OPEN JOURNAL SYSTEMS
ISSN: 2675-3065

Meio **A**mbiente (Brasil), v.8, n.1. 013-029 (2026)

Meio Ambiente (Brasil)

Sousa et al

Eficiência operacional de uma estação de tratamento de esgoto em uma universidade na região amazônica

Mauricio Dumont Ferreira Sousa[1]*, Nathali Silva Bernardo[2], Vanessa Mota Bernardes[3], Cristiane Mota dos Santos[4], Antônio Jorge Silva Araújo Júnior[5]

[1]*Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida, Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Santarém, Pará, Brasil.* (*Autor correspondente*:* eng.dumont.mauricio@gmail.com)
[2]*Bacharela Interdisciplinar em Ciências e Tecnologias das Águas e Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Santarém, Pará, Brasil.*
[3]*Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental e Bacharela Interdisciplinar em Ciências e Tecnologias das Águas, Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Santarém, Pará, Brasil.*
[4]*Mestra em Química Inorgânica, Universidade Federal do Amazonas e Servidora Técnica, Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Santarém, Pará, Brasil.*
[5]*Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará e Professor do Magistério Superior, Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Santarém, Pará, Brasil.*

Histórico do Artigo: Submetido em: 17/12/2025 – Revisado em: 06/01/2026 – Aceito em: 17/01/2026

R E S U M O

Este estudo avaliou a eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, quanto à remoção de poluentes. Foram realizadas três campanhas de amostragem em 2024, com análises de pH, sólidos suspensos e dissolvidos, formas de nitrogênio e fósforo, assim como a demanda química de oxigênio (DQO). Os resultados mostraram pH estável dentro dos limites legais (média entre 7,64 e 8,16) e remoção eficaz de sólidos suspensos (até 97%). No entanto, a remoção de nitrogênio amoniacal foi ineficiente, com valores no efluente final acima do limite legal (média de até 39,2 mg/L, quando o limite é 20 mg/L). A remoção de fósforo total foi inferior a 31%, e a DQO excedeu os limites em duas das três coletas. Identificou-se que a ETE está subdimensionada: opera com capacidade de 36 m³/dia, enquanto a demanda real é de 144 m³/dia. Conclui-se que a unidade necessita de reestruturação, com ampliação de capacidade, melhorias no sistema de aeração e monitoramento contínuo para garantir conformidade ambiental.

Palavras-Chaves: Fósforo, Nitrogênio, DQO, Qualidade do Efluente, Saneamento Ambiental.

Operational efficiency of a sewage treatment plant at a university in the Amazon region

A B S T R A C T

This study evaluated the efficiency of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of the Classroom Complex at the Federal University of Western Pará, regarding pollutant removal. Three sampling campaigns were conducted in 2024, with analyses of pH, suspended and dissolved solids, nitrogen forms and phosphorus, and chemical oxygen demand (COD). The results showed a stable pH within legal limits (average between 7.64 and 8.16) and effective removal of suspended solids (up to 97%). However, ammoniacal nitrogen removal was inefficient, with values in the final effluent above the legal limit (average of up to 39.2 mg/L, when the limit is 20 mg/L). Total phosphorus removal was less than 31%, and COD exceeded the limits in two of the three samplings. It was identified that the WWTP is undersized: it operates with a capacity of 36 m³/day, while the actual demand is 144 m³/day. It is concluded that the unit needs restructuring, with capacity expansion, improvements to the aeration system, and continuous monitoring to ensure environmental compliance.

Keywords: Phosphorus, Nitrogen, COD, Effluent Quality, Environmental Sanitation.

Sousa, M. D. F., Bernardo, N. S., Bernardes, V. M., Santos, C. M. dos, & Araújo Júnior, A. J. S. (2026). Eficiência operacional de uma estação de tratamento de esgoto em uma universidade na região amazônica. **Meio Ambiente (Brasil)**, v.8, n.1, p.13-29.

Direitos do Autor. A Meio Ambiente (Brasil) utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

Eficiencia operativa de una estación de tratamiento de esgoto en una universidad de la región amazónica

R E S U M E N

Este estudio evaluó la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Edificio de Aulas de la Universidad Federal del Oeste de Pará, en cuanto a la remoción de contaminantes. Se realizaron tres campañas de muestreo en 2024, con análisis de pH, sólidos suspendidos y disueltos, formas nitrogenadas, fósforo y demanda química de oxígeno (DQO). Los resultados mostraron un pH estable dentro de los límites legales (promedio entre 7,64 y 8,16) y una remoción efectiva de sólidos suspendidos (hasta un 97%). Sin embargo, la remoción de nitrógeno amoniacal fue ineficiente, con valores en el efluente final por encima del límite legal (promedio de hasta 39,2 mg/L, cuando el límite es de 20 mg/L). La remoción total de fósforo fue inferior al 31% y la DQO superó los límites en dos de los tres muestreos. Se identificó que la PTAR está subdimensionada: opera con una capacidad de 36 m³/día, mientras que la demanda real es de 144 m³/día. Se concluye que la unidad necesita una reestructuración, con ampliación de capacidad, mejoras en el sistema de aireación y monitoreo continuo para asegurar el cumplimiento ambiental.

