



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Maria Clara Vieira Pereira de Souza

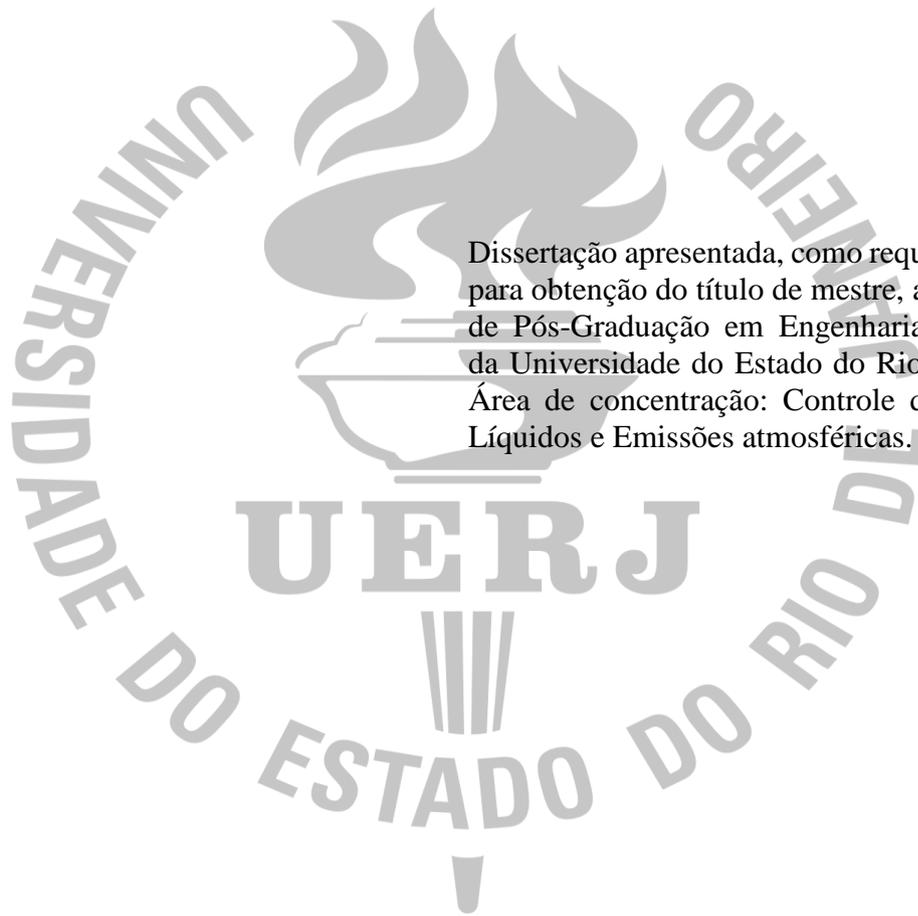
**Estudo comparativo entre dois sistemas descentralizados de tratamento de
esgoto doméstico instalados no Centro de Estudos Ambientais e de
Desenvolvimento Sustentável da UERJ**

Rio de Janeiro

2023

Maria Clara Vieira Pereira de Souza

Estudo comparativo entre dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto doméstico instalados no Centro de Estudos Ambientais e de Desenvolvimento Sustentável da UERJ



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle de Efluentes Líquidos e Emissões atmosféricas.

Orientador: Prof. Dr. André Luís de Sá Salomão

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S729 Souza, Maria Clara Vieira Pereira de.
Estudo comparativo entre dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto doméstico instalados no Centro de Estudos Ambientais e de Desenvolvimento Sustentável da UERJ / Maria Clara Vieira Pereira de Souza. – 2023.
97 f.

Orientador: André Luís de Sá Salomão.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Esgotos rurais - Teses. 3. Águas residuais - Purificação - Teses. 4. Serviços ambientais - Teses. I. Salomão, André Luís de Sá. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. III. Título.

CDU 628.16.098.4

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Maria Clara Vieira Pereira de Souza

Estudo comparativo entre dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto doméstico instalados no Centro de Estudos Ambientais e de Desenvolvimento Sustentável da UERJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle de Efluentes Líquidos e Emissões atmosféricas.

Aprovada em ____ de _____ de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Luís de Sá Salomão (Orientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dra. Anna Virgínia Muniz Machado

Universidade Federal Fluminense

Prof.^a Dra. Lia Cardoso Rocha Saraiva Teixeira

Faculdade de Engenharia - UERJ

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado nessa e em todas as jornadas, apoiando minhas escolhas, e me dando o suporte necessário para que o processo fosse mais tranquilo.

Ao meu querido orientador André Salomão, que me deu esse voto de confiança, e mesmo com a agenda repleta de compromissos, se fez presente em todos os momentos, e por todo conhecimento compartilhado nesse período.

À minha companheira de projeto, Rayssa Jacob, e todos os colegas do grupo de pesquisa BIOTEMA, onde juntos formamos um time, sempre apoiando e incentivando um ao outro.

A todos os funcionários do CEADS, principalmente Seu Paniel, que tornaram tudo possível, nos tratando sempre com muito carinho, acolhimento e dedicação.

E a todos os amigos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação acadêmica. Muito obrigada!

RESUMO

SOUZA, Maria Clara Vieira Pereira de. *Estudo comparativo entre dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto doméstico instalados no Centro de Estudos Ambientais e de Desenvolvimento Sustentável da UERJ*. 2022. 97 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

O crescimento desordenado somado à falta de investimentos no setor de saneamento, fez com que o Brasil ocupasse a 118ª posição no ranking de países com acesso ao saneamento básico. A dispersão populacional e a dificuldade de acesso em muitas comunidades isoladas e assentamentos rurais trazem complexidade ao atendimento deste direito a uma parte da população. Uma das vantagens do tratamento descentralizado do esgoto é que este, pode ser tratado próximo à fonte geradora, diminuindo a necessidade de grandes investimentos em instalações e implantação das extensas redes coletoras para levar o esgoto produzido até a estação de tratamento de esgoto. O objetivo do trabalho foi operar, monitorar e comparar as eficiências de tratamento de dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto instalados no CEADS, Vila de Dois Rios, Ilha Grande, RJ. Sendo um deles, o Ecossistema Engenheirado (EE), que combina sistema convencional de tratamento composto por tanque anaeróbio, aeróbio e anóxico, com sistema ecológico, composto por wetlands construídos, e outro, o Sistema Avançado Anaeróbio de Tratamento de Esgoto (SAATE), composto apenas por sistemas convencionais anaeróbios. O monitoramento dos sistemas foi conduzido em 03 etapas: (i) levantamento de dados das instalações do CEADS; (ii) descrição das tecnologias de tratamento implantadas em cada um dos sistemas analisados, assim como suas operações e manutenções; e (iii) coleta, condicionamento, análises dos efluentes. Analisando a média do efluente tratado (efluente final) de cada sistema, a eficiência global dos parâmetros monitorados e o seu enquadramento perante as legislações vigentes que determinam os limites de lançamento de efluente em corpos hídricos, o Ecossistema Engenheirado apresentou melhores resultados em todos os parâmetros. Já o SAATE ficou fora dos limites de lançamento em muitos dos parâmetros analisados, como OD, DBO, SDT. Apesar do EE possuir um maior custo operacional devido ao gasto com energia elétrica, demandar uma maior frequência de manutenção para realização da poda das macrófitas, e necessitar de uma área maior para sua instalação, este apresentou melhor eficiência global na remoção de todos os parâmetros analisados ao longo dos meses de pesquisa, contribuindo assim, para uma maior preservação da qualidade dos corpos d'água após o lançamento do efluente tratado no meio ambiente.

Palavras-chave: Saneamento Rural. Sistemas Descentralizados de Tratamento de Esgoto. Ecossistema Engenheirado.

ABSTRACT

SOUZA, Maria Clara Vieira Pereira de. *Comparative study between two decentralized domestic sewage treatment systems installed at the Center for Environmental Studies and Sustainable Development at UERJ*. 2023. 97 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The uncontrolled growth combined with a lack of investment in the sanitation sector has placed Brazil in the 118th position in the ranking of countries with access to basic sanitation. The dispersed population and the difficulty of access in many isolated communities and rural settlements bring complexity to the provision of this right to a portion of the population. One of the advantages of decentralized wastewater treatment is that it can be treated near the source, reducing the need for large investments in facilities and the implementation of extensive sewerage networks to transport the generated wastewater to the wastewater treatment plant. The objective of this study was to operate, monitor, and compare the treatment efficiencies of two decentralized wastewater treatment systems installed at CEADS, Vila de Dois Rios, Ilha Grande, RJ. One of them is the Engineered Ecosystem, which combines a conventional treatment system consisting of anaerobic, aerobic, and anoxic tanks with an ecological system composed of constructed wetlands. The other one is the Advanced Anaerobic Wastewater Treatment System, composed solely of conventional anaerobic systems. The monitoring of the systems was conducted in three stages: (i) data collection from the CEADS facilities, (ii) description of the treatment technologies implemented in each of the analyzed systems, as well as their operations and maintenance, and (iii) collection, conditioning, and analysis of the effluents. Analyzing the average of the treated effluent (final effluent) from each system, the overall efficiency of the monitored parameters, and their compliance with the current regulations that determine the limits for effluent discharge into water bodies, the Engineered Ecosystem presented better results in all parameters. On the other hand, the Advanced Anaerobic Wastewater Treatment System exceeded the discharge limits for many of the analyzed parameters, such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, and total suspended solids. Despite the Engineered Ecosystem having higher operational costs due to energy consumption, requiring more frequent maintenance for macrophyte pruning, and needing a larger area for installation, it showed better overall efficiency in removing all the analyzed parameters throughout the months of research, thus contributing to a greater preservation of water quality after the discharge of treated effluent into the environment.

Keywords: Rural Sanitation. Decentralized Sewage Treatment Systems. Engineered Ecosystem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista do CEADS.....	39
Figura 2 - Foto do SAATE - Dois reatores UASB e do filtro anaeróbio em sequência.....	41
Figura 3 - Vista interna do reator UASB 1.....	42
Figura 4 - Vista interna do reator UASB 2 com o recheio de mídias plásticas aparente.....	42
Figura 5 - Vista interna do filtro anaeróbio.....	43
Figura 6 - Sumidouro – Ponto de coleta das amostras do efluente final do Sistema Avançado Anaeróbio de Tratamento de Esgoto para as análises de monitoramento.....	44
Figura 7 - Imagens referentes ao antes e depois da reforma do Ecossistema Engenheirado logo após o retorno da pandemia.....	45
Figura 8 - Ecossistema Engenheirado da direita para esquerda: Tanque pulmão - caixa equalizadora de vazão - de gordura - fossa séptica - filtro aerado – biofiltro misto.....	46
Figura 9 - O sistema alagado. De frente para trás: Aguapé - Algas - Typha - Gramíneas.....	46
Figura 10 - Amostras coletadas para análise.....	49
Figura 11 - Medição de vazão.....	51
Figura 12 - Coleta e monitoramento do efluente final do Ecossistema Engenheirado.....	52
Figura 13 - Passo a passo de como é feito o controle da biomassa.....	53
Figura 14 - Plantio da Typha.....	56
Figura 15 - Instalação da caixa de gordura para o efluente oriundo da cozinha.....	56
Figura 16 - Troca do tanque pulmão.....	57
Figura 17 - Montagem da caixa de areia.....	57
Figura 18 - Disposição do lodo no leito de secagem após sua remoção do tanque séptico.....	58
Figura 19 - Ilustração do Ecossistema Engenheirado.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 - Valores da média global de Oxigênio Dissolvido (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa)..... 60
- Gráfico 2 - Valores da média global de DBO (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa)..... 61
- Gráfico 3 - Valores da média global de SDT (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa)..... 63
- Gráfico 4 - Valores da média global de SST (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa)..... 64
- Gráfico 5 - Valores da média global de Turbidez (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa)..... 65
- Gráfico 6 - Valores da média global de Amônia (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa)..... 67
- Gráfico 7 - Valores da média global de Nitrito (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa)..... 68
- Gráfico 8 - Valores da média global de Nitrato (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa

de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).....	68
Gráfico 9 - Valores da média global de Fósforo (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).....	69
Gráfico 10 - Valores da média global de Coliformes Termotolerantes (barras cinza) do esgoto bruto (T1), após os WCs e a caixa de areia (T8) do EE e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).....	72
Gráfico 11 - Percentual médio de remoção (%) de Benzofenona do Ecossistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).	73
Gráfico 12 - Percentual médio de remoção (%) de Levonorgestrel do Ecossistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).	74
Gráfico 13 - Percentual médio de remoção (%) de 17 a-etinilestradiol do Ecossistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).	74
Gráfico 14 - Percentual médio de remoção (%) de Ibuprofeno do Ecossistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).	75
Gráfico 15 - Densidade de microalgas (algas/mL) e inibição de crescimento (%) do Ecossistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE), no mês de dezembro.....	76
Gráfico 16 - Densidade de microalgas (algas/mL) e inibição de crescimento (%) do Ecossistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE), no mês de janeiro.	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Rotina de campo.....	47
Quadro 2 - Data em que foram realizadas as coletas.....	48
Quadro 3 - Quantidade de visitantes no CEADS nos últimos meses	54
Quadro 4 - Descrição dos dois sistemas	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados mensais de Demanda Bioquímica de Oxigênio	60
Tabela 2 - Dados mensais de sólidos dissolvidos totais	62
Tabela 3 - Dados mensais de sólidos suspensos totais	63
Tabela 4 - Dados mensais de turbidez	65
Tabela 5 - Dados mensais de nitrito, amônia, nitrato e fósforo	66
Tabela 6 - Dados mensais de coliformes termotolerantes	71
Tabela 7 - Concentrações e densidades do efluente final de cada sistema (Ecossistema Engenheirado - EE e Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto - SAATE) representados pela média das campanhas realizadas e a eficiência global para cada parâmetro avaliado. Em verde os valores que se enquadram abaixo dos limites estabelecidos nas legislações vigentes e em laranja os valores acima.	78
Tabela 8 - Tabela comparativa entre o Ecossistema Engenheirado e o Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CEADS	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EE	Ecossistema Engenheirado
ETE	Estações de Tratamento de Esgoto
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
PLANASAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
SAATE	Sistema Anaeróbico Avançado de Tratamento de Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SLAP	Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
UASB	Reator anaeróbico de fluxo ascendente
UERJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
WCs	Wetlands Construídos

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
mL	Mililitro
cm	Centímetro
km	Quilometro
m	Metro
L	Litro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1. OBJETIVO	18
1.1. GERAL	18
1.2. ESPECÍFICO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. SANEAMENTO NO BRASIL	19
2.2. TRATAMENTO DE EFLUENTES	20
2.3. DIFERENÇAS ENTRE O SISTEMA CENTRALIZADO E O DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	22
2.4. SANEAMENTO DESCENTRALIZADO	25
2.4.1. TIPOS DE TRATAMENTOS DE ESGOTOS DESCENTRALIZADOS MAIS UTILIZADOS NO BRASIL	29
2.4.2. WETLANDS CONSTRUÍDOS	30
2.4.3 REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE (RAFA)	32
2.5. LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS	33
2.6. DESCRIÇÃO HISTÓRICA DA VILA DE DOIS RIOS	36
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1. ETAPA 1 - LEVANTAMENTO DE DADOS DAS INSTALAÇÕES DO CEADS; 38	
3.2. ETAPA 2: DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO IMPLANTADAS EM CADA UM DOS SISTEMAS ANALISADOS, E SUAS OPERAÇÕES E MANUTENÇÕES;	40
3.2.1. SISTEMA ANAERÓBIO AVANÇADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – SAATE 40	
3.3.2. ECOSSISTEMA ENGENHEIRADO – EE	44
3.3. COLETA, CONDICIONAMENTO, ANÁLISES DO EFLUENTE.....	47
3.3.1. ROTINA DE CAMPO	47
3.3.2. COLETAS	48
3.3.3. PARÂMETROS ANALISADOS.....	49
3.4. ANÁLISE DO EE.....	51
3.4.1. CONTROLE DE VAZÃO.....	51
3.4.2. MONITORAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS	51
3.4.3. CONTROLE DA BIOMASSA	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1. TOTAL DE VISITANTES POR MÊS NO CEADS	54
4.2. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS	54
4.3. OPERAÇÃO DO SISTEMA: MANUTENÇÕES REALIZADAS NO EE.....	55
4.4. RESULTADOS DAS ANÁLISES	59
4.4.1. OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	59

4.4.2.	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	60
4.4.3.	SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	62
4.4.4.	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	63
4.4.5.	TURBIDEZ	64
4.4.6.	NUTRIENTES	66
4.4.7.	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	71
4.4.8.	ANÁLISE CROMATOGRÁFICA	72
4.4.9.	ANÁLISE ECOTOXICOLÓGICA	76
4.5	DESEMPENHO GLOBAL DOS DOIS SISTEMAS DE TRATAMENTO O ENQUADRAMENTO NAS LEGISLAÇÕES NOP 45/21 E CONAMA 430/2011	77
4.6	COMPARAÇÃO COM VALORES ENCONTRADOS NA LITERATURA.....	79
4.7	TABELA COMPARATIVA ENTRE OS DOIS SISTEMAS	80
5 .	CONCLUSÃO.....	83
6	RECOMENDAÇÕES.....	85
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE	94

INTRODUÇÃO

A precariedade de investimentos e ações que promovam saneamento básico à população é uma realidade global. De acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) (WHO/UNICEF, 2017), estima-se que cerca de 627 milhões de pessoas têm acesso aos serviços de saneamento de forma limitada, e ainda 673 milhões não possuem nem acesso a um banheiro, defecando a céu aberto. Somado a isto, cerca de 633 milhões de pessoas não têm acesso a uma fonte de água potável e segura, acarretando a morte de mais de 3,5 milhões de pessoas por ano. Tais mortes ocorrem devido as infecções respiratórias, diarreia, malária, entre outros fatores que são agravados pela falta de saneamento (VARELA et al.,2020).

Estudos internacionais apontam que a geração e o tratamento do esgoto por cada país variam de acordo com a sua renda populacional. Onde, populações de baixa renda tratam, em média, apenas 4,2% dos esgotos. Enquanto países com populações de alta renda, tratam em torno de 74% de seus esgotos (JONES et al., 2020). Boas práticas de saneamento são fundamentais, não somente para evitar doenças, mas também para promover a saúde, proteger o meio ambiente e aumentar a qualidade de vida da população (TONETTI, 2018).

Em virtude desta realidade, e visando minimizar essa desigualdade, foi realizado um pacto global na tentativa de modificar o cenário atual: a criação da “Agenda 2030”, lançada durante a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável realizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015. Foram definidos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as 169 metas, que abordam aspectos sociais, econômicos e ambientais do desenvolvimento sustentável. Tais ODS foram estabelecidas visando acabar com a pobreza, reduzir a desigualdade social, promover saúde e educação para a população mais vulnerável, protegendo o planeta e garantindo prosperidade para todos (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

A temática do saneamento está contemplada dentro de algumas ODS e metas, principalmente na 6 (água potável e saneamento) onde, até 2030 visa alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos e acabar com a defecação a céu aberto, prestando atenção especial às necessidades de mulheres e meninas e pessoas em situação de vulnerabilidade (ONU, 2023). Além disso, o Brasil tem um compromisso interno estipulado pelo novo Marco Legal do Saneamento (Lei Federal 14.026/2020) até 2033 de oferecer água potável para 99%

da população e coleta e tratamento dos esgotos para 90% da população (TRATA BRASIL, 2021).

Dados do IBGE (IBGE, 2020) apontam que, no século XX, a população brasileira saltou de 17,4 milhões de habitantes para 169,6 milhões. Atualmente este número já está em 218 milhões. Essa crescente populacional e a expansão demográfica, demandam um aumento do consumo de água, aumento das atividades industriais, turismo, e, principalmente, a irrigação agrícola, acentuando a pressão sobre o recurso hídrico de forma insustentável (GALVÃO et al., 2011).

Este crescimento desordenado somado a falta de investimentos no setor de saneamento, fez que com o Brasil ocupasse a 118ª posição no ranking de países com acesso ao saneamento básico segundo o relatório da ONU, 2021. A dispersão populacional e a dificuldade de acesso em muitas comunidades isoladas e assentamentos rurais trazem complexidade ao atendimento deste direito a uma parte da população, a qual já apresenta maior vulnerabilidade (MACHADO et al., 2021). Outro fator agravante é a desigualdade social que é agravada pela defasagem de investimento nessas regiões, o que dificulta o processo de universalização do saneamento.

Os tratamentos descentralizados podem ser uma opção viável e possível para tentar solucionar esta problemática, visto que nestes casos o esgoto bruto pode ser tratado próximo à fonte geradora doméstica (WILDERER E SCHREFF, 2000), não havendo necessidade de grandes investimentos em instalações das extensas redes coletoras para levar o esgoto produzido até a estação de tratamento.

A configuração da descentralização do tratamento de esgotos possui várias escalas: desde sistemas individuais no local (totalmente descentralizados) até estações semi-centralizadas que tratam os efluentes de bairros isolados (LIBRALATO et al., 2012)

As tecnologias aplicadas atualmente neste modelo de descentralização do tratamento de efluentes domésticos podem ser consideradas como: eficientes, de baixo custo de implantação e manutenção, com características de autossuficiência e aceitação pelas partes interessadas (CHUNG et al., 2008; MASSOUD et al., 2009). Estas ainda, não demandam mão-de-obra especializada para manter seu funcionamento de forma eficiente, além de apresentar grande potencial de reutilização local da água, e à possibilidade de expansão, de forma mais simples e menos custosa.

O saneamento tem como finalidade promover a saúde e melhorar as condições de vida da população. Sendo estas, viabilizadas por meio de intervenções em infraestrutura e

educacionais, adequadas às diferentes realidades, ou seja, respeitando-se as características socioculturais, econômicas e ambientais locais, bem como buscando tecnologias de tratamento de efluentes mais apropriadas e adequadas do ponto de vista ambiental e social (FUNASA, 2015). Para isso, torna-se necessário a aplicação da educação ambiental como ferramenta para o engajamento social e de informação e esclarecimento a população, na busca de melhoria de sistemas de saneamento descentralizado na tentativa de ruptura dos entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que atualmente dificultam a difusão adequada do saneamento ambiental às populações que habitam áreas rurais e localidades de pequeno porte afastadas dos centros urbanos (MADRI et. al., 2015).

1. OBJETIVO

1.1.Geral

O objetivo deste trabalho foi operar e monitorar um sistema descentralizado de tratamento de esgoto denominado Ecossistema Engenheirado, composto pelos sistemas convencional e ecológico de tratamento, com o propósito de comparar com outro sistema também descentralizado, porém composto apenas por sistema convencional de tratamento anaeróbio, ambos instalados no CEADS, Vila de Dois Rios, Ilha Grande, RJ.

