâmetros incluem:

- a) Cor: indica a quantidade de matéria em solução e é de suma importância em relação ao aspecto estético;

- b) Turbidez: indica a presença de matéria em suspensão; é um parâmetro relacionado à estética e usado na avaliação do efluente tratado, como controle operacional;
- c) pH: é um parâmetro importante no controle operacional e nos processos oxidativos e de coagulação, indicando a acidez do meio;
- d) Nitrogênio: pode estar presente na forma de nitrogênio orgânico, nitrito ou nitrato;
- e) Fósforo: presente na forma de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico;
- f) Oxigênio dissolvido (OD): é o parâmetro que melhor indica a qualidade do esgoto, pois evidencia a concentração de gás oxigênio dissolvido na água, o qual é fundamental para a respiração dos microrganismos aeróbios que realizam a degradação do esgoto;
- g) Demanda bioquímica de oxigênio (DBO): indica a quantidade de matéria orgânica presente na água, parâmetro usado para medir o grau de poluição do esgoto;
- h) Demanda química de oxigênio (DQO): determina a quantidade de oxigênio necessária para que ocorra a oxidação da matéria orgânica;
- i) Sólidos: indicam a concentração de sólidos no esgoto, podendo ser divididos em sedimentáveis, em suspensão ou dissolvidos, e em fixos ou voláteis;
- j) Microrganismos: apontam a contaminação do esgoto, medidos por Coliformes totais, Coliformes fecais, *Escherichia coli*, *Streptococos* fecais e *Enterococos* fecais.

A relevância da avaliação desses parâmetros está diretamente ligada aos possíveis problemas que podem surgir se o tratamento não for eficaz. Na determinação dos padrões de potabilidade da água de abastecimento, é crucial considerar que estes são significativamente influenciados pela qualidade dos cursos d'água e pela gestão dos efluentes nos corpos hídricos utilizados para o fornecimento público. Na Tabela 6, são apresentados os componentes dos esgotos, juntamente com as justificativas para a sua remoção, conforme detalhado por Agnesini *et al.* (2018).

As legislações pertinentes estabelecem padrões, que são valores de parâmetros que não devem ser ultrapassados dentro de um determinado período de tempo. No Brasil, os padrões legais são definidos pelas Resoluções do CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e 430 (BRASIL, 2011), que classificam os corpos d'água e regulamentam o lançamento de efluentes, respectivamente. Além disso, a Resolução CONAMA 274 (BRASIL, 2000) estabelece padrões de balneabilidade para corpos d'água, enquanto a Portaria de Consolidação n.º 5, de 2017, Anexo XX (BRASIL, 2017), estabelece os padrões de potabilidade da água de abastecimento,

os quais são diretamente influenciados pela qualidade dos cursos d'água e pela disposição de efluentes nos corpos d'água usados para o abastecimento público.

**Tabela 6** - Principais componentes no tratamento de esgoto e sua relevância

<b>Componentes</b>	<b>Razão da Relevância</b>
Patogênicos	Doenças podem ser transmitidas.
Sólidos Suspensos	Podem provocar depósitos de lodo e condições anaeróbias quando o esgoto bruto é descarregado nos corpos de água.
Orgânicos biodegradáveis	Comumente medidos em DBO e DBO, caso sejam lançados ao ambiente aquático, podem causar a diminuição de oxigênio dissolvido.
Poluentes	Alguns compostos orgânicos e inorgânicos podem apresentar carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade ou elevada toxicidade.
Nutrientes	Fósforo e Nitrogênio são responsáveis pelo crescimento de espécies aquáticas indesejáveis e podem também contaminar águas subterrâneas.
Metais pesados	Provenientes de atividades comerciais e industriais, devem ser removidos, pois causam sérios riscos à saúde.
Orgânicos refratários	Podem resistir aos métodos convencionais de tratamento.
Inorgânicos dissolvidos	Cálcio, Sódio e Sulfatos, adicionados durante o sistema de abastecimento público, devem ser removidos.

Fonte: Autora (2024).

#### **4.4.4 Viabilidade Econômica do Tratamento de Esgoto**

O processo de escolha de uma tecnologia para tratamento de esgoto e seus custos variam amplamente para qual objetivo se deseja alcançar. A melhor escolha sempre será o tratamento que melhor compatibilize com as condicionantes e critérios do contexto socioambiental, técnico e econômico de aplicação.

Conforme recomenda a ABNT NBR 12.209/2011 (Projeto de estações de esgoto sanitário), a escolha entre as diversas tecnologias disponíveis deve ser realizada por meio de uma análise multicritério que considere, de maneira resumida, os seguintes aspectos:

- Intensidade da rotina operacional (controle diário / controle semanal / controle quinzenal);
- Consumo energético (aeradores, bombas de recirculação, elementos eletromecânicos);
- Geração de subprodutos (lodo, espuma, odores, gases);
- Custo operacional (reúne os itens acima);
- Sensibilidade a problemas/falhas operacionais (descarte de lodos, limpeza de equipamentos, troca de equipamentos, interrupção de energia, falha na dosagem de produtos químicos);

- Confiabilidade do processo em atender aos objetivos de tratamento (legislação ambiental, água para reúso);
- Impacto socioambiental (estética, apropriação da comunidade, percepção do usuário sobre a ETE, odores, proliferação de vetores, ruídos).

Para se obter uma estimativa de custos, devem ser levados em consideração os custos de implantação, que englobam a construção, incluindo equipamentos e instalações, aquisição ou desapropriação do terreno, bem como os custos relacionados ao projeto e supervisão, taxas legais, juros de operação e manutenção da estação. Adicionalmente, os custos anuais de operação, compreendendo juros e amortização de empréstimos, depreciação e segurança da estação, além dos custos associados à operação e manutenção (LOPES *et al.*, 2017).

O planejamento e os pré-projetos desempenham um papel fundamental na construção de uma estação de esgoto, sendo essenciais para garantir a eficiência operacional, a sustentabilidade ambiental e o controle de custos. A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta de auxílio para essa tomada de decisão (De Moraes Lima *et al.*, 2022).

#### **4.5 Reúso do Efluente**

A água foi, por muito tempo, considerada um recurso inesgotável e, talvez por isso, mal gerida. Sua escassez representa um desafio cada vez mais preocupante e é considerado um dos principais obstáculos ao desenvolvimento sustentável. Sabe-se que a maior parte do consumo da água potável no mundo não é exatamente para fins potáveis (Santos *et al.*, 2023). Essa escassez pode ser definida tanto em termos quantitativos, ou seja, pela falta de água propriamente dita, quanto pelo aumento populacional em perspectiva mundial. Há, ainda, o aumento nos padrões de consumo de água por aqueles que têm acesso a ela (Carvalho *et al.*, 2021).

Na busca por alternativas de uso racional da água, levando em consideração a diminuição dos impactos ambientais com a disposição inapropriada dos efluentes nos corpos hídricos, a reutilização dos efluentes emerge como uma ferramenta essencial na gestão da água. Calcula-se que apenas metade das águas residuais produzidas globalmente passa por tratamento, com apenas 11% sendo reutilizadas, conforme apresentado por Lima *et al.* (2022).

Na análise realizada por Shoushtarian e Negahban-Azar (2020), é evidente que, nos últimos anos, um número crescente de países tem considerado a reutilização da água como uma

alternativa viável para complementar suas fontes de água doce. A prática de reutilização pode oferecer uma fonte confiável de água, em contraste com outras fontes que dependem diretamente das precipitações. Devido a essas vantagens e em consonância com os avanços recentes nas tecnologias de tratamento de águas residuais, estudos indicam um aumento global no volume de água reciclada, que passou de 33,7 milhões de metros cúbicos por dia, em 2010, para 54,5 milhões de metros cúbicos por dia em 2015 (Figura 14).

**Figura 14** - Demonstrativo atual do reúso de água em diferentes regiões do mundo



Fonte: RdA (2023).

Historicamente, a principal utilização de água reciclada de esgoto doméstico tratada é na agricultura, seguida por usos industriais e urbanos. Isso se deve ao fato de que a agricultura é o setor de maior consumo de água no mundo e, em grande parte, seus requisitos de qualidade são os mais fáceis de serem atendidos (Angelakis *et al.*, 2018).

Ainda segundo Shoushtarian e Negahban-Azar (2020), a garantia da prática segura do reúso agrícola requer uma avaliação de questões sanitárias, padrões de qualidade da água para reúso e as especificações da região de estudo, aspectos analisados em diversas pesquisas realizadas globalmente. A reutilização das águas servidas pode trazer benefícios biológicos, sociais e ambientais. Essa prática sustentável, quando feita de forma planejada, oferece uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade de água, além de contribuir para uma gestão mais racional da demanda (Gaspar, 2020).

No Brasil, a primeira norma a tratar esse assunto, embora não obrigatória, foi a NBR 13.969 (ABNT, 1997), que destaca a necessidade de reutilizar esgoto doméstico para atividades específicas que exigem água de qualidade não potável, mas higienicamente segura. Nos anos subsequentes, houve um progresso limitado na regulamentação do reúso no Brasil,

com apenas cinco Estados (SP, MG, RS, CE, BA) estabelecendo documentos legais com definições de padrões, conforme apontado por Santos e Lima (2022).

De acordo com os estudos de Jaramillo e Restrepo (2017), o uso seguro de esgoto como uma fonte alternativa de água para irrigação ou fins não potáveis é uma boa alternativa para lidar com o acelerado ritmo de crescimento vivenciado por várias regiões brasileiras, além de constituir uma boa estratégia para o controle da poluição dos rios e nascentes, o que tem ganhado relevância em todo o mundo, especialmente em países onde a escassez de recursos hídricos é alarmante.

Conforme apresentado por Carvalho (2021), a prática do reúso pode ser definida em várias categorias, incluindo o reúso indireto não planejado da água, o reúso indireto planejado da água, o reúso direto planejado das águas e a reciclagem de água. Além disso, outra forma de classificação é distinguir entre uso potável e não potável. A Resolução n.º 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2005), estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, definindo as seguintes categorias: fins urbanos; fins agrícolas e florestais; fins ambientais; fins industriais e aquicultura. Em relação ao reúso de água para fins potáveis, o Brasil ainda não regulamentou a prática, uma vez que esta é associada a riscos de contaminação.

Em 2022, iniciou-se o processo de revisão desta resolução, abordando, entre outros tópicos, os critérios de qualidade. A minuta da resolução em revisão esteve disponível para consulta pública até dia 08 de novembro, suscitando discussão especial no meio técnico-científico (Santos e Lima, 2022).

No que se refere ao uso na fertirrigação, o efluente é capaz de suprir a demanda hídrica das plantas, pois apresenta várias vantagens, entre elas, o maior fornecimento de nutrientes, principalmente Nitrogênio, Fósforo e Potássio (Silva *et al.*, 2023). No Brasil, a cultura do reúso de efluente ainda é pouco consolidada, principalmente fora do universo corporativo. Estudos realizados por Obraczka *et al.* (2022), em uma análise em três estações de tratamento de esgoto no Rio de Janeiro, após o efluente ser tratado e desinfetado, uma pequena parte era utilizada em empregos humanos para fins não potáveis, como lavagem de vias, feiras e equipamentos, desobstrução de galerias, rega de jardins e parques urbanos.

Em relação às legislações vigentes, países como Austrália, Califórnia e Israel possuem regulamentos e diretrizes específicas que regem o tratamento de efluentes e a operação de ETEs. Essas regulamentações, geralmente, abrangem aspectos como os padrões de qualidade

da água, os limites de descarte de efluentes, os requisitos de monitoramento e relatórios, as práticas de gestão de resíduos, as normas de segurança e saúde ocupacional, entre outros. As leis podem variar conforme o país e até mesmo dentro de regiões específicas de um país, dependendo das condições ambientais e das necessidades locais (Santos e Vieira,2020).

É importante ressaltar, também, que esses países incentivam e regulam a adoção de práticas sustentáveis em ETEs, promovendo a eficiência energética, a minimização de resíduos, a reutilização de recursos e a adoção de tecnologias de tratamento de ponta. As regulamentações passam frequentemente por revisões e atualizações para garantir que os padrões ambientais e de saúde pública sejam atendidos e para promover o desenvolvimento contínuo de ETEs mais sustentáveis e eficientes (Anício, Bega E Malheiros, 2022).

A sustentabilidade nas ETEs visa, além da escolha do sistema mais adequado à realidade do local, promover a economia circular com reúso dos subprodutos gerados e tratar efluentes de forma eficiente, minimizando o impacto ambiental e promovendo a conservação da água. Sustentabilidade é um conceito que denota práticas e empreendimentos humanos voltados para atender às necessidades presentes na sociedade, sem comprometer as perspectivas das gerações futuras. Esse conceito é fundamentado nos três pilares do ESG: o econômico, social e ambiental (Anício, Bega E Malheiros, 2022).

Relacionar os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável ao ODS 6 envolve identificar as interconexões entre esses objetivos e reconhecer como as ações em uma área podem afetar positivamente o progresso em outras. Por exemplo, garantir a disponibilidade e o manejo sustentável da água e saneamento para todos (ODS 6) é fundamental para a saúde humana, mas também está interligado com a promoção da educação de qualidade (ODS 4) e o alcance da igualdade de gênero (ODS 5). Da mesma forma, a promoção da energia acessível e limpa (ODS 7) está intimamente ligada à ação contra a mudança climática (ODS 13) e ao crescimento econômico inclusivo (ODS 8) (ONU,2016). As Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS 11) também possuem metas que se relacionam à infraestrutura de águas residuárias: provisão de serviços essenciais; redução do impacto ambiental adverso das cidades, incluindo a qualidade do ar e a gestão de resíduos municipais; e aumento da eficiência dos recursos.

Ao associar as metas dos ODS, os formuladores de políticas, os líderes empresariais e a sociedade em geral podem trabalhar de forma colaborativa e holística para alcançar um desenvolvimento sustentável abrangente, levando em consideração a interdependência e os impactos multifacetados de suas ações em diversas áreas (Gomes, 2023).

#### 4.6 Sistema Prisional

O ODS 16: "Paz, Justiça e Instituições Eficazes" busca promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionando acesso à justiça para todos e construindo instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis. O sistema prisional desempenha um papel crucial na aplicação da justiça e na manutenção da segurança pública, e seu funcionamento adequado está intimamente ligado à realização dos objetivos do ODS 16 (Heller, 2023).

As unidades prisionais são instalações destinadas à custódia de presos para o cumprimento de prisões temporária, preventiva, civil, extradição ou cumprimento de pena. Essas instalações se dividem em unidades para cada tipo de situação, crime ou regime e são construídas conforme a tipologia da pena (LEP, 1984).

Os Centros de Remanejamento do Sistema Prisional - CERESP - são os centros de transferência do detento para outras unidades. Os Presídios são as unidades prisionais próprias para tutelar do preso provisório ou condenado até a liberação de vaga na unidade adequada a sua pena. Os Complexos Penitenciários são unidades prisionais próprias para custodiar presos provisórios e condenados. As penitenciárias são unidades próprias para os presos condenados nos regimes fechado e/ou semiaberto. Hospitais Psiquiátricos, Toxicômanos e Centros de Apoio Médico e Pericial são unidades próprias para custodiar presos remetidos a exames de dependência química, sanidade mental, exames criminológicos, médicos, bem como tratamento toxicológico. Casa do Albergado são unidades que tutelam presos em regime aberto. Já os Centros de Referência a Gestante são unidades próprias para as presas gestantes e puérperas com seus filhos, até a criança completar um ano de idade, e as APACs - Associação de Proteção e Assistência a Condenados - são ONGs que visam auxiliar o sistema judiciário brasileiro na execução das penas por meio da ressocialização dos condenados, providenciando a eles oportunidades de estudo, religiosidade e trabalho (SEDS, 2003).

O porte das unidades prisionais é estabelecido com base em sua capacidade de ocupação. Conforme os modelos padrão, temos unidades de pequeno porte, com capacidade para abrigar de um a sessenta presos; unidades de médio porte, para duzentos a quatrocentos e noventa e nove presos; e unidades de grande porte ou segurança máxima, destinadas a partir de oitocentos presos (SEDS, 2003).

Vale, portanto, explicar que a maioria das unidades são construídas em áreas rurais ou mais afastadas dos centros urbanos, por questões de segurança pública e disponibilidade de área. Esse fator dificulta a infraestrutura na construção de rede para saneamento básico,

distribuição de água, coleta e transporte de esgoto e resíduos sólidos.

A pandemia da COVID-19 expôs o Brasil a um desafio sem igual, tanto em termos de saúde pública quanto socioeconômicos, principalmente para áreas de alta vulnerabilidade social, como as ocupações irregulares e o sistema prisional. Trouxe incertezas e inseguranças na estrutura de política macroeconômica, sobretudo, ao cenário fiscal, o que se traduz em riscos negativos que requerem uma forte consolidação fiscal e a adoção de reformas estruturais (Nahas *et al.*, 2019). A falta de saneamento nas unidades prisionais ficou ainda mais evidente, os problemas de racionamento de água e falta de higiene nas celas, o que é muito comum nas prisões brasileiras – superlotadas, insalubres e com poucos recursos –, são ambientes propícios para disseminação e contaminação de doenças. Esta situação se estende extramuros, acarretando problemas sociais e ambientais em seu entorno (Souza *et al.*, 2018).

Dantas e Alves (2021) descrevem que não é recente que o sistema prisional brasileiro tem sido alvo de críticas devido às condições degradantes causadas aos detentos, assim como à sua infraestrutura. Inúmeros estudos são documentados, por meio de estatísticas e relatos, sobre os problemas de saúde e violação dos direitos fundamentais. Além da ocupação, que excede a capacidade do número de vagas, a precariedade do sistema chama a atenção com situação completamente insalubre, pois o local onde os detentos dormem é o mesmo onde realizam suas necessidades básicas, sem falar na probabilidade altíssima de propagação de doenças infectocontagiosas. Dráuzio Varella, em seu livro “Estação Carandiru”, retrata quão desoladora é a realidade brasileira nos estabelecimentos prisionais. Segundo ele:

*“Tarde da noite, andando por esses corredores mal-assombrados, com o silêncio quebrado por uma tosse anônima, o miado de um gato, a porta que bate ao longe, entendi por que os suicídios acontecem de manhã, depois de noites de depressão ou pânico claustrofóbico, espremidos entre os outros, sem poder chorar: - Homem que chora na cadeia não merece respeito (Varella, 1999, p. 49).”*

Outro desafio, apontado por Saab (2021), é que a superlotação e a falta de infraestrutura impossibilitam a separação dos detentos em decorrência do crime cometido, ou seja, pessoas que cometem delitos mais leves dividem a cela com indivíduos considerados altamente perigosos, o que causa um grande transtorno dentro das prisões, gerando mortes e complicações psicológicas.

Para o cumprimento de pena, as pessoas privadas de liberdade sob custódia têm o direito de que o cumprimento de suas sentenças seja classificado com base em seus antecedentes e personalidade, a fim de orientar a individualização da execução penal. O Sistema Prisional

possui funções ambíguas, pois, por um lado, visa à proteção do infrator por meio da privação de sua liberdade, mas, por outro, desempenha um papel crucial na reintegração social, garantindo-lhe o direito ao acesso à educação, capacitação profissional e serviços de saúde. Contudo, no cenário atual do Brasil, a pressão excessiva na intolerância e na estigmatização contribui para altas taxas de reincidência criminal, marginalização social e agravamento das condições de vida e saúde (Vasconcelos *et al.*, 2019).

Desse modo, com o objetivo de diminuir os índices de criminalidade e viabilizar a reintegração dos indivíduos encarcerados na sociedade, as legislações têm mostrado a educação e o emprego como políticas de reintegração social, conforme se observa na Lei n.º 7.210, de 11 de julho de 1984 (BRASIL, 1984), que instituiu a Lei de Execução Penal (LEP):

Art. 10. A assistência ao preso e ao internado é dever do Estado, objetivando prevenir o crime e orientar o retorno à convivência em sociedade.

Art. 17. A assistência educacional compreenderá a instrução escolar e a formação profissional do preso e do internado.

Dentro deste contexto, encontra-se o sistema APAC, uma abordagem que busca humanizar a execução da pena por meio de um método centrado na educação e no trabalho. Doze elementos fundamentais compõem o método APAC, definindo, assim, a estrutura e o funcionamento da instituição: (i) participação da comunidade; (ii) recuperando ajudando recuperando; (iii) trabalho; (iv) assistência jurídica; (v) espiritualidade; (vi) assistência à saúde; (vii) valorização humana; (viii) família; (ix) o voluntário e o curso para sua formação; (x) Centro de Reintegração Social (CRS); (xi) mérito; (xii) jornada de libertação com Cristo (FBAC, 2019).

Conforme apresentado na pesquisa de Heller *et al.* (2023), no sistema prisional, a responsabilidade é compartilhada por diversos atores, incluindo a sociedade, o Estado e todos os envolvidos na administração e execução das penas. A sociedade desempenha um papel crucial ao fornecer apoio e reintegração aos indivíduos que cumprem pena, promovendo a inclusão social e a prevenção da reincidência. O Estado, por sua vez, é responsável por garantir condições dignas de encarceramento, promovendo a ressocialização por meio de programas educacionais, profissionalizantes e de saúde. Além disso, é papel do Estado garantir a efetiva aplicação da lei e a segurança dentro das instituições prisionais.