Palabras clave: Fósforo, Nitrógeno, DQO, Calidad de Efluentes, Saneamiento Ambiental.

1. Introdução

Desde o início da civilização a ocupação humana esteve intimamente associada à proximidade de corpos d'água. Ainda hoje, uma parcela significativa da população mundial concentra-se próxima as zonas costeiras, enquanto o aproveitamento intensivo dos rios sustenta atividades essenciais em regiões interiores (Debatin & Ibsch, 2022). Ao longo da história, o uso da água pela humanidade tornou-se cada vez mais diversificado, frequentemente resultando em desperdícios e destinações inadequadas, que geram diversos impactos ambientais, sociais e econômicos (Nascimento; Monte & Côrrea, 2021). Nesse contexto, a água configura-se como um recurso indispensável, não apenas ao progresso das sociedades, mas à própria manutenção da vida, o que evidencia a necessidade de adoção de estratégias eficazes para sua preservação e recuperação diante dos impactos gerados pelo uso inadequado ao longo do tempo (Debatin & Ibsch, 2022).

Paralelamente, o avanço acelerado da urbanização em escala global tem ampliado o contingente populacional residente em aglomerados subnormais e associado à ausência de políticas públicas eficazes e de um planejamento urbano consistente favoreceu a expansão desordenada dessas áreas, marcadas pela precariedade da infraestrutura básica e pela insuficiência dos serviços de saneamento (Vieira; Valério Filho & Mendes, 2024). Nessa perspectiva, a Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estruturados em 17 objetivos e 169 metas específicas, com a finalidade de erradicar a pobreza, promover a proteção ambiental e assegurar condições de paz e prosperidade para todas as populações até o ano de 2030, dentre os quais, destaca-se o ODS 6, que trata do acesso universal à água potável e ao saneamento, bem como da gestão sustentável dos recursos hídricos (ONU Brasil, 2025).

Diante desse cenário, especialmente entre o final do século XIX e o início do século XX, diversas nações começaram a investir em soluções voltadas ao tratamento de esgotos e o lançamento de seus efluentes, visando mitigar os problemas associados ao saneamento (Nuvolari, 2011). No contexto brasileiro, um avanço significativo ocorreu com a promulgação da Lei Federal nº 11.445, em 2007, que instituiu o marco regulatório do saneamento básico no país. Posteriormente, esse arcabouço legal foi revisado e aprimorado por meio do Novo Marco Legal do Saneamento Básico, estabelecido pela Lei nº 14.026/2020, responsável por atualizar e consolidar as diretrizes nacionais originalmente definidas pela legislação de 2007.

De acordo com essas legislações, o saneamento básico pode ser definido como o conjunto de quatro serviços fundamentais: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; além da drenagem urbana e o manejo das águas pluviais (Brasil, 2020). Tais instrumentos normativos, estabelecem que os municípios brasileiros devem se adequar e promover a universalização dos serviços de saneamento até 31 de dezembro de 2033, com a meta de assegurar o acesso à água potável a 99%

da população e garantir que 90% dos habitantes sejam atendidos por serviços de coleta e tratamento de esgoto, consolidando princípios essenciais para a implementação efetiva dessas políticas públicas (Brasil, 2020).

Aquém disso, a implementação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), lançado em 2013, estabeleceu metas de curto, médio e longo prazo para a universalização dos serviços (Brasil, 2014). Contudo, apesar dos avanços normativos, o Brasil ocupava, em 2017, a 101ª posição no ranking de saneamento da ONU entre 163 países (Nascimento; Monte & Correa, 2021). Sendo assim, os desafios persistem, sobretudo na região Norte do país, que apresenta os menores índices de acesso a serviços essenciais, como o abastecimento de água potável e a coleta de esgoto.

Um exemplo emblemático dessa realidade consiste no fato de que apenas 14% dos municípios da Amazônia brasileira possuem acesso a serviços de esgotamento sanitário (Magalhães et al., 2024). No município de Santarém, no estado do Pará, por exemplo, apesar de haver um sistema de coleta e tratamento de esgoto, apenas 3,81% da população faz-se atendida por serviços de coleta de esgoto, o que posiciona o município na última colocação do Ranking do Saneamento Brasileiro (Instituto Trata Brasil, 2024).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 9648/1986, o esgoto sanitário pode ser caracterizado como o efluente líquido resultante da combinação de esgotos de origem doméstica e industrial, das águas de infiltração e das contribuições pluviais parasitárias. A disposição inadequada desse efluente diretamente no meio ambiente, especialmente em corpos hídricos, pode ocasionar a degradação da qualidade ambiental, além de representar riscos significativos à saúde humana e aos demais componentes dos ecossistemas (Marques, 2023).