1.2.Específico

- Readaptação e aclimação do Ecossistema Engenheirado, que ficou inoperante devido a pandemia, realizando as manutenções necessárias para possibilitar seu retorno;
- Seleção e replantio de espécies de macrófitas aquáticas e gramíneas nos tanques de wetlands construídos;
- Realizar o monitoramento dos parâmetros físico-químico, químicos, microbiológico e ecotoxicológico dos dois sistemas descentralizados de tratamento de esgotos para avaliar e comparar suas eficiências;
- Proposição de futuras modificações nos sistemas para o enquadramento do efluente final nos padrões do CONAMA 430/2011 e da NOP - INEA - 45/21

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Saneamento no Brasil

Segundo o Instituto Trata Brasil (2020), a demanda por água potável no Brasil pode aumentar em quase 80% até 2040 diante de mudanças econômicas, demográficas e climáticas para o aumento também da geração de esgoto.

O esgoto não tratado é uma das principais fontes de poluição de corpos hídricos no Brasil e no mundo. Além da qualidade da água, ele também pode comprometer o equilíbrio ambiental, representando uma constante ameaça aos seres vivos, principalmente os aquáticos. Isso ocorre, porque alguns tipos de bactérias decompositoras (as aeróbias) demandam grandes quantidades do Oxigênio Dissolvido (OD) na água para decompor a matéria orgânica presente nas águas dos ambientes naturais. A redução de oxigênio dissolvido na água pode causar morte de peixes e outros organismos, além da proliferação excessiva de algas devido as grandes concentrações dos nutrientes presentes (SNIS, 2021).

Analisando o cenário urbano, há uma cobertura de aproximadamente 368 mil km de rede pública de esgoto em todo o território brasileiro. As regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste são as mais desfavorecidas, com apenas 7,6, 34,4 e 43,8 mil km de rede, respectivamente, em seus territórios, enquanto o Sudeste possui quase 60% de toda a extensão de rede existente no País (SNIS, 2022).

Essa extensão de redes coletoras de esgotos construída atende somente 61,4% da população urbana brasileira, restando 38,6% de habitantes dos centros urbanos que não são contemplados com sistema de coleta para, pelo menos, terem o afastamento dos esgotos sanitários de suas residências. Além da ineficiente cobertura da rede coletora, nem todo esgoto coletado é conduzido a uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). A parcela que é contemplada com ambos os serviços (coleta e tratamento dos esgotos), representa apenas 42,6% da população urbana total. Desse modo, 96,7 milhões de pessoas não dispõem destes serviços de tratamento centralizado de esgotos (ANA,2020).

Levando em conta que, aproximadamente, 9,1 toneladas de esgotos são geradas por dia no país, (ANA, 2017), 4,2 toneladas de esgotos são lançadas diariamente na natureza sem qualquer

tratamento prévio. De acordo com os dados do SNIS 2022, de todo esgoto gerado, 6,0 toneladas são coletadas, enquanto apenas 4,9 toneladas possuem algum tipo de tratamento prévio ao lançamento no ambiente.

Quanto ao tratamento de esgoto, entre as regiões do Brasil, há uma grande discrepância na oferta dos serviços de esgotamento sanitário, onde as regiões Norte e Nordeste são as mais precárias deste serviço, tendo apenas 20,6 e 35,5% do esgoto tratado, enquanto no Centro-Oeste e Sudeste possuem, respectivamente, 60,5 e 58,6% tratamento para o esgoto gerado. Já a média Nacional fica em 51,2% de tratamento de todo esgoto gerado diariamente (SNIS, 2022). Os dados apresentados refletem a dimensão do desafio a ser solucionado (MDR, 2021).

Algumas das possíveis causas para esse cenário na prestação dos serviços de esgotamento sanitário no país são a descontinuidade de políticas públicas nos diferentes governos, a falta de planejamento, a ineficiência na gestão dos prestadores de serviços, a carência de recursos financeiros (governos federal, estaduais e municipais), a fiscalização frágil, o setor de regulação incipiente, a existência de ligações factíveis, dentre outros. Além disso, a existência de domicílios em áreas irregulares inviabiliza a construção de redes de esgotos, ou seja, há uma desarticulação das políticas habitacionais, de planejamento urbano e de mobilidade urbana com as políticas de saneamento, conforme afirma Fonseca (2008) (MDR, 2021).

2.2. Tratamento de efluentes

Esgotos domésticos ou domiciliares podem ser entendidos como o efluente formado principalmente por água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem. A composição do esgoto pode variar conforme algumas características de cada região de origem, nível cultural e socioeconômico, horário, hábitos de higiene e atividades desenvolvidas (JORDÃO & PESSÔA, 2014).

Há diferentes níveis de tratamento de esgotos:

O *tratamento preliminar* de esgotos é realizado por processos físicos através de gradeamento, remoção de areia, separação de óleo e medição de vazão (METCALF & EDDY, 2016). O objetivo dessa etapa de tratamento é impedir que o material grosseiro como galhos, pedaços de plástico, panos e madeiras, grãos de origem mineral, óleos e graxas causem problemas

operacionais (abrasão e obstrução) aos processos de tratamento e sistemas auxiliares, tais como bombas, tubulações e peças especiais, além de contribuir para melhorar o desempenho das unidades seguintes de tratamento (JORDÃO & PESSÔA, 2014; METCALF & EDDY, 2016).

O *tratamento primário* tem como objetivo a remoção de sólidos suspensos e sedimentáveis por meio de processos físicos, físico-químicos e físico-biológico. Esses sólidos que se acumulam no fundo dos sistemas de tratamento e são denominados lodo primário. Além dos sólidos sedimentáveis, o tratamento primário também remove sólidos flutuantes que se acumulam na parte superior dos tanques (TONETTI, 2018). Também pode ocorrer a adição de compostos químicos ou filtração para um tratamento primário avançado (METCALF & EDDY, 2016).

O *tratamento secundário* é responsável pela degradação da matéria orgânica dissolvida no esgoto, realizado por uma unidade de tratamento geralmente com processos biológicos, na qual bactérias e outros microrganismos se alimentam de matéria orgânica, removendo-a do esgoto (TONETTI, 2018). Além disso, podem realizar desinfecção, remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (METCALF & EDDY, 2016).

Já o *tratamento terciário* envolve a remoção de componentes específicos, principalmente nutrientes como nitrogênio e fósforo, e a desinfecção do esgoto tratado. Essa etapa de tratamento é pouco aplicada nas ETEs brasileiras (TONETTI, 2018). Usualmente, utiliza-se filtros granulares ou sistemas vegetados (wetlands construídos) (METCALF & EDDY, 2016).

Para a promoção do tratamento terciário avançado, enfatizando a remoção de sólidos suspensos remanescentes e a transformação do nitrogênio, METCALF E EDDY (1991) destacam, entre outras tecnologias, unidades de filtração, tais como filtros de areia, filtros biológicos percoladores e os wetlands construídos de escoamento vertical (SEZERINO et al., 2015). Estes sistemas são mais aplicados ao tratamento de efluentes quando há intenção de aplicação do efluente tratado para reuso de água (METCALF & EDDY, 2016).

Os processos de tratamento podem ser divididos em físicos, biológicos e químicos. Os processos físicos são aqueles que removem materiais grosseiros, sólidos sedimentáveis e materiais flutuantes (óleos, graxas etc.) através de separações físicas, tais como gradeamento, peneiramento, caixas separadoras, sedimentação e flotação (ANA, 2020). Segundo JORDÃO E PESSOA, 2011, este fenômeno é caracterizado, principalmente, pela remoção das substâncias fisicamente separáveis dos líquidos, ou que não se encontram dissolvidas, onde

também está presente na remoção da umidade do lodo, filtração do esgoto, diluição do esgoto, incineração do lodo, e homogeneização dos esgotos ou lodo (JORDAO E PESSOA, 2011).

Os processos químicos são aqueles onde há utilização de produtos químicos no processo de tratamento do esgoto. Este processo é raramente adotado isoladamente, e preferencialmente, opta-se por este método quando os processos físicos e biológicos não alcançam a eficiência desejada no tratamento do esgoto. Os processos químicos mais comumente utilizados são: coagulação e floculação, precipitação química, oxidação química, cloração e neutralização de pH (JORDAO E PESSOA, 2011).

Os processos biológicos de tratamento de esgotos são caracterizados pela ação dos microrganismos em sistemas projetados, visando reproduzir os fenômenos naturais que ocorrem no meio ambiente (VON SPERLING, 1996). METCALF & EDDY et al. (2016) elencam os objetivos gerais dos processos de tratamento biológico de esgoto doméstico: transformar constituintes biodegradáveis dissolvidos e particulados, capturar e incorporar sólidos suspensos e coloidais não sedimentáveis em um floco biológico ou em um biofilme, transformar ou remover nutrientes como nitrogênio e fósforo, e em alguns casos, remover constituintes e compostos orgânicos traços específicos.

As principais tecnologias de tratamento biológico são: Lagoas de Estabilização; Sistemas de lodos ativados; Sistemas anaeróbios: tanques sépticos, tanques Imhoff, filtros anaeróbios, reatores UASB, reatores anaeróbios de leito expandido ou fluidificado; Sistemas aeróbios com leito fixo: filtros biológicos, biodiscos, biofiltros aerados (ANA, 2020).

Os processos biológicos aeróbios são mais efetivos na redução da DBO quando comparados aos anaeróbios, que dificilmente conseguem isoladamente tratar os efluentes de forma a atender os padrões da legislação ambiental brasileira. Dessa forma, os processos anaeróbios apresentam como desvantagem a necessidade de uma etapa adicional de forma a polir o efluente gerado. Por outro lado, os processos anaeróbios geram menor quantidade de lodo e apresentam custos de investimentos e operacionais menores (ANA, 2020).

2.3.Diferenças entre o sistema centralizado e o descentralizado de tratamento de esgoto

As abordagens em relação à tratamento de esgotos variam desde os sistemas de grande escala, como os sistemas centralizados convencionais ou semicentralizados, até os sistemas de pequena escala, que são os sistemas descentralizados unifamiliar ou semicoletivo, possuindo ainda, entre eles, os de escala transitória, considerados sistema satélite ou aglomerado local (TONETTI et al., 2018).

Os sistemas centralizados geralmente são de propriedade pública e mais recentemente de empresas privadas, onde coletam e tratam grandes volumes de águas residuais para grandes comunidades, fazendo uso de extensas redes coletoras, grandes escavações e bueiros para acesso (Fisher, 1995; USEPA, 2004). Em contrapartida, os sistemas locais descentralizados tratam as águas residuais de casas e edifícios individualmente (CRITES E TCHOBANOGLIOUS, 1998; TCHOBANO GLOUS et al., 2004; USEPA, 2004; MASSOUD et al., 2009), não estando conectados à grandes redes coletoras dos sistemas centralizados, eles coletam, tratam e reutilizam, ou descartam o esgoto tratado próximo ao ponto de geração (USEPA, 2004).

Os sistemas de tratamento de águas residuais convencionais ou centralizados são projetados e construídos para coletar, transportar e tratar grandes quantidades de águas residuais (WEST, 2001). Portanto, sua construção requer bombas, grandes tubulações e energia, aumentando assim o custo do sistema (WILDERER E SCHREFF, 2000; GIRI et al., 2006; GO E DEMIR, 2006; MASSOUD et al., 2009), podendo ter uma capacidade ociosa substancial que permanece dessa forma até que a demanda projetada seja alcançada, pagando antecipadamente por cenários futuros. Assim, a construção de um sistema de tratamento centralizado para pequenas comunidades seria insustentável a um curto prazo para a população de baixa renda e situada em locais remotos (CAPODAGLIO, 2017). Segundo Massoud et al. (2009), quando há uma ausência da necessária assistência técnica e financeira pública ou de grandes empresas, a implementação de sistemas centralizados não é economicamente viável.

Além dos altos custos para construção de grandes ETEs centralizadas, a manutenção e operação também são mais custosas, visto que, requerem mão de obra qualificada para sua operação (NHAPI 2004). Por estas e outras razões, uma abordagem intermediária ou descentralizada para a gestão de águas residuais é urgentemente necessária, visando a conservação de recursos e redução dos impactos ambientais das abordagens atuais (COOK et al. 2009; MITCHELL et al. 2008; CHIRISA et al., 2017).

O planejamento e implantação de sistemas descentralizados são mais simplificados, visto que podem ser projetados para um local específico, superando assim os problemas associados às

condições do local, como lençóis freáticos elevados, solos impermeáveis, leito rochoso raso e formações calcárias (MASSOUD et al., 2009).

Os países em desenvolvimento carecem tanto de financiamento para construir instalações centralizadas quanto de conhecimento técnico para gerenciá-las e operá-las. O sistema descentralizado é, portanto, não apenas uma solução de curto a médio prazo para pequenas comunidades, mas também uma opção confiável e mais econômica (CHIRISA et al., 2017).

A descentralização aparece como uma solução lógica para lidar com problemas de sustentabilidade, já que essas instalações geralmente podem ser construídas conforme a necessidade, evitando assim grandes custos com a implementação de sistemas de tratamento centralizados. Além disso, quando operados corretamente, apresentam menores custos de substituição e reparo, aumento dos valores das propriedades, maior desenvolvimento econômico e melhor qualidade de vida (USEPA, 2005). Mesmo nos países desenvolvidos, as cidades estão gradualmente perdendo seu caráter de assentamentos densamente concentrados e gradualmente se expandindo para o campo. Isso obviamente ainda exige um sistema de coleta local, mas que provavelmente será muito menor e mais barato do que aqueles usados para tratamento centralizado convencional (CAPODAGLIO, 2017).

Em sistemas centralizados, é bem reconhecido que a maior parte dos custos financeiros está relacionada à construção e manutenção do sistema de coleta e tratamento de esgoto. Os processos de tratamento decorrem continuamente e são geralmente garantidos por uma autoridade pública, além de serem construídos mais afastados dos locais de moradia, fora da vista da população, exigindo menos participação e conscientização pública (USEPA, 2004). No caso da descentralização, além dos processos de autorização e implementação, é o utilizador final quem se encarrega da sua gestão, sendo este um dos aspectos mais importantes a ser considerado (LIBRALATO et al., 2012).

Outra diferença em relação à implantação dos sistemas de esgotos centralizados e descentralizados é que, normalmente, esses não necessitam de uma unidade de tratamento preliminar de caixas de areia. A única unidade que obrigatoriamente deve ser instalada antes de qualquer sistema, tanto unifamiliar como semicoletivo, é a caixa de gordura. Ela deve receber as águas cinzas provenientes da cozinha, evitando que placas de gordura e sólidos se acumulem nas tubulações, prejudicando o funcionamento das próximas unidades de tratamento (TONETTI, 2018).

No contexto urbano dos países desenvolvidos, a centralização é por vezes a única solução de tratamento de águas residuais, portanto, é certamente a abordagem mais aplicada para tratar águas residuais. Por outro lado, nos países em desenvolvimento, a descentralização tem assumido grande importância (HO e ANDA, 2004, LIBRALATO et al., 2012), principalmente para comunidades com zoneamento impróprio, como áreas rurais dispersas e povoadas de baixa densidade (USEPA, 2005; MASSOUD et al., 2009).

2.4. Saneamento descentralizado

As comunidades isoladas podem estar localizadas em periferias urbanas, áreas periurbanas, rurais ou litorâneas, podendo estar, inclusive, muito próximas às regiões atendidas pelos serviços municipais de saneamento e, mesmo assim, estarem desconectadas a eles. Elas também podem estar localizadas em territórios especiais, como unidades de conservação, terras indígenas, territórios quilombolas e outros de populações tradicionais. Todos esses territórios apresentam especificidades que os diferenciam consideravelmente dos núcleos com acesso aos serviços centralizados de saneamento, requerendo, portanto, uma abordagem diferenciada para a implantação e operação dos seus sistemas de saneamento básico (TONETTI, 2018).

Apesar da falta de acesso a serviços de esgotamento sanitário também existir em grandes centros, há uma enorme disparidade da situação entre áreas urbanas e rurais. Sabe-se que a cada dez pessoas sem acesso a práticas adequadas de saneamento, sete vivem em áreas rurais (WHO/UNICEF, 2015; TONETTI, 2018). Nessas regiões, 49% da população ainda convive com práticas consideradas inadequadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), como o uso de banheiros compartilhados, a defecação ao ar livre ou o lançamento dos dejetos sem qualquer tratamento diretamente no solo (WHO/UNICEF, 2015).

Ainda de acordo com o Diagnóstico Temático de Serviços de Água e Esgoto referente a 2021, 117,3 milhões de habitantes do Brasil são atendidos com serviço de coleta de esgoto através de uma rede coletora pública. Desses, 114,8 milhões vivem nos centros urbanos. Esses dados indicam que apenas 2,5 milhões de habitantes, dentre os que vivem afastados dos centros urbanos, são contemplados com os serviços de rede pública de coleta de esgoto (SNIS, 2022).

O conceito de saneamento descentralizado floresceu mais rapidamente na Europa e nos Estados Unidos, espalhando-se mais facilmente em países africanos e asiáticos, chegando ao Brasil como conceito acadêmico, a partir da década de 1990 (SEZERINO et al., 2000). Na literatura, há várias classificações e nomenclaturas para os sistemas descentralizados, como: *onsite*, individual, cluster, satélite, semicentralizado. Existe uma ampla gama de possibilidades que se enquadram entre os dois extremos do tratamento de esgotos: pequenos sistemas descentralizados (unifamiliares) e grandes sistemas centralizados (grandes estações de tratamento de esgoto) (TONETTI, 2018).

Ao longo da escala de evolução tecnológica dos sistemas de tratamento de esgoto, muitas tecnologias, hoje utilizadas na gestão descentralizada de esgotamento sanitário, já se encontravam disponíveis. Fossas (1860) e tanques sépticos (1895), além de tanques Imhoff (1902), ainda hoje utilizados como tecnologias de tratamento para esgoto doméstico em locais desprovidos de coleta e transporte de águas residuárias. Posteriormente, sistemas como Wetlands construídos (1950) e sistemas UASB (1970) foram introduzidos, melhorando a qualidade do efluente produzido a custos operacionais significativamente baixos (SEZERINO et al., 2000).

A gestão descentralizada utiliza tecnologias de baixo custo, compactas e que demandam pouca ou nenhuma energia, sendo um atrativo para a população de baixa renda brasileira que vive em locais distantes dos grandes centros urbanos (LIBRALATO; GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012; OLIVEIRA JÚNIOR, JL, 2013). No Brasil, diversos estudos têm sido realizados para desenvolver sistemas de pequeno porte para o tratamento descentralizado de esgoto doméstico que atenda à crescente demanda da população (ALMEIDA; OLIVEIRA; KLIEMANN, 2007; SALOMÃO et al., 2012; TREIN et al., 2015; DE OLIVEIRA CRUZ et al., 2019; HONORATO et al., 2021).

A implementação de sistemas descentralizados envolve um planejamento diferenciado, no qual a viabilidade, planejamento e implementação devem ser executados analisando contextos particulares; dessa forma, as soluções devem responder às necessidades individuais de cada usuário, tendo em conta as heterogeneidades, onde há grandes variações dentre as condições sociais, ambientais, econômicas e tecnológicas de cada contexto (LIANG E VAN DIJK, 2008; PURNOMO E KHAIRINA, 2016; ROEFS et al., 2017; BERNAL et al., 2021). Em qualquer caso, os elementos atualmente usados na seleção de tratamento de águas residuais são geralmente desempenho e acessibilidade (MUGA e MIHELICIC, 2008).

De um modo geral, esses sistemas exigem mais conscientização, envolvimento e participação dos usuários locais do que os centralizados. A decisão de implementar uma solução descentralizada para as necessidades de tratamento de águas residuais geralmente é feita ou discutida em nível local, e as partes interessadas devem ser mais participativas na escolha das tecnologias a serem aplicadas (CAPODAGLIO, 2017).

O sucesso de um sistema descentralizado dependerá da aceitação da população associada ao acesso à informação, educação ambiental e cultura da água (EALES et al., 2013; NARAYAN et al., 2020; BERNAL, 2021). Portanto, a educação ambiental, bem como a conscientização pública e a participação principalmente dos usuários de recursos devem receber alta prioridade para alcançar a sustentabilidade (MASSOUD et al., 2009).

A descentralização parece aumentar a possibilidade de alcançar alguns dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas, ou seja, principalmente reduzir pela metade, até 2015, a proporção da população sem acesso sustentável à água potável segura e ao saneamento básico, garantindo a sustentabilidade ambiental e revertendo a perda de recursos ambientais recursos. De fato, os processos de descentralização parecem ser capazes de satisfazer todos os requisitos tradicionais de tratamento centralizado, com alguns valores agregados principalmente relacionados à capacidade de minimizar a potencial contaminação de efluentes residuais, bem como a perturbação do ecossistema, removendo micropoluentes emergentes, como metais, produtos farmacêuticos e materiais de uso pessoal. produtos de cuidado (BORSUK et al., 2008).

Existem quatro elementos que podem influenciar o processo de tomada de decisão na descentralização: o custo, a flexibilidade de uso da terra, a manutenção e a proteção ambiental, especialmente no caso de pequenas comunidades (ENGIN e DEMIR, 2006; LIBRALATO et al., 2012).

No entanto, o tratamento descentralizado de águas residuais apresenta alguns desafios resultantes da escolha de tecnologia inadequada, localização imprópria da infraestrutura, adesão a conceitos de projeto corretos e falta de manutenção adequada (OMENK 2010; LIBRALATO et al. 2012). Estes trazem impactos ambientais e de saúde pública negativos, incluindo a contaminação por nitratos das águas subterrâneas, a eutrofização das massas de água superficiais e a contribuição para o aquecimento global através da emissão de gases com efeito de estufa (CHIRISA et al., 2017).

Além dos fatores mencionados anteriormente, foram identificados fatores principais que influenciam o declínio da eficiência em alguns sistemas, como: rápido crescimento populacional nas áreas atendidas, aumentando consideravelmente as taxas de fluxo, causando reduções significativas no tempo de retenção hidráulica, bem como sobrecargas orgânicas nos sistemas; recursos econômicos limitados combinados com baixa capacidade de organização dos usuários na manutenção dos sistemas, que contribuem para a sua deterioração; em alguns casos, a adoção de soluções padrão aplicadas com sucesso em outros países, mas não apropriadas para as condições ambientais particulares de um local específico (ALVARADO, 2017).

Dado os recursos técnicos e financeiros limitados da maioria das comunidades rurais, principalmente nos países em desenvolvimento (MESQUITA et al., 2020), as condições nas quais o serviço é prestado não se adequam às necessidades, e as instalações de fornecimento e de saneamento, muitas vezes, não são operadas de forma adequada. A dispersão das comunidades rurais é o principal problema no fornecimento de serviços, assim como os níveis de renda, mais baixos nesse meio. Conforme os números da Organização Mundial da Saúde, a população que tem acesso a condições de saneamento melhorado na região se localiza predominantemente no meio urbano (85%), com apenas 15% no meio rural (GALVÃO, 2011).