## 5 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida para esta pesquisa foi dividida em quatro fases distintas, conforme ilustrado na Figura 15. A primeira fase envolveu o contato com representantes da Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública (SEJUSP) e da Associação de Proteção e Assistência aos Condenados (APAC) para apresentação do projeto e assinatura do termo de cooperação técnica. Nesta etapa, foram selecionadas as unidades prisionais que fariam parte do estudo, com base em critérios como a proximidade de Belo Horizonte e a presença de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) em funcionamento.

Na segunda fase, após a decisão das unidades participantes, foram realizados levantamentos detalhados sobre os sistemas de tratamento e disposição final dos esgotos, por meio de métodos de pesquisa documental e visitas técnicas. Esse levantamento incluiu um diagnóstico da rede hidrossanitária das unidades, verificação do consumo de água e uma análise dos sistemas utilizados.

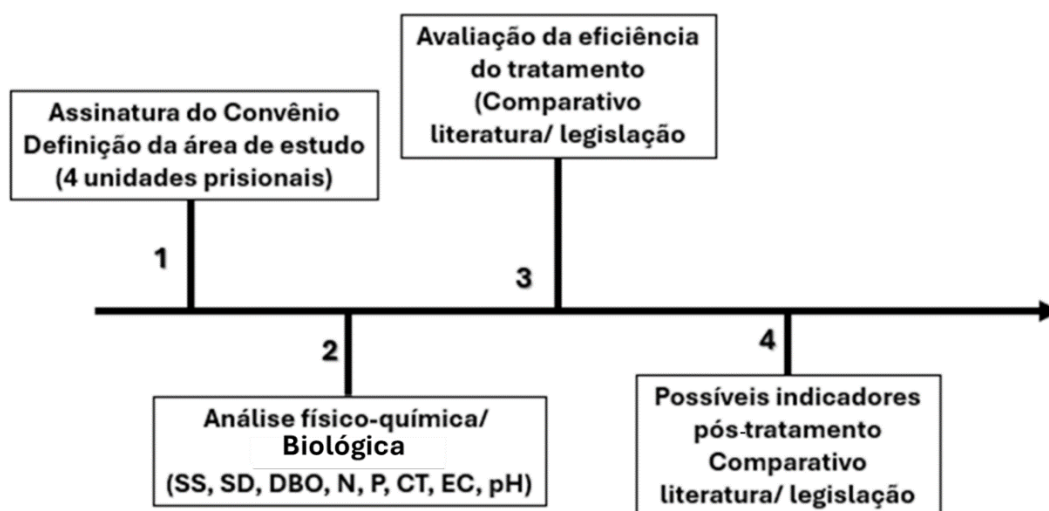
A terceira fase envolveu visitas às unidades para coleta de amostras de esgoto que foram, posteriormente, analisadas quanto aos parâmetros físico-químicos e biológicos. O objetivo era avaliar a eficácia dos sistemas de tratamento, conforme DN 08/2022, na remoção de contaminantes, garantindo a conformidade com as normas ambientais e viabilizando o reúso seguro do efluente. Para análise da redução de eficiência, foi utilizada a fórmula de redução:

$$\text{FR} = \frac{\text{afluente} - \text{efluente}}{\text{afluente}} \times 100$$

Na quarta fase, após a obtenção dos resultados, realizou-se uma revisão bibliográfica detalhada sobre tecnologias de pós-tratamento. Essa revisão tinha como objetivo identificar e recomendar as tecnologias mais adequadas com base nos resultados obtidos, considerando, também, a viabilidade técnica e econômica para sua implementação.

Por fim, a quarta fase consistiu na elaboração de um relatório técnico conclusivo, que ofereceu orientações e recomendações para a melhoria dos sistemas existentes, bem como sugestões para o desenvolvimento de novos projetos. Esse relatório foi elaborado de forma a fornecer uma visão abrangente das conclusões da pesquisa, subsidiando decisões estratégicas e promovendo avanços na gestão e no desenvolvimento dos sistemas de tratamento de esgoto estudados.

**Figura 15** - Metodologia fragmentada em quatro etapas



Fonte: Autora (2024).

## 5.1 Áreas de estudo

### 5.1.1 Município de Caratinga

Fundado em 6 de fevereiro de 1890, o município está localizado na região leste de Minas Gerais. Seu nome deriva da abundância de um tubérculo alimentar chamado cará-branco, também conhecido como Caratinga, presente na região da Serra da Caratinga. A geografia do município é caracterizada por morros, áreas acidentadas de planaltos e cobertura por florestas semidecíduas. O rio Caratinga corta o território urbano, além de abrigar unidades de conservação ambiental, como a RPPN Feliciano Miguel Abdala, um dos principais remanescentes da Mata Atlântica em Minas Gerais.

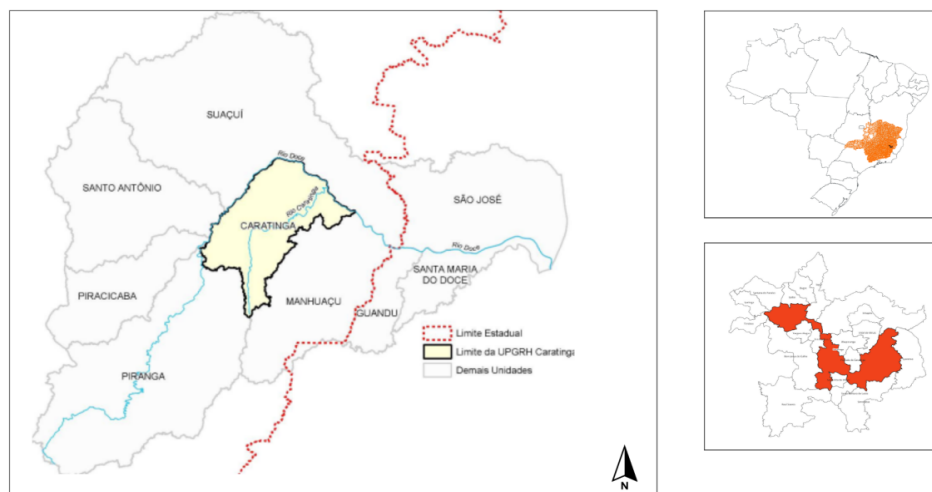
A bacia do rio Caratinga faz parte da bacia do rio Doce, atravessando o município e contribuindo para a divisão com Ipatinga e Santana do Paraíso. A região enfrenta níveis consideráveis de poluição hídrica em seus cursos d'água, o que resulta em problemas como enchentes, mau cheiro e proliferação de insetos. Na zona rural, há diversas nascentes e cursos d'água menores, como córregos e ribeirões, sendo o ribeirão da Laje uma fonte de água para o abastecimento da cidade.

Com uma população de 93.124 habitantes, Caratinga possui um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) considerado alto, embora apresente um déficit significativo de domicílios e inadequação domiciliar. O saneamento básico é administrado pela concessionária COPASA, mas ainda há desafios, como a falta de acesso à água e coleta de esgoto para parte da população, além da baixa taxa de tratamento do esgoto coletado (Figura 16).

A cidade registrou nove casos de internações em 2021 devido a doenças relacionadas à água, de acordo com o DATASUS. Nesse contexto, serão estudadas duas unidades prisionais, a APAC e o Presídio, para avaliar as condições de saneamento básico e contribuir para a melhoria desses sistemas.

**Figura 16** - Localização do município de Caratinga

#### MUNICÍPIO - CARATINGA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS, DATUM SIRGAS 2000  
 BASE CARTOGRÁFICA IDE SISEMA MG AUTORA: SHIRLEY SOARES DE OLIVEIRA NOVEMBRO/2023  
 ADAPTADO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO DOCE E DOS PLANOS DE AÇÕES DE RECURSOS HÍDRICOS PARA AS UNIDADES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ÂMBITO DA BACIA DO RIO DOCE

Fonte: Adaptado SISEMA (2019).

#### 5.1.1.2 APAC Caratinga

Edificação destinada ao cumprimento de pena e ressocialização dos condenados em regimes fechado e semiaberto, exclusivamente masculino. Localizada na estrada de Santa Cruz, Km 6, Córrego dos Bias - zona rural de Caratinga/MG. Inaugurada em 2010, a unidade foi construída com capacidade para 200 recuperandos. Atualmente, conta com 150 recuperandos, 30 funcionários e 20 professores. A unidade é abastecida por poço artesiano, e o esgoto é tratado na ETE da própria instituição. A unidade possui cozinha, padaria, fábrica de blocos de cimento, oficinas de laborterapia e lavanderia (Figura 17).

**Figura 17** - Vista aérea da APAC de Caratinga, MG



Fonte: APAC (2013).

### **5.1.1.3 Presídio de Caratinga**

Edificação destinada ao cumprimento de pena em regime fechado e semiaberto, exclusivamente masculino. Localizado na Estrada de Santa Luzia, Km 6 com Km 518, BR 116, Córrego dos Bias, Zona Rural, inaugurado em junho de 2008, com capacidade de 380 vagas. Atualmente, conta com 440 detentos e 85 funcionários. O sistema de abastecimento é feito por poço artesiano e complementado por caminhão-pipa, sendo que o esgoto é tratado na ETE da própria instituição. A unidade possui horta, lavanderia, costura e serralheria. A cozinha foi desativada, e a alimentação é entregue por uma empresa terceirizada (Figura 18).

**Figura 18** - Entrada do Presídio de Caratinga, MG



Fonte: SEJUSP (2020).

## **5.1.2 Município de Sete Lagoas**

Sete Lagoas, situada na zona metalúrgica de Minas Gerais, é caracterizada por um

relevo de colinas suaves e solo calcário. Sua geografia inclui uma serra calcária que divide as bacias dos rios das Velhas e Paraopeba (Figura 19). A atividade industrial é predominante na região, com destaque para setores como alimentício, têxtil, siderúrgico e de transformação de calcário.

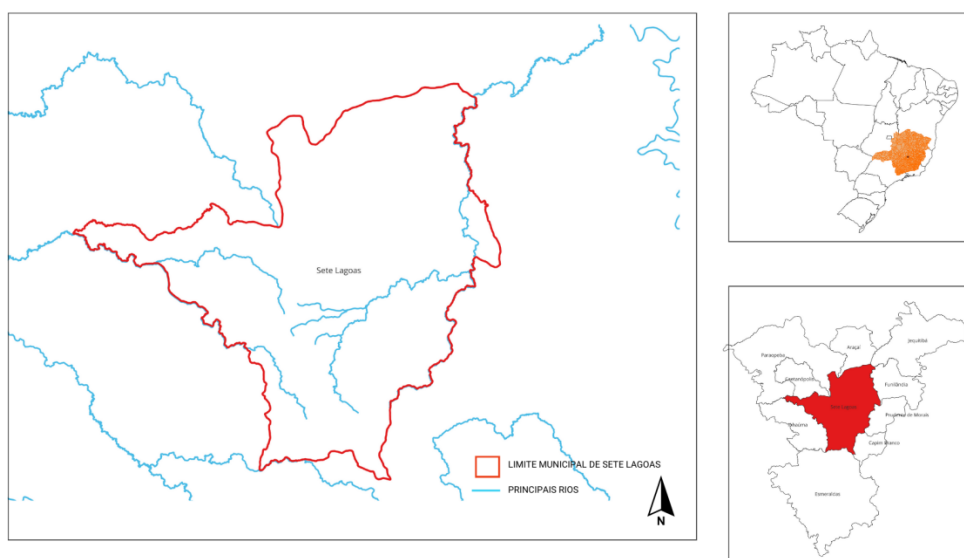
A formação geológica do município é marcada pelo Grupo Bambuí, com solo rico em minerais como mármore, argila, calcário e ardósia. A rede hidrográfica é composta por afluentes dos rios Paraopeba e das Velhas, incluindo o rio das Velhas e o Paraopeba. Embora os recursos hídricos superficiais sejam limitados, as camadas subterrâneas contêm quantidades consideráveis de água.

O abastecimento de água é gerenciado pelo SAAE, responsável por controlar 123 poços. No entanto, há falta de conhecimento sobre as condições da água subterrânea na região, bem como sobre seus fluxos e potencialidades. Quanto ao saneamento básico, uma parte da população ainda não possui acesso à água e à coleta de esgoto, e apenas uma parcela do esgoto coletado é tratada.

O município registrou internações e mortes por doenças relacionadas à água, o que pode afetar o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) local. Apesar do IDH de 0,760, indicando um desenvolvimento considerável, os problemas de saneamento básico e saúde pública precisam ser abordados. O presídio “Promotor José Costa” será objeto de estudo neste contexto.

**Figura 19** - Localização do município de Sete Lagoas

#### MUNICÍPIO - SETE LAGOAS



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS, DATUM SIRGAS 2000  
BASE CARTOGRÁFICA IDE SISEMA MG AUTORA: SHIRLEY SOARES DE OLIVEIRA NOVEMBRO/2023

Fonte: Adaptado SISEMA (2019).

### 5.1.2.2 Presídio “Promotor José Costa”

Localizado no município de Sete Lagoas, o Presídio “Promotor José Costa” foi inaugurado em janeiro de 2007, com capacidade para 380 detentos. A unidade dispõe de 4 blocos, sistema de regime fechado e semiaberto masculino. Atualmente, abriga 570 detentos e 136 funcionários. A unidade é abastecida por poço artesiano e complementada pela rede do SAAE; o esgoto também é coletado pela concessionária por meio de uma estação elevatória, uma vez que a ETE prevista para a unidade não foi concluída por motivos de problema no projeto (Figura 20).

**Figura 20** - Entrada do Presídio “Promotor José Costa”



Fonte: SEJUSP (2019).

### 5.1.3 Município de Santa Luzia

O município de Santa Luzia está estrategicamente localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte, a apenas 25 km da capital. Sua história remonta ao ciclo do ouro, com a implantação do primeiro núcleo da Vila às margens do rio das Velhas. Após uma enchente, o vilarejo mudou-se para o alto da colina, onde hoje é o Centro Histórico da cidade. Emancipado em 1856, o povoado recebeu o nome de Santa Luzia a partir de 1924.

Após o declínio da exploração do ouro, Santa Luzia se tornou um importante centro comercial, com destaque para o bairro da Ponte, que possuía um porto para navegação de barcos pelo rio das Velhas, facilitando o transporte de mercadorias. A cidade também possui linha férrea e gasoduto subterrâneo, além de ser o 3º Polo Industrial da Grande BH.

O relevo é caracterizado por colinas suaves, com altitudes entre 650 m e 1350 m, e



de casinhas para pet, cujos produtos são vendidos na loja que fica na entrada da APAC.

Atualmente com 198 recuperandos e 28 funcionários, a unidade tem abastecimento de água pela COPASA. Possui uma estação de tratamento de esgoto que, antes, era operada pelos próprios recuperandos. Em 2009, a estação foi repassada para a COPASA devido à renovação de contrato de concessão com o município, e desde então realiza a operação/manutenção dessa unidade.

**Figura 22-** Vista aérea da APAC Santa Luzia



Fonte: SEJUSP (2020).

## 5.2 Etapas Metodológicas

### 5.2.3 Plano de amostragem das coletas

Conforme apresentado na Figura 23, essa abordagem inicial foi crucial para estabelecer uma base sólida para o estudo. Ao reunir-se com os representantes de cada unidade, foram definidos os melhores dias e horários para realizar o levantamento da rede hidrossanitária, avaliar a ETE e identificar os pontos de coleta das amostras.

**Figura 23 -** Etapas metodológicas



Fonte: Autora (2024).

O horário da manhã foi determinado como o mais adequado, aproveitando o período de banho de sol nas prisões e a laborterapia na APAC. Isso evidencia um planejamento inteligente que considera tanto a segurança quanto a logística, requeridas para conduzir as atividades nas unidades. Seguir um padrão de horário para as coletas, de acordo com a rotina das unidades, é uma abordagem sensata que facilitou a obtenção de dados consistentes ao longo do estudo. Essa organização prévia garantiu que todas as etapas do processo fossem realizadas de forma eficiente e segura, permitindo alcançar os objetivos estabelecidos na pesquisa.

#### **5.2.4 Análises Físico-químicas e Biológicas**

A segunda etapa do estudo consistiu na caracterização do efluente por meio de análises físicas e biológicas. As amostras foram coletadas em dois locais distintos na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE): o primeiro próximo ao gradeamento na entrada do esgoto, e o segundo, após o último estágio de tratamento, no ponto de descarga. Essa abordagem foi implementada em todas as unidades dos sistemas prisionais, com pelo menos duas ocasiões de coleta. Além disso, durante o processo de coleta, foram registrados dados como horário e condições climáticas. Nas unidades em que a ETE estava inoperante, como no presídio “Promotor José Costa”, em Sete Lagoas, e no presídio de Caratinga, foi realizado um diagnóstico de cada situação, seguido pela apresentação de propostas de melhorias relevantes.

As amostras coletadas foram submetidas a análises no laboratório do IFMG - *campus* Santa Luzia. Os parâmetros analisados, juntamente com as metodologias utilizadas, são detalhadamente descritos na Tabela 7. Em complemento às análises laboratoriais, foram realizados registros fotográficos nos dias de coleta, mediante aprovação da SEJUSP e da APAC, com o objetivo de monitorar a limpeza do gradeamento. Estes registros visam examinar a especificidade do esgoto e o material retido, contribuindo para uma compreensão mais abrangente do processo de tratamento e identificação de possíveis áreas de aprimoramento.

**Tabela 7** - Metodologia utilizada nas análises físico-químicas e biológicas, e norma de comparação

Ensaio	Metodologia de referência	*VMP DN-COPAM/CERH-MG nº08/2022 - Limite Efluentes ( <a href="#">clique aqui</a> )
Coliformes totais	SMEWW - 9223 B	-
DBO	SMEWW - 5210 B	≤60,0mg/L ou Efic./trat, (Esgotos sanitários) ≥ 60%; Efic, / trat, (Lixiviados e aterros sanitários) ≥ 75 %  Efic,/ trat, (Demais sistemas) ≥ 85%
DQO	SMEWW - 5220 D	≤180,0mg/Lou Efic./trat, (Esgotos sanitários) ≥ 55%; Efic/ trat, (Lixiviados e aterros sanitários) = 70%; Efic,/trat (Demais sistemas); ≥ 80%
E. coli	SMEWW - 9223 B	-
Sólidos Suspensos	SMEWW - 2540 D	≤ 100/≤ 150 (Lagoas de estabilização)
Sólidos sedimentáveis	SMEWW - 2540 F	≤1
PH	ABNT NBR 9251 de 02/1986	5 a 9
Nitrogênio total	SMEWW - 4500 NH3 C	-
Fósforo total	SMEWW - 4500- P A, B e E	-

Metodologia utilizada: APHA *et al.* (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th Washington DC: American Public Health Associations, 2023.

\*VMP = Valor Máximo Permitido.

### 5.2.5 Estatística descritiva dos dados

A análise dos dados de monitoramento das ETEs foi realizada por meio de estudos estatísticos visando caracterizar os diversos sistemas em questão. Para todos os constituintes de interesse, tais como DBO, DQO, SST, SD, NT, PT, PH,CT E CF, foram calculadas as estatísticas básicas relativas ao número de dados, médias aritmética e geométrica, mediana, moda, valores máximos e mínimos, amplitude (máximo – mínimo), quartis inferior e superior, percentis de 10 e de 90%, variância, desvio padrão, assimetria e curtose, tanto para afluentes quanto para efluentes das duas ETEs. Para análise, empregou-se o programa *Excel*, gerando gráficos boxplot para todos os parâmetros das ETEs dos diferentes sistemas prisionais.

### 5.2.6 Descrição das tecnologias de tratamento das ETEs e análise da eficiência dos tratamentos

Inicialmente, identificou-se a tecnologia utilizada em cada ETE do estudo, bem como os níveis de tratamento. Em seguida, a análise das tecnologias foi realizada, avaliando sua eficiência, considerando as concentrações, afluentes e efluentes de todos os constituintes, assim como as respectivas eficiências de remoção. As análises das concentrações do esgoto

bruto foram efetuadas para verificar se determinados processos de tratamento estariam associados aos sistemas prisionais em estudo, que geram esgotos com concentrações diferenciadas. As modalidades foram analisadas de forma comparativa, buscando a identificação de sistemas que apresentassem melhor desempenho. Para isso, os resultados de concentrações, efluentes e eficiência de remoção dos constituintes foram comparados com dados de desempenho (Tabela 8) considerados usuais para as diversas tecnologias de tratamento, conforme literatura especializada e também com as normas de lançamento da Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), que complementa e altera a Resolução n.º 357/2005; COPAM-CERH/MG n.º 8, de 21 de novembro de 2022; e Resolução n.º 54, de 28 de novembro de 2005 (MINAS GERAIS, 2022).