No Brasil, uma parcela expressiva da água consumida apresenta contaminação por esgoto sanitário, o que gera preocupações as autoridades competentes. Quanto maior a quantidade de esgoto lançada nos corpos d'água, maiores são os investimentos necessários para o tratamento de doenças associadas à poluição hídrica. Nesse sentido, o tratamento adequado dos esgotos torna-se indispensável para garantir a qualidade da água, proteger o meio ambiente e reduzir os custos relacionados à saúde pública (Lima; Barbado & Moritz, 2021). O lançamento inadequado de efluentes configura-se, portanto, como uma das principais causas de contaminação da água e do solo, contribuindo para a disseminação de doenças associadas à deficiência dos serviços de saneamento básico (Nascimento; Silva & Souza, 2022).

O despejo de esgotos em corpos d'água sem tratamento adequado ou em desconformidade com as normas legais compromete a qualidade da água do corpo receptor, podendo inviabilizar seu uso para fins atuais e futuros (Barbosa et al., 2021). Nesse contexto, a aplicação de indicadores de desempenho destaca-se como uma ferramenta fundamental para a avaliação da qualidade dos serviços prestados, subsidiando a tomada de decisão e assegurando eficiência, eficácia, sustentabilidade e conformidade operacional das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) (Von Sperling & Von Sperling, 2013).

Conforme o Relatório de Gestão da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA, 2023), a instituição possui 7.138 estudantes matriculados nos cursos de graduação, 453 discentes em programas de pós-graduação (mestrado e doutorado) e 1.102 servidores em seu quadro funcional. Diante desse contingente populacional e do intenso fluxo diário de pessoas, a universidade pode ser compreendida como uma "pequena cidade", caracterizada pela circulação contínua de indivíduos, saberes e atividades (Tourinho et al., 2021).

Em muitas universidades federais brasileiras, a movimentação cotidiana de estudantes, docentes, técnicos administrativos, trabalhadores terceirizados e visitantes supera, inclusive, o contingente populacional de diversos municípios de pequeno porte. Essa dinâmica reforça o papel da universidade como um espaço urbano complexo, com demandas próprias de infraestrutura, mobilidade, gestão ambiental, prestação de serviços e implementação de políticas públicas, semelhantes aquelas observadas em centros urbanos consolidados (Casqueiro; Irffi & Silva, 2020).

Diante dessa complexidade que caracteriza o ambiente universitário, observa-se uma elevada demanda pelo uso da água, tanto de forma direta quanto indireta, o que torna a gestão responsável desse recurso um desafio significativo, uma vez que, os avanços na preservação hídrica ainda são limitados em diversos países

(Crizel & Lara, 2020), o que acaba por refletir em um problema de escala global e um dos principais desafios para a gestão ambiental.

Nesse contexto, a avaliação dos fatores que contribuem para a contaminação e a degradação ambiental torna-se fundamental no âmbito de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), especialmente no que se refere ao lançamento de efluentes com cargas poluidoras acima dos limites estabelecidos pela legislação vigente. O monitoramento e o controle dessas descargas são essenciais para evitar impactos negativos aos ecossistemas receptores e reduzir riscos à saúde humana, reforçando o papel estratégico das ETEs na proteção ambiental e no cumprimento das normas técnicas e ambientais (Crizel & Lara, 2020).

Diante das premissas apresentadas, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de uma Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós, localizada no Núcleo de Salas de Aula, quanto a remoção de poluentes, verificando sua conformidade com a legislação ambiental vigente e identificando potenciais pontos de melhoria para otimizar seu desempenho.