Para a engenheira Mônica Bicalho Pinto Rodrigues, coordenadora da Câmara Temática de Saneamento Rural da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), a inexistência de saneamento básico na maioria dessas comunidades deve-se basicamente a três fatores: a criticidade de viabilidade financeira; a exigência de soluções tecnológicas diferenciadas e a inexistência de cultura objetivando a formação dos técnicos para lidar com soluções alternativas, com a participação da comunidade na gestão de sistemas (ABES, 2019).

Em regiões insulares, apesar do apelo visual e da beleza natural serem grandes atrativos, a realidade da maioria dessas regiões litorâneas apresenta muitos aspectos negativos que afetam a saúde dos ecossistemas insulares, como: a ausência de transporte, bens e serviços, e, principalmente, os problemas da falta de sistema de saneamento básico, resultando na degradação do ambiente e no risco de doenças de veiculação hídrica na população local (POLETTO, 2008).

Há grandes barreiras que dificultam a implementação de sistemas de tratamento de esgotos em ilhas e que afetam diretamente a vida da população, como escassez de recursos naturais, altos custos de energia, deficiência nos transportes e comunicações o que acarreta no aumento do custo de implantação e manutenção dos sistemas de tratamento, inflação de mercados

domésticos, alta volatilidade do desempenho econômico, grande densidade populacional, dependência externa e baixa resiliência a desastres naturais (FACCO, 2022).

2.4.1. Tipos de tratamentos de esgotos descentralizados mais utilizados no Brasil

Diversas tecnologias podem ser aplicadas sob o contexto do tratamento descentralizado de esgotos. Essas tecnologias auxiliarão na universalização dos serviços de saneamento. Algumas das tecnologias aplicáveis são apresentadas nas normas brasileiras NBR 7229 (ABNT, 1993) e NBR 13969 (ABNT, 1997), as quais destacam a necessidade da promoção, minimamente, dos níveis de tratamento primário e secundário (TREIN, 2015)

De uma forma geral, nos municípios brasileiros, o destino mais comum para os esgotos domésticos ainda são fossas rudimentares (53,17%) (LANDAU e MOURA, 2016), em seguida, 22% dos domicílios fazem uso de tanque séptico (IBGE, 2011), o que equivale a aproximadamente 23 milhões de unidades. Possivelmente, na maioria dos casos, não é realizada a manutenção adequada do tanque, fazendo com que o reator funcione somente como uma caixa de passagem para o esgoto. Outro destino bastante comum é o lançamento diretamente nos corpos hídricos, ou no solo (TONETTI et al., 2018).

As normas brasileiras que orientam a elaboração de projetos para o tratamento de esgotos em áreas rurais ou isoladas (NBR 7229, 1993 e NBR 13969, 1997) recomendam que em todos os casos seja adotado um tanque séptico seguido de algum pós-tratamento (TONEN et al., 2015; TONETTI et al., 2012; TONETTI et al., 2018). Além da fossa rudimentar e o tanque séptico, os reatores anaeróbios compartimentados são alternativas comumente empregadas para a promoção do tratamento primário de esgoto (TREIN, 2015).

No que tange o tratamento secundário, as tecnologias mais indicadas para a abordagem descentralizada são os reatores que se baseiam no processo depurativo de biomassa aderida em material suporte, tais como os filtros anaeróbios, biofiltros aerados submersos, filtros de areia, valas de filtração e os wetlands construídos (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; SEZERINO et al., 2012; TREIN, 2015). Já para a promoção do tratamento avançado, buscando a remoção de sólidos suspensos remanescentes e a transformação do nitrogênio, METCALF E EDDY (1991) destacam, entre outras tecnologias, unidades de

filtração, tais como filtros de areia, filtros biológicos percoladores e os wetlands construídos de escoamento vertical (TREIN, 2015).

TONETTI (2018) sugere outras tecnologias alternativas para o tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas, sendo elas: Fossa seca; Banheiro seco Compostável; Estocagem e uso da urina; Círculo de bananeiras; Reator anaeróbio de fluxo ascendente unifamiliar; Fossa verde; Biodigestor; Vermifiltro; Biosistema integrado (BSI).

2.4.2. Wetlands Construídos

Existem várias tecnologias que podem ser consideradas sociais e descentralizadas, dentre as quais temos os chamados Wetlands Construídos (WC), também conhecidos como: Zona de Raízes, Jardins Filtrantes, Filtros Vegetados ou Zonas Húmidas Construídas (PAGLIARINI JÚNIOR; PAROLIN; CRISPIM, 2012), podendo ser incorporados como parte do paisagismo (SEZERINO e PELISSARI, 2021), sem necessidade significativa de reatores e mão de obra operacional, energia e produtos químicos (METCALF e EDDY, 2003; MUGA, 2008).

Essas práticas já vêm sendo utilizadas na Europa, Austrália e Estados Unidos desde o século XX. Os WC, capazes de tratar os esgotos, simulam processos naturais que acontecem nos sistemas naturais de várzeas. Porém, eles podem superar seus pontos fracos e obter maiores eficiências, tendo um controle hidráulico e através da seleção das espécies de vegetação que a compõe (LAUTENSCHLAGER, 2001; ROSA, 2020). Os wetlands construídos são capazes de promover a depuração de águas residuárias através de uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos, tais como precipitação, adsorção às partículas do material filtrante, assimilação pelos tecidos das plantas e transformações microbiológicas (VYMAZAL; KROPFLOVÁ, 2008; TREIN et al., 2015), sedimentação, filtração e volatilização (HOFFMANN et al., 2011).

Essa tecnologia desempenha um papel importante no mundo, especialmente no tratamento de esgoto de pequenas comunidades (PLATZER, 2000; HOFFMANN, 2004), escolas, residências unifamiliares (PAGLIARINI JÚNIOR; PAROLIN; CRISPIM, 2012). Se projetados e operados adequadamente, os WCs apresentam desempenho bastante satisfatório, quanto à remoção de matéria orgânica carbonácea, sólidos em suspensão e até mesmo nitrogênio e fósforo. No entanto, vale ressaltar que condições climáticas e parâmetros construtivos e operacionais, como

tempo de retenção hidráulica, taxa de aplicação, modo de alimentação, tipo de meio suporte e design das configurações, podem influenciar diretamente no desempenho final dos WCs (WANG; ZHOU, 2019).

Os WCs apresentam vantagens inerentes em comparação aos sistemas tradicionais, incluindo custos de capital muito baixos, menos infraestrutura, custos operacionais mais baixos, simplicidade de design e facilidade de operação (CAPODAGLIO, 2017). Além das vantagens econômicas, é extremamente importante ressaltar os benefícios durante o processo de tratamento de efluentes que, segundo Poças (2015), são: desnitrificação motivada pela remoção do nitrato; íons de amônio e metais ficam retidos na superfície de minerais encontrados na porção argilosa do solo; o mesmo ocorre com outros íons metálicos, pesticidas, decomposição da matéria orgânica biodegradável, por ação aeróbia e anaeróbia; alguns microrganismos auxiliam na remoção de patógenos, retirada de metais pesados e toxinas por meio das macrófitas (FERREIRA et al., 2022).

Suas principais tipologias são classificadas em dois grupos, os de fluxo superficial e subsuperficial, sendo este último subdividido em função do fluxo hidráulico como horizontal e vertical (TREIN et al., 2015). Existe também a possibilidade de combinar as variações entre si, ou com outras tipologias e tecnologias, criando sistemas híbridos que satisfaçam necessidades específicas. Cada alternativa tem vantagens e desvantagens para distintas aplicações (KAICK, 2002; TONIATO, 2005; SEZERINO, 2006; LEMES et al. 2008; MAIER, 2007; SEZERINO, 2021).

O uso de plantas com potencial para remover, degradar ou isolar contaminantes é uma técnica atraente, economicamente viável e de menor custo (YAN et al., 2020; FERREIRA et al., 2022). Diversas macrófitas são empregadas nos WCs. A escolha da macrófita está relacionada à tolerância da planta quanto a ambientes saturados de esgoto, seu potencial de crescimento e a presença dessas plantas nas áreas onde o sistema de tratamento será implantado, para que então, assim, as macrófitas estejam adaptadas às condições climáticas locais. Dentre 42 trabalhos brasileiros publicados entre os anos de 1998 e 2011, a *Typha spp.* se destaca como sendo a macrófita mais empregada, seguida de *Eleocharis spp* e *Zizaniopsis spp* (SEZERINO et al, 2015).

A remoção de nutrientes nitrogênio e fósforo não é considerada, na maioria das vezes, como critério de projeto, e sim a remoção da matéria orgânica carbonácea expressa em termos de DBO5. Destaca-se na literatura uma ampla faixa de remoção de nitrogênio e fósforo nos WC de fluxo horizontal, relacionáveis ao ciclo vegetativo das plantas e às variações climáticas

(CALIJURI et al., 2009). De acordo com Capodaglio (2017), essa remoção pode ocorrer tanto por processos biológicos quanto físico-químicos, mas é fortemente dependente da sazonalidade. Em relação ao fósforo, há uma queda de rendimento ao longo dos anos de operação (SOUZA; VAN HAANDEL; LIMA, 2004; SEZERINO et al, 2015).

Em geral, a remoção de micropoluentes, como fármacos e desreguladores endócrinos, ocorre por conta de interações físicas com a matéria orgânica, a biodegradação, a assimilação por micro-organismos e plantas, a volatilização, a hidrólise e a fotodegradação. Esse último processo ocorrerá apenas em WC em que houver a exposição direta da água residuária à luz solar (MATAMOROS; BAYONA, 2008; MATAMOROS et al., 2012).

2.4.3 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)

O reator anaeróbio é um biodigestor ou biorreator configurado por uma câmara fechada, onde não ocorre troca gasosa com o meio externo, permitindo assim que a biomassa sofra biodigestão, tendo como produto final uma mistura gasosa (biogás) e um fluido rico em nitrogênio (biofertilizante) (MATTOS; FARIAS JUNIOR, 2011).

O grande diferencial dessa tecnologia anaeróbia em relação às anteriores aplicadas para o tratamento de esgoto se deve ao fato de o esgoto passar por um manto de lodo, no sentido vertical ascendente, dentro do reator, fazendo dessa maneira que a alimentação se desse pelo fundo e a coleta do efluente na parte superior da unidade de tratamento. Por meio dessa mudança, obteve-se maior eficiência de remoção de matéria orgânica (RIETOW, J. C., 2023). Conforme Hamerski (2012), com base em Chernicharo (1997), o RAFA é constituído de três fases: 1) o separador trifásico, responsável por separar o biogás, o efluente líquido não convertido e manter as partículas sólidas na área de sedimentação; 2) a manta de lodo (área de sedimentação), é onde contém a biomassa ativa do sistema, que por contato com o afluente devido ao fluxo constante de alimentação, pode promover a conversão parcial em biogás; 3) leito de lodo, local de ocorrência da biodigestão do afluente que está neste fluxo ascendente constante. (SILVA, 2021)

As principais vantagens da tecnologia RAFA é a sua simplicidade construtiva e operacional, o desenvolvimento do lodo de alta sedimentabilidade por causa da sua formação granular e, por fim, a produção de biogás, que pode ser empregado para fins energéticos. Nesse contexto, a tecnologia RAFA rapidamente se espalhou pelos países tropicais como Colômbia, Índia e

Brasil. Neste último, a aceitação da tecnologia UASB foi notória, colocando-o atualmente em posição de vanguarda em nível mundial (JORDÃO; PESSÔA, 2017).

2.5. Legislações Brasileiras

As questões ambientais nem sempre têm alta prioridade em vista dos graves problemas sociais, políticos e econômicos que a maioria dos países em desenvolvimento enfrentam. A gestão de águas residuais costuma estar entre as últimas na lista de prioridades. Muitos países em desenvolvimento sofrem com a interferência política nas decisões ambientais. Mesmo a tecnologia mais avançada deve ser apoiada por instituições apropriadas e legislação aplicada para garantir a máxima eficiência. É importante que as políticas ambientais sejam integradas ao planejamento econômico e social (MASSOUD et al., 2009).

A evolução da política ambiental brasileira pode ser analisada a partir da década de 1930, quando tiveram início ações de regulamentação da apropriação dos recursos naturais necessários ao processo de industrialização. No entanto, a política ambiental no Brasil se desenvolveu em resposta às exigências do movimento internacional ambientalista iniciado a partir da segunda metade do século XX, durante a década de 1960. Assim, a criação das instituições e legislações designadas especificamente concentra-se nas quatro últimas décadas do século XX. Para o entendimento do que hoje temos por política ambiental brasileira, é plausível caracterizar as grandes linhas dessa evolução (PECCATIELLO, 2011).

Em 1971, o governo federal lançou o PLANASA (Plano Nacional de Saneamento), que centralizou a política sanitária. Com isso, ocorreu a criação das companhias estaduais de saneamento, como, por exemplo, a Sabesp, às quais os municípios, para receber os investimentos federais, teriam que delegar a prestação dos serviços de água e esgotos.

O Estado do Rio de Janeiro, um dos primeiros estados a desenvolver políticas públicas voltadas para a preservação do meio ambiente, lançou o decreto-lei nº 134 de 16 de junho de 1975, no qual dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências.

Já em 1981, foi criada a Política Nacional do Meio Ambiente (LEI Nº 6.938), que tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Nesta lei foi criado o Conselho Nacional

do Meio Ambiente – CONAMA, e compete a ele estabelecer normas e critérios para o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, a ser concedido pelos Estados e supervisionado pelo IBAMA.

Na mesma década, em 1986, foi lançado a norma técnica NT-202.R-10, para o Estado do Rio de Janeiro, que estabelece critérios e padrões para lançamentos diretos ou indiretos de efluentes líquidos, provenientes de atividades poluidoras, em águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas do Estado do Rio de Janeiro, através de quaisquer meios de lançamento, inclusive da rede pública de esgotos.

Logo em seguida, em outubro de 1990, a norma técnica NT-213.R-4, teve como objetivo: estabelecer critérios e padrões para controle da toxicidade em efluentes líquidos industriais, utilizando testes de toxicidade com organismos aquáticos vivos, de modo a proteger os corpos d'água da ocorrência de toxicidade aguda ou crônica de acordo com a NT-202 e DZ-209, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP.

Nestes últimos anos, as principais normas que regulam o setor de saneamento estão representadas pela Lei 9.433/1997, referente à Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), e pela Lei 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Verificam-se nestas leis algumas exigências para garantir a sustentabilidade dos investimentos em saneamento.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída nacionalmente pela Lei Federal nº 9.433/1997, baseia-se no atendimento aos usos múltiplos das águas e na gestão por bacias hidrográficas, tendo como um de seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (ANA, 2019). Enquanto no Rio de Janeiro foi lançada a Lei Estadual nº 3.239/1999 na qual institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e define as diretrizes para a gestão dos recursos hídricos no estado.

A Política Federal de Saneamento Básico, estabelecida por meio da Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, regulamentou e deu diretrizes para o saneamento básico no Brasil. Os municípios devem preparar seu Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) com as políticas públicas, os planos e as metas que serão aplicadas no setor, além de orientar a ação do governo federal para a universalização e definição de programas, ações e estratégias para investimentos no setor. Ele também traz informações sobre as responsabilidades do Estado em relação ao saneamento básico, como deve ser feita a fiscalização e a elaboração do PMSB.

Os aspectos ambientais, que complementam essa legislação, são tratados pelas resoluções elaboradas no âmbito das agências de regulamentação, tais como a Resolução no 357 do CONAMA/2005, que 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. (LEONETI et al., 2011).

A CONAMA nº 357/2005, posteriormente alterada para CONAMA nº 430/2011 reitera a atuação do órgão ambiental em estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias possivelmente presentes ou a serem formadas nos processos produtivos, através de norma específica no licenciamento da atividade ou empreendimento (BRASIL, 2011). A Resolução CONAMA nº 430/2011 preconiza uma eficiência de redução mínima de 60% de DBO - demanda bioquímica de oxigênio. Sua redução também implica na remoção de boa parte dos demais poluentes presentes nos esgotos urbanos (ANA, 2020). Sobre a medição indireta da matéria orgânica, a DBO mede indiretamente a matéria orgânica presente pelo consumo de oxigênio. É definida como a quantidade de oxigênio necessária para que os microrganismos biodegradem a matéria orgânica contida em um litro de amostra, em tempo definido em 5 ou 20 dias e na temperatura de incubação de 20°C (GIORDANO e SURERUS, 2015).

A Lei Federal nº 11.445/2007, Lei Nacional do Saneamento Básico – LNSB, estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico no Brasil, determinando que a União elabore o Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB). Para usufruir dos benefícios estabelecidos por lei, os Municípios devem elaborar seus planos municipais definindo horizontes de universalização da prestação de serviços. Após a aprovação do marco regulatório, em complemento a Lei nº 11.445, os municípios passaram a se estruturar como poder concedente. Desde então, tem sido crescente a participação de empresas privadas no setor de saneamento (BARROS, 2014)

Em 2012 foi lançada a Resolução INEA nº 60/2012 onde estabelece os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos superficiais e subterrâneos no estado do Rio de Janeiro, e logo em seguida, 2013 foi aprovado o Decreto nº 8.141, o qual dispõe sobre o PNSB, e sua implementação. Sendo este revogado pelo Decreto nº 10.473, o qual estipula que o PLANSAB norteie a condução das políticas públicas e trace metas e estratégias para o setor, e também que os outros órgãos existentes, como a ANA (Agência Nacional de Águas), seja responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos, e o SNIS (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento), pelas informações sobre saneamento.

O novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei 14.026/2020) foi lançado para trazer melhorias e avanços para o setor de saneamento no país. Seu objetivo é tornar os serviços acessíveis para toda a população brasileira, através de novas metas de universalização do acesso a esses serviços. As principais metas deverão ser atingidas até o final do ano de 2033: 90% da população com acesso à coleta de esgoto e 99% da população com acesso à água tratada.

Ainda altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, atribuindo à ANA a competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, criar regras e padrões de referência para o setor.

Em 2021, a NOP-INEA-45 lançou a Resolução CONEMA nº 90, na qual estabelece critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário, e altera integralmente a DZ 215-R4 e NT 202 R10, no que se refere aos padrões de lançamento de esgoto sanitário. Esta norma se aplica a esgoto sanitário gerado em quaisquer edificações, tais como, residenciais, comerciais, industriais, portos, aeroportos, Concessionárias (públicas e privadas) de Sistemas de Tratamento de Esgoto, inclusive Estações de Tratamento de Esgoto conectadas à rede pública.

Independente do arranjo tecnológico adotado para sistemas descentralizados de tratamento de esgotos domésticos, muitas vezes não existe definição legal sobre a quem compete a coleta e tratamento do esgoto nas áreas afastadas dos centros urbanos, onde recai sobre as populações locais a responsabilidade de planejar, construir e operar soluções de tratamento e disposição final do esgoto gerado (MELO, 2019).

2.6. Descrição histórica da Vila de Dois Rios

A Ilha Grande faz parte de um arquipélago de 187 ilhas de diferentes tamanhos, com uma área total de 193 km², localizada na Baía da Ilha Grande, costa oeste do Estado do Rio de Janeiro. A região, também conhecida como Costa Verde, é o 3º Distrito municipal de Angra dos Reis, tem como sede a Vila do Abraão, é uma área pública e mais de 80% do seu território pertence a União. São áreas protegidas e administradas pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente) (ILHA GRANDE, 2023).

A população da Ilha Grande é de aproximadamente 7000 pessoas (dados de 2010), agrupadas por 13 núcleos e dispersas nas proximidades de praias e costeiras. Os principais núcleos populacionais estão nas comunidades de Abraão e Provetá. A pesca é, para a maior parte dos moradores, fonte de economia ou de subsistência (ILHAGRANDE, 2023), além do turismo que também é uma forte potência econômica da região.

A Vila Dois Rios, uma das praias da Ilha Grande, abrigava o antigo presídio da Ilha Grande, Instituto Penal Cândido Mendes, considerado uma das piores instituições carcerárias da história do Rio de Janeiro, entrelaçando a prisão com a história política e dos direitos civis do país. Em 1994, a penitenciária foi desativada pelo Governador Leonel Brizola, sendo a área concedida à Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ através de um contrato de concessão de uso (SOLIS, 2019). Atualmente a vila é cede do Centro de Estudo Ambientais e Desenvolvimento Sustentável (CEADS) e do Ecomuseu da Ilha Grande, servindo de apoio para o desenvolvimento de pesquisas das mais diversas áreas da UERJ, além de receber outras universidades, públicas e privadas, para trabalho de campo através de convênios e parcerias com a UERJ (ILHA GRANDE HUMANIDADES, 2023).

A Vila de Dois Rios acolhe cerca de 150 moradores, dos quais uma boa parcela são funcionários da UERJ e familiares de antigos funcionários do presídio, ocupando as antigas casas padronizadas (ILHAGRANDE, 2023). Atualmente, há um total de 35 imóveis residenciais com moradores, 4 imóveis sem morador contínuo e 8 casas condenadas. Todas as casas possuem sistemas de fossa-sumidouro, porém a manutenção é feita de forma autônoma, sem auxílio ou instrução da prefeitura ou do CEADS, o que torna, na maioria das vezes, o sistema obsoleto por não haver a regularidade adequada na manutenção.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O monitoramento dos dois sistemas de tratamento de esgoto instalados no CEADS foi analisado nesta pesquisa através de uma metodologia dividida em 03 etapas descritas a seguir:

Etapa 1: Levantamento de dados das instalações do CEADS;

Etapa 2: Descrição das tecnologias de tratamento implantadas em cada um dos sistemas analisados, e suas operações e manutenções;

Etapa 3: Coleta, condicionamento, análises do efluente.

3.1. Etapa 1 - Levantamento de dados das instalações do CEADS;

O CEADS é um polo que pertence a UERJ, localizado na Vila de Dois Rios, onde possui alojamento, salas de aula, auditório, biblioteca e laboratórios, utilizados frequentemente por centenas de projetos de pesquisa; professores, alunos, técnicos e pesquisadores, vinculados a UERJ, utilizam desse local para desenvolver suas atividades de pesquisa, permanecendo em regime de alojamento por curtos períodos de tempo (Figura 1).

Figura 1 - Vista do CEADS



Fonte: A autora, 2023

O CEADS recebe um grande fluxo de visitantes (alunos, pesquisadores e professores) ao longo do ano. No entanto, esse número não é constante e pode variar de acordo com o período letivo, sendo inconstante o número de pessoas em cada mês. Além dos visitantes, o CEADS conta com o apoio de funcionários fixos que se alternam em turnos de expedientes de 9 horas diárias. Apesar da significativa contribuição de esgoto dos sanitários, a principal atividade geradora de efluente é oriunda da cozinha, onde é realizado o preparo das três refeições diárias para os visitantes e de alguns funcionários, tendo assim um esgoto com características de água cinza.