**Tabela 8** - Parâmetros e faixa aceitável COPAM-CERH/MG N° 08/ 2022

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor ou Faixa de referência</b>
pH	5,0 a 9,0
Materiais Sedimentáveis	Até 1 mL/L (cone Imhoff, 1 hora) Virtualmente ausentes
DBO 5 dias a 20°C	Até 60 mg/L Ou tratamento com eficiência de redução de DBO 5 dias a 20°C de no mínimo 60% e média anual $\geq$ 70%
DQO	Até 180 mg/L Ou tratamento com eficiência de redução de DQO de, no mínimo, 55% e média anual $\geq$ 65%
Fósforo (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg/L P
Materiais Flutuantes e Sólidos Grosseiros	Virtualmente ausentes
Nitrogênio Amoniacal Total	Inferior a 20 mg/L
Sólidos em Suspensão Totais	Até 100 mg/L (150 mg/L em lagoas de estabilização)

Fonte: Autora (2024).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Estação de Esgoto APAC Caratinga/MG

A estação de tratamento de esgoto foi concebida simultaneamente à construção da unidade no ano de 2007. Como pode ser observado na Figura 264, o sistema está alojado em uma estrutura de alvenaria, com telhado de zinco, localizada próximo à entrada da unidade. Compreende diversos componentes, tais como gradeamento, caixa de areia, tanques de fibra de vidro, reator UABS, filtro biológico, filtro de gás e tanque clorador. O efluente tratado é descarregado no córrego dos Bias como destino final. A unidade recebe abastecimento de água por meio de um poço artesiano próprio da unidade.

**Figura 24** - Estação de Tratamento de Esgoto APAC Caratinga, 2023



Fonte: Autora (2024).

A pesquisa teve início em resposta à solicitação da gerente-geral da APAC, que buscava assistência para elaborar uma resposta a uma denúncia do Ministério Público. A denúncia destaca que a APAC estava despejando esgoto sem tratamento no córrego dos Bias, apontando que a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) não funcionava adequadamente para garantir os parâmetros exigidos pela norma.

Em continuidade, foi realizada uma visita técnica no dia quinze de dezembro de dois mil e vinte dois, durante a qual ocorreu uma inspeção na rede hidrossanitária e nos ambientes que contribuem para a caracterização do efluente. Foi coletada e analisada a primeira amostra do efluente para avaliar a eficiência do sistema. Além disso, foi conduzido um treinamento com os coordenadores das oficinas para instruí-los sobre o funcionamento do

sistema, os procedimentos de limpeza do gradeamento e da caixa de areia e a utilização das pastilhas de cloro no tanque clorador.

Com base no levantamento e nos resultados da primeira análise, foi elaborado um *checklist* (ANEXO II), para aprimoramento e manutenção do sistema, abrangendo atividades como análises do efluente, remoção de lodo nos tanques UASB e filtro biológico, e limpeza do clorador. Concomitantemente, a Comarca de Caratinga lançou um edital para alocação de recursos financeiros, oportunidade na qual um projeto foi redigido pela mestrandia com o objetivo de obter financiamento para melhorias e adequações do saneamento básico na unidade. Após a aprovação do edital, foi contratado um laboratório para executar análises das amostras, e uma empresa para realizar a remoção do lodo dos tanques e a limpeza do clorador.

Para assegurar um funcionamento contínuo com qualidade, foi ministrada uma palestra de educação ambiental em conjunto com o curso de diagnóstico de nascentes e a relevância do saneamento básico, abordando pontos importantes sobre a coleta de óleo usado na cozinha e a manutenção da rede livre de resíduos como papel e plástico.

Alguns problemas construtivos foram observados: a canalização do gás não está conectada ao tanque de filtro biológico, e o tanque de filtro de gás encontra-se vazio, quando deveria estar preenchido com carvão ativado, conforme especificado pelo fabricante. A canalização de gás em uma ETE serve para capturar e transportar o biogás gerado durante o processo de tratamento anaeróbico dos resíduos orgânicos. Esse biogás, composto principalmente por metano, pode ser utilizado como fonte de energia renovável para geração de eletricidade, aquecimento ou até mesmo como combustível em veículos. Assim, a canalização de gás contribui para a sustentabilidade da ETE ao aproveitar um subproduto do tratamento de esgoto e reduzir a emissão de gases de efeito estufa. O filtro com o carvão ativado reduzirá a emissão de odores provenientes do tratamento.

Embora não seja um erro construtivo, a ausência de torneiras de verificação de lodo nos tanques pode dificultar a manutenção, uma vez que todas as intervenções devem ser realizadas pela parte superior deles. Após a saída do clorador, uma caixa de concreto foi construída, apresentando dificuldades significativas de limpeza e acesso ao tubo de destino final. A construção dessa caixa tinha como objetivo proporcionar o declive necessário até o curso d'água. No entanto, resultou em outras complicações operacionais.

No decorrer do estudo, foi constatado que algumas canalizações de água pluvial estão conectadas à rede de esgoto, o que pode resultar em uma sobrecarga no sistema. Tal

situação pode acarretar problemas de operação e eficiência devido ao elevado volume de água, juntamente com a presença excessiva de materiais particulados, como terra e areia. Apenas uma entrada permanece sem solução devido à complexidade da obra de realinhamento da rede, uma vez que esta passa sob o pátio central. Está sendo considerada a possibilidade de desviar a tubulação no início do percurso, porém ainda não foi identificada uma solução viável.

De acordo com o diálogo realizado *in loco* com a direção da APAC, o propósito do reúso do efluente na instituição será para irrigar o jardim e realizar limpeza da área externa. Também foi sugerido pela autora a proposta de construção de um viveiro de mudas de plantas nativas para o reflorestamento próximo às unidades prisionais, considerando que a maioria delas está situada em áreas rurais, muitas em Áreas de Preservação Permanente (APP), como é o caso do presídio e da APAC de Caratinga. A direção da unidade manifestou grande interesse nesse projeto, uma vez que há espaço disponível para sua implementação.

Na Tabela 9, são apresentadas as estatísticas descritivas dos diferentes parâmetros analisados, podendo-se observar que os valores de DBO efluente em uma das análises estão acima do solicitado pela legislação. Já os valores de pH do efluente estão dentro do exigido pela legislação.

Von Sperling (1998) investigou algumas tecnologias de tratamento de esgotos potencialmente aplicáveis, considerando a sua capacidade de remover os principais poluentes incluídos na legislação brasileira. Ele concluiu que uma ampla gama de tecnologias de tratamento utilizadas no país não é capaz de garantir o atendimento aos padrões do corpo d'água vigentes.

Vaughan e Russel (1983), nos Estados Unidos, alertavam para as dificuldades do monitoramento ambiental para verificação do atendimento aos padrões de lançamento de efluentes. Alguns problemas complicadores foram discutidos, tais como: a definição correta de um padrão de lançamento, a medição dos benefícios da redução da emissão e a possibilidade de o poluidor tentar burlar a legislação ou apostar no fato de não ser flagrado em falta. Um esquema de controle estatístico de qualidade bastante complexo foi sugerido, considerando-se a minimização de custos e danos ocasionados por violações dos padrões.

Analisando a Tabela 9, percebe-se que vários parâmetros, como DBO, DQO e coliformes, ficaram acima do permitido pela legislação, realidade apresentada por outros autores que analisaram ETEs no Brasil, como Possetti *et al.* (2019); Chernicharo *et al.* (2018), Jordão e Pessoa (2017), Chernicharo *et al.* (2015); e Oliveira e Von Sperling (2005). Uma

pesquisa foi desenvolvida na Estação de Tratamento de Esgoto UASB em James Town, Accra, que é usada para tratamento de esgoto doméstico. Para obter maior eficiência de remoção, filtros de gotejamento, tanques de sedimentação e outras unidades de tratamento foram utilizados como pós-tratamento. Este estudo analisou as características físicas, químicas e parâmetros biológicos do afluente (esgoto bruto) e também do efluente. Os resultados indicaram que as eficiências totais de remoção foram 94,4%, 98,1%, 68,8%, 17,4%, 78,3% e 99,97% para DQO, DBO, TS, TKN, PO<sub>4</sub>-P e coliformes fecais, respectivamente. O desempenho geral da planta foi satisfatório. O estudo revelou, ainda, que a Turbidez, Amônia-nitrogênio e Nitrato-nitrogênio dos efluentes excederam as diretrizes da EPA, e, além disso, o nitrogênio total e o fósforo-fosfato do efluente final poderiam ser descarregados na Lagoa Korle sem causar eutrofização ou risco para a saúde.

Conforme essa pesquisa, uma ETE que obteve resultados satisfatórios no tratamento, possivelmente, se deve aos pós-tratamentos utilizados.

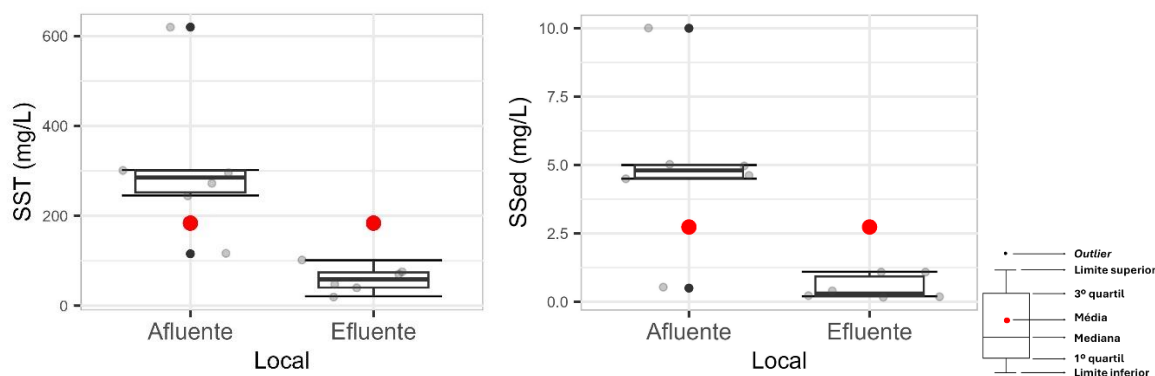
**Tabela 9** - Estatísticas descritivas referentes às diferentes concentrações dos parâmetros analisados na Estação de Tratamento de Esgoto da APAC de Caratinga, MG

	<b>Parâmetros</b>	<b>S.Susp (mg/L)</b>	<b>S.Sed. (mg/L)</b>	<b>PH</b>	<b>Colif. Totais (NMP/100 ml)</b>	<b>E. coli (UFC/100 ml)</b>	<b>Nitrogênio (mg/L)</b>	<b>Fósforo (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
<b>Afluente</b>	<b>Média</b>	308,83	4,93	7,23	5406533,33	1258033,33	13,37	10,29	397,65	805,03
	<b>Mediana</b>	285,15	4,8	7,05	6900000	990000,00	13,2	10,43	390	806,05
	<b>Desv. Pad</b>	167,14	3,02	0,8	2313668,61	980387,89	0,77	1,67	67,49	146,3
	<b>Máximo</b>	620	10	8,56	6900000	2419600,00	14,6	11,9	481	1015
	<b>Mínimo</b>	115,5	0,5	6,13	2419600	69000,00	12,6	8,18	305	572,45
<b>Efluente</b>	<b>Média</b>	58,87	0,53	6,79	1013700	902533,33	8,64	7,53	152,18	255,5
	<b>Mediana</b>	58,5	0,3	6,84	535000	239500	8,55	7,59	179,33	245,5
	<b>Desv. Pad</b>	28,9	0,45	0,47	1107746,47	1183139,54	1,73	0,41	71,09	160,05
	<b>Máximo</b>	101,2	1,1	7,45	2419600	2419600	11,5	7,9	230,51	532,05
	<b>Mínimo</b>	21	0,2	6	53000	48000	6,1	6,8	56,88	54,85

Fonte: Autora (2024).

Na Figura 25, são apresentados os dados de sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis do afluente e efluente. Houve redução em ambas as séries de sólidos, ficando evidente a redução de sólidos sedimentáveis, com a média e a mediana aproximando-se de zero.

**Figura 25** - Concentrações média, mediana e desvio padrão de sólidos suspensos e sedimentáveis (mg/l) de seis amostras do Sistema Prisional APAC em Caratinga/MG

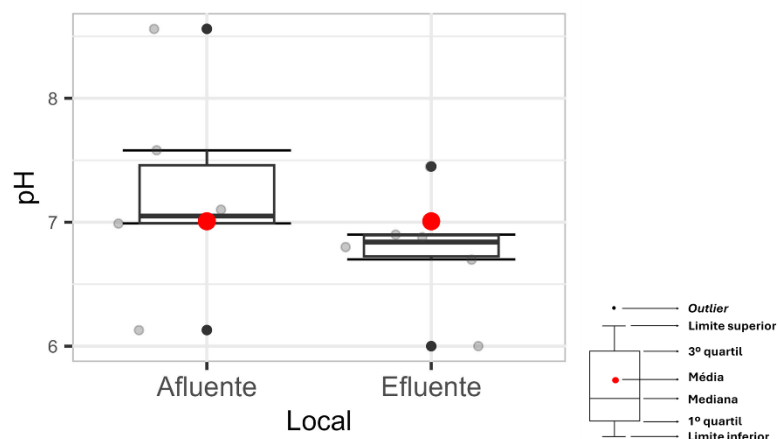


Fonte: Autora (2024).

O pH apresentado na Figura 26 mostra que o tratamento foi eficiente, com efluente aproximando-se do pH 7,00. O pH em processos biológicos e químicos deve ser bem controlado, devido ao seu efeito, que se manifesta de duas formas principais: diretamente, afetando, por exemplo, a atividade de enzimas, ou indiretamente, interferindo na toxicidade de um número de compostos. Os microrganismos produtores de metano têm um crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4 (Lettinga, Hulshof e Zeeman, 1996; Chernicharo, 2007). Devido à necessidade deste controle para o bom funcionamento do sistema, é um parâmetro que, normalmente, atende ao exigido na legislação.

O controle deste parâmetro deve ser feito rigorosamente, pois é afetado por ácidos orgânicos e pelo dióxido de carbono das reações de desequilíbrio. A condição de pH influencia o desenvolvimento do processo, ou seja, se o pH cai drasticamente, significa que os ácidos formados não estão sendo neutralizados, pela ausência de alcalinidade, ou não estão sendo convertidos em gás metano. Este processo é conhecido como acidificação do reator, levando ao colapso do processo (Dos Santos, 2007). Neste caso, o reator, após o processo de acidificação, só funcionará novamente após a adição de alcalinidade externa (Van Haandel e Lettinga, 1994).

**Figura 26** - Avaliação do pH das seis amostras do Sistema Prisional APAC em Caratinga, MG

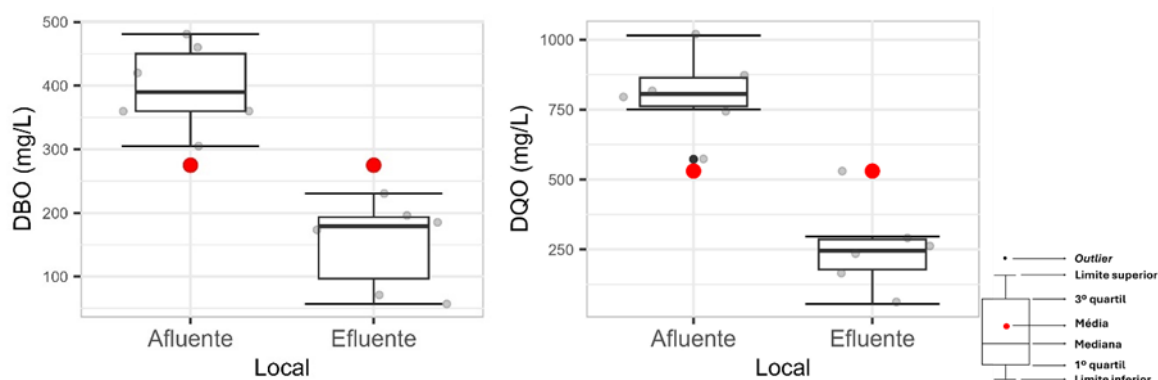


Fonte: Autora (2024).

A DBO é um dos parâmetros que têm o seu limite em 60 mg/l determinado pela legislação. No efluente, sua média e mediana se aproximam deste valor exigido pela legislação (Figura 27). A pesquisa de Gonçalves, Araújo e Cherincharo (2015), que buscou avaliar a eficiência e realizar o acompanhamento operacional de uma estação compacta de tratamento de esgoto composta por reator *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), seguido de Filtro Aerado Submerso (FAS), mostrou um sistema bastante eficiente, principalmente em relação às remoções de DBO e DQO, com valores médios acima dos usuais para esse tipo de tratamento (no mínimo 91 e 85% para DBO e DQO, respectivamente).

No estudo de Ribeiro e Silva (2018), analisou-se o desempenho operacional de dez reatores anaeróbios UASB, seguidos ou não de pós-tratamento, localizados na bacia hidrográfica do rio das Velhas, operando em escala real. Em sete das dez estações de tratamento de esgoto avaliadas (70% dos sistemas), observaram-se desempenhos inferiores ao esperado para as tecnologias empregadas, sendo os problemas operacionais e de projetos os principais fatores responsáveis pelo comportamento das estações analisadas. Comparando-se às faixas típicas para DBO (Von Sperling, 2014), as concentrações medianas efluentes ultrapassaram o valor máximo em três ETEs. Em relação à DQO, apenas quatro ETEs apresentaram concentrações na faixa típica. Nas estações de tecnologia UASB, seguido de flotação e de UASB seguido de filtro biológico percolador, o percentil 10% ultrapassou o valor máximo da faixa de concentrações típicas para tais tecnologias.

**Figura 27** - Concentrações média, mediana e desvio padrão DBO e DQO das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Caratinga, MG

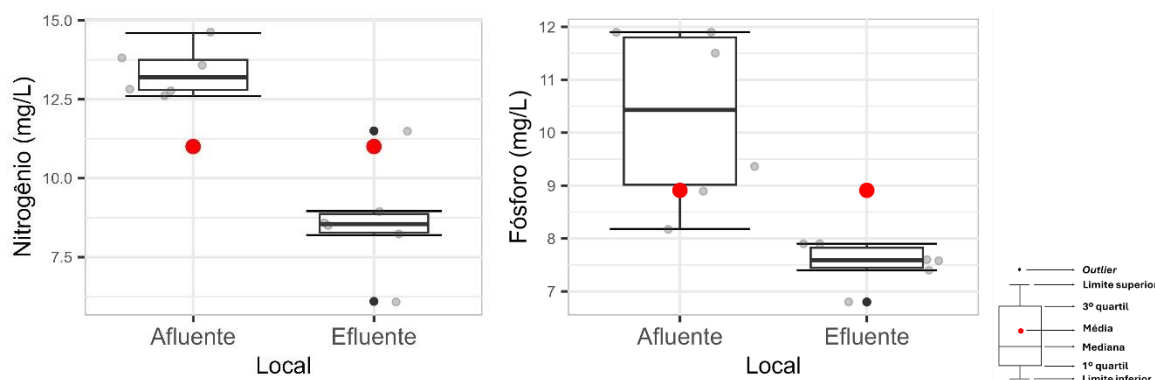


Fonte: Autora (2024).

Na Figura 28, pode-se observar que a diferença entre afluente e efluente, referente aos teores de nitrogênio e fósforo, foi muito pequena, possivelmente devido ao baixo teor na entrada no sistema, já atendendo à legislação. Conforme estudo de (Chernicharo 2007), o nitrogênio é o nutriente mais requerido pelos microrganismos nos tratamentos biológicos. Em se tratando de sistemas anaeróbios, o nitrogênio, na forma nitrito e nitrato, não se encontra disponível para o crescimento bacteriano, uma vez que são reduzidos na forma de nitrogênio gasoso e liberado na atmosfera. Já o nitrogênio na forma de amônia é a porção orgânica, liberada durante a degradação, sendo as principais fontes de nitrogênio utilizadas pelos microrganismos.

Considerando-se as condições operacionais impostas para a operação da etapa anaeróbia, a assimilação e a amonificação são os processos metabólicos de maior relevância associados ao ciclo do nitrogênio. Neste caso, as transformações de compostos nitrogenados praticamente não resultam em remoção de N-amoniaco ou nitrogênio, sendo este um aspecto inerente ao processo de digestão anaeróbia, e não propriamente um problema originado em definições de projeto, construção ou operação. Também a remoção de fósforo (P) em reatores anaeróbios é bastante restrita, sendo uma limitação inerente ao processo de digestão anaeróbia (Almeida et al., 2018).

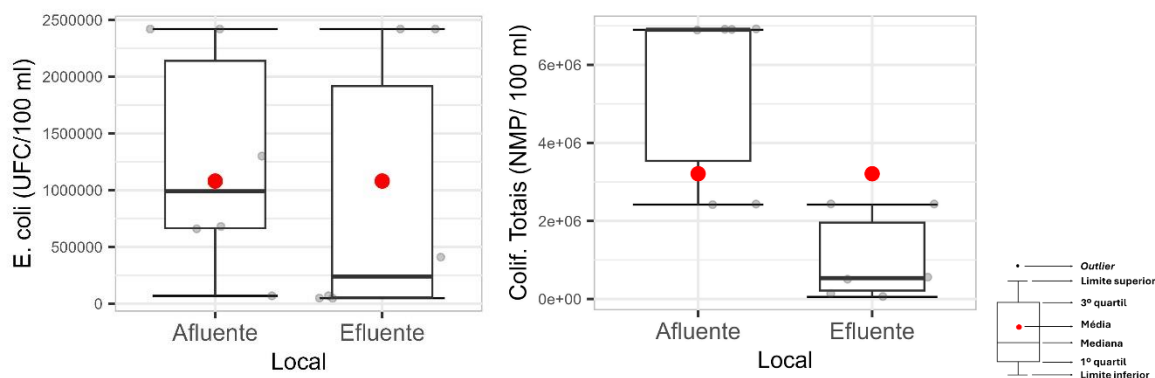
**Figura 28** - Concentrações média, mediana e desvio padrão de Nitrogênio e Fósforo total das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC de Caratinga, MG



Fonte: Autora (2024).