2. Material e Métodos

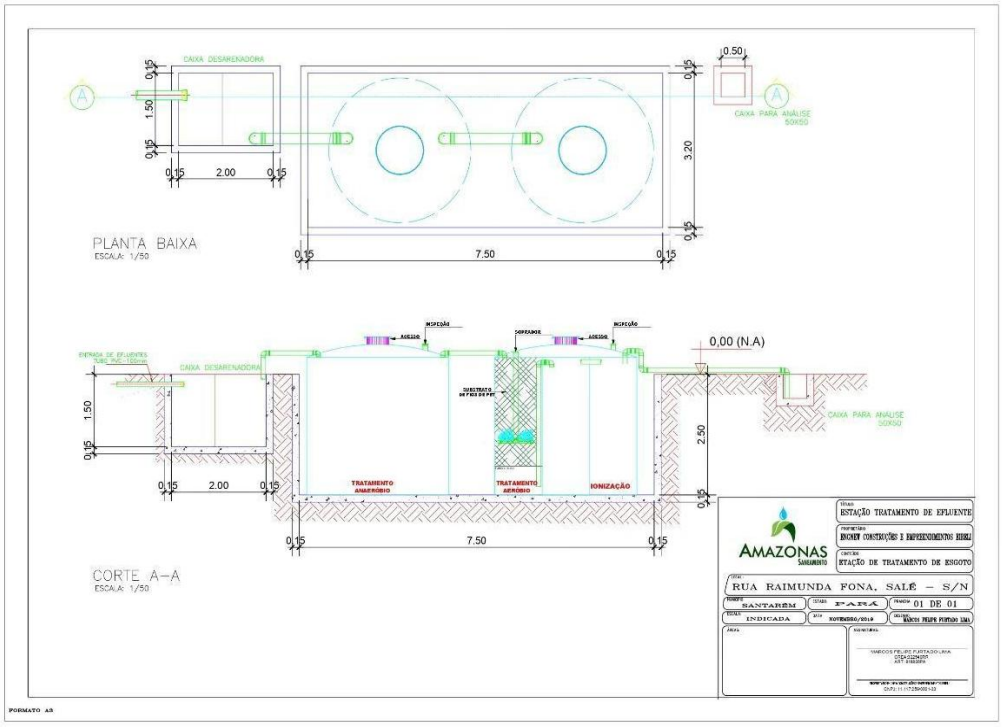
2.1 Área avaliada

Este trabalho abordou a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada no Núcleo de Salas de Aula (NSA) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), *Campus* Tapajós, situada na Rua Raimundo Fona, s/n, no bairro Salé, às margens do Rio Tapajós, em Santarém, Pará.

Inicialmente, o pré-tratamento ocorre em uma caixa de concreto armado destinada a separação de sólidos grosseiros. Em seguida, o tratamento anaeróbio é realizado em um reator de fluxo ascendente, equipado com substratos de fios de PET, que promovem a digestão anaeróbia e a retenção da biomassa. Posteriormente, o efluente passa pela etapa aeróbia, onde um filtro de leito fixo, conjugado com um tanque de decantação e contato, permite a degradação de matéria orgânica por microrganismos e a desinfecção do efluente com pastilhas de cloro. Por fim, o biogás gerado no processo anaeróbio é filtrado para a redução de contaminantes (Engnew Construções e Empreendimentos Eireli, 2019).

Na Figura 1 pode-se observar o esquema do fluxo de tratamento da unidade, incluindo as etapas de pré-tratamento, tratamento anaeróbio e aeróbio, demonstrando a integração dos processos para atender às vazões projetadas.

Figura 1 – Planta Baixa do Esquema de Fluxo do Sistema de Tratamento de Efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós em Santarém, Pará
Figure 1 – Floor Plan of the Flow Diagram of the Effluent Treatment System of the Sewage Treatment Plant of the Classroom Center of the Federal University of Western Pará, Tapajós *Campus* in Santarém, Pará



Fonte: Engnew Construções e Empreendimentos Eireli (2019)
Source: Engnew Construções e Empreendimentos Eireli (2019)

A região onde a ETE se encontra apresenta clima quente e úmido, com temperaturas médias anuais que oscilam entre 25 e 28 °C. A umidade relativa do ar é elevada, e o índice pluviométrico anual varia entre 2.000 e 2.200 mm (Vieira, 2023).

2.2 Amostragem e Métodos Analíticos Laboratoriais

O Quadro 1 apresenta os parâmetros analisados e os métodos analíticos empregados para cada parâmetro.

Quadro 1 – Parâmetros e métodos analíticos para as análises físico-químicas, da Estação de Tratamento de Esgoto o Núcleo de salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós em Santarém, Pará.
Frame 1 – Parameters and analytical methods for physical-chemical analyses, of the Sewage Treatment Plant and the Classroom Center of the Federal University of Western Pará, Tapajós Campus in Santarém, Pará.

Parâmetro	Unidade	Métodos analíticos
pH	Adimensional	Potenciométrico
Sólidos Suspensos (S_{ST}, S_{SF}, S_{SV})	mg/L	2540 (B), 2540 (D) e 2540 (E)
Sólidos Dissolvidos (S_{DT}, S_{DF}, S_{DV})	mg/L	2540 (C) e 2540 (E)
Fósforo Total	mgP/L	4500-P (E)
Ortofosfato	mg $P\text{-}PO_4^{3}$-/L	4500-P (E)
NTK	mg N-NTK/L	4500-Norg (C)
N-Amoniacal	mg$N\text{-}NH_4^{+}$/L	4500-NH3
Nitrito	µg/$N\text{-}NO_2^{-}$/L	4500-NO2- (B)
DQO	mgO_2/L	5220 (C)

Nota: S_{ST} – Sólidos Suspensos Totais, S_{SF} - Sólidos Suspensos Fixos, S_{SV} - Sólidos Suspensos Voláteis, S_{DT} - Sólidos Dissolvidos Totais, S_{DF} - Sólidos Dissolvidos Fixos, S_{DV} - Sólidos Dissolvidos Voláteis.
Fonte: Autores (2025).
Note: TSS – Total Suspended Solids, SSF – Fixed Suspended Solids, VSS – Volatile Suspended Solids, TSS – Total Dissolved Solids, SDF – Fixed Dissolved Solids, VSD – Volatile Dissolved Solids.
Source: Authors (2025).