O CEADS possui dois alojamentos para alunos, ambos com 3 chuveiros, 4 vasos sanitários e 2 pias; 6 suítes individuais para professores e pesquisadores; 2 banheiros coletivos, totalizando 4 privadas, 1 mictório, 2 chuveiros; 2 laboratórios com total de 7 pias; e a cozinha com 4 pias. Estima-se que exista um fluxo entre 500 e 1000 visitantes/ano, que fazem uso de suas instalações para execução de suas atividades de aulas e pesquisas. No ano de 2022, o CEADS recebeu um total de 991 pessoas e os meses com maior fluxo de visitação foram em janeiro, setembro e novembro.

Para atender os padrões de lançamento de esgoto sanitário tratado em corpos receptores estabelecidos pela NOP INEA 45 (RIO DE JANEIRO, 2021), o CEADS possui dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto, o Ecosistema Engenheirado, mantido e operado pelo grupo de pesquisa BIOTEMA, e o sistema próprio do CEADS, operado pelos próprios funcionários encarregados do CEADS, para tratar o efluente produzido pelo centro de estudos. Cerca de 20-30% do esgoto gerado no CEADS é direcionado para o EE e o excedente (70-80%) para o sistema próprio do CEADS, ambos através de bombeamento.

3.2. Etapa 2: Descrição das tecnologias de tratamento implantadas em cada um dos sistemas analisados, e suas operações e manutenções;

3.2.1. Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto – SAATE

O sistema foi dimensionado e projetado pela empresa de consultoria Soluções Agroambientais em 2009. Trata-se de um sistema anaeróbio, escolhido devido a pequena necessidade de operação e manutenção, além de baixo custo de investimento, baixa produção de lodo e a possibilidade de uso do biogás produzido (o que nunca ocorreu até o presente momento) (Figura 2).

A solução se baseia em um sistema denominado RAFA (Reator anaeróbico de fluxo ascendente, em inglês UASB) de duplo estágio, incorporado a um filtro anaeróbio com recheio de mídia plástica de grandes dimensões.

Figura 2 - Foto do SAATE - Dois reatores UASB e do filtro anaeróbio em sequência



Fonte: A autora, 2023

O reator UASB I - primeiro estágio (Figura 3), é composto por fibra de vidro de 2,8 metros de altura total, 2,6 metros de altura efetiva (útil), e 0,9 de diâmetro. Com fluxo ascendente por meio de um sistema de difusão, com uma manta de lodo na metade do reator (1,5m). O reator não é dotado de separador trifásico, nem decantador.

Figura 3 - Vista interna do reator UASB 1



Fonte: A autora, 2023

O Segundo estágio - Reator UASB 2 consiste em um leito de lodo no terço inferior e o recheio de mídia plástica nos dois terços restantes (Figura 4).

Figura 4 - Vista interna do reator UASB 2 com o recheio de mídias plásticas aparente



Fonte: A autora, 2023

O terceiro estágio é o Filtro Anaeróbio (Figura 5), tanque com material de enchimento formando um leito fixo, onde em sua superfície ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos, que se agrupam em forma de flocos ou grânulos. O filtro possui três compartimentos de 40 centímetros de altura, sendo dois deles com elementos filtrantes de grandes dimensões e um de pequena dimensão.

Figura 5 - Vista interna do filtro anaeróbio



Fonte: A autora, 2023

Após passar pelo sistema de tratamento, o efluente final é direcionado para um sumidouro soterrado (Figura 6).

Em relação ao descarte de lodo, no memorial descritivo consta que quando apresentar uma concentração de sólidos em suspensão no efluente em concentração maior que a definida pela operação, deve ser realizada a retirada do lodo do reator I e enviado para destinação adequada. Durante no período em que foi realizado o monitoramento, entretanto, não foi observado a remoção do lodo.

Figura 6 - Sumidouro – Ponto de coleta das amostras do efluente final do Sistema Avançado Anaeróbio de Tratamento de Esgoto para as análises de monitoramento



Fonte: A autora, 2023

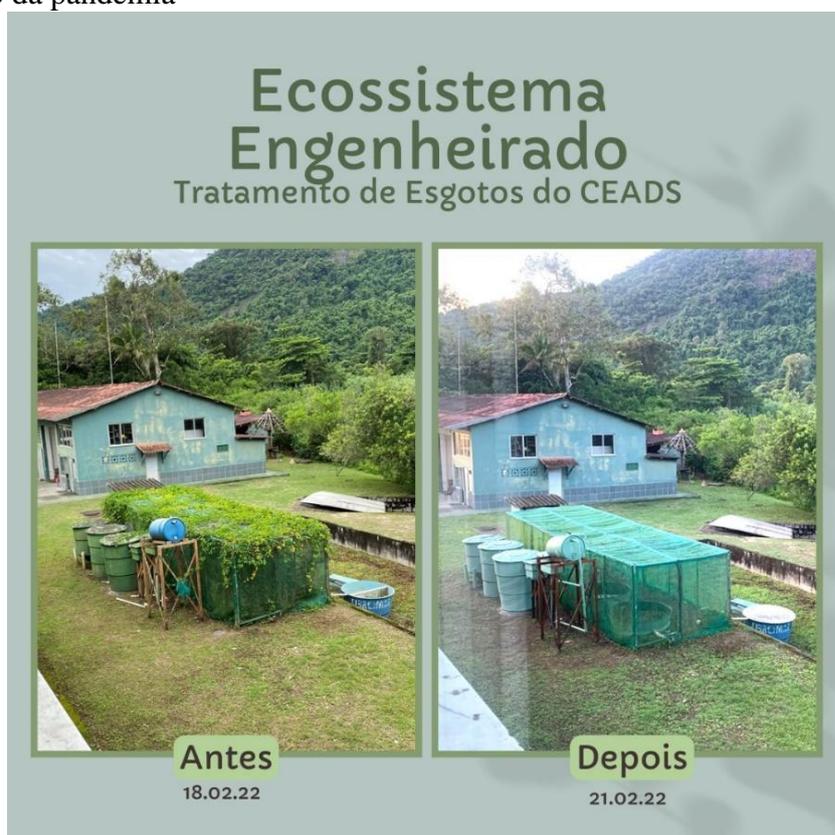
3.3.2. Ecossistema Engenheirado – EE

O Ecossistema Engenheirado (EE) foi dimensionado e instalado em 2009, como produto do projeto de mestrado do professor André Salomão (SALOMÃO, 2009), e desde então vem sendo operado por pesquisadores do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da UERJ. No período da pandemia (2020 e 2021), o sistema ficou inoperante até o início de 2022, onde foram necessárias uma série de reformas do sistema para o retorno de sua operação (Figura 7).

Os sistemas de tratamento de esgoto, denominados Ecossistemas Engenheirados, utilizam tecnologias do tratamento convencional como fossa séptica e filtros aerados submersos com meio suporte, combinados com tanques vegetados e sistemas alagados ou wetlands (KAVANAGH & KELLER, 2007), promovendo um tratamento mais completo e eficaz, unindo os três tipos de tratamento (primário, secundário e terciário) em um só sistema (SALOMÃO, 2010).

Constitui em um só sistema, zonas: anaeróbia, anóxica, e aeróbia, o que favorece melhores condições para as reações de nitrificação e desnitrificação, devido às condições alternadas de fornecimento ou não de oxigênio nos tanques (SALOMÃO, 2011).

Figura 7 - Imagens referentes ao antes e depois da reforma do Ecosistema Engenheirado logo após o retorno da pandemia



Fonte: A autora, 2023

O EE (Figura 8) foi projetado para atender 14 pessoas em regime de alojamento, com uma contribuição *per capita* de $87 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e uma vazão diária média de 1250 L.d^{-1} e uma vazão média horária de 52 L.h^{-1} , ocupando uma área total de 25 m^2 (SALOMÃO, 2010; SALOMÃO et al., 2012).

O sistema é composto por um tanque de equalização, caixa controladora de vazão com vertedor Thompson, caixa de gordura, fossa séptica de fluxo ascendente, filtro aerado submerso de fluxo ascendente, biofiltro misto, seguido de quatro wetlands construídos (Figura 9) (WC1. de fluxo superficial com a macrófita *Eichhornia crassipes* (*Pontederiaceae*) – Aguapé; WC2. Tanque de algas; WC3. de fluxo subsuperficial com *Typha domingensis* (*Typhaceae*) – Taboa; WC4. de fluxo subsuperficial com gramíneas, porém neste tanque surgiram também plantas hospedeiras de rápido crescimento junto às gramíneas) e, por fim, foi implantado um tanque

de areia ao final do sistema após um período de monitoramento, na tentativa de melhorar a eficiência do sistema em relação aos parâmetros microbiológicos.

Figura 8 - Ecossistema Engenheirado da direita para esquerda: Tanque pulmão - caixa equalizadora de vazão - de gordura - fossa séptica - filtro aerado – biofiltro misto



Fonte: A autora, 2023

Figura 9 - O sistema alagado. De frente para trás: Aguapé - Algas - Typha - Gramíneas



Fonte: A autora, 2023

3.3. Coleta, condicionamento, análises do efluente

Após a liberação de frequência de idas para a Ilha Grande e o aval do CEADS/UERJ, foram realizadas 14 saídas de campo, entre o período de março/2022 a março/2023. As campanhas de monitoramento do sistema e coleta de amostras foram realizadas a cada 21 dias, salvo nos casos de impossibilidade como o período das fortes chuvas, feriados, entre outras intercorrências.

Durante as 3 primeiras idas foram realizadas as seguintes atividades: mapeamento da situação em que o sistema se encontrava, devido ao longo período inativo; identificação das manutenções mais urgentes para que o sistema pudesse voltar a operar; aquisição e transporte dos materiais necessários, executar as reformas, para que assim, fosse possível reiniciar o sistema; e finalmente, início do processo de aclimatação e monitoramento do sistema.

Por se tratar de uma região insular de difícil acesso, houve uma maior necessidade de planejamento para cada campanha de coleta e solicitação de mão de obra auxiliar dos funcionários do CEADS.

3.3.1. Rotina de campo

Após o início da operação, foi estabelecido um cronograma de rotina de campo (Quadro 1), para que todas as tarefas fossem executadas durante as saídas.

Quadro 1 - Rotina de campo

Rotina de campo			
Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira
Ida para o CEADS	Preparo para análise de biomassa seca, coleta uma amostra de cada macrófita	Monitoramento de cada tanque com a sonda multiparâmetro e a sonda de OD	Separar todas as amostras e colocar no cooler com bastante gelo
Checagem do sistema	Coleta do esgoto para análise de sólidos	Coleta do esgoto em todos os pontos	Retorno para o Rio

Análise do funcionamento da bomba	Filtrar as amostras, colocar na estufa e na mufla, efetuando a pesagem em cada passagem	Filtrar e acidificar as amostras necessárias	Análises de nutrientes e DQO
Verificação da vazão do sistema	Análise de sólidos sedimentáveis	Condicionar em local refrigerado	Entregar as amostras para análise de Ecotoxicologia e Cromatografia
Separar os materiais que serão utilizados	Calibração da sonda	Efetuar a manutenção das macrófitas: Remoção do excedente, pré-determinado e a pesagem	Análise de Coliformes Termotolerantes
Preparar as vidrarias	-	-	Planilhar todos os dados obtidos na saída

Fonte: A autora, 2023

3.3.2. Coletas

Ao total foram consideradas válidas 11 campanhas de monitoramento do Ecossistema Engenheirado (EE) (Quadro 2), entre julho/22 e março/23, e 07 campanhas do Sistema Anaeróbico Avançado de Tratamento de Efluentes (SAATE), pois esta começou a ser monitorado a partir de setembro/22 a março/23.

Essa etapa consistiu na coleta de 2 L de efluente nas saídas de cada tanque de tratamento dos pontos de coleta estipulados inicialmente, de ambos os sistemas (Figura 10). Em seguida, as amostras foram condicionadas nos refrigeradores do CEADS. As amostras foram preservadas de acordo com as necessidades específicas de cada parâmetro de análise, de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011), para realização das análises no LABIFI, na UERJ.

Quadro 2 - Data em que foram realizadas as coletas

Coleta	Data
C1	03/07/2022
C2	21/07/2022
C3	05/08/2022
C4	04/09/2022
C5	25/09/2022
C6	23/10/2022

C7	27/11/2022
C8	10/12/2022
C9	15/01/2023
C10	05/02/2023
C11	05/03/2023

Fonte: A autora, 2023

Figura 10 - Amostras coletadas para análise



Fonte: A autora, 2023

3.3.3. Parâmetros analisados

Os parâmetros analisados durante o monitoramento foram:

Parâmetros físico-químicos: Potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura, Turbidez, Condutividade Elétrica, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), através da sonda multiparamétrica da HORIBA – U – 50, Oxigênio Dissolvido (OD), Saturação, através da sonda de OD da Hach – HQ3d, e Sólidos Sedimentáveis (Ssed), Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Química de Oxigênio (DQO), e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), analisados em laboratório. Segundo metodologias disponíveis em APHA (2017).

Em relação aos nutrientes: Nitrogênio Total foi calculado pelo somatório das formas de nitrogênio: [Amônia (TNT 832, faixa de 2-47 mg. L⁻¹ NH₃-); Nitrito (TNT 839, faixa de 0,015-0,6 mg. L⁻¹ NO₂⁻); e Nitrato (TNT 835, faixa de 0,23-13,5 mg. L⁻¹ NO₃⁻)]. Já o Fósforo Total

foi analisado pelo kit TNT 845, faixa 2-20 mg. L⁻¹ PO⁴⁻). Os nutrientes foram analisados por meio do kit de análises Hach aprovados por USEPA.

Presença de Coliformes Termotolerantes, realizada pela Oceanus, de acordo com a metodologia de referência para Coliformes Fecais: SMWW 9221 D.

3.3.3.1. Análise cromatográfica

As análises cromatográficas foram realizadas no LABIFI, de acordo com o método desenvolvido por Coutinho (2020) por cromatografia líquida de Ultra performance UPLC (Xevo TQS com analisadores de massa em tandem do tipo quadrupolo da Waters).

Após as coletas, as amostras foram preservadas com ácido sulfúrico e filtradas em uma membrana de filtro de fibra de vidro (0,2–0,6 µm), para análise qualitativamente por Cromatografia líquida de um grupo de compostos farmacêuticos, hormônios e aditivos plásticos (Ibuprofeno, Levonorgestrel, 17 alfa etinilestradiol, Benzofenona), segundo método de microextração líquido-líquido dispersiva (MELLD) otimizado.

3.3.3.2. Análise ecotoxicológica

Os bioensaios de toxicidade crônica foram realizados no LABIFI-UERJ com a espécie de microalga unicelular fotossintética *Chlorella vulgaris*, de acordo com NBR 12648:2018 (ABNT 2018).

As microalgas foram cultivadas em balão de fundo chato de 250 mL, contendo meio L.C. Oligo (Anexo A da NBR: ABNT 12648: 2018) e mantidas em incubadora com temperatura controlada (25 ±2 °C), fotoperíodo de 16h luz/ 8h escuro e com agitação manual. O bioensaio com as amostras do efluente final de cada um dos dois sistemas de tratamento de esgoto ambientais foi realizado sem diluição e com quatro réplicas de cada ponto amostral e de acordo com NBR 12648:2018 (ABNT 2018).

Após as 96h, 1 mL de cada amostra foi preservado em tubos Eppendorfs de 2,5 mL contendo uma gota de solução de Lugol, para posterior contagem celular em microscópio óptico Nikon com aumento de 400x, utilizando-se a câmara de Neubauer. Os resultados obtidos de efeito

tóxico e não-tóxico foram calculados de acordo com a Norma ABNT – NBR: 12648 (ABNT 2018).

3.4. Análise do EE

3.4.1. Controle de vazão

Em todas as campanhas de monitoramento foram realizadas medições da vazão de entrada (Figura 11), e caso fosse necessário a vazão de entrada era corrigida. As medições eram realizadas com auxílio de um béquer e cronômetro digital.

Figura 11 - Medição de vazão



Fonte: A autora, 2023

3.4.2. Monitoramento e análise das amostras

O monitoramento do EE foi realizado em 8 pontos, sendo o primeiro o do esgoto bruto (T1) e nas saídas dos 07 tanques: tanque séptico de fluxo ascendente (T2), filtro aerado submerso (T3), biofiltro misto (T4), e os quatro wetlands construídos mais a caixa de areia (T5, T6, T7 e

T8), com objetivo de avaliar o funcionamento individual de cada tanque separadamente (Figura 12).

Já no sistema de tratamento do SAATE foi avaliado o efluente bruto e o efluente final no tanque de sumidouro (Figura 6) e os dados foram comparados com os dados do monitoramento do EE após o biofiltro misto e no efluente final, após a saída da caixa de areia. A operação do SAATE foi realizada por funcionários contratados do CEADS. No projeto de pesquisa, foi realizado o monitoramento, através dos pontos de entrada (esgoto bruto) e no sumidouro (efluente final), para que fosse possível obter a eficiência total do sistema durante o período de duração do projeto.

Figura 12 - Coleta e monitoramento do efluente final do Ecossistema Engenheirado



Fonte: A autora, 2023

3.4.3. Controle da biomassa

O controle da biomassa produzida tem como objetivo avaliar a incorporação da carga orgânica e dos nutrientes pelas macrófitas, baseada na metodologia proposta por SALOMÃO et al. (2012).

A determinação da biomassa seca produzida pelos tanques foi realizada em 5 passos (Figura 13):

Passo 1: Coleta de uma pequena amostra das macrófitas (*Thypha* e gramínea), por uma altura pré-determinada, do aguapé, uma unidade, e do tanque de algas foram coletados 50 mL do líquido;

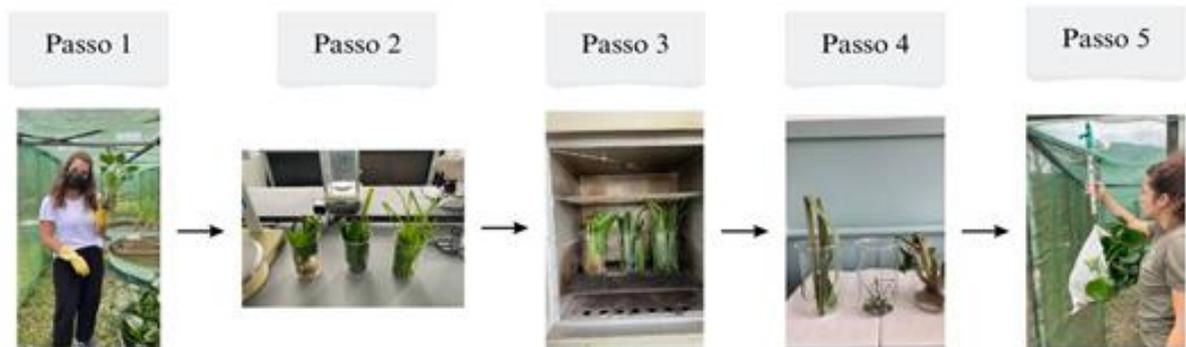
Passo 2: Realizar a pesagem da biomassa úmida das macrófitas, e filtrar 50 mL do tanque de algas com membrana de fibra de vidro (0,7 μm) e pesar;

Passo 3: As amostras são colocadas na estufa à 105°C (macrófitas) e 65°C (algas), até que alcancem peso constante em 2 pesagens consecutivas;

Passo 4: Estabelecido a constância, e seu resfriamento, é feita a pesagem da biomassa seca;

Passo 5: São retiradas as macrófitas que excederam as demarcações pré-estabelecidas, realizando a pesagem da biomassa produzida, e a medição do volume do tanque de algas para fazer a estimativa da biomassa produzida.

Figura 13 - Passo a passo de como é feito o controle da biomassa



Fonte: A autora, 2023

O período ideal para a poda é aquele em que as macrófitas atingem seu máximo desenvolvimento (entre 60 e 90 dias após a poda), ou seja, quando se reduzem significativamente as taxas de crescimento (PELISSARI et al., 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Total de visitantes por mês no CEADS

Os dados de frequência de visitantes (alunos, pesquisadores e professores) durante o período de oito meses de monitoramento dos dois sistemas de tratamento de esgoto foram apresentados no quadro 3.

Quadro 3 - Quantidade de visitantes no CEADS nos últimos meses

Julho/22	52 pessoas
Agosto/22	133 pessoas
Setembro/22	173 pessoas
Outubro/22	74 pessoas
Novembro/22	150 pessoas
Dezembro/22	67 pessoas
Janeiro/23	198 pessoas
Fevereiro/23	99 pessoas

Total: 991 pessoas

Média: 124 pessoas/mês

Fonte: A autora, 2023

4.2. Descrição dos sistemas

O dimensionamento dos sistemas foi baseado nas informações apresentadas no quadro 4, com as respectivas populações a serem atendidas, a geração *per capita* (L/hab.dia) e a vazão (L/min), com suas respectivas áreas de ocupação.

Quadro 4 - Descrição dos dois sistemas

	EE	SAATE
Área (m ²)	22	7
População	14	120
Geração <i>per capita</i> (L/hab.dia)	87	100
Vazão (L/min)	5,2	10

Fonte: A autora, 2023

4.3. Operação do sistema: manutenções realizadas no EE

O processo de reinício do sistema EE, após um longo período inativo devido a pandemia, foi realizado com algumas manutenções prévias necessárias, fato que retardou o início da aclimatação e operação do EE. Sendo assim, foi necessário realizar a troca da bomba que não estava funcionando, troca das tubulações comprometidas, pintura e vedação dos tanques, fortalecimento das estruturas, manutenção e plantio das macrófitas dos WCs e melhoria no telado para impedir a entrada de animais no sistema.

Após a realização de todas as manutenções necessárias para que fosse possível iniciar a operação do EE, ainda ocorreram alguns imprevistos durante o período de monitoramento, que o deixou inoperante por certo período de tempo, como as fortes chuvas que comprometeram a segurança da estrada de acesso da Vila de Abraão e Vila de Dois Rios por 40 dias.

Contudo, algumas melhorias foram necessárias ao longo do período de monitoramento para que fosse possível uma melhora na eficiência do sistema do EE, sendo as principais:

- Na coleta C4 foi instalada uma nova mangueira porosa no Filtro Aerado Submerso, com objetivo de manter uma aeração mais homogênea no tanque, assim como o plantio de mudas de *Typha* no terceiro tanque de wetlands (Figura 14);
- Na coleta C5 foi identificado um mau funcionamento da caixa de gordura do CEADS após a saída da cozinha, o que estava prejudicando os sistemas de tratamento, com uma grande quantidade de gordura chegando no tanque de equalização, fazendo com que algumas bombas apresentassem um mau funcionamento;
- Na coleta C6 ocorreu a troca da bomba, além da instalação de um temporizador com maior número de ativação, a partir de então o EE passou a ser alimentado de hora em hora. Além disso, foi instalada uma nova caixa de gordura (Figura 15) antes da entrada do sistema, para o efluente vindo da cozinha, um novo tanque pulmão (Figura 16) e uma caixa de areia (Figura 17) após a saída dos wetlands.
- Na coleta C7 ocorreu manejo do lodo no Tanque Séptico (Figura 18).