Pode-se observar, na Figura 29, que a remoção de coliformes e *E. coli* não foi tão eficiente. Dados próximos a este valor foram encontrados no estudo de Gobbi (2010) em relação ao monitoramento do padrão bacteriológico através dos coliformes termotolerantes. O esgoto bruto apresentou valor médio de 1,7.107 NMP.100 mL<sup>-1</sup>, e os efluentes dos sistemas UASB e UCT, concentração média de 2,1.106 NMP.100 mL<sup>-1</sup> e 2,6.104 NMP.100 mL<sup>-1</sup>, respectivamente, demonstrando uma redução aproximada da ordem 1 log e 3 log de bactérias do grupo coliformes. Nesse trabalho conduzido por Rolim *et al.* (2016), houve um decréscimo de aproximadamente 85% no reator UASB, valor próximo ao registrado por Van Haandel e Lettinga (1994), 80% em monitoramento realizado por 30 semanas em reatores UASB, e 99,9%, no sistema UCT. A maior remoção no sistema de lodo ativado pode estar relacionada aos mecanismos de aeração e sedimentação do lodo, em que ocorre adsorção dos microrganismos aos flocos.

**Figura 29** - Concentrações média, mediana e desvio padrão *E. coli* e coliformes termotolerantes das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Caratinga, MG.



Fonte: Autora (2024).

Observa-se a redução dos principais parâmetros avaliados na Tabela 10, sendo que, muitos destes, conforme a época da coleta, ficaram abaixo da descrição na literatura. Os reatores *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), utilizados nesta ETE, são de grande atratividade, especialmente em regiões de clima quente, pelo baixo custo, simplicidade operacional, baixo consumo de energia, recuperação de energia na forma de biogás e pela pouca produção de lodo e já digerido (Van Haandel; Lettinga, 1994; Von Sperling; Oliveira, 2010; Khan *et al.*, 2011). Nessas unidades, a eficiência de remoção do material orgânico e dos sólidos em suspensão é elevada em um curto período (Van Haandel; Lettinga, 1994; Chernicharo, 2007; Khan *et al.*, 2011). Contudo, a limitação desse reator está na eficiência de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) de esgoto sanitário, que, raramente, ultrapassa 70%, e o efluente contém, além de fração remanescente de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal e sulfeto (Chernicharo, 2007; Von Sperling; Oliveira, 2010).

**Tabela 10** - Percentual de redução dos parâmetros avaliados da ETE APAC Caratinga

	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>Colif. Totais</b>	<b>E. coli</b>	<b>Fósforo</b>	<b>Nitrogênio</b>	<b>PH</b>	<b>S.Sed</b>	<b>SST</b>
<b>Un. Medida</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>NMP/100 mL</b>	<b>NMP/100 mL</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>-</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
<b>VMP (COPAM 08/22)</b>	<b>60</b>	<b>180</b>	<b>2.500</b>	<b>2.500</b>	<b>&lt;0,050</b>	<b>&lt;20</b>	<b>6 - 9</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Amostras</b> <b>1</b>	76,72%	84,33%	-	-	15,60%	35,07%	19,63%	96,00%	93,87%
<b>2</b>	87,64%	90,42%	-	-	7,09%	52,34%	1,72%	96,00%	92,33%
<b>3</b>	63,94%	66,03%	98,26%	94,69%	23,60%	15,44%	2,12%	60,00%	84,11%
<b>4</b>	35,93%	34,81%	91,74%	28,99%	36,30%	41,10%	1,43%	75,56%	34,20%
<b>5</b>	55,90%	66,36%	99,23%	92,94%	31,30%	32,54%	4,23%	78,00%	65,88%
<b>6</b>	45,56%	70,34%	92,75%	37,88%	37,82%	35,94%	4,15%	95,65%	71,86%

Fonte: Autora (2024).

Os resultados apresentados demonstram eficiência conforme os valores estipulados na CERH/MG n.º 8/2022, em todos os parâmetros da primeira e da segunda análises. Na terceira e na quarta análises, observa-se uma variação com redução na eficiência nos parâmetros DBO, DQO, SS e SD; na terceira análise, isso ocorreu devido a um entupimento que houve na estação, em razão da alta taxa de lodo que se encontrava no tanque de filtro biológico que floculou e passou para o clorador, causando entupimento e retornando o efluente da saída do caps de inspeção e limpeza. Na quarta análise, pelos resultados, pode-se afirmar que o sistema ainda estava se estabilizando, pois, como dito anteriormente, os tanques foram instalados sem as torneiras de inspeção de lodo. Sendo assim, a retirada é efetuada pelo caps superior com caminhão limpa-fossa; e a retirada do excesso foi realizada conforme instruções da empresa fabricante da ETE - 1/3 do terço inferior e sucção total do clorador.

A quinta análise foi conduzida 34 dias após a quarta, revelando melhoria na eficácia geral. No entanto, o parâmetro de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) permaneceu aquém dos requisitos normativos. Esta discrepância pode ser atribuída à interferência de uma tubulação da rede pluvial, proveniente do telhado do bloco fechado II, encontrada um dia após a coleta. Conforme discutido por Faria *et al.* (2019), é fundamental que as redes do sistema de tratamento de esgoto estejam livres de quaisquer interferências das redes pluviais, uma vez que a presença excessiva de água e materiais carreados pode não apenas comprometer a eficiência do sistema, mas também danificar os equipamentos.

As análises de nitrogênio e fósforo também estão em conformidade com os limites estabelecidos pela nova exigência da COPAM-CERH/MG n.º 8/2022, que estipula um valor máximo de 20 mg/L. Essa redução é alcançada, principalmente, devido à presença do tanque de filtro biológico, que sucede o tanque UASB. Como se sabe, o sistema UASB promove a nitrificação, o que pode aumentar os níveis de nitrogênio total. Isso evidencia a importância de sistemas integrados para alcançar os níveis desejados de tratamento. De acordo com Chernicharo (1997), os sistemas anaeróbios devem ser considerados como a primeira etapa do tratamento de efluentes, uma vez que não são capazes de produzir efluentes finais com elevado padrão de qualidade.

No caso de Coliformes e *E.coli*, os valores são superiores aos permitidos na CERH-MG n.º 65/ 2020 para reutilização do efluente para uso amplo - lavagem de pátios, ruas e avenidas, estacionamentos ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias)  $\leq 1 \times 10^3$ . Mesmo a ETE tendo um sistema terciário, no caso do clorador, nas duas primeiras análises, os valores não foram

apresentados por estarem acima do valor máximo (VPM) >24960000, tanto na entrada quanto na saída. Não sendo possível quantificar, essa ineficiência pode ter ocorrido por dois motivos: o uso inadequado das pastilhas e o carreamento de lodo proveniente do filtro biológico.

Após as manutenções necessárias, a partir da terceira análise, foi possível identificar uma redução significativa, mas ainda fora dos valores solicitados para reúso estabelecidos na DN CERH-MG n.º 65/2020 (Tabela 11). A avaliação do cumprimento dos padrões de lançamento é, tradicionalmente, realizada por meio da mensuração de parâmetros como concentração de DBO, DQO, sólidos suspensos, nitrogênio total e fósforo total. Contudo, algumas estações com sistemas mais completos, contemplando etapa terciária, têm alcançando níveis de exigência que abrangem a remoção adicional de microrganismos patogênicos, controle de odores, assim como a monitorização de uma ampla gama de substâncias, incluindo antibióticos de origem veterinária e humana, medicamentos, entre outros.

**Tabela 11** - Valores de padrão de reúso conforme DN CERH-MG n.º 65

	<b>Padrões de reúso (Coliformes - Ct/ <i>E. coli</i>)</b>	<b>Modalidades de reúso</b>	<b>Aplicabilidade e aspectos relevantes</b>
Agrossilvipastoril amplo	104 Org·100 mL-1	Fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão	Voltado para fins agrossilvipastoris <sup>2</sup> , urbanos, ambientais e industriais; padrões mais flexíveis; objetiva a aplicação e o incentivo da prática; padrões para reúso em fertirrigação; apresenta responsabilidades para o produtor, distribuidor e usuário da água de reúso.
Agrossilvipastoril limitado	106 Org·100 mL-1	Fertirrigação superficial ou localizada, evitando contato da água de reúso com o produto alimentício	
Urbano amplo	103 Org·100 mL-1	Lavagem de pátios, logradouros ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; descargas sanitárias.	
Urbano limitado (exceto desobstrução de galerias)	104 Org·100 mL-1	Lavagem de veículos especiais e externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias.	
Desobstrução de galerias	107 Org·100 mL-1	-	

Fonte: Adaptado, CERH N°65 (2020).

Esses valores são estabelecidos como critérios microbiológicos para garantir a segurança da água utilizada para consumo humano e outros fins urbanos. Para garantir os parâmetros de qualidade estabelecidos pela norma, uma das opções objetivando o reúso para lavagem da área externa, seria a desinfecção avançada, que envolve o uso de processos que vão além da desinfecção convencional, como cloração ou ozonização, para garantir a remoção eficaz de microrganismos patogênicos. Alguns métodos comuns incluem a radiação

ultravioleta, a filtração por membranas, a cloração combinada com a filtração em carvão ativado granular ou sistemas de tratamento do tipo zona de raízes, conhecidos também como *Wetlands* construídos. Esses métodos são capazes de reter e/ou inativar eficientemente os microrganismos presentes na água, garantindo a conformidade com os padrões de qualidade exigidos para o uso urbano (Teixeira *et al.*, 2021).

Levando em consideração fatores financeiros e disposição de área, a *Wetland* construída, ou jardins filtrantes, apresenta-se como uma das melhores opções a serem construídas na unidade. No trabalho de Silva, Ramos e Bernardes (2020), foi apresentada a construção de *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical (WCFV) com meio suporte de solo, misturado com areia, na remoção de coliformes termotolerantes CTer, construídos com dois sistemas, sendo o primeiro monocultura: Latossolo vermelho-amarelo plantado com a cultura do arroz, operado com diferente taxa de aplicação de hidráulica de esgoto de 4 cm/d, 8 cm/d e 15 cm/d; e o segundo, de policultura: Latossolo amarelo plantado com as culturas do arroz, do feijão e do milho, operado com TAH de 2,4 cm/d e 4,7 cm/d. As eficiências de remoção de CTer variaram, respectivamente, de 87,8% a 100%, e 97,8% a 100% em ambos os sistemas. Independentemente do tipo de solo, foi observado que as eficiências de remoção reduziram e se tornaram aproximadamente constantes, sendo maiores quando se utilizou maior TAH.

Em outra pesquisa, apontou-se que o tratamento do tipo zona de raízes mostrou-se bastante eficiente na remoção de coliformes, atingindo níveis próximos à totalidade, utilizando substratos de espécies vegetais, nativas ou naturalizadas da região de Goiânia-GO na remoção de coliformes do esgoto, num sistema de tratamento do tipo zona de raízes com fluxo subsuperficial descendente, precedido de decantação (Almeida;Almeida, 2024).

## **6.2 Estação de tratamento de esgoto do Presídio de Caratinga/MG**

A estação foi construída pelo DEOP na mesma época de construção do presídio, em 2008. É composta por tanques de fibra de vidro, calha parshall, reator UASB e filtro biológico, leito de secagem do lodo e sistema de queima de gás. A disposição final é no córrego dos Bias (Figura 30).

**Figura 30** - Estação de Tratamento de Esgoto do Presídio Caratinga



Fonte: Autora (2024).

A pesquisa no presídio teve início em dois de agosto de dois mil e vinte e três. No primeiro dia, foi realizado o levantamento de toda a rede hidrossanitária da unidade para identificar as redes que contribuem com efluente para a estação. A ETE fica a 100 metros da unidade, sendo que, devido ao matagal que circundava a área, não foi possível acessar a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Assim, foi solicitada a capina, que foi executada por dois detentos. No dia seguinte, após a limpeza, constatou-se que a ETE estava completamente inoperante; o esgoto transbordava por cima do reator UASB e inundava toda a área ao redor. Consequentemente, não foi possível realizar qualquer coleta para análise.

Diante da situação constatada e considerando a inoperância da estação de tratamento de esgoto, foi conduzido um diagnóstico para avaliar a necessidade de manutenção ou aquisição de uma nova estação. É importante destacar que o Estado tem buscado uma empresa para realizar esse diagnóstico há meses, porém, sem sucesso na contratação. Portanto, este diagnóstico contribuirá significativamente para a resolução do problema enfrentado pelo Estado ao longo dos anos.

Alguns problemas foram identificados no diagnóstico, tais como a ausência de um gradeamento minimamente eficiente para o sistema, a localização da estação em uma área ligeiramente afastada da unidade, o que dificulta a limpeza do local e do gradeamento, e a capacidade insuficiente do leito de secagem do lodo para a disposição adequada do resíduo.

Conforme apresentado na pesquisa de Oliveira *et al.* (2017), os problemas das estações de tratamento de esgoto nas unidades prisionais vão além da concepção dos projetos; estendem-se a problemas construtivos e falta de operação e manutenção adequadas. Todos esses fatores impossibilitam um tratamento eficiente e, conseqüentemente, inviabilizam o reúso do efluente. Cabe ressaltar que tais situações persistem em se repetir nas recentes unidades inauguradas pelo Estado.

### **6.3 Estação de Esgoto do Presídio “Promotor José Costa” em Sete Lagoas/MG**

A pesquisa iniciou após a consolidação do termo de parceria entre SEJUSP e o IFMG. O projeto original da unidade previa a construção de uma estação de tratamento de esgoto, que deveria ser concluída e entregue juntamente com a unidade em pleno funcionamento. No entanto, de acordo com registros de ata, a ETE nunca foi construída, e as justificativas apresentadas baseiam-se em erros de projeto. A unidade foi inaugurada utilizando-se fossa séptica, que, mais tarde, foi desativada por motivos de saturação.

Diante da constatação da inexistência da ETE, os estudos foram concluídos, conforme indicado no parecer técnico no ANEXO I, que oferece sugestões para aprimorar a infraestrutura hidrossanitária da unidade. É importante destacar que, desde 2007, a unidade acreditava possuir uma estação de tratamento, sendo somente esclarecido e identificado o sistema de esgoto por meio do presente trabalho.

A estação elevatória é constituída por um gradeamento inicial, duas gaiolas internas e uma bomba de recalque que transfere o efluente para a rede pública. A manutenção e a operação são realizadas pelo SAAE sem uma rotina predeterminada, o que, frequentemente, resulta em obstruções no gradeamento e vazamentos de esgoto para o solo. As gaiolas encontram-se completamente colmatadas, impossibilitando a filtração de sólidos menores que passam pelo gradeamento, como plásticos, embalagens de medicamentos e pontas de cigarro. Adicionalmente, o parecer identifica uma questão de segurança na área circundante à estação, a qual foi protegida com placas de ardósia após um incidente em que um animal caiu dentro das instalações.

Para a construção de uma estação elevatória de esgoto, é essencial observar pontos

como: localização adequada, dimensionamento correto dos equipamentos, projeto elétrico seguro, sistema de ventilação eficiente, estrutura civil robusta e segura, sistema de controle e automação confiável, proteção contra vazamentos, conformidades ambientais, manutenção preventiva e regular. No caso da elevatória (Figura 24) construída no presídio “Promotor José Costa”, todos os pontos estão aquém do desejado (NBR12.208,2020).

No parecer técnico, também é indicado que, em virtude da particularidade da unidade prisional, a instalação de um gradeamento mais eficiente, seguido por uma caixa de areia, representará uma adaptação de grande relevância para a retenção de sólidos. Tal medida é justificada pela recorrência dos problemas de obstrução e desativação da bomba, os quais são atribuídos à presença desses sólidos. Além disso, é necessária a implementação de uma estrutura de proteção no entorno e cobertura para mitigar a contribuição com águas pluviais.

É importante ressaltar que um sistema de tratamento de esgoto eficaz, resultante de um projeto bem elaborado, não apenas melhora a qualidade da água que é devolvida ao meio ambiente, mas também pode gerar subprodutos valiosos, como o biogás e o lodo, que podem ser aproveitados de forma sustentável. Assim, investir em um projeto de ETE eficiente e apropriado à realidade local é fundamental para garantir a gestão adequada do efluente e promover a sustentabilidade ambiental e social.

Conforme apresentado na pesquisa de Oliveira e Sperling (2005), um pré-projeto bem elaborado e fiel à realidade do local, acompanhado da supervisão na execução, é uma etapa fundamental para o bom desempenho da ETE. Além disso, garante que a estrutura seja dimensionada corretamente, utilizando materiais adequados e sendo executado com precisão, atendendo aos padrões de qualidade e segurança. Isso não só assegura o tratamento eficaz dos efluentes, mas também promove a sustentabilidade ambiental e protege a saúde pública.

**Figura 31** - Estação elevatória “Presídio Promotor José Costa”, 2022



Fonte: Autora (2024).

#### **6.4 Estação de Esgoto APAC em Santa Luzia/MG**

A ETE foi construída na mesma época da unidade, em 2006, no terreno ao lado pertencente à APAC. É composta por um primeiro gradeamento e uma elevatória instalados dentro da unidade, e por mais um gradeamento, seguido do desarenador. O tanque do reator UASB é de ferrocimento, um leito de secagem e queimador de gás. A disposição final do efluente ocorre no solo, com escoamento superficial por duas rampas de 27 m x 37 m, com inclinação de 10% cada, que deságuam no córrego Candango (Figura 32).

**Figura 32** - Estação de Tratamento de Esgoto APAC em Santa Luzia



Fonte: Autora (2024).

A pesquisa na APAC, em Santa Luzia, teve início mediante uma solicitação da mestranda, que expressou interesse em conduzir seus estudos nesta unidade. A escolha desta unidade se deu pela sua proximidade com o *campus* Santa Luzia, onde está localizado o laboratório de análises utilizado para a avaliação de algumas amostras.

A primeira visita foi em 20 de janeiro de 2023, para apresentação da proposta de trabalho, com realização de uma vistoria nas instalações e coleta de dados referentes ao consumo de água da unidade. A vistoria na ETE não foi possível, uma vez que a COPASA, atualmente, está com a concessão da estação e, por isso, solicitou que fosse realizada junto ao Setor de Comunicação Externa uma autorização para realização/continuidade da pesquisa.

Após a liberação pela COPASA, em continuidade à vistoria técnica no dia 25 de abril de 2023, foi realizada a segunda visita, na qual se efetuou um levantamento da rede hidrossanitária e na ETE. Não foi realizada coleta, pois a vazão de efluente era insuficiente para o momento. Diante de tal situação, de incompatibilidade entre consumo de água e quantidade de efluente gerado, optou-se por identificar os problemas e, somente depois, partir para as análises.

No dia 09 de maio de 2023, efetuou-se um levantamento da rede de esgoto em toda a unidade, constatando-se que a rede do pavilhão fechado e parte da cozinha não estavam conectadas à rede de esgoto, e sim à rede pluvial. Diante disso, a COPASA realizou a

manutenção, corrigindo este problema. Outra manutenção executada diz respeito à rede de água, na qual foi identificado um vazamento subterrâneo próximo à taça d'água, o qual se mostrou considerável em relação ao consumo da unidade. A COPASA colaborou na identificação e execução da manutenção, resultando na correção do problema.

A primeira coleta foi efetuada em 06 de junho de 2023, juntamente com a requisição para a capina dos canteiros, pois estavam tomados por colônias. Por esse motivo, as rampas não estavam vertendo; assim, a coleta de saída foi realizada após o reator UASB. O técnico da COPASA relatou que, há algum tempo, as rampas apresentavam dificuldade em verter, mesmo após a limpeza dos canteiros. Em resposta a essa situação, foi implementada uma barreira com saco de areia na rampa 2. Essa decisão foi tomada após a rampa 1 ter sido identificada com um defeito construtivo durante um teste conduzido pela COPASA, tornando-a incapaz de receber efluente.

A barreira instalada na rampa 2 foi concebida com o intuito de interromper o fluxo do efluente ao longo dos 27 metros de extensão e, conseqüentemente, reduzir a área de infiltração. O bloqueio, composto por um saco de areia, foi posicionado a dez metros do ponto de entrada. Na segunda visita, no dia 5 de setembro de 2023, o efluente estava vertendo, tornando possível realizar a segunda coleta com ponto de saída após a rampa.

No início de outubro, ocorreu uma invasão na área da ETE, resultando na remoção do bloqueio na rampa. Como consequência, durante a terceira coleta, em 24 de outubro do mesmo ano, a amostragem foi realizada após o reator UASB, uma vez que a rampa não voltou a verter devido à retirada do saco de areia. No mesmo dia, foi realizada nova barreira.

Após a reinstalação da barreira, a quarta coleta foi efetuada, em 11 de dezembro de 2023, seguida pela quinta coleta, em 4 de janeiro de 2024, e pela sexta coleta, em 22 de fevereiro. Em todas essas ocasiões, os pontos de amostragem foram posicionados após a rampa.

Na Tabela 12, são apresentados os dados das estatísticas descritivas dos diferentes parâmetros analisados, podendo-se observar que os valores de média e mediana de todos os parâmetros do efluente estão dentro do exigido pela legislação COPAM-CERH/MG N° 8/ 2022.