As amostras coletadas foram encaminhadas para análise no Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias (LabTAR) da UFOPA. Os parâmetros analisados incluíram pH, sólidos suspensos totais, fixos e voláteis (SST, SSF e SSV), sólidos dissolvidos totais, fixos e voláteis (SDT, SDF e SDV), fósforo total, ortofosfato, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal, nitrito e demanda química de oxigênio (DQO).

A coleta e preservação das amostras seguiram os métodos recomendados pela pelo guia nacional de coleta e preservação de amostras (Cetesb, 2011) e as análises foram realizadas em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2022; Cetesb, 2011), assegurando a padronização, a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados obtidos.

2.3 Análise de dados

Inicialmente, os dados foram tabulados em planilhas do *Microsoft Excel*, para posterior cálculos da concentração dos parâmetros analisados no esgoto bruto e pós-tratamento, seguidos de análise para calcular médias dos parâmetros analisados. A comparação entre os valores do esgoto bruto e efluente permitiu avaliar a eficiência do tratamento, calculando o percentual de remoção de cada parâmetro.

A eficiência do tratamento foi comparada com os limites estabelecidos por normas ambientais, como a Resolução CONAMA 430/2011, ABNT. NBR 13969/1997, com o objetivo de avaliar o desempenho da ETE em relação à qualidade do tratamento da unidade.

Por fim, os resultados foram analisados e discutidos, considerando os fatores que podem ter influenciado o desempenho da ETE, incluindo uma avaliação projetual para verificar se seu dimensionamento atende às demandas e aos padrões exigidos para suprir a produção de esgoto do NSA da UFOPA. Com base nessa análise, foram elaboradas conclusões e recomendações visando a otimização do processo de tratamento e a melhoria

da eficiência do sistema.

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta o *box-plot* dos valores de pH do esgoto bruto (EB) e do esgoto tratado (ET) da Estação de Tratamento de Esgoto do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Figura 2 – *Box-plot* dos valores do parâmetro pH de esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgoto do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós, Santarém, Pará.
Figure 2 – Box-plot of the pH parameter values of raw and treated sewage from the Sewage Treatment Plant of the Classroom Center of the Federal University of Western Pará, Tapajós *Campus*, Santarém, Pará.



Fonte: Autores (2025).
Source: Authors (2025).

Os resultados referentes ao pH demonstraram que o efluente bruto (EB) possui uma mediana de 8,15; com uma distribuição mais concentrada e a presença de um *outlier* de 5,44 indicando uma possível variação atípica. Já o efluente tratado (ET) apresentou uma mediana de 7,86; com uma dispersão maior e um *outlier* de 8,7. Apesar dessas variações, os intervalos interquartis são semelhantes, sugerindo que os valores de pH permanecem relativamente estáveis após o tratamento (Figura 2).

Os valores médios de pH no esgoto bruto da ETE avaliada foram 7,47; 8,21 e 8,08; respectivamente (Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3). No esgoto tratado, os valores registrados foram 8,16; 7,64 e 7,97. Esses resultados indicam que o pH permaneceu dentro da faixa permitida pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (5,0 a 9,0), evidenciando o bom desempenho do sistema de tratamento em relação a esse parâmetro (Brasil, 2011).

Estudo conduzido por Costa (2020) sobre as águas residuais tratadas pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), na ETE de Teófilo Otoni – MG, revelou que o pH da água residual tratada variou entre 7,2 e 7,8, com média de 7,45; ao longo de quatro coletas realizadas entre março de 2017 e setembro de 2018. Esses valores demonstram estabilidade e um caráter levemente básico, semelhante ao observado no presente estudo, reforçando a eficiência do sistema de tratamento em manter o pH dentro da faixa desejada.

Dada a acidez característica dos solos da região, a água residual tratada da ETE do NSA, com pH levemente básico, apresenta potencial para reutilização em processos de irrigação. Como apontado por Costa

(2020), essa prática pode contribuir para a elevação do pH do solo, reduzindo a necessidade de corretivos agrícolas. Além disso, a reutilização da água tratada minimizaria o consumo de água potável para essa finalidade, promovendo uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos e trazendo benefícios econômicos e ambientais para a universidade.