Figura 14 - Plantio da Typha



Fonte: A autora, 2023

Figura 15 - Instalação da caixa de gordura para o efluente oriundo da cozinha



Fonte: A autora, 2023

Figura 16 - Troca do tanque pulmão



Fonte: A autora, 2023

Figura 17 - Montagem da caixa de areia



Fonte: A autora, 2023

Figura 18 - Disposição do lodo no leito de secagem após sua remoção do tanque séptico



Fonte: A autora, 2023

Com a finalidade de expandir o conhecimento sobre o sistema de tratamento de esgoto, para além do grupo de pesquisa atuante, conscientizar os visitantes do CEADS, e, principalmente, a população atendida pelo sistema, foram feitas ilustrações de cada tanque (Figura 19), com objetivo de fazer placas explicativas e ilustradas explicando o funcionamento de cada tanque do sistema e a operação do sistema. Além disso, também será publicada um manual de apresentação e funcionamento do EE, para assim atingir maior número de pessoas.

Figura 19 - Ilustração do Ecossistema Engenheirado



Fonte: BENATTI G., 2023

4.4. Resultados das análises

Para a validação dos dados, os *outliers* foram excluídos, utilizando o critério de dados que estavam 50% acima ou abaixo da média. Essa irregularidade ocorreu inicialmente, devido às rotinas nos laboratórios que precisavam ser restabelecidas, e necessitou de um tempo até que todos os ajustes fossem feitos. É importante levar em consideração também, as inúmeras interrupções no sistema devido à constante intermitência de energia elétrica na Vila, afetando diretamente o funcionamento do sistema, onde além do período inativo, é necessário um tempo até que o sistema fique aclimatado novamente.

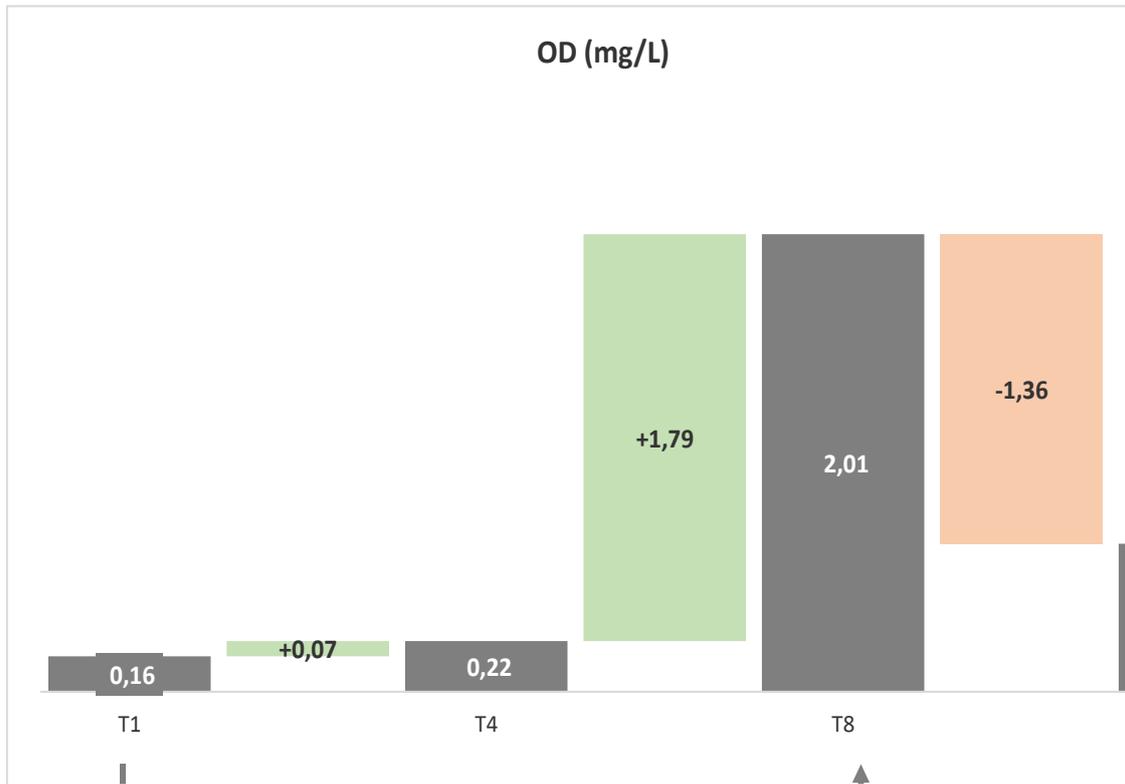
Ademais, outro fator que influenciou a variação dos dados foi o fluxo de pessoas alojadas nas instalações do CEADS. Como o cronograma acompanhou o calendário da UERJ, ocorreu uma grande irregularidade do número de visitantes, o que dificultou manter os mesmos números de microrganismos ativos no sistema para decompor a matéria orgânica presente.

4.4.1. Oxigênio Dissolvido (OD)

Nos meses de agosto e setembro, ambos os sistemas de tratamento obtiveram os melhores valores de OD (EE = 2,89 e 2,06 mg. L⁻¹ e SAATE = 1,12 e 1,44 mg. L⁻¹). Enquanto novembro foi o mês em que ambos obtiveram o menor valor (EE = 1,65 mg. L⁻¹ e SAATE = 0,21 mg. L⁻¹).

Analisando a eficiência global dos sistemas: no sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), o valor médio de OD foi de 0,22 mg. L⁻¹ (0,2 – 0,4 mg. L⁻¹), e após os WCs e a caixa de areia, esse valor subiu para 2,01 mg. L⁻¹ (1,65 - 2,89 mg. L⁻¹), apresentando significativo aumento de 1,79 mg. L⁻¹. Já no SAATE, o efluente final obteve um valor médio de 0,65 mg. L⁻¹ de OD (0,21 – 1,44 mg. L⁻¹) (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Valores da média global de Oxigênio Dissolvido (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

4.4.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Durante o período de monitoramento, a DBO do EE esteve enquadrada nos limites de lançamento da NOP 45 em 5 meses dos 7 em que foram obtidos dados válidos. Enquanto o SAATE se enquadrou em 3 meses, apresentando valores acima do limite nos 4 meses restantes (Tabela 3). Os meses em que tiveram maior concentração de DBO no efluente final, foram os meses em que houve maior quantidade de visitantes no CEADS.

Tabela 1 - Dados mensais de Demanda Bioquímica de Oxigênio

	DBO (mg/L)			
	Bruto	EE conv	EE final	SAATE final
Agosto	117	54	51	54

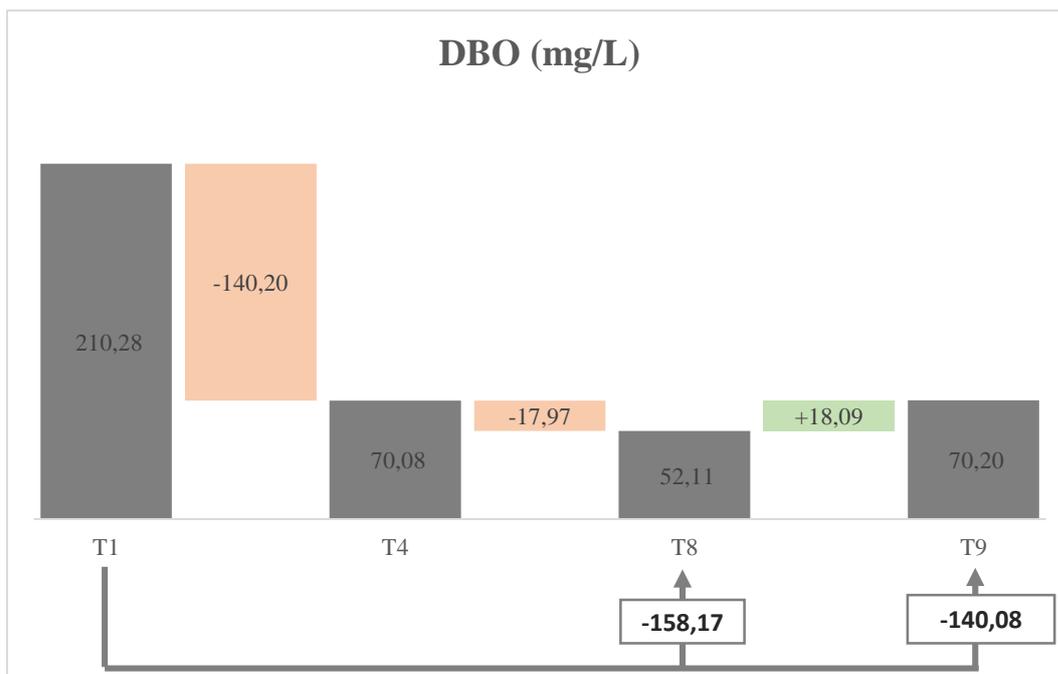
Setembro	N. A	83	81	N. A
Outubro	N. A	N. A	43	45
Novembro	163	66	67	73
Dezembro	231	73	47	64
Janeiro	356	N. A	N. A	121
Fevereiro	186	60	30	81
Março	208	82	46	53

Legenda: N.A - Not Available

Fonte: Autora, 2023.

O gráfico 2 demonstra a variação de DBO nos sistemas. No EE ocorreu uma remoção de 140 mg. L⁻¹ do T1 para o T4 (tratamento convencional secundário), alcançando um valor médio de 70 mg. L⁻¹. Do T4 para o T8 (após a passagem pelos WCs e a caixa de areia), o efluente final do EE, obteve outra remoção menos expressiva, de 17,97 mg. L⁻¹, apresentando uma concentração média de 52,11 mg. L⁻¹ em seu efluente final. No T9, efluente final do SAATE, a concentração de DBO foi de 70,20 mg. L⁻¹, o mesmo valor alcançado pelo tratamento convencional do EE.

Gráfico 2 - Valores da média global de DBO (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

4.4.3. Sólidos Dissolvidos Totais

Os dois sistemas de tratamento obtiveram uma baixa remoção de sólidos totais dissolvidos. Esse alto índice de sólidos que permaneceram no efluente final foi, provavelmente, devido a coloração alta em decorrência da presença de algas no efluente. No efluente final do EE, apenas um mês de monitoramento não apresentou valores dentro do limite de padrão de lançamento. Enquanto no SAATE, esse número subiu para dois meses (Tabela 4).

Tabela 2 - Dados mensais de sólidos dissolvidos totais

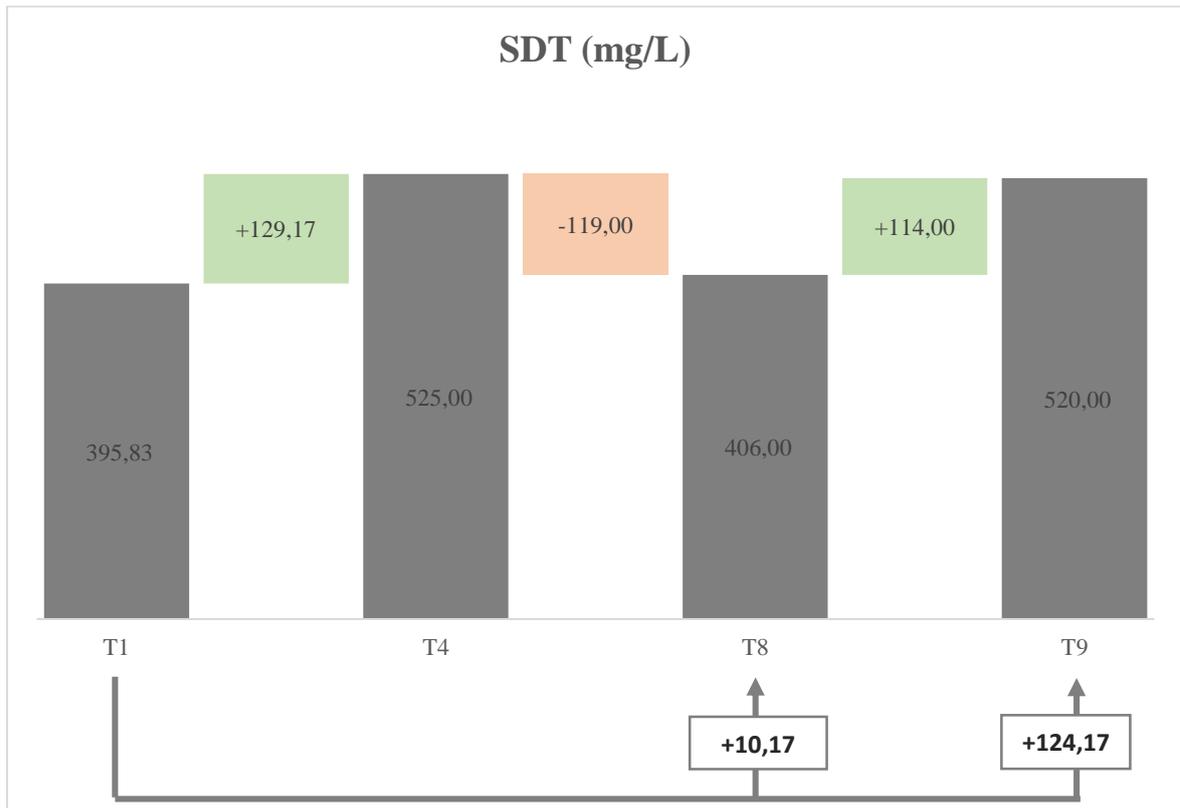
	SDT (mg/L)			
	Bruto	EE conv	EE final	SAATE final
Agosto	328	524	322	480
Setembro	909	728	600	781
Outubro	332	354	N. A	487
Novembro	308	379	332	373
Dezembro	948	959	N. A	N. A
Janeiro	563	410	414	633
Fevereiro	520	442	398	470

Legenda: N.A - Not Available

Fonte: Autora, 2023.

A variação de sólidos dissolvidos totais no EE, do esgoto bruto (T1) para o sistema convencional (T4), houve um aumento na concentração de sólidos no esgoto, porém após passar pelos WCs e a caixa de areia (T8), ocorreu uma remoção de 119 mg. L⁻¹ de sólidos, porém ainda maior do que o estava presente no esgoto bruto. Enquanto no efluente final do SAATE, a concentração aumentou de 395,83 (T1), para 520 mg. L⁻¹ (T9) (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Valores da média global de SDT (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

4.4.4. Sólidos Suspensos Totais

No EE convencional, dois valores de sólidos suspensos totais apresentaram valores acima do limite de lançamento, porém em seu efluente final, em todos os meses estava enquadrado. O mesmo para o SAATE, que conseguiu alcançar em todos os meses valores dentro do padrão de lançamento (Tabela 5).

Tabela 3 - Dados mensais de sólidos suspensos totais

	SST (mg/L)			
	Bruto	EE conv	EE final	SAATE final
Agosto	108	120	10	43
Setembro	N. A	N. A	N. A	N. A
Outubro	159	61	N. A	58
Novembro	112	39	13	49

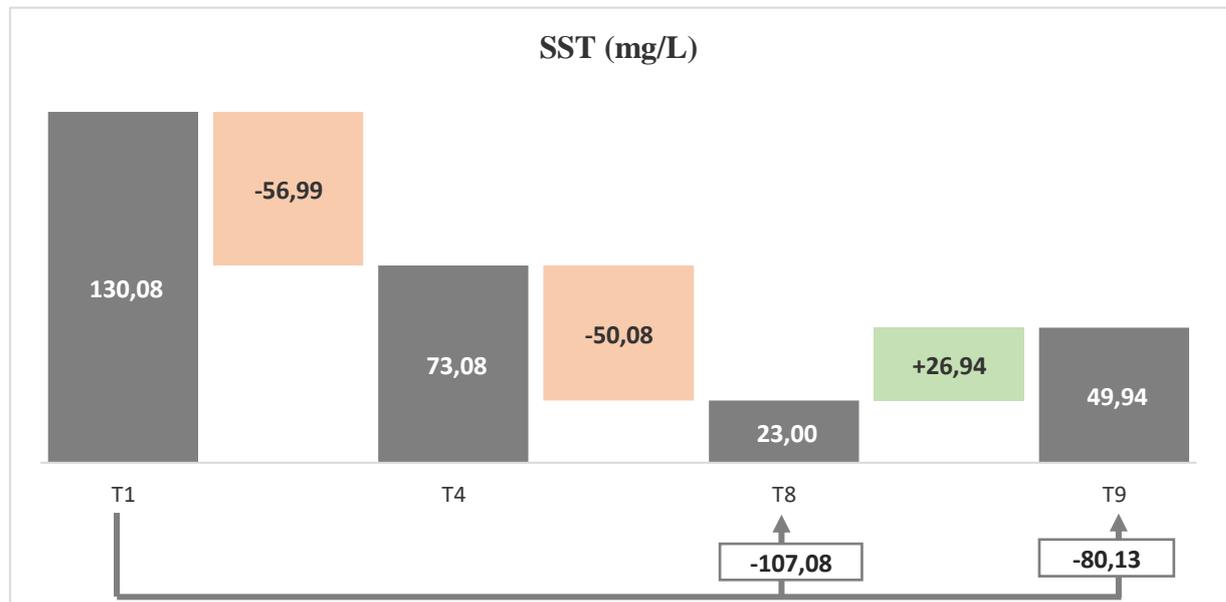
Dezembro	136	73	23	N. A
Janeiro	148	102	46	38
Fevereiro	127	N. A	N. A	55
Março	122	44	N. A	57

Legenda: N.A - Not Available

Fonte: Autora, 2023.

A proporção de remoção de sólidos suspensos totais no EE foi bastante similar do esgoto bruto para o T4 e do T4 para o T8, totalizando uma remoção de 107 mg. L^{-1} de todo o sistema, onde a concentração de sólidos no EE reduziu de 130 mg. L^{-1} (T1) para 23 mg. L^{-1} (T8). O SAATE alcançou uma remoção um ligeiramente inferior de $80,13 \text{ mg. L}^{-1}$ entre o esgoto bruto e o efluente final. Obtendo uma concentração de, aproximadamente, 50 mg. L^{-1} em seu efluente final (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Valores da média global de SST (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

4.4.5. Turbidez

Visto que existe uma relação entre os parâmetros de SST e Turbidez, os valores de Turbidez foram diretamente proporcionais aos de SST, onde a concentração média redução consideravelmente do T1 para o T4, e na saída do sistema, apresentou outra redução. No

SAATE também ocorreu uma redução da concentração no efluente final, porém em alguns dos meses monitorados, o valor ficou fora dos limites de enquadramento da legislação vigente (Tabela 6).

Tabela 4 - Dados mensais de turbidez

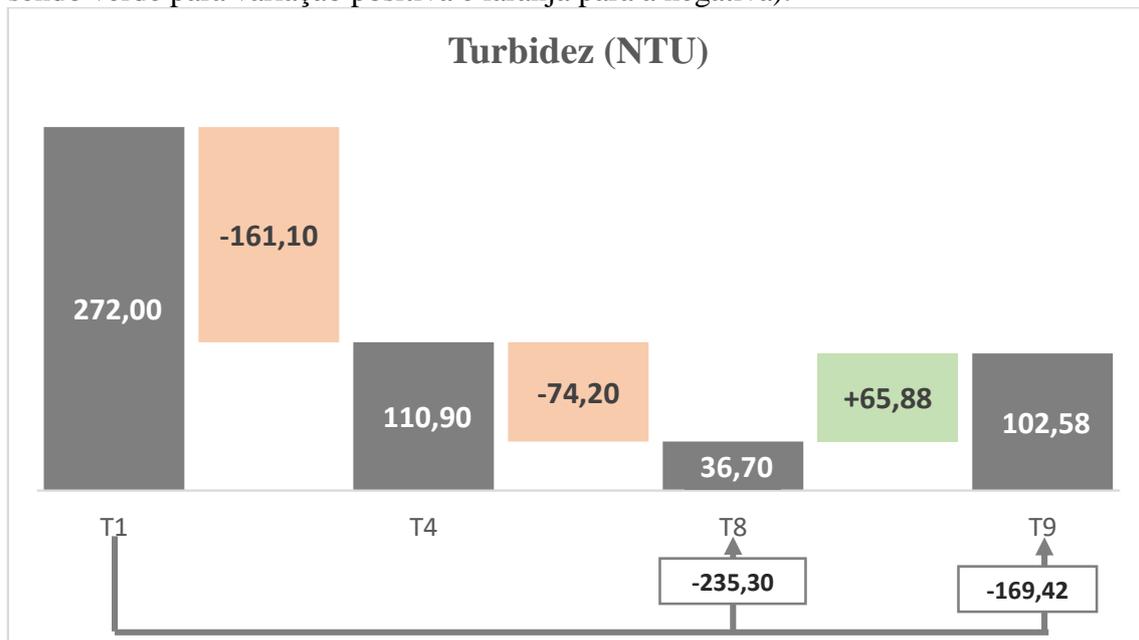
	Turbidez (NTU)			
	Bruto	EE conv	EE final	SAATE final
Agosto	345	N. A	27	118
Setembro	N. A	N. A	N. A	165
Outubro	264	N. A	N. A	N. A
Novembro	228	70	30	77
Dezembro	332	123	27	48
Janeiro	213	139	N. A	N. A
Fevereiro	242	115	42	158
Março	280	108	58	49

Legenda: N.A - Not Available

Fonte: Autora, 2023.

O sistema convencional (T4) apresentou uma redução significativa de turbidez de 161 NTU, e até o efluente final, a concentração média reduziu ainda mais, alcançando 36,70 NTU. No SAATE, a turbidez diminuiu de 272 para 102 NTU (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Valores da média global de Turbidez (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

4.4.6. Nutrientes

O processo de remoção de nitrogênio implica em etapas de aeração e não aeração (CHIU et al., 2007). A remoção biológica do nitrato a óxido nítrico, óxido nitroso e nitrogênio gasoso, denominada desnitrificação (METCALF & EDDY, 2003), que é um processo respiratório anóxico, realizado por bactérias heterotróficas (ZOPPAS, 2016).

Como o SAATE foi projetado apenas com tratamento primário, anaeróbio, este não foi dimensionado para promover uma remoção de nutrientes, por isso, as análises para remoção de nutrientes só foram realizadas no EE, que apresenta tratamento secundário e terciário, com combinação de tecnologia anaeróbia, anóxica e aeróbia, favorecendo a remoção de nutrientes em seu sistema.

No tratamento secundário é predominante a remoção de matéria orgânica e, em alguns casos, de nutrientes também. Já o tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos, assim como a remoção complementar de poluentes, principalmente nitrogênio e fósforo, que não foram removidos no tratamento anterior (VON SPERLING, 2005).

Diferente do nitrogênio, o fósforo em Wetlands não pode ser controlado por processos metabólicos a exemplo da volatilização do gás nitrogênio, sendo assim, há uma tendência de acúmulo de fósforo no sistema (MITSCH, 1994; REISMANN, 2017), contudo, substratos em wetlands construídos, desempenham um papel importante na remoção de nitrogênio e fósforo, que são a principal causa de eutrofização (DORDIO e CARVALHO 2013; TIETZ et al., 2007; RUI XU et al., 2019).