**Tabela 12** - Estatística descritiva referente a concentrações dos parâmetros analisados da Estação de Tratamento de Esgoto em Santa Luzia, MG

	<b>Parâmetros</b>	<b>S.Susp (mg/L)</b>	<b>S.Sed. (mg/L)</b>	<b>PH</b>	<b>Colif. Totais (NMP/100 ml)</b>	<b>E. coli (UFC/100 ml)</b>	<b>Nitrogênio (mg/L)</b>	<b>Fósforo (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
<b>Afluente</b>	<b>Média</b>	248,3	4,31	7,01	2275183,33	2232950,00	24,48	8,72	242,71	500,17
	<b>Mediana</b>	222,5	4,05	7,14	2419600	2419600,00	24,5	8,8	256,52	458,5
	<b>Desv. Pad</b>	130,2	4,05	0,7	353747,14	457197,26	7,05	0,7	115,7	289,59
	<b>Máximo</b>	436,8	11,75	7,7	2419600,00	2419600,00	35	9,55	359	876
	<b>Mínimo</b>	107	0,4	6,09	1553100,00	1299700,00	13,6	7,66	105	235
<b>Efluente</b>	<b>Média</b>	42,87	0,13	7,1	653200,17	399070,00	29,12	8,32	39,4	85,82
	<b>Mediana</b>	47	0,1	6,96	299001	300944,00	28,8	8,95	47,5	81,15
	<b>Desv. Pad</b>	24,23	0,05	0,45	702220,55	261396,48	11,1	1,36	19,71	39,67
	<b>Máximo</b>	67,0	0,2	7,99	1986300,00	920800,00	45,3	9,57	56	156
	<b>Mínimo</b>	12,0	0,09	6,78	154436,00	235900,00	14,9	6,3	3	46,6

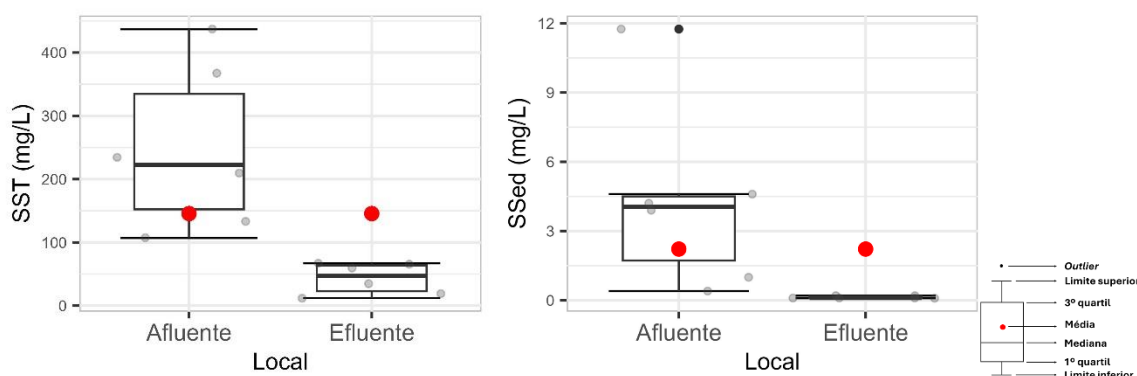
Fonte: Autora (2024).

De acordo com a pesquisa de Oliveira e Sperling (2005), uma ETE bem projetada e operada pode empregar uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos para remover poluentes orgânicos e inorgânicos dos efluentes. Processos como aeração, filtração, sedimentação e tratamento biológico são eficazes na redução da DBO e DQO. Fatores como temperatura, pH, concentração de oxigênio dissolvido e presença de microorganismos benéficos podem influenciar significativamente a eficiência do tratamento biológico, impactando diretamente nos resultados dessas análises.

Os dados referentes aos sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis do afluente e efluente (Figura 33) demonstraram uma redução em ambas as séries de sólidos. Ficou evidente a diminuição dos sólidos sedimentáveis tanto na média quanto na mediana, conforme exigido pelas normas aplicáveis para lançamento, mas fora dos padrões exigidos para reúso.

Diversos estudos e pesquisas têm corroborado a eficácia dos reatores UASB na remoção de sólidos suspensos e sedimentáveis, como no estudo realizado por Chernicharo *et al.* (2018). Cano *et al.* (2020) demonstraram que os reatores UASB foram capazes de remover mais de 80% dos sólidos suspensos e sedimentáveis presentes nos efluentes analisados. Além disso, a pesquisa de Oliveira e Von Sperling (2005) destacou a capacidade dos reatores UASB na redução eficiente de sólidos em diferentes tipos de efluentes industriais e domésticos. Ainda descreveram que o tratamento primário desempenha uma função essencial na diminuição dos sólidos no efluente, facilitando os processos de tratamento subsequentes e assegurando a eficiência geral do sistema. Quando a ETE é monitorada de maneira adequada e regular, o sistema se torna eficaz na redução dos sólidos.

**Figura 33** - Concentrações média, mediana e desvio padrão dos sólidos suspensos e sedimentáveis (mg/L) de 6 amostras do Sistema Prisional APAC em Santa Luzia, MG

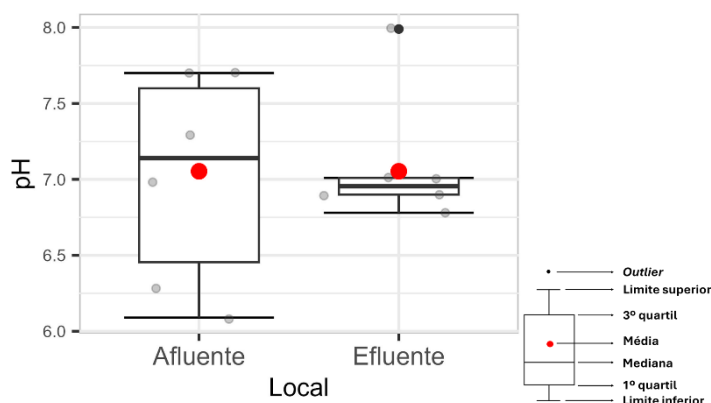


Fonte: Autora (2024).

Os valores de pH observados nas amostragens da ETE APAC em Santa Luzia seguem apresentados na Figura 34. Com base neles, observa-se que o tratamento foi eficiente,

com efluente aproximando-se do pH 7,00, assim como na ETE de Caratinga. O pH tem impacto direto nos ecossistemas aquáticos naturais devido aos seus efeitos na fisiologia de várias espécies. Indiretamente, ele influencia a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados, e pode afetar a solubilidade de nutrientes. Nos processos de tratamento biológico aeróbico, o pH desempenha um papel crucial. Os microrganismos prosperam melhor dentro de uma faixa de pH específica, e a nitrificação, que converte amônia em nitrato, é um processo desejável que consome alcalinidade do meio, resultando na diminuição do pH. Em certas situações, pode ser necessário realizar alcalinização artificial. Além disso, os processos físico-químicos também são sensíveis ao pH (Lettinga, Hulshof e Zeeman, 1996; Chernicharo, 2007).

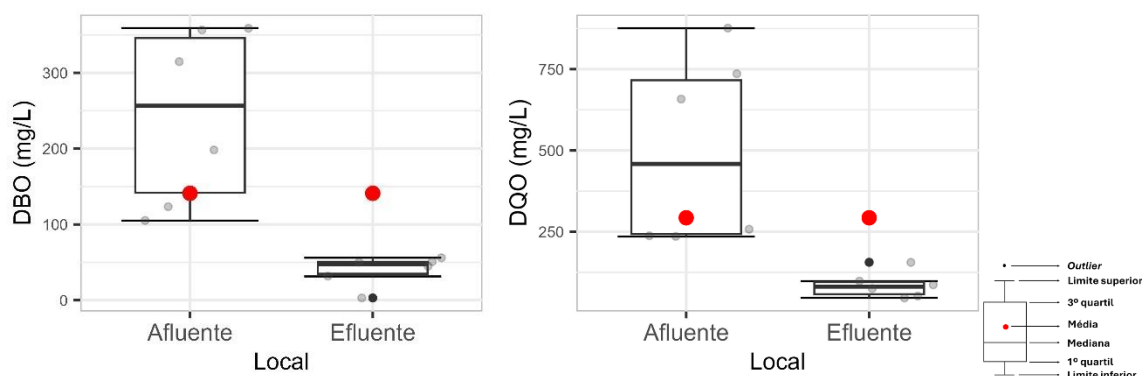
**Figura 34** - Avaliação do pH das seis amostras do Sistema prisional APAC em Santa Luzia, MG



Fonte: Autora (2024).

Na Figura 35, pode-se observar a redução de DBO e DQO, e o mesmo ocorreu nas pesquisas de Ribeiro (2018); Dantas *et al.* (2022). A eficiência dos reatores UASB na redução de DBO e DQO é atribuída à sua operação anaeróbica, na qual microrganismos degradam a matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio. As pesquisas mostraram que os reatores UASB foram capazes de remover até 80-90% da DQO presente nos efluentes tratados. Além disso, outro estudo, conduzido por Almeida *et al.*, demonstrou que os reatores UASB foram eficientes na redução de DBO em efluentes industriais, alcançando remoções superiores a 70%.

**Figura 35** - Concentrações média, mediana e desvio padrão DBO e DQO das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Santa Luzia, MG

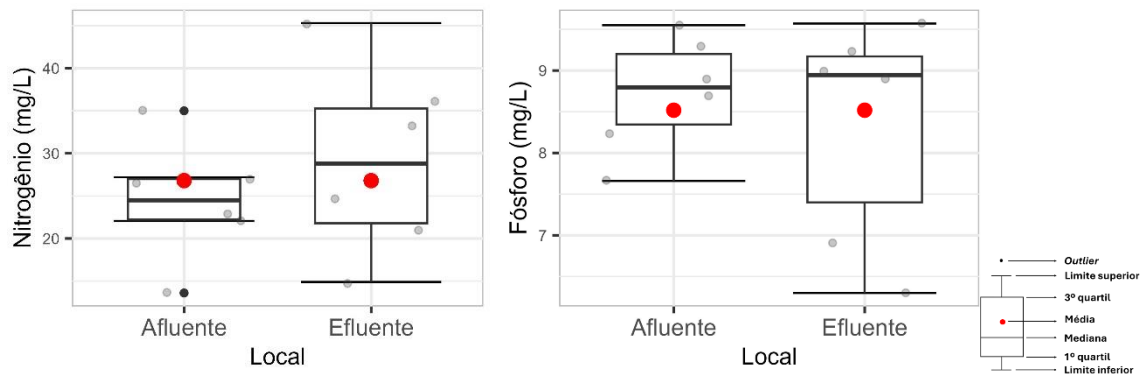


Fonte: Autora (2024).

Na Figura 36, observa-se que a diferença entre afluente e efluente, referente aos teores de nitrogênio e fósforo, foi elevada após o tratamento. Conforme demonstrado por Almeida et al. (2018), o comportamento dos nutrientes em um reator UASB pode variar dependendo das características do efluente alimentado, do desempenho do próprio reator e das condições operacionais. Além disso, a presença de processos de reciclagem de lodo ou tratamentos adicionais pós-UASB pode influenciar significativamente os níveis de nutrientes no efluente final.

Diversas pesquisas científicas têm evidenciado a redução significativa com outras tecnologias conjugadas no pós-tratamento com o reator UASB. Por exemplo, a pesquisa de Chernicharo (2007) pontua a importância de um tratamento conjugado ao UASB para remoção desses nutrientes em específico. Alguns incluem os lodos ativados, em que os percentuais de redução podem variar, mas, geralmente, estão na faixa de 30% a 60%; *Wetlands* construídos de remoção, geralmente, na faixa de 30% a 80%, dependendo do *design* do sistema e das espécies vegetais utilizadas - a troca iônica da remoção de fósforo pode ser bastante alta, muitas vezes, alcançando reduções superiores a 80%.

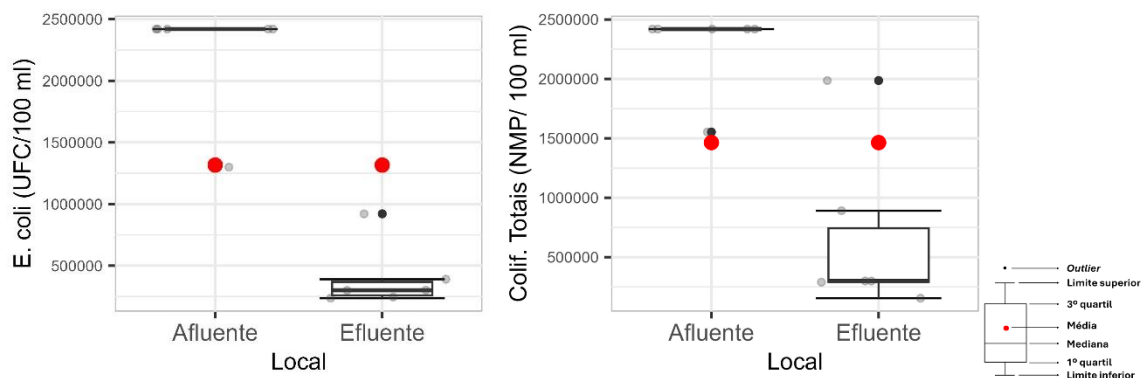
**Figura 36** - Concentrações média, mediana e desvio padrão Nitrogênio e Fósforo total das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Santa Luzia, MG



Fonte: Autora (2024).

Na Figura 37, verifica-se que, na ETE da APAC Santa Luzia, assim como na ETE da APAC de Caratinga, há uma redução satisfatória dos parâmetros Coliformes totais e E.coli em nível de lançamento, mas insatisfatória em nível de reúso.

**Figura 37** - Concentrações média, mediana e desvio padrão E.coli e Coliformes termotolerantes das seis amostras do afluente e efluente do Sistema Prisional APAC em Santa Luzia, MG



Fonte: Autora (2024).

Na Tabela 13, o percentual de redução evidencia eficácia satisfatória em todos os parâmetros da primeira análise, com exceção do nitrogênio e do fósforo, os quais apresentaram valores negativos, indicando que as concentrações de saída foram superiores às de entrada. A justificativa para este fenômeno já foi abordada na análise dos dados do gráfico. Na segunda análise, que foi coletada após as rampas de escoamento, houve uma redução significativa de DQO. Como as rampas estavam sem vegetação e recente da capina, ainda não sabemos ao certo se foi esse o motivo da interferência, uma vez que, na terceira análise, houve um aumento exponencial de todos os parâmetros.

Conforme observado na Tabela 13, a variação dos parâmetros coliformes, *E. coli*, DBO e DQO é notavelmente discrepante. Essa disparidade pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo a presença de uma quantidade significativa de alimentos não consumidos e papel higiênico no efluente da APAC Santa Luzia. Essa acumulação tem levado ao entupimento do reator, exigindo intervenção manual para desobstrução. Em algumas ocasiões, a chegada do técnico da COPASA não ocorre próximo ao horário do entupimento, o que resulta no transbordamento do reator, provocando o escoamento do efluente para o solo. Outro fator que influencia os resultados, de forma geral, é o funcionamento do sistema, que é por batelada, com altos picos pela manhã, almoço, à tarde e dias de lavanderia.

**Tabela 13** - Percentual de redução dos parâmetros avaliados da ETE APAC em Santa Luzia

	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>Colif. Totais</b>	<b>E. coli</b>	<b>Fósforo</b>	<b>Nitrogênio</b>	<b>PH</b>	<b>S.Sed</b>	<b>SST</b>	
<b>Un. Medida</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>NMP/100 mL</b>	<b>NMP/100 mL</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>-</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	
<b>VMP (COPAM 08/22)</b>	<b>60</b>	<b>180</b>	<b>2.500</b>	<b>2.500</b>	<b>&lt;0,050</b>	<b>&lt;20</b>	<b>06/set</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	
<b>Amostras</b>	<b>1</b>	87,62%	90,03%	94,68%	83,88%	-17,36%	-2,86%	5,48%	99,15%	95,67%
	<b>2</b>	42,64%	59,35%	63,45%	29,15%	-16,28%	-105,35%	-11,33%	77,50%	88,79%
	<b>3</b>	93,62%	71,72%	62,02%	89,84%	-6,21%	-25,86%	1,15%	94,87%	68,90%
	<b>4</b>	17,91%	97,14%	33,62%	90,25%	6,81%	-9,56%	-11,62%	90,00%	73,68%
	<b>5</b>	88,03%	87,37%	92,11%	87,52%	25,81%	7,93%	-3,77%	95,65%	71,49%
	<b>6</b>	87,66%	85,79%	89,76%	87,61%	29,21%	9,93%	8,96%	97,62%	83,97%

Fonte: Autora (2024).

Foram identificados alguns pontos de erros construtivos na unidade, destacando-se a inadequação do gradeamento inicial para reter os sólidos, por duas razões principais: a vala é muito estreita para comportar o volume, resultando em um rápido acúmulo de sólidos, que requer limpeza diária e, em algumas situações, levando ao transbordamento. Como mencionado anteriormente, o volume de sólidos no esgoto do sistema prisional é consideravelmente maior e mais diversificado que no esgoto sanitário residencial, tornando necessário um gradeamento mais robusto, capaz de reter sólidos de vários tamanhos, de forma eficiente.

O tanque UASB é de ferrocimento, o qual, como se sabe, é mais suscetível à corrosão e não é um material duradouro. Os registros de verificação do lodo do reator foram construídos abaixo do nível do solo, em uma caixa que não possui escadas para acesso, o que dificulta alcançá-los, não sendo seguro para o operador. Além disso, o leito de secagem do lodo é ao nível do solo, o que impede o descarte dentro do leito, pois o lodo não consegue vencer o desnível de aproximadamente 1,30 m.

A partir do teste realizado com a redução do percurso do efluente, por meio da instalação da barreira de saco de areia, é possível inferir que as rampas apresentam uma extensão excessiva, o que pode ser identificado como um dos principais obstáculos para o escoamento, especialmente considerando a baixa vazão de efluente gerado. Além disso, outro problema identificado nas rampas é a ausência da vegetação prevista no projeto, devido à proliferação de colonhã, conforme relatado pela COPASA. A reposição dessa vegetação não foi realizada, aparentemente, devido ao alto custo associado, embora não tenham sido fornecidos detalhes específicos sobre a espécie em questão.

Em síntese, os dados obtidos nas análises evidenciam que o sistema de tratamento enfrenta desafios significativos, desde a presença excessiva de sólidos no esgoto até problemas estruturais e operacionais. As discrepâncias observadas nos parâmetros de qualidade do efluente, bem como as dificuldades relacionadas à manutenção e operação do sistema, indicam a necessidade de melhorias estruturais e a implementação de soluções que visam garantir a melhoria da eficiência do tratamento. A adequação do gradeamento inicial, o aprimoramento das rampas de escoamento e a reposição da vegetação prevista são medidas essenciais para superar os obstáculos identificados e melhorar o desempenho do sistema. Além disso, a utilização de materiais mais duradouros e a revisão dos procedimentos operacionais podem contribuir significativamente para a sustentabilidade e eficácia do tratamento dos efluentes na unidade.

Diante dos resultados e das análises das estações da APAC em Caratinga e da APAC em Santa Luzia, observa-se a importância da operação e manutenção serem realizadas de forma

adequada. Enquanto a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Santa Luzia possui um sistema menos completo do que em Caratinga, sendo primário e secundário com reator UASB, a eficiência foi melhor, atingindo os níveis desejados pela norma. Por outro lado, na APAC de Caratinga, que possui um sistema composto pelas etapas primário e secundário UASB, seguido de filtro biológico e terciário com clorador, a eficiência não foi tão satisfatória.

Ao comparar o percentual de redução ao longo das seis amostras e a constância em manter os níveis elevados, a ETE de Santa Luzia também apresenta melhor desempenho. Esses valores podem ser atribuídos a vários motivos, sendo o principal a presença de mão de obra qualificada para operação, manutenção e monitoramento. No caso da ETE de Santa Luzia, operada por um técnico treinado e com conhecimento do funcionamento do sistema, ficou claro que, em virtude disso, quando o sistema apresenta alguma falha, a detecção e solução do problema são bem mais rápidas e efetivas, contribuindo para a constância da qualidade e eficiência do sistema.

Já na ETE de Caratinga, a operação é executada pelo supervisor de oficina, junto com o recuperando da unidade, e ambos não possuem conhecimento técnico a respeito da ETE. Outro fator que interfere é a rotatividade de recuperandos; quando o detento pode sair extramuros para trabalhos externos, ele está a três ou quatro meses de terminar o cumprimento de sua pena, o que leva a unidade a designar outro detento para tal tarefa, e o treinamento nem sempre é eficiente.

Logo, conclui-se que, de acordo com as pesquisas de Oliveira e Von Sperling (2005); Prado e Crizel (2024), a eficiência não pode ser avaliada apenas pela eficácia apresentada com base na literatura. Fatores como clima, construção, projeção, operação, manutenção e monitoramento são cruciais para alcançar o bom desempenho e eficiência das estações de tratamento de esgoto.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As unidades prisionais, frequentemente, enfrentam desafios relacionados ao saneamento básico, destacando-se falhas nos projetos das redes hidrossanitárias, tanto no dimensionamento quanto na execução. Além dos resultados apresentados das análises dos efluentes, a pesquisa também ressalta a urgente necessidade de conhecimento técnico especializado para projetar e supervisionar as construções das Estações de Tratamento de Esgoto. Isso poderia resultar em melhorias significativas no desempenho dessas estações, especialmente considerando as particularidades do sistema prisional.