Houve redução significativa na concentração de sólidos suspensos após o tratamento, evidenciando a eficácia do processo. No entanto, a remoção de sólidos dissolvidos foi menos expressiva, sugerindo limitações na eficiência para esse parâmetro (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores médios para os parâmetros de sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos e percentuais de remoção do esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgoto do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós, Santarém, Pará

Table 1 – Average values for the parameters of suspended solids, dissolved solids and removal percentages of raw and treated sewage from the Sewage Treatment Plant of the Classroom Center of the Federal University of Western Pará, Tapajós Campus, Santarém, Pará

	Campanha 1			Campanha 2			Campanha 3		
	EB	ET	Remoção (%)	EB	ET	Remoção (%)	EB	ET	Remoção (%)
SST	77,50	19,00	75,48	190,00	10,67	94,38	455,72	11,50	97,48
SSF	70,00	1,50	97,86	36,67	4,67	87,26	96,28	2,50	97,40
SSV	-	-	-	153,33	6,00	96,09	359,44	9,00	97,50
SDT	219,5	134,5	38,72	227,33	116,5	48,75	176	115	34,66
SDF	91,5	38,5	57,92	2	-	-	57,33	25	56,39
SDV	128	96	25,00	386	-	-	118,67	90	24,16

Nota: EB – Esgoto Bruto; ET – Esgoto Tratado; SST – Sólidos em Suspensão Totais; SSF – Sólidos em Suspensão Fixos; SSV – Sólidos em Suspensão Voláteis; SDT – Sólidos Dissolvidos Totais; SDF – Sólidos Dissolvidos Fixos; SDV – Sólidos Dissolvidos Voláteis.

Fonte: Autores (2025)

Note: EB – Raw Sewage; ET – Treated Sewage; SST – Total Suspended Solids; SSF – Fixed Suspended Solids; SSV – Volatile Suspended Solids; SDT – Total Dissolved Solids; SDF – Fixed Dissolved Solids; SDV – Volatile Dissolved Solids.

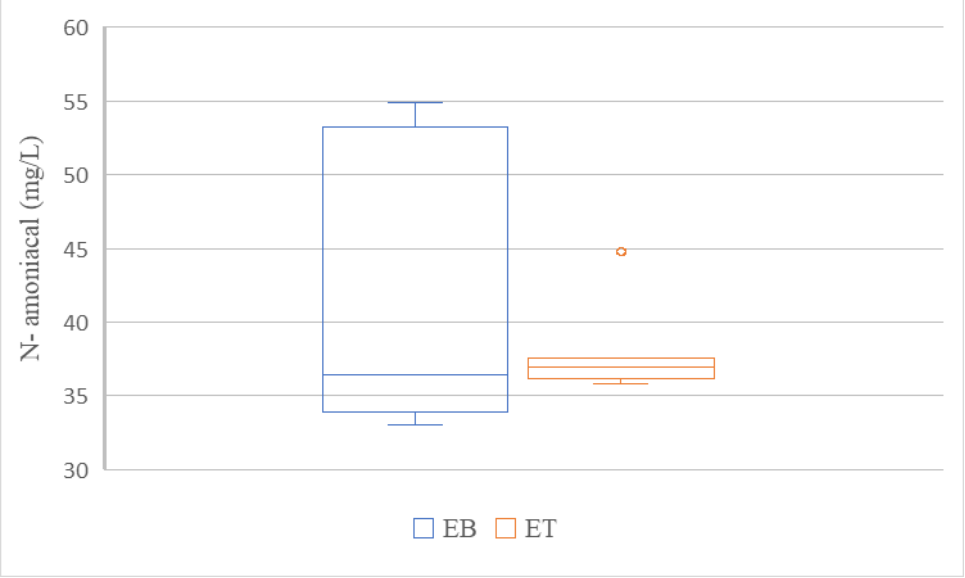
Source: Authors (2025)

O comparativo entre os resultados da ETE do NSA e os dados das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE-1, ETE-2 e ETE-3), provenientes de um estudo realizado por Cunha et al. (2024), em ETEs compactas no município de Santarém revelou que a ETE-NSA se destacou pela maior consistência nos valores finais de sólidos, apresentando menor variabilidade nas medições em relação às outras estações.

Em particular, a ETE-2 apresentou instabilidade no tratamento, indicando dificuldades no processo de remoção de sólidos. Já a ETE-3 demonstrou maior instabilidade na remoção de sólidos suspensos, com variações significativas nos valores medidos. Em contraste, a ETE-NSA manteve níveis de sólidos mais baixos e estáveis após o tratamento, evidenciando um desempenho mais eficiente e constante em relação às demais estações estudadas por Cunha et al. (2024).