Além disso, segundo Brix e Arias (2005), a perda de eficiência na remoção de fósforo em WCs, quando ocorre, por adsorção e precipitação no material filtrante é cada vez mais limitada após algum tempo de operação.

Tabela 5 - Dados mensais de nitrito, amônia, nitrato e fósforo

	Nitrito (NO ²⁻)				Amônia (mg/L NH ³)		
	Bruto	EE conv	EE final		Bruto	EE conv	EE final
Outubro	N. A	0,02	0,059	Outubro	27,3	N. A	N. A
Novembro	0,022	0,026	N. A	Novembro	32,8	36,6	20,1
Dezembro	0,066	0,018	N. A	Dezembro	33,1	45,8	41,4
Janeiro	0,066	0,049	0,059	Janeiro	43,9	N. A	42,1

Fevereiro	0,024	N. A	0,207
-----------	-------	------	-------

Fevereiro	30,9	52,3	41,4
-----------	------	------	------

Nitrato (mg/L NO ³⁻)			
	Bruto	EE conv	EE final
Agosto	0,724	0,468	N. A
Setembro	N. A	N. A	N. A
Outubro	N. A	N. A	N. A
Novembro	0,503	0,501	3,27
Dezembro	0,481	0,356	2,79
Janeiro	0,622	0,446	N. A
Fevereiro	0,376	0,437	3,48

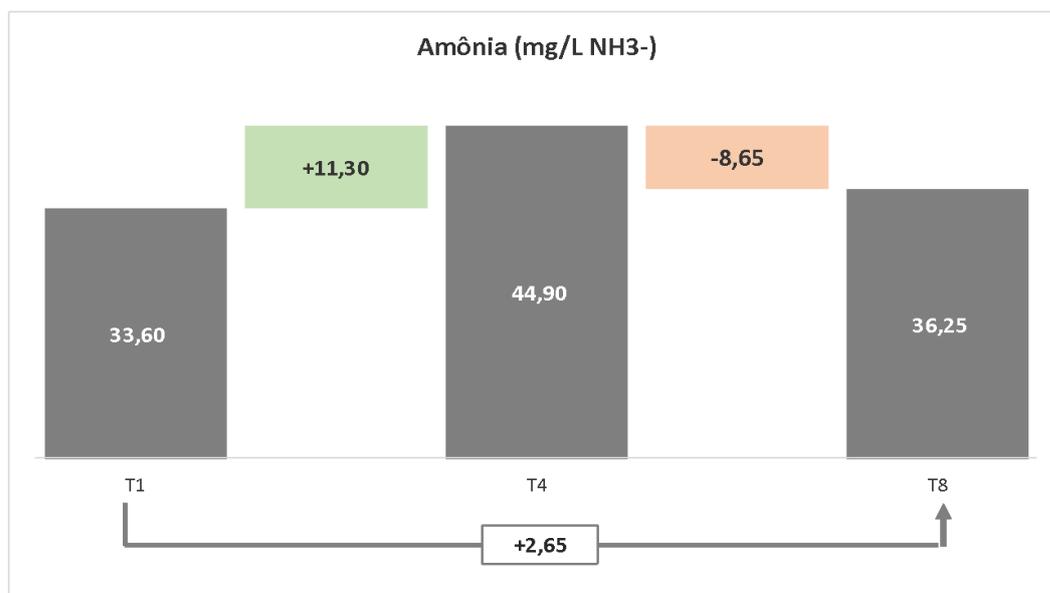
Fósforo (mg/L PO ⁴⁻)			
	Bruto	EE conv	EE final
Novembro	9,7	15,6	9,7
Dezembro	15,6	19,5	17,1
Janeiro	20,6	21,3	24,4
Fevereiro	15,1	19,3	15,3

Legenda: N.A - Not Available

Fonte: Autora, 2023.

A concentração de amônia aumentou do esgoto bruto para o T4, passando de 33,60 mg. L⁻¹ para 44,90 mg. L⁻¹. No efluente final, a concentração também foi maior do que a inicial, porém apresentou uma redução de 8,65 mg. L⁻¹ em relação ao sistema convencional (Gráfico 6).

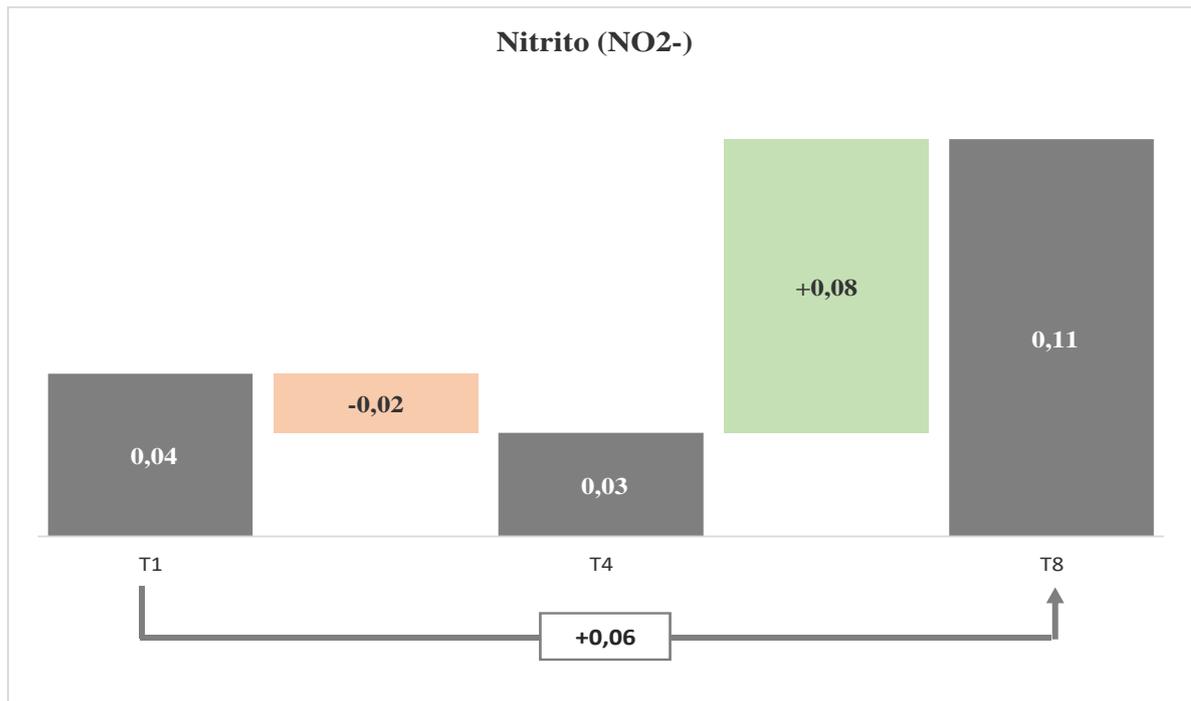
Gráfico 6 - Valores da média global de Amônia (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

Os parâmetros de nitrito e nitrato (Gráfico 7 e 8) apresentaram o mesmo padrão, ocorrendo uma leve redução do efluente bruto para o T4, porém esse valor sofreu um aumento após a passagem pelos WCs e a caixa de areia.

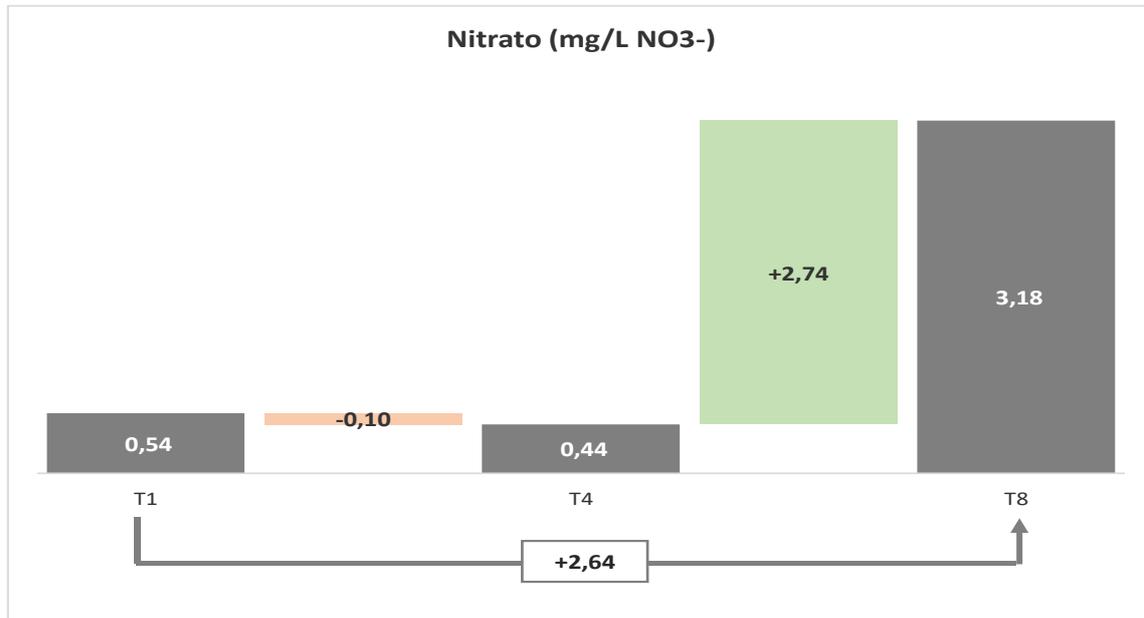
Gráfico 7 - Valores da média global de Nitrito (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

Gráfico 8 - Valores da média global de Nitrato (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas,

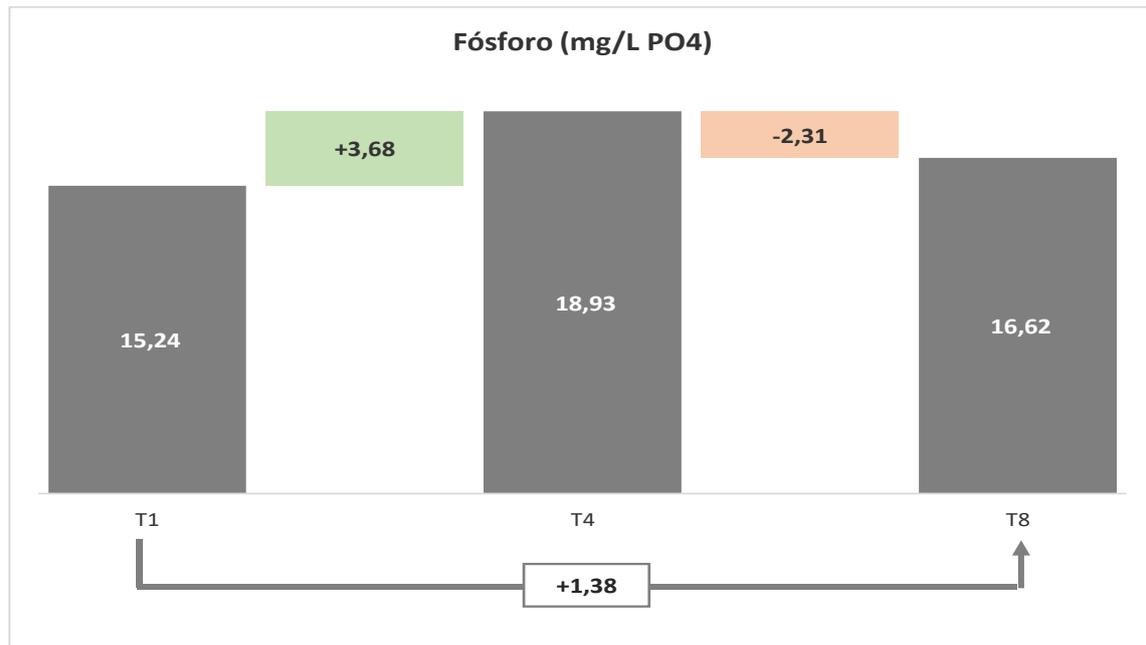
sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

O fósforo passou pelo processo reverso, onde sua concentração média aumentou após a passagem pelo sistema convencional do EE, variando de 15,29 para 18,93 mg. L⁻¹, e após os WCs e a caixa de areia, apresentou uma pequena remoção (Gráfico 9).

Gráfico 9 - Valores da média global de Fósforo (barras cinzas) do esgoto bruto (T1), sistema convencional de tratamento do EE, até o tratamento secundário (T4), após os WCs e a caixa de areia (T8) e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



Fonte: Autora, 2023.

De acordo com os dados apresentados nas tabelas acima, os processos de nitrificação e desnitrificação não ocorreram como esperado. A remoção de nutrientes não foi satisfatória, onde em grande parte dos meses analisados, os dados de saída apresentaram valores maiores do que os dados de entrada.

Este fenômeno pode ocorrer por algumas razões, como: Evapotranspiração da água nos tanques WCs, aumentando a concentração desses nutrientes, a presença de microrganismos na água, que podem contribuir para o aumento de nutrientes, ou a colmatação dos tanques que promovem o acúmulo de nutrientes em seu interior, liberando-os junto ao efluente final.

A irregularidade da amônia pode ser explicada também em função dos picos constantes de energia elétrica, que deixavam o sistema frequentemente com falta de oxigenação.

A eficiência negativa apresentada pelo fósforo pode estar associada à eventual morte de macrófitas ou a um possível acúmulo de fósforo nas plantas, que causou um retorno do nutriente ao sistema.

Segundo Kavanagh, & Keller, 2007, em um sistema semelhante, a remoção de fósforo também foi praticamente inexistente. Foi possível observar alguma absorção biológica de fósforo no tanque aeróbio, mas ocorreu seu retorno nos tanques seguintes.

Atualmente, o papel das macrófitas como um componente essencial nos WC está bem estabelecido, uma vez que elas atuam diretamente nos mecanismos de remoção de poluentes (BRIX, 1997; KADLEC & WALLACE, 2009). A assimilação de nutrientes, apesar de ser em baixa magnitude, é uma das principais atribuições dadas às macrófitas nos WCs (PELISSARI et al., 2019)

4.4.7. Coliformes Termotolerantes

Para coliformes termotolerantes, foram analisados 03 pontos: o esgoto bruto e as saídas dos dois sistemas. Os dados de entrada fornecidos pela empresa contratada foram >160.000 NMP/100 mL, sendo impossível mensurar de fato o quanto de coliformes estava entrando no sistema, e impedindo que fosse calculado ao certo os valores reais de eficiência de ambos os sistemas (Tabela 8).

Tabela 6 - Dados mensais de coliformes termotolerantes

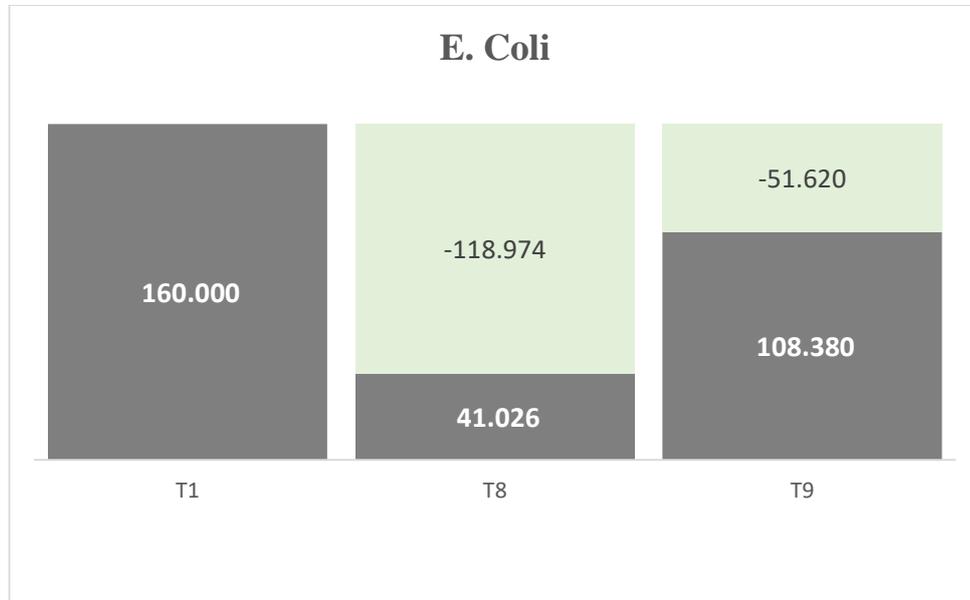
	E. Coli		
	Bruto	EE final	SAATE final
Outubro	N. A	92000	>160000,0
Novembro	>160000,0	230	7900
Dezembro	>160000,0	13000	54000
Janeiro	>160000,0	7900	2E+05
Fevereiro	>160000,0	92000	2E+05

Legenda: N.A - Not Available

Fonte: Autora, 2023.

No gráfico 10 foi analisado a quantidade média de coliformes termotolerantes no esgoto bruto (T1), no efluente final do EE (T8), e no efluente final do SAATE (T9). A concentração média de coliformes no T8, apresentou uma redução de 118.974 NMP/100mL, obtendo em seu efluente final uma concentração de 41.026 NMP/100mL. Enquanto no SAATE, a redução foi de 51.620 NMP/100mL, alcançando uma concentração de 108.380 NMP/100mL, consideravelmente maior ao do EE.

Gráfico 10 - Valores da média global de Coliformes Termotolerantes (barras cinza) do esgoto bruto (T1), após os WCs e a caixa de areia (T8) do EE e o efluente final do SAATE (T9), e suas respectivas variações (barras coloridas, sendo verde para variação positiva e laranja para a negativa).



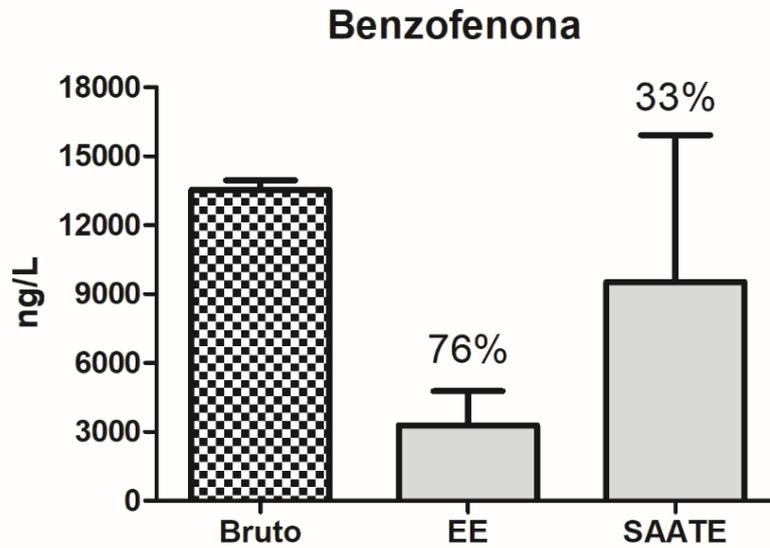
Fonte: Autora, 2023.

4.4.8. Análise cromatográfica

Para todos os compostos analisados, realizou-se uma varredura inicial, com análise qualitativa, para avaliar a eficiência do sistema, sendo 01 composto do grupo de plásticos (benzofenona), 02 compostos de hormônios (levonorgestrel e 17 a-etinilestradiol) e 01 composto de fármacos (ibuprofeno).

O benzofenona (Gráfico 11) é um composto utilizado em diversos tipos de produtos, principalmente, em protetor solares e em plásticos para preservação do ressecamento à exposição solar. Tratando-se de uma região praiana, pode ser uma fonte bem significativa deste composto.

Gráfico 11 - Percentual médio de remoção (%) de Benzofenona do Ecosistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).

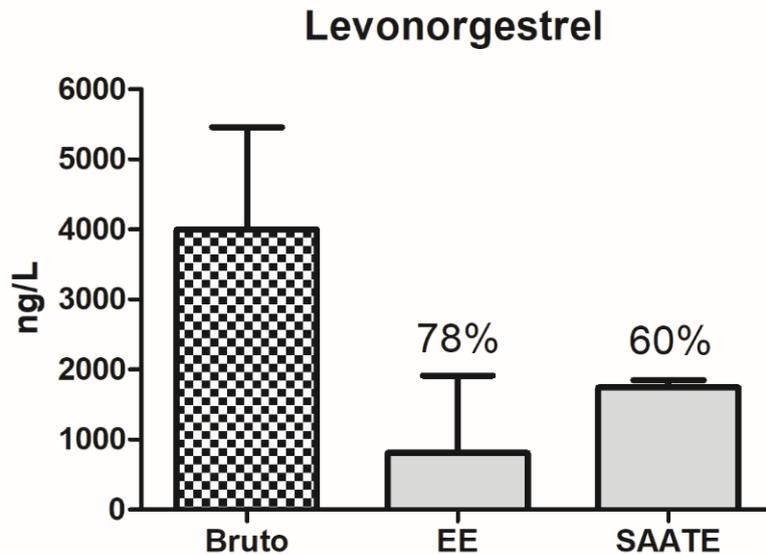


Fonte: Autora, 2023.

Para este composto, o EE foi capaz de remover, em média, 76% em relação a entrada no sistema, enquanto o SAATE, removeu, em média, 33%. Menos da metade de eficiência na remoção de benzofenona.

O composto levonorgestrel é um hormônio feminino sintético utilizado em pílulas anticoncepcionais (Gráfico 12).

Gráfico 12 - Percentual médio de remoção (%) de Levonorgestrel do Ecosistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).

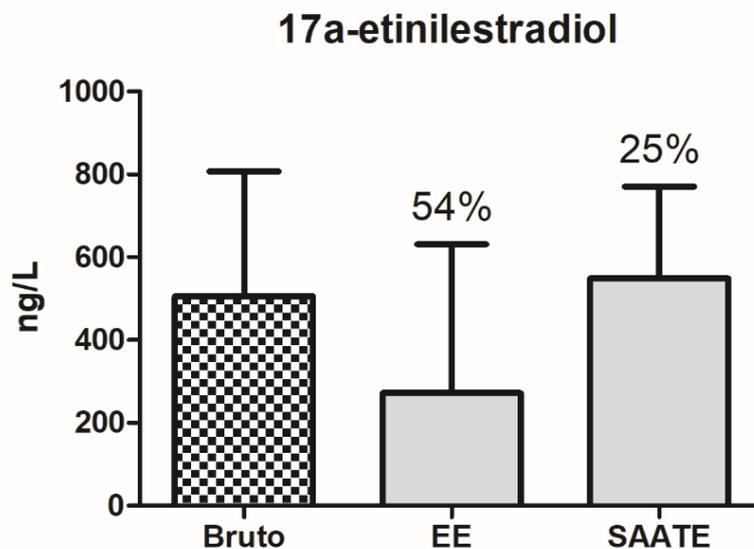


Fonte: Autora, 2023.

O levonorgestrel teve um bom percentual de remoção médio em ambos os sistemas, onde o EE alcançou 78% de remoção do composto, e o SAATE, 60% em relação do efluente bruto.

O composto 17 a-elinilestradiol é, também um hormônio feminino sintético utilizado em pílulas anticoncepcionais (Gráfico 13).