A pesquisa também forneceu dados sobre as características específicas dos efluentes a serem tratados e a rotina das unidades prisionais, fatores essenciais para compreender as tecnologias

aplicadas, avaliar sua eficácia e explorar o potencial de reúso dos efluentes. O reúso de efluentes para fins não potáveis pode trazer grandes benefícios ambientais e econômicos para as unidades, promovendo a gestão sustentável dos recursos hídricos e melhorando as condições sanitárias e ambientais locais.

Com base nas estações analisadas e nos resultados apresentados, para que o reúso do efluente possa ser viabilizado, considerando-se os valores estabelecidos na DN CERH-MG n.º 65/2020, categoria urbano amplo, faz-se necessária a implementação de um sistema terciário que possibilitará não apenas a reutilização do efluente, mas também um tratamento mais eficaz, promovendo uma gestão sustentável dos recursos hídricos e contribuindo para a preservação dos ecossistemas.

Como recomendação, a pesquisa propõe a implementação de uma etapa terciária de tratamento com sistemas *Wetlands* construídos, ou jardins filtrantes. Conforme apresentado nas pesquisas de Von Sperling (2018) Silva, Ramos e Bernardes (2020) e Teixeira (2021), os sistemas citados atingem resultados de eficiência acima de 90% na remoção microbológica e demais parâmetros, de acordo com a escolha da vegetação a ser usada, e são financeiramente viáveis, sem necessitar de grandes áreas para implementação. Além dos aspectos técnicos e operacionais discutidos, é crucial destacar a importância social e ambiental da implementação de melhorias nas estações de tratamento de esgoto (ETEs) no sistema prisional.

Socialmente, investir em infraestrutura adequada de saneamento dentro das unidades prisionais não só melhora as condições de vida dos detentos e funcionários, mas também promove a saúde pública, trazendo benefícios consideráveis para os municípios onde estão localizadas.

Ambientalmente, a construção de uma ETE com sistema terciário para reúso do efluente representa um avanço significativo. Esse tipo de sistema trata a água de forma mais eficaz e também permite seu reaproveitamento para fins não potáveis, como irrigação de jardins e limpeza de áreas externas, reduzindo a demanda por água potável e minimizando o impacto ambiental.

A proposta de implementar sistemas como *Wetlands* construídos, ou jardins filtrantes, baseada em estudos de eficiência reconhecida, não só demonstra viabilidade técnica e econômica, mas também ressalta a importância de soluções sustentáveis para o tratamento de efluentes. Essas tecnologias não necessitam de grandes áreas físicas e podem ser integradas harmoniosamente ao ambiente circundante, contribuindo para a preservação dos ecossistemas locais.

Portanto, ao considerar os desafios enfrentados nas ETEs do sistema prisional e as

soluções propostas, é claro que melhorar a gestão dos recursos hídricos por meio de técnicas avançadas de tratamento resolve problemas operacionais imediatos e também estabelece um padrão de sustentabilidade que beneficia tanto a comunidade prisional quanto o meio ambiente em geral. Essas medidas não devem ser vistas apenas como respostas técnicas, mas como investimentos estratégicos em um futuro mais saudável e equilibrado para todos os envolvidos.

## **8 PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO**

Dando continuidade à pesquisa, conforme exigência do MEC ao curso de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais, é parte do edital a apresentação de produto técnico-tecnológico (PTT) para a certificação. De acordo com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, o Mestrado Profissional (MP) é uma modalidade de Pós-Graduação *stricto sensu*, regulamentada pela Portaria MEC n.º 389, de 23 de março de 2017, e pela Portaria Capes n.º 131, de 28 de junho de 2017. Tem como premissa atender às demandas do mercado de trabalho com capacitação de profissionais, nas diversas áreas do conhecimento. Para agregar um nível maior de competitividade e produtividade a empresas e organizações, sejam elas públicas ou privadas, o MP tem desde sua matriz curricular ao quadro de docentes adaptados ao objetivo do curso. O trabalho final deve ser vinculado a problemas reais da área de atuação do profissional-aluno e de acordo com a natureza da área e a finalidade do curso, havendo, também, a exigência da produção de um Produto Técnico-Tecnológico (PTT) (CAPES, 2019).

Os critérios da Capes abrangem diversos aspectos, como a relevância social e científica do produto, sua inovação e originalidade, o rigor metodológico empregado em sua elaboração, a contribuição para o avanço do conhecimento na área, entre outros. Para os PTTs no campo das Ciências Ambientais, esses critérios são especialmente importantes, uma vez que esses produtos, muitas vezes, têm como objetivo oferecer soluções práticas para desafios ambientais complexos e urgentes.

O Produto Técnico desenvolvido tem como objetivo apresentar um diagnóstico detalhado da situação da rede hidrossanitária do presídio “Promotor José Costa”, abrangendo aspectos relevantes desde sua concepção até sua condição atual.

### **8.1 Critérios para o Produto Técnico-Tecnológico (PTT)**

A avaliação do Produto Técnico-Tecnológico (PTT) proposto é crucial para garantir sua eficácia e relevância na área de Ciências Ambientais, especialmente, no contexto de Planejamento

e Gestão Ambiental. Os critérios estabelecidos pela Capes oferecem uma estrutura sólida para essa avaliação, permitindo uma análise abrangente do PTT proposto.

**Aderência:** o PTT proposto demonstra forte aderência à área de concentração do MPSTA e à temática de Planejamento e Gestão Ambiental. Ao focar no tratamento e reúso de efluentes em unidades prisionais, o produto aborda um problema real e relevante para o contexto ambiental e social atual, proporcionando ganhos significativos para o Estado.

**Impacto:** o impacto social do PTT é claramente identificado, com a retomada do funcionamento adequado das estações de tratamento de esgoto promovendo saúde e qualidade de vida para a população, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental. Esse impacto positivo é fundamental para justificar a importância do trabalho desenvolvido.

**Inovação:** o PTT apresenta um nível de inovação satisfatório, ao propor soluções para o reúso de efluentes, economizando água potável para fins não potáveis. Essa abordagem criativa e prática demonstra uma contribuição significativa para a área, oferecendo novas perspectivas e possibilidades de melhoria.

**Aplicabilidade:** a aplicabilidade do PTT é ressaltada pela sua capacidade de ser replicado em outras unidades prisionais, fornecendo um passo a passo claro e resultados tangíveis que podem ser facilmente compreendidos e implementados por outros profissionais e instituições na área de saneamento básico.

**Complexidade:** a complexidade do PTT é evidenciada pela necessidade de uma abordagem interdisciplinar para abordar os desafios das ETEs no sistema prisional. Isso envolve a colaboração de diferentes áreas do conhecimento e de diversos atores para garantir a eficácia e a sustentabilidade das soluções propostas.

Considerando esses critérios e o alinhamento do PTT com as expectativas da Capes, é evidente que o trabalho proposto tem o potencial de fazer uma contribuição significativa para o avanço do conhecimento e prática na área de Planejamento e Gestão Ambiental, especialmente no contexto das unidades prisionais. Sua elaboração e apresentação junto à dissertação final certamente enriquecerão o debate acadêmico e prático nesse campo.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 12209**: Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. **NBR 13.969**: Sistemas de tratamento de água por filtração - Velocidade superficial de filtração. Rio de Janeiro, 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Resolução nº 48, de 21 de março de 2005. Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. A publicar no **Diário Oficial da União**. Disponível em: <<https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/legislacao/resolucoes/resolucao-cnrh-048-2005.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2023.

ALMEIDA, P.G.S., BRESSANI-RIBEIRO, T.B., SILVA, B.S., AZEVEDO, L. S., CHERNICHARO, C.A.L. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 6: Qualidade do efluente. **Revista DAE** – edição especial, v. 66, n. 214, p. 90-108, 2018.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F.; PORTUGAL, A. F. Soil chemical properties in banana crops fertigated with treated wastewater. *Revista Caatinga*, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, v. 32, n. 123.2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n123rc>. Acesso em: 24 nov.2023.

ALONSO. Hugo Fonseca Júnior. Sobre a importância da religião como tema teológico- literário central em “Grande Sertão: Veredas”. **Revista Eletrônica Correlatio** v. 11, n. 21 - Junho de 2012.

ANDRADE, A. M.; FARIA, D. C. M. L.; FRANCA, F. M. S.; RIBEIRO, F. R.; OLIVEIRA, M. F. B.; MATOS, M. A. **Caracterização da saúde e saneamento de uma comunidade quilombola no entorno da capital do Brasil**: um scoping review. *Saúde em Debate*, Rio de Janeiro, v. 46, n. especial 2, p. 501-517, jun. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042022E233>. Acesso em: 10 set. 2023.

Angelakis AN, Asano T, Bahri A, Jimenez BE and Tchobanoglous G (2018) **Water Reuse**: From Ancient to Modern Times and the Future. *Front. Environ. Sci.* 6:26. doi: 10.3389/fenvs.2018.00026

ANÍCIO, S. de O.; BEGA, J. M. M.; MALHEIROS, T. F. **Avaliação das práticas de reúso direto de água nas estações de tratamento de esgoto brasileiras**: alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável. *Lifestyle Journal*, São Paulo (SP), v. 9, p. 01-17, jan.-dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.19141/2237-3756.lifestyle.v9.n00.pe01452>. Acesso em: 09 set. 2023.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, 1368 p., 2017.

ARAÚJO ALMEIDA, Rogério; ALMEIDA, Nilza Alves Marques. Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais. **Revista eletrônica de enfermagem**, v. 7, n. 3, 2005.

BARBOSA, A. M. A.; TAVARES, J. L.; NAVONI, J. A. **Caracterização e análise do potencial da água produzida como alternativa para reúso**. Holos, [s.l.], v. 35, n. 8, e9200, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2019.9200>. Acesso em: 09 set. 2023.

BERTOLOSSI, V. M.; NEDER, T. F.; BRANDÃO, C. C. S. Avaliação de ultrafiltração como alternativa à flotação por ar dissolvido no pós-tratamento do efluente de lodos ativados estudo em escala piloto na estação de tratamento de esgoto Brasília Norte. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, p. 1003-1014, 2021.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 10 jul. 1934. Seção 1, p. 1. Acesso em: Dezembro de 2023.

BRASIL. Lei nº 10.881, de 9 de junho de 2004. **Dispõe sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades delegatárias das funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jun. 2004. Seção 1, p. 1. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.881.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.881.htm). Acesso em: 18 dez. 2023.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm). Acesso em: 18 dez. 2023.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm#:~:text=%E2%80%9CEstabelece%20as%20diretrizes%20nacionais%20para,11%20de%20maio%20de%201978.%E2%80%9D](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm#:~:text=%E2%80%9CEstabelece%20as%20diretrizes%20nacionais%20para,11%20de%20maio%20de%201978.%E2%80%9D). Acesso em: 17 dez. 2023.

BRASIL. Lei nº 7.210, de 11 de julho de 1984. **Dispõe sobre a Execução Penal**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 jul. 1984. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=7210&ano=1984&ato=c6fUTUU9EeBpWT4ac>. Acesso em: 20 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/sectics/daf/pnpmf/orientacao-ao-prescritor/Publicacoes/portaria-de-consolidacao-no-5-de-28-de-setembro-de-2017.pdf/view>. Acesso : 12 dez.2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 54**, de 28 de novembro de 2005. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-54-de-28-de-Novembro-de-2005-CNRH.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2023.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de informações sobre Saneamento – SNIS**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 24 Jun. 2023.

CANO, Vitor; VICH, Daniele V.; ANDRADE, Helisson HB; SALINAS, Déli TP; NOLASCO, Marcelo A. **Nitrificação em zonas húmidas de tratamento de fluxo horizontal multiestágio para tratamento de lixiviados de aterro**. *Ciência do Meio Ambiente Total*, v. 704, p. 135376, 20 fev. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135376>>. Acesso em: 15 dez. 2023.

CAPES. **Produção Técnica** - Grupo de Trabalho. Ministério da Educação - Portaria CAPES 171/2018. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/10062019-producao-tecnica-pdf>>. Acesso em: 02 fev.2023.

CARLI, Ana Alice; COSTA, Leonardo de Andrade. **Água potável e saneamento básico: o encontro necessário de dois direitos fundamentais à saúde da vida em geral**. *Revista de Direito e Sustentabilidade*, v. 6, n. 2, 2020.

CARVALHO.C. B; MOTA S. SANTOS. Ana S. P.2, Coleta de esgoto: uma revisão bibliográfica. **tec-usu**. Rio de Janeiro V. 4 N. 2 P. 1-23 EXTRA 2021.

CBH-CARATINGA. **Planos de Ação de Recursos Hídricos (PARHs) das bacias dos rios afluentes**. Disponível em: <<https://www.cbhcaratinga.org.br/agencia-de-aguas/instrumento-de-gestao/plano-de-recursos-hidricos>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (**Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, v.5)

CHERNICHARO, C.A.L.; RIBEIRO, T.B.; PEGORINI, E.S.; POSSETTI, G.R.C.; MIKI, M.K.; SOUZA, S.N. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – parte 1: tópicos de interesse. **Revista DAE**, v. 66, n. 214, p. 5-16, 2018. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.038>.

CHERNICHARO, C.A.L.; VAN LIER, J.B.; NOYOLA, A.; RIBEIRO, T.B. Anaerobic sewage treatment: state of the art, restrictions and challenges. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, p. 649-679, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9377-3>.

COBRAPE. Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais (PESB- MG). Proposta Preliminar do Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais – **PESB-MG**. Belo Horizonte: SEMAD, 2022. prod. 6, vol. 58.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA. **Curso de capacitação de procedimetos operacionais – sistemas de esgoto sanitário**. Belo Horizonte, 2012. 410 p.

Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG). **Deliberação Normativa nº 65**, de 18 de junho de 2020. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. (Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 20/06/2020). Disponível em:

<<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 274**, de 29 de novembro de

2000. Estabelece critérios para balneabilidade em águas brasileiras. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 nov. 2000. Seção 1, p. 136. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2000/res\\_conama\\_274\\_2000\\_parametrosambientaisqualidadedasaguas.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2000/res_conama_274_2000_parametrosambientaisqualidadedasaguas.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2023.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Disponível em: <<https://www.normasbrasil.com.br/norma/?id=114160>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS (CERH-MG). **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 8, de 21 de novembro de 2022**. 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. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521>>. Acesso em: 03 out. 2023

CRIZEL, Marcelo Guerreiro; LARA, Ana Claudia. Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes instalada em uma universidade federal: questão de gestão ambiental. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, 2020.

DA SILVA, F. J. A. da; MURICY, B. C.; CARVALHO, M. A. A. de; OBRACZK, M. Reúso de efluentes para fertirrigação: estudo de caso da ETE Action, Cachoeiras de Macacu, RJ. Reuse of effluents for fertirrigation: a case study of ETE Action, Cachoeiras de Macacu, RJ. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v. 16, n. 42, p. 276-299, 2023. DOI: 10.55905/rdelosv16.n42-020.

DA SILVA, D. F. da; GONÇALVES DA COSTA, G. G.; BEZERRA LOPES, M. do S.; LOURES, D. F.; CUNHA, M. V. P. de O. Análise da relação entre esgotamento sanitário, IDH e mortalidade infantil no estado do Pará. In: **Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação**, v. 1, n. 3, 2018. p. 143.

DANTAS, Bruno José Doria; ALVES, Nelson Teodomiro Souza. A crise no sistema prisional brasileiro e a aplicação do Estado de Coisas Inconstitucional. **Revista de Direito**, v. 13, n. 01, p. 01-24, 2021.

DATASUS. Departamento de Informática do SUS. **Brasil teve cerca de 130 mil internações por doenças associadas à falta de saneamento, em 2021**. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

DEPEN - Departamento Penitenciário Nacional. **Reincidência Criminal no Brasil**. Disponível em: <[file:///C:/Users/Marina/Downloads/Reincid%C3%A2ncia%20Criminal%20no%20Brasil%20-%202022%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Marina/Downloads/Reincid%C3%A2ncia%20Criminal%20no%20Brasil%20-%202022%20(1).pdf)> Acesso em: 15 fev. 2024.

FBAC.Fraternidade Brasileira de Assistência aos Condenados Itaúna, MG, 2019. Disponível em: <http://www.fbac.org.br/>. Acesso em: 15 jun. 2023.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **DIA MUNDIAL DO BANHEIRO**. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/>- Acesso em: 12 jan.2023.

GASPAR, G. V.; BEZERRA, F. M. L.; MOTA, F. S. B. **Desenvolvimento de citronela (Cymbopogon winterianus) irrigada com esgoto doméstico tratado e com água de abastecimento**. Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB), v. 55, n. 1, p. 145-157, 2020.

GOERCK, J.; WOLFF, D. B.; ARAÚJO, R. K. de; DECEZARO, S. T. Eletrocoagulação como pós-tratamento do efluente de um wetland construído de escoamento vertical. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 113-121, jan./fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190068>.

GOMES, M. P. C. A desverticalização nos serviços públicos de água e esgoto. **Revista de Direito Setorial e Regulatório**, v. 9, nº 1, p. 429-475, maio de 2023.

GONÇALVES, R. F.; ARAÚJO, V. de L.; CHERNICHARO, C. A. L. Tratamento secundário de esgoto sanitário através da associação em série de reatores UASB e biofiltros aerados submersos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu, PR. Anais. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268401335>. Acesso em: 03 mar.2023.

HELLER, L. **Os direitos humanos à água e ao saneamento básico**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2022. p.619.

HELLER, B.; BENAGLIA, A. W. M. **Paz, justiça e instituições eficazes (ODS 16):** desafios e enfrentamentos da Associação Liberdades Poéticas para remissão de pena por leitura no sistema carcerário paulista. \*Prometeica, [s.l.], v. 28, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.34024/prometeica.2023.28.15457>>. Acesso em: 10 out.2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Coordenação de Geografia.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares - População**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis/>. Acesso em: 13 out. 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Esgoto**. 2019. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/dados-regionais/>. Acesso em: 24 fev.2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2022**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/pt/estudos/ranking-do-saneamento>. Acesso em: 21 jan. 2023.

JARAMILLO, M. F.; RESTREPO, I. **Wastewater reuse in agriculture: a review about its limitations and benefits**. *Sustainability*, v. 9, n. 10, p. 1734, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.3390/su9101734>.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos** 8°. ed. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2017. 916 p.

KAUR, R.; KAUR, K.; KAUR, R. **Menstrual hygiene, management, and disposal of waste: practices and challenges faced by girls/women in developing countries.** *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2018, ID 1730964, p. 9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1730964>.

LANGE, R. S.; DUTRA, J. A. **Quanto vale cada real investido em saneamento no Brasil?** 2021. Disponível em: <https://abesdn.org.br/?p=44468>. Acesso em: 14 abr. 2022.

Leite, V. D., Athayde Júnior, G. B., Sousa, J. T. D., Lopes, W. S., Prasad, S., & Silva, S. A. (2021). Tratamento de águas residuárias em lagoas de estabilização para aplicação na fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 71-75.

LOPES, T. A. de S.; QUEIROZ, L. M.; MACHADO, S. L.; KIPERSTOK, A. Reflexões sobre a abordagem do ciclo de vida para avaliar o desempenho ambiental de estações de tratamento de esgoto. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (FENASA), 19., 2017, Brasília, DF. Anais do congresso nacional de engenharia sanitária e ambiental. Brasília: FENASA, 2017. P.7.

MORAIS.P.L.; LOPES, T. A. de S.; QUEIROZ, L. M.; McCONVILLE, J. R. **Resource-oriented sanitation: Identifying appropriate technologies and environmental gains by coupling Santiago software and life cycle assessment in a Brazilian case study.** *Science of the Total Environment*, v. 820, p. 153777, maio 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155777>.

MOURA, A. F. F.; SIQUEIRA, A. M. O.; LEITE, I. C.; MARTINS, M. C.; CASTRO, F. D.; SILVA, J. L. da. Reaproveitamento energético do lodo de estação de tratamento de esgoto – uma revisão. *Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC*, v. 06, n. 05, p. 740-747, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss5pp0740-0747>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/ojs/jcec>. Acesso em: 7.jul.2023.

NAHAS, M. I. P.; MOURA, A. S. A. de; CARVALHO, R. C.; HELLER, L. **Desigualdade e discriminação no acesso à água e ao esgotamento sanitário na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais**, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 35, n. 4, p. e00100818, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00100818>.

NEVES, A. P. N.; FERREIRA, D. da S.; CASTRO, D. A.; CAVALLINI, G. S. **Avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica em efluente sanitário em função da idade do lodo de reator UASB: um estudo de caso.** *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 7, n. 4, p. 58-65, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n4.neves>.

NUVOLARI, A. *Esgoto Sanitário - coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola*. 2. ed. São Paulo: **Blucher**, 565.p. 2011.

OBRACZKA, M.; FARIA, A. A.; SILVA JR, L. C. S.; OHNUMA JR, A. A.; OLIVEIRA, K.; MURICY, B. C. **Avaliação quantitativa do potencial de reúso industrial a partir dos efluentes**

**de quatro estações de tratamento de esgoto na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**, Brasil. S&G, v. 16, n. 2, p. 196-213, 2021. DOI: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2021.v16n2.1727>.

OLIVEIRA, A. S.; BEGA, J. M. M.; MALHEIROS, T. F. **Cenário do reúso direto do efluente tratado nas estações de tratamento de esgoto brasileiras**. Life Style, v. 9, p. e01452-e01452, 2022.