A Figura 2 apresenta box plot que permite avaliar o desempenho da ETE NSA na remoção de nitrogênio amoniacal antes e após o tratamento. No EB, observa-se uma variação nos valores, com concentrações entre 33 mg/L e 54,9 mg/L e uma mediana de 36,4 mg/L. No ET, a dispersão dos valores foi menor, com mediana de 37 mg/L, mas ainda há um *outlier* próximo de 44,8 mg/L, apontando um valor atípico acima do padrão. A presença do outlier na saída pode indicar falhas ou variações no processo de tratamento.

Figura 2 – *Box-plot* dos valores do parâmetro N-amoniacal de esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgoto do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós, Santarém, Pará
Figure 2 – Box-plot of the values of the N-ammoniacal parameter of raw and treated sewage from the Sewage Treatment Plant of the Classroom Center of the Federal University of Western Pará, Tapajós *Campus,* Santarém, Pará



Fonte: Autores (2025)
Source: Authors (2025)

Os resultados para nitrogênio amoniacal foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que define 20 mg/L de N como o valor máximo permitido para efluentes lançados em corpos hídricos (Brasil, 2011). No esgoto bruto, os valores médios variaram entre 35,47 mg/L, 34,53 mg/L e 53,76 mg/L, enquanto no esgoto tratado, os valores foram 39,20 mg/L, 36,96 mg/L e 36,59 mg/L. Em dois dos casos, observou-se um aumento na concentração de nitrogênio amoniacal após o tratamento, corroborando com o apresentado na Figura 2, o que indica falhas no processo de remoção desse composto. Logo, entende-se que não houve remoção de nitrogênio amoniacal na maioria das campanhas realizadas. Além disso, todos os valores obtidos permaneceram acima do limite estabelecido pela legislação vigente, evidenciando a necessidade de melhorias no tratamento para atender aos padrões exigidos.

A Tabela 2 apresenta os valores médios obtidos por campanha dos parâmetros Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e nitrito, além dos respectivos percentuais de remoção da ETE analisada. Evidenciou-se para o NTK, os valores de 64,61 mg/L, 58,65 mg/L e 64,11 mg/L, respectivamente. Após o tratamento, esses valores reduziram para 44,73 mg/L, 42,74 mg/L e 36,78 mg/L, resultando em percentuais de remoção de 31%, 27% e 43% durante as coletas realizadas. Em relação ao nitrito, os valores no esgoto bruto foram 1,72 µg/L, 3,72 µg/L e 1,39 µg/L. Após o tratamento, os valores reduziram para 0,40 µg/L, 0,29 µg/L e 0,52 µg/L; correspondendo a percentuais de remoção de 77%, 92% e 63%, respectivamente.

Tabela 2 – Valores médios para os parâmetros de nitrogênio e percentuais de remoção do esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgoto do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós, Santarém, Pará

Table 2 – Average values for nitrogen parameters and removal percentages of raw and treated sewage from the Sewage Treatment Plant of the Classroom Center of the Federal University of Western Pará, Tapajós *Campus,* Santarém, Pará

	Campanha 1			Campanha 2			Campanha 3		
	EB	ET	Remoção (%)	EB	ET	Remoção (%)	EB	ET	Remoção (%)
NTK (mg/L)	64,61	44,73	30,8	58,65	42,74	27,1	64,11	36,78	42,6
Nitrito (µg/L)	1, 72	0,40	76,7	3,72	0,29	89,4	1,39	0,52	62,7

Nota: EB – Esgoto Bruto; ET – Esgoto Tratado; NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl.
Fonte: Autores (2025)
Note: EB – Raw Sewage; ET – Treated Sewage; NTK - Total Nitrogen Kjeldahl.
Source: Authors (2025)

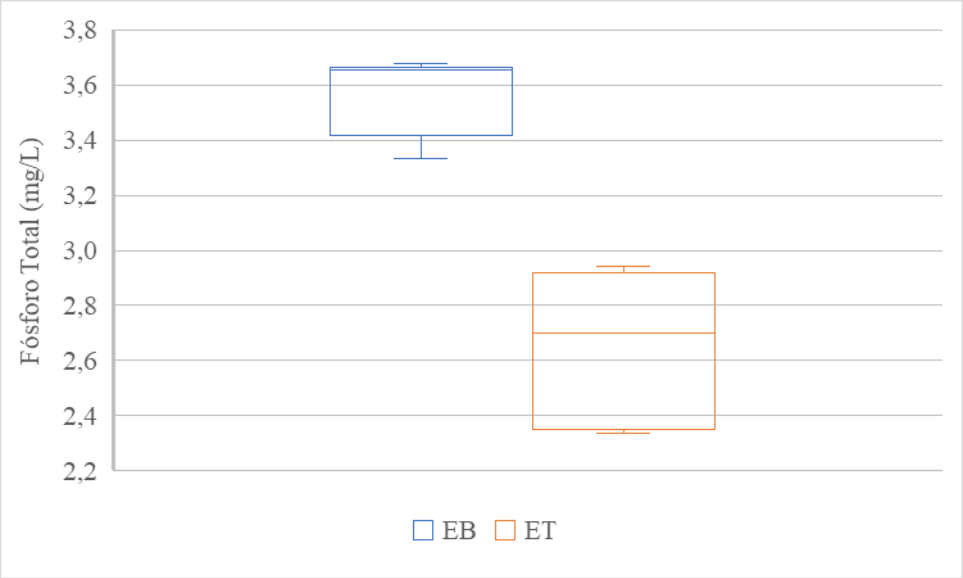
Vale destacar que durante o processo de tratamento de esgoto, o pH é um parâmetro importante, pois afeta diretamente a eficiência das reações biológicas, observada em sistemas operados com aeração intermitente, conforme destacado por Barros et al. (2021). Os autores ainda destacam que nesse processo, durante a oxidação do nitrogênio amoniacal para nitrito, ocorre a liberação de íons H+, o que pode resultar em uma diminuição significativa do pH, no entanto, a atividade dos organismos no período anóxico devolve alcalinidade ao sistema, equilibrando o pH e tornando possível o seu controle.