Gráfico 13 - Percentual médio de remoção (%) de 17 a-etinilestradiol do Ecosistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).

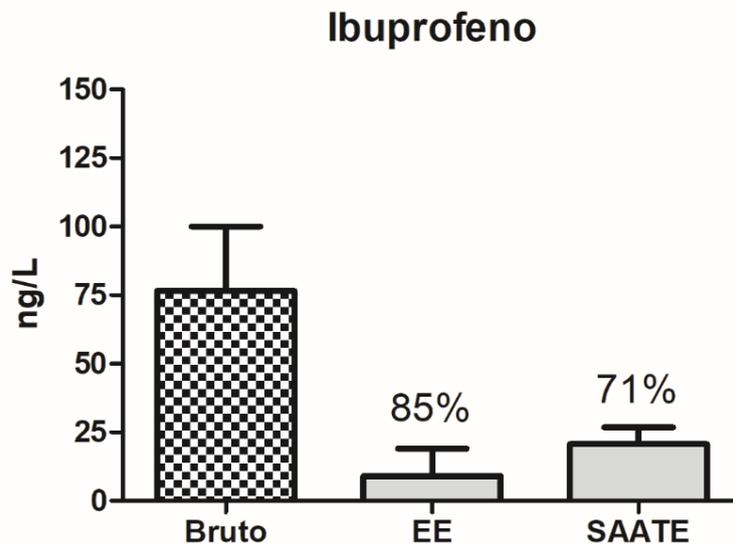


Fonte: Autora, 2023.

O EE foi capaz de remover, em média, 54% da concentração de entrada do 17 α -elinilestradiol, enquanto o SAATE alcançou um percentual de remoção de apenas 25%, ressaltando sua menor capacidade em remover as substâncias analisadas. Neste caso, em menos da metade em relação ao percentual obtido pelo EE.

Já o ibuprofeno (Gráfico 14) faz parte do grupo de fármacos anti inflamatórios.

Gráfico 14 - Percentual médio de remoção (%) de Ibuprofeno do Ecosistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).



Fonte: Autora, 2023.

Este fármaco, foi o composto em que ambos os sistemas alcançaram maior eficiência de remoção. O EE alcançou uma remoção de, em média, 85% e o SAATE, 71% da concentração de ibuprofeno, em relação ao efluente bruto.

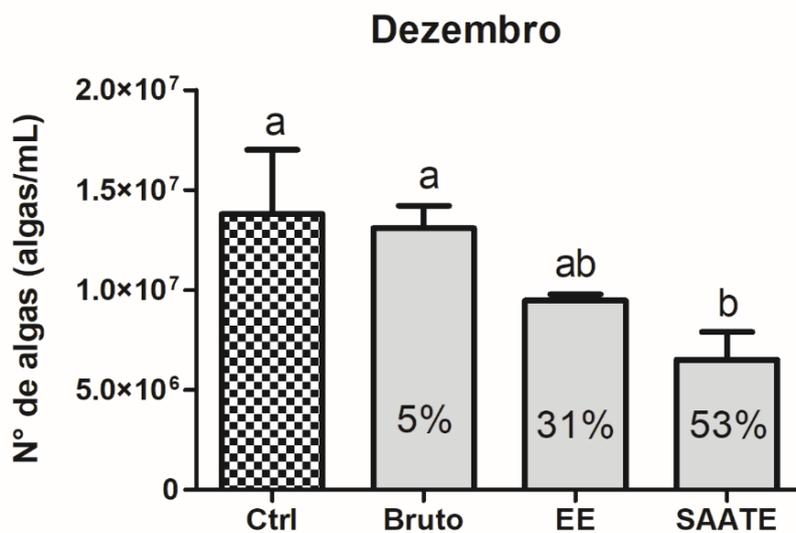
Em todos os grupos de compostos analisados, mesmo com dados qualitativos, foi possível observar que o EE apresentou uma eficiência de remoção bastante expressiva em relação ao SAATE, analisando o percentual médio de remoção de cada composto em relação ao efluente bruto.

4.4.9. Análise ecotoxicológica

Foram realizadas duas análises ecotoxicológica do efluente bruto, do EE e do SAATE, onde através de gráficos, foram comparados os efluentes finais de ambos os sistemas, nos meses de dezembro (Gráfico 15) e janeiro (Gráfico 16).

O teste de ecotoxicológico foi realizado um ensaio crônico onde foi avaliada a inibição de crescimento de microalgas. Foi realizado, também, uma análise estatística, onde as letras iguais no topo de cada coluna (Gráficos 15 e 16) indicam que os resultados não apresentam diferença significativa em relação ao controle, já as letras diferentes indicam que essa diferença é significativa, indicando uma toxicidade crônica.

Gráfico 15 - Densidade de microalgas (algas/mL) e inibição de crescimento (%) do Ecosistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbico Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE), no mês de dezembro.



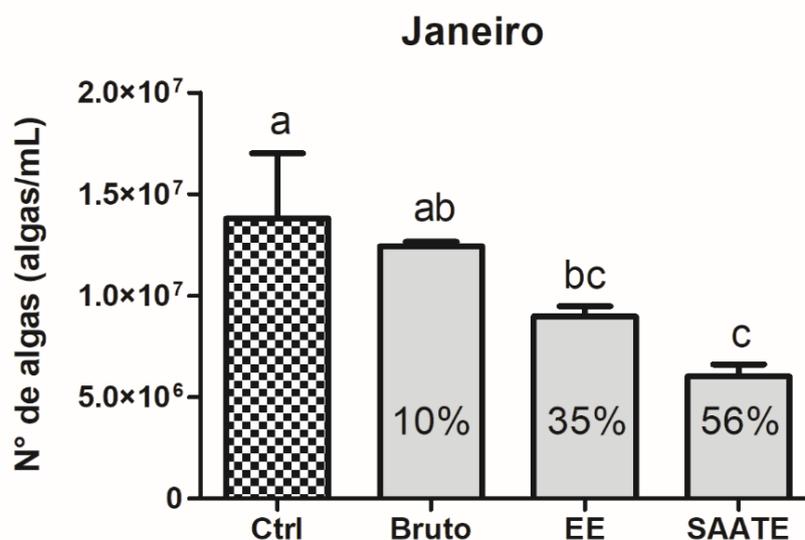
Fonte: Autora, 2023.

As porcentagens de inibição de dezembro foram de 5% do esgoto bruto, 31% do EE e 53% do SAATE.

O EE, apesar de ter apresentado um percentual de inibição de 31%, não apresentou uma inibição significativa comparado ao controle. Enquanto o SAATE apresentou uma inibição significativa em relação ao controle. A partir dos resultados da análise estatística foi possível observar que, por não apresentarem diferença estatística para o controle, as amostras do efluente final do EE não apresentaram toxicidade crônica. O SAATE, entretanto, apresentou diferença significativa em relação ao controle, ou seja, ele apresentou uma maior toxicidade no final de seu sistema.

O esgoto bruto apesar de ter apresentado apenas 5% de inibição e não ter apresentado diferença significativa comparado ao controle, possivelmente está associado a alta concentração de matéria orgânica e nutrientes, o que pode ter causado um crescimento maior do que a inibição.

Gráfico 16 - Densidade de microalgas (algas/mL) e inibição de crescimento (%) do Ecossistema Engenheirado (EE) e do Sistema Anaeróbico Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE), no mês de janeiro.



Fonte: Autora, 2023.

No mês de janeiro, a porcentagem de inibição do esgoto bruto foi de 10%, do EE foi de 35% e o SAATE, 56%. Em relação a análise estatística, o controle apresentou diferença significativa em relação ao EE, assim como do SAATE. Portanto quando observado os dados do mês de janeiro, é possível observar que ambos os sistemas apresentaram toxicidade crônica.

Foi verificado a mesma questão para o efluente bruto, onde não apresentou diferença significativa em relação ao controle, e, possivelmente, este fenômeno ocorreu devido a alta concentração de matéria orgânica e de nutrientes em sua composição.

4.5 Desempenho global dos dois sistemas de tratamento o enquadramento nas legislações NOP 45/21 e CONAMA 430/2011

A média das campanhas realizadas, de todos os parâmetros monitorados do efluente final, de ambos os tanques, foram calculadas, junto com sua eficiência global, em relação ao efluente bruto. Seus valores foram analisados quanto ao enquadramento nas legislações NOP 45/21 e CONAMA 430/2011 (Tabela 7)

Tabela 7 - Concentrações e densidades do efluente final de cada sistema (Ecossistema Engenheirado - EE e Sistema Anaeróbico Avançado de Tratamento de Esgoto - SAATE) representados pela média das campanhas realizadas e a eficiência global para cada parâmetro avaliado. Em verde os valores que se enquadram abaixo dos limites estabelecidos nas legislações vigentes e em laranja os valores acima.

Parâmetros	Bruto	EE	SAATE	NOP INEA - 45/21)	CONAMA 430/2011
OD (mg/L)	X	2	0,7	-	2
Eficiência (%)		1183	315		
pH	X	6,6	6,8	5 – 9	5 – 9
SDT (mg/L)	X	406	520	120	500
Eficiência (%)		23%	2%		
Turbidez (NTU)	X	23	49,9	-	100
Eficiência (%)		87%	62%		
Temperatura	X	22,9	31,2	-	40
Eficiência (%)		4%	6%		
SST (mg/L)	X	37,3	27,5	-	100
Eficiência (%)		82%	62%		
DQO (mg/L)	X	104,2	140,4	150	300
Eficiência (%)		75%	67%		
DBO (mg/L)	X	52,1	70,2	60	90
Eficiência (%)		75%	67%		
Amônia (mg/L NH ₃ -)	X	36,3	-	<20	
Eficiência (%)		-8%			
Nitrito (NO ₂ -)	X	0,1	-	-	-
Eficiência (%)		-144%			
Nitrato (mg/L NO ₃ -)	X	3,2	-	-	-
Eficiência (%)		-488%			
Nitrog. Total	X	38	-	20	-
Eficiência (%)		-16%			
Fósforo (mg/L PO ₄)	X	16,6	-	4	0,2
Eficiência (%)		-9%			

<i>E. coli</i>	X	41026	95475	-	2000 NMP/100mL
Eficiência (%)		74%	40%		

Fonte: Autora, 2023.

O EE melhorou os níveis de OD em, aproximadamente, 1183%, se enquadrando dentro da legislação.

O SAATE, apresentou uma melhoria de 315%, porém seu efluente final não se enquadrou na legislação para o lançamento em corpos hídricos.

Para o parâmetro do SDT, a eficiência de remoção dos sólidos dissolvidos foi baixa para ambos os sistemas, o EE removeu 23% dos sólidos, e seu efluente final, se enquadrou no CONAMA 430, porém ficou fora do limite pela NOP 45. O SAATE removeu 1,7% dos sólidos totais dissolvidos, não se enquadrando em nenhuma legislação.

O EE obteve níveis de nutrientes mais elevados na saída do sistema comparado com a entrada, todos seus valores não se enquadram na legislação.

Para *E. coli*, a eficiência global de remoção do EE foi de 75%, enquanto do SAATE foi de 40%, porém ambos, também não se enquadram nos padrões de lançamento.

Os parâmetros: pH, turbidez, sólidos suspensos totais se enquadram nas duas legislações analisadas.

4.6 Comparação com valores encontrados na literatura

Analisando estudos anteriores realizados no mesmo sistema, o EE, em Salomão, 2009, o efluente final alcançou resultados superiores ao obtido nesta campanha de monitoramento atual, como: OD = 2,88 mg. L⁻¹, DBO= 10,9 mg. L⁻¹, SDT= 317 mg. L⁻¹. Para os parâmetros de amônia e fósforo, os valores foram, respectivamente, 25,8 e 17 mg. L⁻¹, também estando acima dos limites de lançamento em corpos hídricos estabelecido pela legislação vigente.

Enquanto em Freitas, 2011, o EE atingiu uma redução de DBO atingiu 93%, obtendo um valor médio de 12,9 mg. L⁻¹ no efluente final. Já para o parâmetro de OD, a eficiência do sistema foi de 959%, somente no tanque de aguapé, houve um expressivo aumento de OD em 123%. Para os parâmetros de nutrientes, Freitas obteve uma eficiência de remoção de fósforo foi de 38%, porém seu valor médio foi de 16 mg. L⁻¹, não se enquadrando nos limites de lançamento em

corpos hídricos da legislação vigente. O mesmo para amônia, onde mesmo com uma eficiência de 30% de remoção, não alcançou os valores limites.

Em Salomão et al. (2011) no EE, obteve resultado semelhante aos resultados anteriores quanto a remoção de DBO em 92,8%, no entanto, após a realização de ajustes no tanque aerado submerso, alterando o modelo de aeração, a eficiência de redução de nutrientes foi maior do que nos estudos anterior, com a remoção de 82,7% e 67,6% de amônia e fósforo, respectivamente.

Outro estudo realizado por Salomão et al. (2012), o EE conseguiu alcançar uma redução de DQO em 93,2%, com concentrações finais entre $36,3 \pm 12,7$ mg. L⁻¹, turbidez em 98%, e de coliformes termotolerantes atingiu 99,999%. Em relação à amônia-N (NH⁴-N) e fósforo total (TP), o sistema removeu em média 69,8% e 54,5% com concentrações finais de $18,8 \pm 9,3$ e $14,0 \pm 2,5$ mg. L⁻¹ respectivamente, sendo esse o único parâmetro que não foi suficientemente removido.

Kavanagh, 2007, apresenta outro estudo com um sistema semelhante, implantado na Austrália. Este sistema atingiu uma remoção de 90% de DQO, a DBO do efluente final foi de 10 mg. L⁻¹, e uma remoção relativamente baixa de nutriente, em apenas 9% de fósforo (8 mg. L⁻¹), e 21% de amônia (32 mg. L⁻¹).

4.7 Tabela comparativa entre os dois sistemas

Foram selecionados alguns indicadores relevantes para seleção de um sistema de tratamento de esgoto descentralizado e colocados em forma de tabela para uma comparação entre os dois sistemas de tratamento analisados (Tabela 8).

Tabela 8 - Tabela comparativa entre o Ecosistema Engenheirado e o Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto

Indicadores	EE	SAATE
Necessidade de área	1,5 m ² /hab	0,06 m ² /hab
Grau de tratamento	Terciário	Primário avançado
Sistema de tratamento	Aeróbio Anóxico Anaeróbio	Anaeróbio
Consumo de energia	Alta	Não há

Frequência de manutenção	Mensal	Trimestral
Nível de dificuldade para o operador	Baixo	Baixo
Remoção de matéria orgânica	Alta 75%	Média 67%
Remoção de fármacos	Com potencial	Baixo potencial
Remoção de nutrientes	Com potencial	Não há
Remoção de coliformes fecais	Com potencial 74%	Muito baixa 40%
Presença de toxicidade	Ausente	Presente
Odor	Não há	Não há
Vida útil	Alta	Alta
Potencial de reuso	Elevado	Não há
Produção de lodo	Baixo	Baixo
Impacto ambiental	Baixo	Moderado
Ruído	Baixo	Não há
Paisagismo	Alta	Não há

Fonte: Autora, 2023

Avaliando a tabela acima, é possível observar que ambos os sistemas apresentam facilidade de implantação e operação, pouca necessidade de manutenção, elevada vida útil, não emitem odor ou poluição sonora, e não causam grandes impactos ambientais em sua implantação e operação. Porém, o Ecosistema Engenheirado apresenta uma remoção de matéria orgânica satisfatória, remoção de fármacos, nutrientes, coliformes fecais, e com grande potencial melhora, além não apresenta presença de toxicidade, sendo assim, abrindo espaço para a discussão de uma possibilidade de estudos futuros com objetivo de promover o reuso em seu efluente final. Enquanto o SAATE, ainda apresenta bastante defasagem no tratamento do esgoto, promovendo o lançamento do efluente final no corpo receptor com muitos parâmetros fora do enquadramento dos limites de lançamento estabelecidos, principalmente devido sua limitação com apenas tecnologias primárias e anaeróbias de tratamento.

Visando a seleção de um sistema de tratamento descentralizado para replicação em outra localidade, é necessário ponderar os indicadores mais relevantes em cada situação individualmente, e principalmente, tomar a decisão em conjunto com a população que será beneficiada. Como é de conhecimento geral, em sistemas descentralizados, sobretudo em áreas rurais ou isoladas, onde o beneficiado, provavelmente, será o próprio operador, esta é a melhor

maneira para que haja um engajamento mais efetivo da população, e o sistema alcance uma maior vida útil.

Dados os resultados obtidos pelos sistemas, a replicação do SAATE necessitaria de uma tecnologia complementar para obter a eficiência de tratamento necessária e alcançar os limites de padrões de lançamento estabelecidos pela legislação vigente, aprimorando a remoção de matéria orgânica, sólidos, além passar a promover a remoção de fármacos, nutrientes e coliformes termotolerantes.

Avaliando ambos os sistemas de tratamento quanto ao custo, por se tratar de uma região insular, alguns fatores encareceram a gestão e operação do sistema de tratamento, como a logística do transporte de materiais e pessoas, a ausência de uma mão de obra especializada e dedicada e a intermitência no fornecimento da energia elétrica local.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo foram apresentados dois sistemas de tratamento de esgoto descentralizados, o Ecossistema Engenheirado e o Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto, ambos instalados no CEADS.

A análise do EE foi dividida em duas etapas, no final do tratamento convencional secundário (T4), e após os wetlands construídos e caixa de areia, o efluente final do sistema. De forma geral, pode-se observar que os WCs contribuíram, de forma significativa, com a melhoria da qualidade do efluente em praticamente todos os parâmetros. As macrófitas selecionadas (aguapé, typha e gramíneas) para o plantio nos tanques vegetados, foram relevantes para a contribuição de remoção de carga orgânica e nutrientes no tratamento dos esgotos domésticos.

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que apesar de possuir um maior custo de operação, visto que atualmente ainda necessita utilizar a energia elétrica vinda da Vila, além de requerer uma maior frequência na manutenção do sistema para realização da poda das macrófitas dos wetlands construídos, e ocupar uma área consideravelmente maior, o Ecossistema Engenheirado apresentou melhor eficiência global na remoção de todos os parâmetros analisados ao longo dos meses de monitoramento. Para redução de DBO, por exemplo, o EE apresentou uma eficiência de remoção três vezes maior do que o SAATE.

Embora apresente eficiência na remoção de matéria orgânica, poluentes emergentes, e sólidos, tendo o efluente final enquadrado dentro dos limites estabelecidos pela legislação do estado do Rio de Janeiro, o EE mesmo apresentando grande capacidade de remoção de nutrientes, visto sua composição, os valores obtidos para os parâmetros de Nitrogênio e Fósforo, ficaram um pouco acima dos padrões de lançamento estabelecidos pela NOP-45 do INEA.

Diferentemente do SAATE, que manteve, em seu efluente final, grande parte dos parâmetros analisados fora dos limites de padrão de lançamento de efluentes líquidos, como: Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, DBO, Coliformes Termotolerantes, e alto percentual de Poluentes Emergentes.

Fatores como: disponibilidade de espaço, recursos financeiros, número de pessoas a serem beneficiadas, temperatura da região, disponibilidade hídrica, classificação dos corpos hídricos nas adjacências do local, devem ser levados em consideração na hora da seleção de um sistema de tratamento descentralizado de esgotos doméstico para a implantação, porém é importante

ressaltar a necessidade de combinação de tecnologias que promovam um tratamento eficiente, buscando a preservação dos corpos hídricos, e a saúde da população.

Wetlands Construídos é uma proposta de tecnologia de tratamento atraente para aplicação no Brasil, visto que apresenta um clima favorável para a reprodução das macrófitas, que promovem a absorção de matéria orgânica e nutrientes, requer baixos custos para implantação, e operação, não necessita de uma operação complexa, onde inclui basicamente a poda das macrófitas, na maior parte do tempo. Além disso, pode ser utilizado como elemento paisagístico, podendo promover o embelezamento do local.

6 RECOMENDAÇÕES

Recomendações específicas para o Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto:

Visando melhorar sua eficiência, é recomendado que seja feita a instalação de um aerador no sumidouro, para que assim, o sistema possua também uma tecnologia aeróbica, complementando o processo de tratamento do esgoto. Considerando que o local possui fácil acesso à energia elétrica, apesar das intercorrências devido às constantes queda de energia, seria bem simplório executar uma ligação elétrica para sua implantação.

Visto que o local onde o SAATE está instalado possui bastante espaço, a instalação de Wetlands construídos também pode ser favorável para melhorar a eficiência do tratamento, promovendo a remoção de nutrientes, na qual atualmente não ocorre, além de aumentar a remoção de matéria orgânica, de sólidos totais.

Recomendações específicas para o Ecossistema Engenheirado:

Enquanto para melhorar a eficiência do EE, é recomendado que seja instalado mais um aerador no filtro aerado, para homogeneizar a dispersão de oxigênio no tanque, e também no tanque de aguapés, ambos visando aumentar a taxa de oxigênio dissolvido, e assim, a eficiência dos tanques.

Para melhorar a eficiência de remoção da caixa de areia, é necessário realizar seu redimensionamento, além da instalação de uma tela de proteção na tubulação, para que diminua a passagem de algas oriundas dos wetlands construídos, com objetivo de evitar a colmatação da tecnologia de tratamento.

A inserção de um sistema de placas solares, para que não seja mais necessário a utilização da energia elétrica da vila, proporcionará a independência do sistema. Os picos de luz ocorrem com uma frequência relativamente alta, interrompendo o bombeamento do esgoto para dentro de ambos os sistemas, além de não favorecer o estabelecimento das bactérias aeróbias, e como consequência, acarreta o aumento dos nutrientes no efluente final.

Para alcançar uma maior exatidão dos dados gerados através do monitoramento dos dois sistemas de tratamento de esgoto, a análise destes deveria ocorrer no próprio CEADS, no mesmo dia em que se realiza a coleta, para isso, o laboratório deve ser contemplado com equipamentos, como digestor e espectrofotômetro, que possibilitem a execução das análises.

Por fim, avaliar a viabilidade de utilização do efluente final do EE para reuso não potável.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro, 1993.

ABNT. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, 1997.

ALVARADO, A.; LARRIVA, J.; SÁNCHEZ, E.; IDROVO, D.; CISNEROS, J. F. **Assessment of decentralized wastewater treatment systems in the rural area of Cuenca, Ecuador.** Water Practice & Technology, vol 12, n 1. Cuenca, Ecuador. 2017.

ANA. **Atlas esgotos: despolição de bacias hidrográficas.** p. 88. Brasília, 2017.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 23. ed. Washington, D.C: American Public Health Association, 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 351-367. 2015.

BERNAL, D.; RESTREPO, I.; GRUESO-CASQUETE, S. **Key criteria for considering decentralization in municipal wastewater management.** Heliyon 7. Cali, Colombia. 2021.

BRASIL. **Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção.** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 56 p.: il. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

BRASIL. Decreto-lei nº 134 de 16 de junho de 1975. **Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no estado do rio de janeiro, e dá outras providências.** Rio de Janeiro, Brasil.