OLIVEIRA, H. C., de VASCONCELOS, C. R. M., & EL-AOUAR, W. A. **Rotinas Administrativas do Sistema Prisional Potiguar**. Revista ESPACIOS. V. 37. Nº 04. 2016.

OLIVEIRA, J. B. de; ERVILHA, G. T. Serviços de saneamento básico em Minas Gerais e seus determinantes locacionais, demográficos e socioeconômicos. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 13, n. 2, p. 243–267, 2019. Disponível em: <https://revistaaber.org.br/rberu/article/view/447>. Acesso em: 14 jul. 2023.

OLIVEIRA, Shirley S.; FREITAS, Neimar D. Uma revisão sistemática de literatura sobre as características dos efluentes das estações de tratamento de esgoto em unidades prisionais com vistas ao reúso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 32., 2023, Belo Horizonte. **Anais Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. São Paulo: ABES, 2023.

OLIVEIRA, S.; CORRÊA, M. A.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETes em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 347-357, 2005.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Report of the Secretary-General on the Work of the Organization**. New York, NY 10017, United States of America. Disponível em: [https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sg\\_annual\\_report\\_2023\\_en\\_0.pdf](https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sg_annual_report_2023_en_0.pdf). Acesso em: dezembro de 2023.

ONU. **Mais de 4,2 bilhões de pessoas vivem sem acesso a saneamento básico**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/101526-mais-de-42-bilhoes-de-pessoas-vivem-sem-acesso-saneamentobasico#:~:text=Mais%20da%20metade%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o,de%20saneamento%20e%20%C3%A1gua%20contaminada>. Acesso em: 23 fev. 2024.

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. **Annual and Quinquennial Reports**. 2019.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Sanitation**. 2019. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>. Acesso em: 21 FEV. 2023.

Pesquisa nacional de saúde : 2019 : ciclos de vida : Brasil / IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. - Rio de Janeiro : **IBGE**, 2021. 139p.

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. Características Gerais dos moradores - Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html?edicao=34420>>. Acesso em: 15 jan.2024.

PNUD - Relatório de Desenvolvimento Humano 2019-2020. Programa das Nações Unidas para o

Desenvolvimento - Maio de 2021.

PASINI, F.; DAMKE, T. A importância da potabilidade da água no saneamento básico para a promoção da saúde pública no Brasil. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 13, n. 1, p. 8-15, 2020.

POSSETTI, G.R.C.; RIETOW, J.C.; CABRAL, C.B.G.; MOREIRA, H.C.; PLATZER, C.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; CHERNICHARO, C.A.L. Energy recovery from biogas in UASB reactors treating sewage. In: CHERNICHARO, C.A.L.; BRESSANI-RIBEIRO, T. (org.). **Anaerobic reactors for sewage treatment: design, construction and operation**. Londres: IWA, 2019. p. 194-236.

RIBEIRO, Jaqueline Cardoso; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro da. Acompanhamento operacional e avaliação de uma estação compacta de tratamento de esgoto sanitário: reator UASB seguido de filtro aerado submerso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 27-31, jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018164458>. Acesso em: 12 dez.2023.

RODRIGUES, João Vitor V.; SOUTO, Pedro H. H.; SANTANA, Ciro. **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre sistemas de tratamento de esgoto em Minas Gerais**. In: JORNADA ACADÊMICA DAS ENGENHARIAS, 2., 2021, Governador Valadares. Anais [...]. UNIVALE, 2021. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-publicacaooriginal-64311-pl.html>. Acesso em: 09 nov. 2023.

SAAB, Nádía Maria. **A crise do sistema penitenciário brasileiro: um estado de coisas inconstitucional**. Conteúdo Jurídico, Brasília-DF. Disponível em: <http://www.conteudojuridico.com.br/consulta/Artigos/48822/a-crise-do-sistema-penitenciario-brasileiro-um-estado-de-coisas-inconstitucional>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SANTOS, F. F. S. dos; FILHO, J. D.; MACHADO, C. T.; VASCONCELOS, J. F.; FEITOSA, F. R. S. **O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 4, n. 1, p. 241-251, 2018.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. de M. Nota Técnica 2 - **Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil**. Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, n. 3, p. 15-27, 2022.

SANTOS, A. B. **Avaliação legal e prática da aplicação de águas residuárias tratadas no solo no contexto do reúso de água no Brasil**. Data de entrada: 06 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.045>. Acesso em: 23 ago. 2023.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. **Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), v. 8, n. 1, p. 50-68, 2020. ISSN: 2317-563X.

SEDS - SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA SOCIAL. Subsecretaria de Administração Prisional. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 25 fev. 2003. p. 7, col. 3.

SENRA .João Bosco. **ÁGUA ELEMENTO VITAL**. 1º EDIÇÃO. Belo Horizonte.Ramalhete,2021.p.345.

SHOUSHTARIAN, F.; NEGAHBAN-AZAR, M. Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review. **Water**, v. 12, n. 4, p. 971, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12040971>.

SILVA, H. R. T.; EGERT, P.; WILLEMANN, M. I. Avaliação de um sistema alternativo para tratamento de efluente doméstico e planejamento para uma conscientização da comunidade. **MIX Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 67-78, 2021.

SILVA, N. N. M. da. **Explorando a relação de serviços de saneamento básico sobre mortalidade infantil e morbidades por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI)**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

SILVA, S. C.; RAMOS, M. L. G.; BERNARDES, R. S. Wetlands construídos com meio suporte de solo na remoção de coliformes termotolerantes de esgotos domésticos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 32-46, 2021.

SOUZA, M. de; VASCONCELOS, A. C. C. G.; LIMA, K. R.; SILVA, B. A. K.; VASCONCELOS, D. F. P. Atenção à saúde de indivíduos privados de liberdade no sistema prisional brasileiro: uma revisão integrativa. **Revista Ciência & Saúde**, v. 9, n. 4, p. 28-36, nov. 2019. Disponível em: [https://portalrcs.hcitajuba.org.br/index.php/rcsfmit\\_zero/article/view/847](https://portalrcs.hcitajuba.org.br/index.php/rcsfmit_zero/article/view/847). Acesso em: 28 set. 2023.

TEIXEIRA, L. P.; ANDRADE, E. T. de; SILVA, F. C. da; CARMO, D. de F. do. Wetland construído como alternativa para o tratamento terciário em municípios sem sistema de coleta de esgoto: uma revisão bibliográfica. **Engenharia Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 1-23, extra 2021. TEC-USU, Rio de Janeiro.

TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento Básico 2021. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/> Acesso em: 10 fev.2023.

UNICEF - FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA. **Progresso em água potável, saneamento e higiene doméstica 2000-2020: cinco anos para os ODS**. Genebra: Organização Mundial da Saúde (OMS) e Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), 2021. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate**. Gran Bretaña :John Wiley and sons., 1994.

VARELLA, Dráuzio. **Carcereiros**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2012. P.232.

VASCONCELLOS AGNESINI, M.; MARRENGULA, F. A.; ROSA PASCHOALATO, C. F. P. **Aplicação da filtração direta descendente em efluente de esgoto sanitário para produção de água de reúso direto**. Tecno-Lógica, v. 22, n. 2, 2018.

VASCONCELOS, A. C. C. G.; SOUZA, M.; LIMA, K. R.; SILVA, B. A. K.; VASCONCELOS, D. F. P. **Atenção à saúde de indivíduos privados de liberdade no sistema prisional brasileiro: uma revisão integrativa**. Health Sciences Journal, v. 9, n. 4, p. 28-36, 2019.

VERÍSSIMO. **Os romanos no antigo território do concelho da Amadora**: valorização do património arqueológico local (Villa Romana da Quinta da Bolacha e do Aqueduto Romano). 2021.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**: documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. Boletim Wetlands Brasil, p. 65, 2018.

WHATELY, M.; CAMPANILI, M. **O século da escassez**. 1. ed. São Paulo: Editora Claroenigma, 2016. 109 p.

## ANEXO I

### PARECER TÉCNICO

**Organização:** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

**Discente:** Shirley Soares de Oliveira

**Docente orientador:** Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte

**Dissertação vinculada:** Diagnóstico do efluente sanitário em unidades prisionais de Minas Gerais: estudo de caso em quatro instituições localizadas nos municípios de Sete Lagoas, Santa Luzia e Caratinga.

**Data da defesa:** 26/06/2024

**Setor beneficiado:** Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública - SEJUSP

**Classificação:** Produção com médio teor inovativo (combinação de conhecimentos preestabelecidos)

#### PRODUTOS TÉCNICOS/TECNOLÓGICOS:

- Produtos de Intervenção ou Desenvolvimento (Inovação)
- Empresa ou organização social inovadora
- Processo, tecnologia e produto, materiais não patenteáveis
- Relatório técnico conclusivo**
- Tecnologia Social
- Norma ou marco regulatório
- Patente
- Produtos/Processos em sigilo
- Software / Aplicativo
- Base de dados técnico-científica

**Projeto de Pesquisa:** Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais

**Linha de pesquisa vinculada à produção: Planejamento e Gestão Ambiental**

Compreende o estudo, pesquisa e a abordagem de assuntos relacionados a tecnologias voltadas à proteção e conservação do meio ambiente e o gerenciamento e manejo sustentável dos recursos ambientais, incluindo questões relativas à qualidade ambiental do espaço natural e antrópico, compatibilizando o uso dos recursos com a conservação ambiental e os instrumentos de gestão vigentes.

**Sumário Executivo**

O presente documento expõe um diagnóstico e análises realizadas, finalizando com sugestões para aprimoramentos nos sistemas existentes e orientações para futuros projetos, visando alcançar a máxima eficiência técnica, econômica e sustentável para o desafio proposto.

Recomenda-se que a Secretaria tenha, em seu quadro de servidores, profissionais qualificados para acompanhamento das obras de saneamento no sistema prisional e que, nas unidades prisionais, possa haver o mínimo de informações quanto ao funcionamento de um estação de esgoto, pois todas as unidades pesquisadas estão com problemas operacionais e construtivos.

Contudo, a partir das atividades executadas, foi evidenciado que a ausência desse profissional para supervisionar as obras e fiscalizar os projetos poderia gerar impactos altamente benéficos no desenvolvimento das estações, inclusive, considerando o respaldo para operações e manutenções.

**Produto técnico-tecnológico**

Este relatório é o produto final da dissertação de mestrado e tem como objetivo apresentar um diagnóstico da estação de tratamento de esgoto no presídio “Promotor José Costa”, localizado no município de Sete Lagoas/MG. Seu *design* inovador, focado na economia de recursos hídricos, e sua metodologia clara e replicável garantem ampla aplicabilidade. Este diagnóstico pode ser estendido a outras unidades prisionais em que as estações de tratamento de esgoto apresentem desafios operacionais de natureza técnica.

O impacto social do trabalho proposto é significativo e abrangente. Ao enfrentar os desafios relacionados ao tratamento de esgoto no sistema prisional de Minas Gerais, a pesquisa destaca um problema crucial que afeta diretamente a qualidade de vida e a saúde das pessoas.

A complexidade do trabalho proposto é substancial, devido à natureza multifacetada e interdisciplinar dos desafios abordados no contexto do tratamento de esgoto nas unidades prisionais de Minas Gerais. A complexidade do trabalho proposto é evidente devido à diversidade de sistemas de tratamento de esgoto, à avaliação de múltiplos parâmetros, às considerações legais e regulatórias e à natureza interdisciplinar dos desafios abordados. Lidar com essa complexidade exige uma abordagem rigorosa e multidisciplinar, bem como a capacidade de integrar diferentes conhecimentos e habilidades, para alcançar soluções eficazes e sustentáveis.

## 1 INTRODUÇÃO

Este relatório técnico tem como objetivo apresentar um diagnóstico da atual situação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) implantada no presídio “Promotor José Costa”, na cidade de Sete Lagoas, localizado na Av. e-1, 365 - Sete Lagoas, Minas Gerais, bem como a apresentação de possíveis soluções técnicas para manutenções corretiva e preventiva, visando otimizar a eficácia do sistema de esgotamento sanitário da unidade.

A água é um recurso vital não apenas para a sobrevivência humana, mas para todos os seres vivos e processos produtivos. A crescente demanda e a dependência humana exacerbada por este recurso têm evidenciado a sua finitude, especialmente em contextos onde a poluição e o esgotamento dos recursos hídricos se tornam sintomas alarmantes da crise ecológica atual. Despejos sem tratamento de esgoto doméstico e industrial, juntamente com o descarte irresponsável de resíduos, intensificam a contaminação dos recursos hídricos globais, inclusive com microplásticos, destacando uma urgente necessidade de ações sustentáveis e eficientes em gestão hídrica (DAMKER,2020).

A eficiência do saneamento básico, garantida pela Constituição e regulamentada pela Lei 11.445, de 2007 (BRASIL), surge como um pilar fundamental para a saúde pública, qualidade de vida e proteção dos mananciais hídricos. No entanto, apesar dos avanços legais e das metas de universalização, o Brasil enfrenta desafios significativos para atender toda a população. Em 2021, dados do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional indicavam que 84,2% da população tinham acesso à água potável, mas somente 55,8% contavam com acesso ao esgotamento sanitário (COSTA 2023), refletindo a lacuna existente na garantia de direitos básicos de saneamento.

Este cenário de desafios e necessidades se amplia no contexto das unidades prisionais brasileiras, em que estudos sobre condições de saneamento são escassos, apesar de sua relevante implicação social e ambiental. O Brasil, com a terceira maior população carcerária do mundo, evidencia uma realidade prisional complexa, com Minas Gerais apresentando um dos maiores contingentes de detentos (DEPEN, 2021). A gestão adequada de águas residuais nestas unidades surge como um potencial caminho para a sustentabilidade e a melhoria das condições sanitárias e ambientais locais.

A legislação ambiental brasileira é reconhecida como uma das mais abrangentes e avançadas no mundo, elaborada com o propósito de preservar o meio ambiente e mitigar ao máximo os impactos relacionados às atividades humanas. Ela estabelece diretrizes específicas e define avaliações em casos de descumprimento, aplicando-se tanto a

organizações de todas as naturezas quanto aos indivíduos comuns.

O saneamento básico é o conjunto de ações, serviços e obras que visam garantir a salubridade ambiental por meio de abastecimento de água potável com qualidade, coleta, tratamento e disposição adequada dos esgotamentos sanitários, bem como dos resíduos gerados no tratamento desse esgoto, drenagem de águas pluviais, controle de animais vetores e hospedeiros, coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (OPAS,2022).

No Brasil, as áreas mais afetadas pela falta de saneamento são as rurais e comunidades de ocupação irregular. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2017), 75% das residências rurais não possuem sistemas de tratamento ou de destinação adequados de esgoto, o qual, em geral, é despejado em fossas rudimentares, em valas, diretamente no solo ou em córregos, rios e lagoas. Outro fator de grande relevância nas propriedades rurais é o manejo e a destinação inadequada dos resíduos sólidos, onde a falta dos serviços básicos de saneamento é um grande contribuinte para poluição dos corpos hídricos da região.

Neste mesmo contexto, estão as unidades prisionais, instalações destinadas à custódia de presos para o cumprimento de pena, construídas conforme a tipologia da pena (LEP, 1984). Vale, portanto, explicar que a maior parcela das unidades é construída em áreas rurais ou mais afastadas dos centros urbanos, por questões de segurança pública e disponibilidade de área, e, assim como as comunidades rurais, enfrentam dificuldades na construção de rede para saneamento básico.

A pandemia da COVID-19 expôs o Brasil a um desafio sem igual, tanto em termos de saúde pública quanto socioeconômicos, principalmente para áreas de alta vulnerabilidade social, como as ocupações irregulares e o sistema prisional. A falta de saneamento nas unidades prisionais ficou ainda mais evidente, assim como os problemas de racionamento de água e falta de higiene nas celas, o que é muito comum nas prisões brasileiras - superlotadas, insalubres e com poucos recursos. Por isso, são ambientes propícios para disseminação e contaminação de doenças. Esta situação se estende extramuros, acarretando problemas sociais e ambientais em seu entorno (VASCONCELOS *et al.*, 2018).

Conforme apresentado por Tonetti *et al.* (2018), para reduzir os impactos causados pela falta de saneamento nas áreas mais isoladas, é imprescindível pensar em sistemas descentralizados, os quais desempenham um papel crucial na promoção da sustentabilidade ambiental e na melhoria da qualidade de vida das comunidades. Ao contrário

dos sistemas centralizados, que concentram o tratamento de esgoto em grandes instalações, os sistemas descentralizados distribuem a responsabilidade de tratamento e gestão em nível local. Além disso, segundo os autores, esses sistemas podem ser adaptados às necessidades específicas de cada comunidade, promovendo a autonomia e a resiliência local. Ao integrar tecnologias inovadoras, como sistemas de tratamento anaeróbico e reutilização de água, eles oferecem soluções sustentáveis para o gerenciamento de resíduos, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e a preservação do meio ambiente.

As águas residuais, comumente chamadas de esgoto, e águas servidas são termos empregados para designar as águas cujas propriedades naturais são modificadas após o uso humano. Os esgotos sanitários possuem elevada concentração orgânica provinda dos restos de comida, fezes, urina, dentre outros produtos utilizados, que servem de alimento aos microrganismos aeróbicos presentes nos rios. Porém, em grandes quantidades, o que vem acontecendo devido ao aumento populacional, esses microrganismos aeróbicos se multiplicam rapidamente, consumindo o oxigênio disponível na água, causando eutrofização, comprometendo toda a cadeia alimentar e alterando a qualidade da água (FIGUEIREDO,2019).

Para a devolução dessa água que foi transformada em esgoto ao corpo receptor, é necessário tratá-la. Sendo assim, faz-se necessária a construção de uma estação de tratamento de esgoto - ETE, que faz esse processo de forma controlada, sem a perda dos microrganismos e alcançando a eliminação da matéria orgânica (SANTOS *et al.*, 2018).

Conforme a NBR 12.209, as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são unidades operacionais do sistema de saneamento que, especificamente, recebem as cargas poluentes do esgoto e devolvem o efluente tratado aos corpos d'água, como nos rios, reduzindo os eventuais impactos ambientais que poderiam ser causados sem o devido tratamento. Elas oferecem vantagens, como menor impacto ambiental, maior eficiência na remoção de poluentes e flexibilidade para atender a áreas de difícil acesso. No entanto, é necessário cuidado em sua implementação, operação e manutenção, visando garantir o tratamento adequado do esgoto e a proteção da saúde pública e do meio ambiente.

De acordo com a pesquisa de Oliveira *et al.* (2017), devido à localização geográfica das unidades prisionais, a implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) se torna necessária por causa da ausência de infraestrutura de coleta de esgoto em sua proximidade. No entanto, esta questão representa um desafio significativo para o Estado, pois uma parcela substancial das ETEs não possui seu funcionamento adequado, seja por problemas operacionais ou erros de projeto e execução.

### 1.1 - Histórico do município e dados da unidade

O município de Sete Lagoas está localizado na zona metalúrgica do estado de Minas Gerais, numa área de 537,476 km<sup>2</sup>, com 227.360 habitantes e uma densidade populacional de 423,4 hab./km<sup>2</sup>. É uma região de solo calcário, com relevo constituído por colinas suaves, ou seja, plano e levemente ondulado, com altitude de 762 m.

A atividade de maior importância econômica desenvolvida no Município é a industrial. No setor secundário, atualmente bastante diversificado, destacam-se as indústrias alimentar, têxtil, siderúrgica e as derivadas da transformação do calcário.

Situada na mesorregião do centro-leste mineiro e na Microrregião Calcários, o município limita-se, ao norte, pelos municípios de Jequitibá e Araçáí; ao sul, por Esmeraldas e Capim Branco; a oeste, por Inhaúma, Paraopeba e Caetanópolis; e a leste, por Prudente de Moraes e Funilândia.

Sua formação geológica é Kárstica, do Grupo Bambuí. O solo é rico em minerais, notadamente mármore, argila, calcário e ardósia. O município é cortado por uma serra de natureza calcária, que é o divisor de águas das bacias dos rios Paraopeba e das Velhas.

A rede hidrográfica é constituída pelos afluentes do rio Paraopeba: São João, Lontra, Gineta; e pelos afluentes do rio das Velhas: Jequitibá, Paiol e Matadouro. A rede de drenagem do Município, que faz parte da Bacia do rio São Francisco, conta com dois importantes cursos de água, os rios Paraopeba e das Velhas. A paisagem da região é resultado da ação da água, principalmente no subsolo, produzindo um sistema com feições endógenas e exógenas. Apesar dos recursos hídricos superficiais serem escassos nesses ambientes, nas camadas subterrâneas, encontram-se fluxos e armazenamento de quantidades consideráveis de água. As fontes subterrâneas de água começam a ter maior importância quando a potencialidade ou a potabilidade das águas superficiais são afetadas, geralmente, pelos efeitos do crescimento acelerado dos centros urbanos e pelas atividades industriais.

Atualmente, o abastecimento público de água é de responsabilidade do SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), autarquia municipal, a qual controla 123 poços. No que se refere ao saneamento básico da cidade, 0,5% da população ainda não têm acesso à água, 3,6% não têm coleta de esgoto e apenas 23,6% do esgoto coletado são tratados. Um dado muito relevante é que, segundo DATASUS 2021, o município teve 25 internações por doenças de veiculação hídrica e 2 óbitos. Na Figura 1, pode-se verificar a localização do município no Estado e a inserção do presídio no município.

**Figura 1:** Vista aérea e localização do presídio “Promotor José Costa” no município de Sete Lagoas.



Fonte: Autora (2024).

## 1.2 Situação-problema

O presídio “Promotor José Costa”, assim como vários outros presídios de Minas Gerais, enfrenta problemas de abastecimento de água e coleta de esgoto. A ausência de um saneamento adequado leva a problemas ambientais e de saúde para detentos, funcionários e, sobretudo, para a comunidade adjacente. Da mesma forma, foi indicado em um estudo conduzido por Oliveira *et al.* (2017), em que um presídio e um complexo penitenciário apresentavam problemas operacionais e construtivos em suas estações de tratamento de esgoto, resultando na incapacidade de tratamento, fazendo com que fossem despejados os efluentes *in natura* no meio ambiente.

O Presídio “Promotor José Costa” (Figura 2) foi inaugurado em janeiro de 2007, com capacidade para 380 detentos. A unidade dispõe de 4 blocos, sistema de regime fechado e semiaberto masculino. Atualmente, abriga 570 detentos e 136 funcionários; a unidade é abastecida por poço artesiano e rede pública, ambos administrados pelo SAAE. O esgoto também é coletado pela concessionária por meio de uma estação elevatória, uma vez que a ETE prevista para a unidade não foi concluída por motivos de problema no projeto.

**Figura 2** - Entrada do Presídio “Promotor José Costa”



Fonte: SEJUSP (2019).

O objetivo do diagnóstico foi identificar os problemas de entupimento da rede e transbordamento da estação de tratamento de esgoto, bem como várias questões relacionadas ao abastecimento de água, tais como a escassez desta e o consumo excessivo registrado nas faturas.

## **2 Caminhar metodológico**

Para o diagnóstico, foram conduzidas reuniões com os responsáveis da unidade a fim de compreender a logística interna e obter autorização para o levantamento de toda a rede hidrossanitária interna da instituição. Adicionalmente, organizaram-se uma reunião e visita técnica à unidade, em colaboração com o SAAE, para identificação da rede hidrossanitária externa.

Ademais, realizou-se a análise do efluente e da água proveniente do poço artesiano. As amostras coletadas foram analisadas no laboratório do IFMG - *campus* Santa Luzia, seguindo os parâmetros e metodologias estabelecidos, os quais estão detalhados na Tabela 1, para o efluente. Durante os dias de coleta, também foi realizado um registro fotográfico conforme a aprovação da SEJUSP, visando monitorar a limpeza do gradeamento e analisar a composição específica do esgoto e do material retido. Os parâmetros para a análise da água proveniente do poço estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Parâmetros analisados no efluente

Ensaio	Metodologia de referência	VMP DN-COPAM/CERH-MG Nº08/22-L. Efluentes
<b>Coliformes totais</b>	SMEWW - 9223 B	-
<b>DBO</b>	SMEWW - 5210 B	≤ 60,0 mg/L ou Efic./ trat, (Esgotos sanitários) ≥ 60%; Efic./ trat, (Lixiviados e aterros sanitários) ≥ 75 %; Efic./ trat, (Demais sistemas) ≥ 85%
<b>DQO</b>	SMEWW - 5220 D	≤ 180,0 mg/L ou Efic./ trat, (Esgotos sanitários) ≥ 55%; Efic./ trat, (Lixiviados e aterros sanitários) ≥ 70 %; Efic./ trat (Demais sistemas) ≥ 80%
<b>E.coli</b>	SMEWW - 9223 B	-
<b>Sólidos suspensos</b>	SMEWW - 2540 D	≤ 100 / ≤ 150 (Lagoas de estabilização)
<b>Sólidos sedimentáveis</b>	SMEWW - 2540 F	≤ 1
<b>PH</b>	ABNT NBR 9251 de 02/1986	5 a 9
<b>Nitrogênio</b>	SMEWW - 4500 NH3 C	Inferior a 20 mg/L
<b>Fósforo</b>	SMEWW - 4500-P A , B e E	-

Fonte: Adaptado pela autora (2024).

**Tabela 2:** Parâmetros de análise da água do poço artesiano

Ensaio	Metodologia de referência	VMP DN-COPAM/CERH-MG Nº08/22-L. Efluentes
Coliformes totais	SMEWW - 9223 B	Ausência em 100 mL
E.coli	SMEWW - 9223 B	Ausência em 100 mL
PH	ABNT NBR 9251 de 02/1986	6 a 9
cor aparente	SMEWW 2120 C	<15 ntu
Turbidez	SMEWW 2130 C	< 5 u.c

Fonte: Adaptado pela autora (2024).

Na primeira visita, foi realizado o levantamento da rede hidrossanitária interna da unidade. Ademais, efetuou-se uma inspeção no local onde está localizada a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Contudo, devido à vegetação invasora alta e densa, juntamente com a cobertura de placas de pedra ardósia, não foi possível identificar, com precisão, o sistema utilizado para o tratamento e também não foram identificados caixa de areia e medidor de vazão. No entorno, foi observada a presença de muitos resíduos sólidos e vegetação invasora. Quanto à disposição final do efluente, não foi possível localizá-la, uma vez que não há curso d'água próximo, e não foi identificado nenhum ponto de lançamento no solo, como ilustrado na Figura 3.

**Figura 3:** Estação de tratamento de esgoto do presídio “Promotor José Costa”.



Fonte: Autora (2024).

Com o propósito de avaliar a eficiência do sistema, considerando que a informação disponível indicava tratar-se de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), procedemos com a coleta de amostras. Foram realizadas duas análises, uma no ponto de entrada no gradeamento e outra na saída, junto à bomba de recalque (Figura 4). Os parâmetros analisados foram: DBO, DQO, sólidos sedimentáveis e suspensos, nitrogênio e fósforo.

**Figura 4:** Pontos onde foram coletadas as amostras



Fonte: Autora (2024).

### 3 Resultados

Após análise detalhada dos dados coletados durante o estudo, foi possível observar uma situação preocupante. Conforme Tabela 3, os resultados obtidos revelaram a ausência de qualquer processo de tratamento do esgoto, uma vez que os parâmetros analisados na entrada e na saída apresentaram-se praticamente iguais. Este cenário sugere ineficácia ou total ausência de sistemas de tratamento de esgoto na unidade, destacando a necessidade urgente de intervenção e implementação de medidas corretivas.

**Tabela 3:** Resultados da análise do efluente da suposta ETE do presídio “Promotor José Costa”

<b>Resultados das análises Presídio Promotor Jose Costa</b>		
<b>Ensaio</b>	<b>Resultados entrada</b>	<b>Resultados saída</b>
Coliformes totais	>2419600	>2419600
DBO	123	124
DQO	238	240
E.coli	>2419600	>2419600
sólidos suspensos	780	690
sólidos sedimentáveis	15	9,6
Fósforo	0,22	0,15
Nitrogênio	18,1	15,27

Fonte: Autora (2024).

Foi observado que a proximidade entre a estação elevatória e o poço está abaixo da distância mínima recomendada pela norma NBR 12209 (Figura 5), a qual estabelece um espaçamento mínimo de 15 metros como medida preventiva para evitar possíveis contaminações. Diante dessa situação, também foi realizada análise da água do poço, sendo que as amostras foram coletadas na saída do poço e no ponto de consumo (pia da copa), conforme indicado na Figura 6. Os resultados obtidos revelaram-se satisfatórios, uma vez que não foram detectadas contaminações por coliformes na água analisada (Tabela 4). Os parâmetros analisados foram coliformes totais, E.coli, PH, cor aparente e turbidez.

**Figura 5:** Distância entre o poço artesiano e a estação de tratamento de esgoto



Fonte: Autora (2024).

**Figura 6:** Pontos de coleta da amostra da água do poço artesiano



Fonte: Autora (2024).

**Tabela 4:** Resultados das análises da água do poço artesiano

Ensaio	Metodologia de referência	VMP DN-COPAM/CERH-MG N°08/22-L. Efluentes	Resultados
Coliformes totais	SMEWW - 9223 B	Ausência em 100 mL	Ausente
E.coli	SMEWW - 9223 B	Ausência em 100 mL	Ausente
PH	ABNT NBR 9251 de 02/1986	6 a 9	6,9
cor aparente	SMEWW 2120 C	<15 ntu	1,5 ntu
Turbidez	SMEWW 2130 C	<5 u.c	0,63 u.c

Fonte: Autora (2023)

Diante das múltiplas lacunas identificadas, foi solicitada uma reunião junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) com o propósito de aprofundar o entendimento

sobre o sistema hidrossanitário da unidade. Tal solicitação se fundamentou no fato de que tanto o poço artesiano quanto a suposta Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) estavam sob a gestão operacional do SAAE.

## **2º Visita:**

Na segunda visita, reuniram-se representantes da Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública (SEJUSP) juntamente com representantes do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Em relação à suposta Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), foi esclarecido que nunca houve tal estrutura, explicando-se que existe, na verdade, uma estação elevatória que direciona o efluente para a rede central de esgoto da cidade.

Também foi discutida a ausência de um contrato que estabelecesse as diretrizes e responsabilidades das partes envolvidas (contratante e contratado). Nos arquivos do SAAE, foi encontrada apenas uma ata de 2006, da época da construção do presídio, a qual relatava problemas construtivos na ETE, não executada, e que os reparos necessários teriam custos equivalentes aos da construção de uma nova estrutura.

Ao refazer a visita em campo junto ao SAAE, foi esclarecido que o sistema, na realidade, é uma estação elevatória que recebe o esgoto da unidade, que é bombeado para rede pública. O sistema é composto por um gradeamento inicial para retenção de sólidos não orgânicos. Em seguida, o efluente passa por duas gaiolas com gradeamento mais fino, com o objetivo de reter sólidos que passaram pelo primeiro gradeamento. Posteriormente, o efluente é bombeado e lançado na rede coletora do bairro (Figura 7), que passa fora das instalações prisionais, margeando o alambrado de segurança. É importante ressaltar que o conhecimento desta rede só passou a ser adquirido pela unidade por meio deste diagnóstico, uma vez que, até então, essa informação era desconhecida.

A limpeza inicial do gradeamento é realizada periodicamente, e os resíduos depositados na caçamba que fica ao lado da elevatória são encaminhados para um aterro sanitário quando a caçamba atinge seu nível de capacidade. As gaiolas internas permanecem completamente colmatadas, sendo limpas por um caminhão de sucção quando possível.

**Figura 7:** Identificação da rede externa que transporta o esgoto da unidade para a rede pública



Fonte: Autora (2023).

Outro aspecto relevante a ser destacado é que o sistema foi construído abaixo do nível do solo, sem qualquer proteção, desprovido de qualquer tipo de proteção, o que compromete consideravelmente sua operacionalidade. Durante períodos de fortes chuvas, há um carregamento significativo de terra e águas pluviais para dentro da rede. Além disso, a ausência de proteção ou segurança ao redor do sistema é preocupante, visto que consiste apenas de placas de pedra ardósia e uma cerca de arame. Anteriormente, houve um incidente envolvendo um animal (uma vaca) que caiu dentro da estação elevatória, resultando em transtornos e na mobilização da equipe dos bombeiros do SAAE e agentes da unidade.

#### **4 Considerações finais e recomendações**

Dada a relevância do saneamento básico para a qualidade de vida e a preservação ambiental, e considerando as particularidades do sistema prisional, algumas sugestões serão apresentadas visando aprimorar o sistema e promover economia financeira na unidade

No que diz respeito ao esgotamento sanitário, a primeira sugestão é a construção de uma ETE no presídio, dimensionada para atender às suas necessidades específicas, permitindo que o efluente tratado possa ser reutilizado para fins não potáveis, como a lavagem de áreas externas. A unidade dispõe de espaço físico para a instalação de um sistema compacto que atenda às regulamentações vigentes.

Caso a SEJUSP, em colaboração com o SAAE, opte por não construir uma ETE completa, uma alternativa viável seria implementar um sistema de pré-tratamento na unidade. Isso visaria reter sólidos grosseiros na rede antes de descarregar na rede pública. O pré-tratamento é fundamental devido à alta concentração de resíduos sólidos nos esgotos de unidades prisionais, incluindo plásticos, embalagens e tecidos, que podem causar obstruções na rede e danificar as bombas de recalque.

A preocupação com a disposição dos resíduos armazenados na caçamba é relevante, pois geram odores desagradáveis e podem ser um vetor de reprodução de doenças. Uma vez que o SAAE não realiza a limpeza diariamente, este sistema, ao ser construído dentro da unidade, pode contar com mão de obra interna (detentos) para a limpeza e o descarte diários de forma adequada.

É fundamental destacar a importância do tratamento de esgoto para a preservação do meio ambiente e a proteção da saúde pública. Uma água de qualidade é fundamental para a saúde da população, e, quanto melhor a qualidade do efluente lançado, menor será o custo do tratamento para distribuição. Além disso, um tratamento eficiente reduz os riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, especialmente em áreas onde os poços artesianos são a principal fonte de água, como é o caso do município de Sete Lagoas.

Ao analisar as tarifas de água da unidade, nota-se que o principal custo está vinculado à taxa de coleta de esgoto, correspondendo a 75% do consumo de água. Um vazamento contínuo nas taças d'água de entrada (Figura 8) tem sido responsável por esse aumento na tarifa. Recomenda-se a revisão da rede de distribuição, que apresenta múltiplas emendas, e uma investigação detalhada nas boias, as quais são frequentemente substituídas devido ao mesmo problema.

**Figura 8:** Taça d'água de entrada da unidade abastecida pelo poço artesiano



Fonte: Autora (2024).

O medidor de água instalado na unidade (Figura ) registra tanto o consumo do poço quanto o da rede externa do SAAE. Recomenda-se a manutenção de registros separados para cada fonte de abastecimento. Essa distinção é crucial para o controle do poço, permitindo monitorar sua produção e garantir sua longevidade, considerando o nível dinâmico e também o estático. Recomendamos uma verificação da rede para confirmar a exclusividade de uso do presídio, pois a unidade relata que, quando o registro é fechado, falta água no bairro vizinho. Portanto, essa verificação da rede é essencial.

**Figura 9** - Hidrômetro instalado na entrada do presídio “Promotor José Costa”



Fonte: Autora (2024).

Outra sugestão de grande importância é a instalação de um medidor de vazão no sistema de esgoto. Essa medida é essencial para avaliar a relação entre o consumo de água e a produção de esgoto, além de possibilitar a detecção de vazamentos internos tanto de água quanto de esgoto.

Também seria pertinente solicitar ao SAAE os resultados das análises da qualidade da água do poço, uma vez que foi informado pelo SAAE que o poço possui sistema de tratamento da água. O Ministério Público solicita com frequência tais análises à unidade, visando avaliar a qualidade da água fornecida.

Além disso, sugerimos verificar o progresso da obra em andamento do DEER (Departamento de Estradas de Rodagem). Há uma preocupação quanto à possibilidade de o trecho em construção do Rodoanel passar pela área de segurança do presídio, afetando potencialmente a estação elevatória e o poço artesiano. Antes de qualquer intervenção, é prudente buscar junto ao DEER informações adicionais e, se possível, ter acesso ao projeto da obra. Conforme informações da prefeitura, o projeto do Rodoanel antecede a construção do presídio, o que ressalta a importância de esclarecer essa situação.

Por fim, a importância de um profissional qualificado nas obras de saneamento do sistema prisional é indiscutível, considerando os desafios específicos e as demandas críticas associadas a esse ambiente. É fundamental que esse profissional possua um conhecimento abrangente sobre as normas e regulamentações vigentes relacionadas ao saneamento básico,

garantindo que todas as obras estejam em conformidade com as exigências legais.

Um profissional qualificado pode desempenhar um papel crucial na concepção, planejamento e execução de projetos de saneamento em unidades prisionais. Isso inclui a análise detalhada das necessidades específicas de cada instituição, levando em consideração questões como capacidade de tratamento de esgoto, disponibilidade de água potável e gestão adequada de resíduos sólidos. Todas essas ações são essenciais para assegurar a eficiência, a sustentabilidade e a segurança das instalações, contribuindo, assim, para a melhoria das condições de vida e saúde dos detentos, funcionários e comunidades vizinhas.

O diagnóstico possibilitou a identificação de vários pontos importantes não observados no decorrer do projeto de execução da obra referente à rede hidrossanitária do presídio “Promotor José Costa” que podem ser ampliados para outras unidades, pois se conseguiu registrar etapas específicas no que se refere ao esgoto do sistema prisional, alcançando resultados consistentes e alinhados ao objetivo.

Todavia, espera-se que as lacunas encontradas sejam abordadas futuramente por novos pesquisadores, além de serem uma fonte de inspiração para as próximas construções ou outros diagnósticos nas estações de tratamento de esgoto no sistema prisional.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 12209**: Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1992. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 53 p.
- COSTA, Nilson R., **Política Pública de Saneamento Básico no Brasil**: ideias, instituições e desafios no Século XXI, DOI: 10.1590/1413-81232023289.20432022, SciELO SciELO Brazil Alma/SFX Local Collection Ciência & saúde coletiva, 2023, Vol.28 (9), p.2595-2600
- PASINI, F.; DAMKE, T. A importância da potabilidade da água no saneamento básico para a promoção da saúde pública no Brasil. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 13, n. 1, p. 8-15, 2020.
- DEPEM. **Panorama nacional e avanços necessários** / Conselho Nacional de Justiça, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Departamento Penitenciário Nacional ; coordenação de Luís Geraldo Sant'Ana Lanfredi ... [et al.]. Brasília : Conselho Nacional de Justiça, 2021. Calculando Custos Prisionais: Panorama Nacional e Avanços Necessários.
- GIL, A. C. (2002). **Como elaborar projetos de pesquisa**. Atlas. Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2010). Fundamentos de metodologia científica. Atlas.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil**: uma primeira aproximação. IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Esgoto**. 2019. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/dados-regionais/>. Acesso em: 24 fev.2023.
- FIGUEIREDO, Isabel C.S, **Tratamento de esgoto na zona rural**: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas – Campinas ,SP 2019
- LEP. **Lei de Execução Penal**. Lei nº 7.210, de 11 de julho de 1984. Brasília, DF: Senado Federal, 1984.
- OLIVEIRA, S S. et al., **Diagnóstico dos problemas operacionais das estações de tratamento de esgoto das unidades prisionais da região metropolitana de belo horizonte, mg**. Sustentare, Três Corações, v. 1, pág.93-107, atrás./dez. 2017.
- OPAS .Organização pan américa da saúde – **Uma a cada três pessia pessoas no mundo não tem acesso a água potável**. Disponível em<<https://www.paho.org/pt/noticias/18-6-2019-uma-em-cada-tres-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-revela-novo> <https://www.paho.org/pt/brasil>. Acesso em 30 out, 2022.
- RICHARDSON, R. J. (2017). **Pesquisa social**: métodos e técnicas. Atlas.
- TONETTI, et al. **Alternativas para o gerenciamento de lodo de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos de áreas rurais**. Labor & Engenho, Campinas [SP] Brasil, v.12, n.1, p.145-152, jan./mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/labore.v12i1.8649680>.
- VASCONCELOS, ACCG; DE SOUZA, M; LIMA, KR; DA SILVA, BAK; VASCONCELOS, DFP. **Atenção à saúde de indivíduos privados de liberdade no sistema prisional brasileiro**: uma revisão integrativa. Revista Ciência e Saúde, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 28-

36, 10 nov. 2019. Disponível em:

[https://portalrcs.hcitajuba.org.br/index.php/rcsfmit\\_zero/issue/view/37](https://portalrcs.hcitajuba.org.br/index.php/rcsfmit_zero/issue/view/37). Acesso em: 28 set. 2023.



## IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

Este documento tem por objetivo ajudar na identificação de cada unidade que compõe o sistema de tratamento de esgoto da unidade APAC Caratinga.

	<p><b>Gradeamento:</b> o objetivo do gradeamento no sistema de tratamento de esgoto é reter sólidos grosseiros, como pedaços de papel, plástico, galhos e outros detritos presentes no esgoto bruto. Isso impede que esses materiais entrem nas etapas subsequentes do tratamento, onde poderiam causar obstruções ou danos nos equipamentos, prejudicando a eficiência do processo de tratamento.</p>
	<p><b>Caixa de areia ou desarenador:</b> o objetivo principal dessa unidade é remover areia e outros materiais pesados presentes no esgoto bruto. A presença desses materiais pode causar danos aos equipamentos e prejudicar o desempenho de outras etapas do tratamento. Portanto, o desarenador ajuda a proteger as instalações subsequentes, como bombas e tanques, prolongando sua vida útil e garantindo a eficiência do tratamento.</p>
	<p><b>Tanques UASB, Filtro Biológico:</b> são componentes fundamentais em sistemas de tratamento de esgoto. É dentro deles que o esgoto é tratado; sendo assim, somente um técnico qualificado pode operar.</p>
	<p><b>Tanque clorador:</b> esta é a última etapa do processo de tratamento; aqui, devem ser inseridas as pastilhas de cloro para desinfecção do efluente.</p>



**Caixa de saída após clorador:** Nesta etapa, o efluente é lançado na rede que passa por baixo do pátio de entrada.



**Caixa de saída para o curso d'água:** esta é a última caixa, onde o efluente vai para o córrego dos Bias; ela fica próxima à cerca no final do terreno.