BRASIL. Decreto nº 8.141, de 20 de novembro de 2013. **Dispõe sobre o plano nacional de saneamento básico - pnsb, institui o grupo de trabalho interinstitucional de acompanhamento da implementação do pnsb e dá outras providências. Revogado pelo decreto nº 10.473/2020**

BRASIL. Decreto nº 10.473, de 24 de agosto de 2020. **Declara a revogação, para os fins do disposto no art. 16 da lei complementar nº 95, de 26 de fevereiro de 1998, de decretos normativos.**

BRASIL. Lei 3.239, de 02 de agosto de 1999. **Institui a política estadual de recursos hídricos; cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos; regulamenta a constituição estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso vii; e dá outras providências.** Brasil. Diário Oficial da União, 2020.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Brasil. Diário Oficial da União, 2020.

BRASIL. Lei no 14.026. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis no 9.984/2020, no 10.768/2003, no 11.107/2005, no 11.445/2007, no 12.305/2010, no 13.089/2015, no 13.5029/2017.** Diário Oficial da União. Brasil. Diário Oficial da União, 2020.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** DOU, Brasil, 8 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 15 de março de 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; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978.** DOU. Brasil. 5 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 15 de março de 2023.

BRASIL. **Manual de Saneamento.** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 4. ed., p. 642. Brasília, 2015.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB): relatório de avaliação anual 2019.** Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília, DF, abr. 2021.

BRASIL. **Programa Nacional de Saneamento Rural.** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. P. 260. Brasília, 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA no 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de**

março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União. Brasília, 13 maio 2011.

BRASIL. Termo de referência para elaboração de plano municipal de Saneamento Básico. p. 187. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde Brasília. 2018.

Capodaglio, A. G. Integrated, Decentralized Wastewater Management for Resource Recovery in Rural and Peri-Urban Areas. Resources 2017, 6, 22. Pavia, Italy. 2017.

CETESB/ANA. 2011. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos/Companhia Ambiental do 84 Estado de São Paulo;** Organizadores: Carlos Jesus Brandão, Márcia Janete Coelho Botelho, Maria Inês Zanoli Sato e Marta Condé Lamparelli. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA. 2011.

CHIRISA, I.; BANDAUKO, E.; MATAMANDA, A.; MANDISVIKA, G. **Decentralized domestic wastewater systems in developing countries: the case study of Harare (Zimbabwe).** Appl Water p. 1069–1078. 2017.

FERREIRA, M. A.; LOPES, T. C.; NASCIMENTO, D. N. O.; CASTRO, A. P. S. **Macrófitas e seu potencial fitorremediativo em estações de tratamento de esgoto: uma revisão bibliográfica.** Research, Society and Development, v. 11, n. 2, p. 9. Brasil. Jan 2022.

FREITAS, T.R. **Desempenho de tanques vegetados em um ecossistema engenheirado para tratamento descentralizado de esgotos domiciliares na Ilha Grande, RJ.** Dissertação de Mestrado. UERJ. p. 129. 2011.

GALVÃO, L. A. C.; FINKELMAN J.; HENAO, S. **Determinantes ambientais e sociais da saúde.** Organização Pan-Americana da Saúde. Washington, USA. 2011.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. **Efluentes industriais, volume 1: estudo de tratabilidade volume 1.1 ed.** Rio de Janeiro, 2015.

HOFFMANN, H.; WOLFF, D. B.; PLATZER, C.; COSTA, R. H. R. **Propostas para o saneamento descentralizado no Brasil (tecnologias de baixo custo para o tratamento de esgotos urbanos).** ICTR 2004 – Congresso Brasileiro De Ciência E Tecnologia Em Resíduos E Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, Santa Catarina. 2004.

HONORATO, L. M. C.; D'EÇA, N. F. G.; SANTOS, A. S. P.; SALOMÃO, A. L. S. **Tratamento descentralizado de esgoto doméstico: revisão sistemática.** Revista DAE, v. 69, n. 233, p. 173-191, Ed. Esp. São Paulo. 2021.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico Brasil.** Rio de Janeiro, 2020.

ILHA GRANDE. Praias, Dois Rios, 2023. Disponível em:
<<https://www.ilhagrande.com.br/praias/dois-rios/>>. Acesso em: 18 mar. 2023.

ILHA GRANDE HUMANIDADES. **Anexo 2: Descrição dos principais aspectos da Ilha Grande.** Disponível em:

<<http://www.ilhagrandehumanidades.com.br/?q=projetoseplanos/descr%C3%A7%C3%A3o-dos-principais-aspectos-da-ilha-grande-anexo-2>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Demanda futura por água tratada nas cidades brasileiras 2017 a 2040**. Ago 2020

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento e doenças de veiculação hídrica datusus e snis 2019**. p. 25. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/objetivo-do-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

JONES, E. R.; VAN VLIET, M. T. H.; QADIR, M.; BIERKENS, M. F. P. **Spatially-explicit estimates of global wastewater production, collection, treatment and re-use**. Earth System Data Discuss, p.1-29. Netherlands. 2020.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, p. 969. 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**, 8. ed. Rio de Janeiro: ABES. 2017.

KAVANAGH, L. J. E KELLER, J. **Engineered ecosystem for sustainable on-site wastewater treatment**. Water research 41, p. 1823–1831. Australia, 2007.

LANDAU, E. C. e MOURA, L. **Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010: domicílios urbanos e rurais**. Embrapa. P. 975. Brasília, DF. 2016

LARSEN, T. A. e MAURER, M. **4.07 - Source Separation and Decentralization**. Treatise on Water Science. Vol 4. p. 203-229. 2011

LIBRALATO, G.; GHIRARDINI, A. V.; AVEZZÙ, F. **To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management**. Journal of Environmental Management 94 p. 61e68. 2012.

LINS, H. N. E FACCO, J. B. **Desenvolvimento em pequenos estados insulares: ensaio com foco em Cabo Verde**. Monções - Revista de relações internacionais da UFGD, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil. 2022.

LOPES, M. A. F. T. C. L.; NASCIMENTO, D. N. O.; CASTRO, A. P. S. **Macrófitas e seu potencial fitorremediativo em estações de tratamento de esgoto: uma revisão bibliográfica**. Research, Society and Development, v. 11, n. 2. Amazônia, Brasil. 2022.

MACHADO G. C. X. M. P.; MACIEL T. M. F. B.; THIOLENT M. **Uma abordagem integral para Saneamento Ecológico em Comunidades Tradicionais e Rurais**. Ciênc. saúde coletiva 26 (4). Abr 2021.

MADRID, F. J. P.; FIGUEIREDO, I. C. S.; FERRÃO, A. M. A.; TONETTI, A. L. **Metodologia de desenvolvimento eco-sistêmico aplicado ao paradigma do saneamento descentralizado**. REMOA. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, v.14, n.1, p.101-105. Santa Maria, Brasil. 2015.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. **Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries.** Journal of Environmental Management, v. 90. [Beirute], p. 652-659. 2009.

MELO, S. **Saneamento Rural: Desafio Que Exige Novas Soluções.** Revista DAE, 67.220: 6-14. 2019

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4 ed. Nova York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2003.

METCALF E EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos; tradução Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5ª ed.** Porto Alegre: AMGH. 2016.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MDR. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021.** Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. – Brasília, Brasil, 2021.

MUGA, H. E., MIHELIC, J. R. **Sustainability of wastewater treatment Technologies.** Journal of Environmental Management. Vol 88, Issue 3, p. 437-447, 2008.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** 13 de outubro de 2015. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Disponível em: <<http://www.sustainabledevelopment.un.org>>. Acesso em: 15 de março de 2023.

NT-213.R-4 - **CRITÉRIOS E PADRÕES PARA CONTROLE DA TOXICIDADE EM EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS. (1990).** Aprovado pela Deliberação CECA nº 1.948 de 04 de setembro de 1990. Publicado no DOERJ de 18 de outubro de 1990. Rio de Janeiro, Brasil.

OLIVEIRA JÚNIOR, JL. **Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social.** In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [online]. pp. 213-232. Campina Grande, Brasil. 2013.

ONU. **Relatório Anual das Nações Unidas no Brasil 2021.** Nações Unidas Brasil. abr 2022

ONU. **Relatório Anual das Nações Unidas no Brasil 2022.** Nações Unidas Brasil. mar 2023

ORGANIZATION, W. H. **Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment.** UNICEF and World Health Organization, 2015.

P.A. WILDERER E D. SCHREFF. **Decentralized and centralized wastewater management: a challenge for technology developers.** Water Science & Technology Volume 41, Issue 1, Jan 2000

PECCATIELLO, A. F. O. **Políticas públicas ambientais no Brasil: da administração dos recursos naturais (1930) à criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (2000).** Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 24, p. 71-82. Editora UFPR. Paraná, Brasil. 2011.

PELLISSARI, C.; SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; JUNIOR, O. C.; DECEZARO, S. T.; WOLFF, D. B. **Incorporação de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. durante o tratamento de efluente da bovinocultura leiteira em wetlands construídos.** Eng Sanit Ambient, v.24, n.3, p. 585-590. Florianópolis - SC, Brasil. 2019.

PERONDI, T.; WOLFF, D. B.; DECEZARO, S. T.; ARAÚJO, R. K. **Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida.** Ambiente Construído, v. 20, n. 2, p. 175- 189. Porto Alegre, 2020.

POLETTO, C. R. B.; BATISTA, G. T. **Sensibilidade ambiental das ilhas costeiras de Ubatuba, SP, Brasil.** Revista Ambi-Água, v. 3, n. 2, p. 106-121, Taubaté, SP. 2008.

Instituto Trata Brasil. **Saneamento e doenças de veiculação hídrica DATASUS e SNIS 2019. São Paulo, setembro de 2021**

REISMANN, H. ; VIEIRA, B.; RODRIGUES, T. M. **Remoção de nitrogênio e fósforo em efluentes: principais técnicas existentes, características, oportunidades e desafios para o tratamento terciário de efluentes.** ABES. AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. Higienópolis, São Paulo, 2017.

REVISTA DAE. **matéria jornalística: Saneamento rural: desafio que exige novas soluções.** n. 220, v. 67. Edição Especial. São Paulo. 2019.

RIETOW, J. C.; AISSE, M. M.; BARÉA, L. C.; ANDREOLI, C. V. **Consolidação da tecnologia de reatores UASB no estado do Paraná para o tratamento de esgotos sanitários.** Eng Sanit Ambient v. 28, 2023.

RIO DE JANEIRO. **NT-202. R-10 - Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos.** Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 12 dez. 1986.

RIO DE JANEIRO. **CONEMA Nº 90 – Aprova a NOP-INEA-45, que estabelece critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário.** Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 25 fev. 2021.

RIO DE JANEIRO. **NOP-INEA-45 - Estabelece critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário.** RJ, 2021.

ROSA, A.; BIZETTO, D. C.; SVENAR, S. ; SCHIMALESKI, A. P. C.; PEDRO, B. L. **A contribuição de sistemas de tratamento de esgotos por zonas de raízes para gestão de recursos hídricos na região metropolitana de Curitiba.** Brazilian Journal of Development. V. 6, p. 17794-17805. Curitiba, Brasil. 2020.

SALOMÃO, A.L.S. **Ecosistema engenheirado no tratamento descentralizado de águas residuárias de pequenos geradores: a engenharia ecológica na Ilha Grande, RJ.** Dissertação de Mestrado. UERJ. p. 96. 2009.

SALOMÃO, A.L.S.; MARQUES, M.; SEVERO, R. G; ROQUE, O. C. C. **Engineered ecosystem for on-site wastewater treatment in tropical areas.** Water Science and Technology, v.66, n.10, 2012.

SALOMÃO, A.L.S.; SEVERO, M. M.; VIANNA, M. T. G.; CRUZ, O. C. R. **Eficiência na remoção de carga orgânica e nutrientes de um ecossistema engenheirado para tratamento descentralizado de efluentes domésticos – ilha grande, RJ.** 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2011

SCHROEDER, A.K.; PELISSARI, C.; PEREIRA, L. D., SEZERINO, P. H. **Avaliação de desempenho e custos aplicada aos wetlands construídos e tecnologias normatizadas empregadas no tratamento descentralizado de esgoto.** Revista DAE, v. 70, n 236, p. 67-78. São Paulo. 2022

SILVA, B. W. A.; FILHO, M. R. D.; SANTOS, L. I. S.; LEITE, B; MATOS, D. L. **Projeto de reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) para tratamento de vinhaça.** Colloquium Exactarum, v. 13, n.2, p. 88 –99, 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral** ano de referência 2020. Brasília, 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral** ano de referência 2021. Brasília, 2022.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.** Eng Sanit Ambient. v.20, n.1. p. 151-158. Florianópolis (SC), Brasil, 2015.

SOLIS, D. E. N. E OLIVEIRA, N. V. **Das trilhas indígenas às rotas de fuga: um estudo transdisciplinar da Ilha Grande.** Departamento de Arqueologia, IFCH, UERJ. Disponível em: <<https://www.ilhagrande.com.br/ilha-grande/localizacao-e-dados/>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

TONETTI, A. L.; CANGUSSU, N.; FIGUEIREDO, I. C. S.; BRASIL, A. L. **Alternativas para o gerenciamento de lodo de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos de áreas rurais.** Labor & Engenho, v.12, n.1, p.145-152 Campinas-SP, Brasil. 2018.

TONETTI, A. L., 1973. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções.** Ana Lucia Brasil, Francisco José Peña y Lillo Madrid, et al. -- Campinas, SP.: Unicamp, 2018.

TREIN, C. M.; PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZER C. J.; SEZERINO P. H. **Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos.** Ambiente Construído, v. 15, n. 4, p. 351-367. Porto Alegre. out./dez. 2015.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2004. **Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems**. Office of Wastewater Management and Office of Water, Washington, DC. 2004.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2005. **Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems**, EPA/832-B-05-001. Washington, DC, 66 pp, 2005.

VARELA, A. W. P.; FILHO, F. A. N.; MESQUITA, K. F. C.; SOUSA, P. H. C.; SOUZA, A. J. N.; SANTOS, M. L. S. **Saneamento básico em municípios da região Amazônica (Brasil)**. Research, Society and Development, v. 9, n. 3. Amazônia, Brasil 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2. ed.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 243 p. 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed.** Belo Horizonte: UFMG, 2005.

VON SPERLING, M.; SEZERINO; P.H. **Dimensionamento de wetlands construídos no brasil. Documento de consenso entre pesquisadores e praticantes**. Grupo de Estudos em Sistemas Wetlands Construídos Aplicados ao Tratamento de Águas Residuárias Publicação online Boletim Wetlands Brasil – Edição Especial, p. 65. 2018.

SEZERINO, P. H. E PELISSARI, C. **Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras**. Brazil Publishing, 1.ed. Curitiba: 2021.

WHO/UNICEF. World Health Organization and the United Nations Children's Fund. **Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines**. WHO Press, p. 110. Geneva Switzerland, 2017.

WHO/UNICEF. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities.: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization**, p. 140. New York, USA, 2019.

XU, R.; ZHANG, Y.; LIU, R.; CAO, Y.; WANG, G.; JI, L.; XU, Y. **Effects of different substrates on nitrogen and phosphorus removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands**. Environmental Science and Pollution Research. Germany, 2019.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. **Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea**. Eng Sanit Ambient. v.21 n.1, p. 29-42. Porto Alegre (RS), Brasil. 2016.

APÊNDICE

Apêndice A – Tabela com as médias, medianas, desvio padrão, mínimo, máximo, número amostral e eficiência de cada parâmetros nos tanques analisados.

T1 (Bruto)	OD (mg/L)	Saturação (%)	pH	ORP (mV)	Condutividade (µS/cm)	SDT (mg/L)	Turbidez (NTU)	Temperatura	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	DQ O (mg/L)	DB O (mg/L)	Amônia (mg/L NH3 -)	Nitrato (mg/L NO2- -)	Nitrato (mg/L NO3 -)	Fósforo (mg/L PO4)	E. Coli
Média	0,16	2,10	6,26	-138,00	821,63	395,83	272,00	26,68	130,08	124,92	420,56	210,28	33,60	0,04	0,54	15,24	160000,00
Mediana	0,14	1,90	6,32	-150,00	665,50	330,00	264,00	27,70	126,67	126,00	394,72	197,36	32,80	0,05	0,50	15,35	160000,00
Desvio pad	0,05	0,73	0,53	47,30	417,84	113,94	50,62	4,21	18,57	22,17	163,17	81,59	6,20	0,02	0,13	4,47	0,00
Mínimo	0,09	1,20	5,62	-204,00	474,00	308,00	213,00	25,16	112,00	89,33	325,00	162,50	27,30	0,02	0,38	9,67	160000,00
Máximo	0,24	2,90	6,84	-91,00	1480,00	563,00	332,00	31,00	158,67	151,43	712,22	356,11	43,90	0,07	0,62	20,60	160000,00
N Eficiência	6,00	6,00	8,00	8,00	8,00	7,00	8,00	8,00	7,00	6,00	6,00	6,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00
Padrões (NOP INEA - 45/21)	-	-	5 - 9	-	-	120	-	-	-	-	-	120	<20 mg/L	-	-	4,0 mg P/L	-
CONAMA 430/20 11	-	-	5 - 9	-	-	-	-	-	100	-	300	90	-	-	-	-	2000 NMP/100m L
T4	OD (mg/L)	Saturação (%)	pH	ORP (mV)	Condutividade (µS/cm)	SDT (mg/L)	Turbidez (NTU)	Temperatura	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	DQ O	DB O	Amônia (mg/L)	Nitrato	Nitrato (mg/	Fósforo	

											(mg/L)	(mg/L)	L NH3 -)	(NO2-) L	L NO3 -)	(mg/L PO4)
Média	0,29	3,03	7,04	-149,00	819,25	525,00	110,90	26,93	73,08	55,24	139,17	70,08	44,90	0,03	0,44	18,93
Médiana	0,29	2,80	6,97	-136,00	666,00	426,00	115,00	28,05	67,00	40,71	139,44	73,06	45,80	0,02	0,45	19,40
Desvio pad	0,12	1,37	0,52	41,14	332,09	212,09	25,86	4,68	32,31	29,59	23,15	10,65	7,89	0,01	0,05	2,39
Mínimo	0,14	1,60	6,31	-200,00	553,00	354,00	69,50	19,37	39,00	29,50	108,33	54,17	36,60	0,02	0,36	15,60
Máximo	0,44	5,30	8,07	-89,00	1500,00	959,00	139,00	32,70	120,00	96,00	165,00	82,50	52,30	0,05	0,50	21,30
N	6,00	7,00	8,00	7,00	8,00	7,00	8,00	8,00	6,00	6,00	6,00	6,00	3,00	4,00	5,00	4,00
Eficiência	85,11%	44,44%	12,50%	-7,97%	0,29%	-32,63%	59,23%	-0,92%	43,82%	55,78%	66,91%	66,67%	33,63%	36,52%	18,40%	24,16%
Padrões (NOP INEA - 45/21)	-	-	5 - 9	-	-	120	-	-	-	-	-	120	<20 mg/L	-	-	4,0 mg P/L
CONAMA 430/2011	-	-	5 - 9	-	-	-	-	-	100	-	300	90				

	OD (mg/L)	Saturação (%)	pH	ORP (mV)	Condutividade (µS/cm)	SDT (mg/L)	Turbidez (NTU)	Temperatura	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Amônia (mg/L NH3 -)	Nitrito (NO2-) L	Nitrato (NO3 -) L	Fósforo (mg/L PO4)	E. Coli
Média	1,89	22,98	6,62	51,93	672,00	406,00	36,70	25,55	23,00	22,92	104,22	52,11	36,25	0,11	3,18	16,62	41026,00
Médiana	1,80	22,85	6,73	26,50	600,50	384,00	29,80	26,09	18,00	20,00	94,44	47,22	41,40	0,06	3,27	16,20	13000,00
Desvio pad	0,57	5,92	0,45	112,72	343,16	101,58	13,05	3,88	16,31	13,71	33,53	16,77	10,77	0,09	0,35	6,08	46754,14

Mínimo	1,16	15,10	6,04	-102,00	207,00	322,00	27,20	19,99	10,00	10,50	60,56	30,28	20,10	0,06	2,79	9,67	230,00
Máximo	2,89	33,00	7,26	256,00	1360,00	600,00	57,50	30,75	46,00	46,00	161,79	80,90	42,10	0,21	3,48	24,40	92000,00
N	6,00	6,00	8,00	8,00	8,00	7,00	7,00	8,00	7,00	7,00	7,00	7,00	4,00	3,00	3,00	4,00	5,00
Eficiência	1108,51%	994,44%	5,79%	137,63%	18,21%	-2,57%	86,51%	4,25%	82,32%	81,65%	75,22%	75,22%	7,89%	143,70%	487,58%	-9,02%	74,36%
Padrões (NOP INEA - 45/21)	-	-	5 - 9	-	-	120,00	-	-	-	-	-	120,00	<20 mg/L	-	-	4,0 mg P/L	-
CONAMA 430/2011	-	-	5 - 9	-	-	-	-	-	100	-	300	90	-	-	-	-	2000 NMP/100 mL

	OD (mg/L)	Saturação (%)	pH	ORP (mV)	Condutividade (µS/cm)	SDT (mg/L)	Turbidez (NTU)	Temperatura	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Amônia (mg/L NH3 -)	Nitrato (mg/L NO3 -)	Fósforo (mg/L PO4)	E. Coli
T9																
Média	0,65	18,00	6,81	-121,13	944,75	520,00	102,58	25,19	49,94	41,19	140,40	70,20	-	-	-	95475,00
Médiana	0,26	18,60	6,88	-128,00	756,00	480,00	97,55	25,70	52,00	34,00	128,33	64,17	-	-	-	107000,00
Desvio pad	0,59	1,13	0,61	76,09	425,52	140,54	52,27	3,17	8,16	17,97	51,19	25,60	-	-	-	76847,27
Mínimo	0,21	16,70	5,91	-223,00	583,00	373,00	48,20	20,26	38,00	23,00	90,56	45,28	-	-	-	7900,00
Máximo	1,44	18,70	7,90	-8,00	1870,00	781,00	165,00	29,00	58,00	68,00	242,22	121,11	-	-	-	160000,00
N	6,00	6,00	8,00	8,00	8,00	7,00	6,00	8,00	6,00	6,00	6,00	6,00	-	-	-	11,00
Eficiência	314,89%	757,14%	8,76%	12,23%	-14,99%	-31,37%	62,29%	5,60%	61,60%	67,03%	66,62%	66,62%	-	-	-	40,33%

Padrões (NOP INEA - 45/21) CONA MA 430/20 11	-	-	5 - 9	-	-	120,00	-	-	-	-	-	120,00	<20 mg/L	-	4,0 mg P/L	
	-	-	5 - 9	-	-	-	-	-	100	-	300	90				2000 NMP/100 mL

Fonte: Autora, 2023