Além disso, o controle do pH pode ser complementado com a dosagem adicional de hidróxido, se necessário, garantindo a estabilidade do processo e otimizando a eficiência na remoção de nitrogênio (Barros et al., 2021). Os hidróxidos, como o hidróxido de cálcio (cal hidratada), são amplamente empregados em ETEs, principalmente para o ajuste e o controle do pH, atuando na neutralização de efluentes ácidos (Portal do Saneamento Básico, 2025). Dentre esses compostos, o hidróxido de cálcio hidratado [$Ca(OH)_2$] destaca-se pela elevada eficiência na correção do pH e na remoção de sulfatos por processos de precipitação, além de sua ampla disponibilidade comercial e facilidade de aplicação operacional (Moraes, 2025). O processo de neutralização envolve a redução da acidez, com a formação de água e de sulfato de cálcio ($CaSO_4$), conhecido como borra de hidróxido de cálcio. Contudo, quando esse processo não se faz adequadamente controlado, a geração excessiva desse subproduto pode comprometer o desempenho do sistema, ocasionando aumento dos custos operacionais, maior produção de lodo e impactos ambientais associados à intensificação da geração de resíduos sólidos (Portal do Saneamento Básico, 2025; Moraes, 2025).

Através da Figura 3 observa-se a comparação entre as concentrações de fósforo total (mg/L) no processo de tratamento em estudo. No EB a concentração oscila entre aproximadamente 3,3 mg/L e 3,7 mg/L, com mediana próxima de 3,6 mg/L e baixa dispersão, indicando estabilidade nos valores de entrada. No ET, os valores variam entre 2,3 mg/L e 2,9 mg/L, com mediana de 2,7 mg/L, e uma dispersão maior, sugerindo flutuações na eficiência da remoção do fósforo. A comparação entre os dois pontos evidencia uma redução na concentração após o tratamento, refletindo uma remoção parcial do fósforo. No entanto, a presença de fósforo residual no efluente tratado pode representar riscos ambientais caso o despejo ocorra em corpos d'água. Além disso, a maior variabilidade observada na saída sugere possíveis oscilações na eficiência do processo de remoção ao longo do tempo.

Figura 3 – *Box-plot* dos valores do parâmetro Fósforo Total do esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgoto do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós, Santarém, Pará.

Figure 3 – Box-plot of the values of the Total Phosphorus parameter of the raw and treated sewage from the Sewage Treatment Plant of the Classroom Center of the Federal University of Western Pará, Tapajós *Campus,* Santarém, Pará.



Fonte: Autores (2025).
Source: Authors (2025).

Cabe mencionar que os valores de fósforo total no esgoto bruto variaram entre 3,66 mg/L e 3,48 mg/L nas coletas realizadas. Após o tratamento, esses valores foram reduzidos para 2,90 mg/L e 2,41 mg/L, respectivamente, com percentuais de remoção de 20,75% e 30,84%. Para a terceira coleta, a análise de fósforo total não pode ser realizada.

Quanto ao ortofosfato, os valores no esgoto bruto foram de 3,72 mg/L, 3,48 mg/L e 6,25 mg/L. Após o tratamento, os valores reduziram para 2,64 mg/L, 2,41 mg/L e 2,56 mg/L, com percentuais de remoção de 28,97%, 30,84% e 59,02%, respectivamente. Esses resultados indicam que o sistema de tratamento apresenta desempenho variável, com maior eficiência de remoção do ortofosfato na terceira coleta.

Os fosfatos são essenciais para os organismos vivos, mas em excesso podem causar eutrofização nos corpos d'água receptores, afetando a qualidade da água e comprometendo os ecossistemas aquáticos. Por isso, o monitoramento contínuo e o controle dos parâmetros físico-químicos da água são fundamentais para evitar danos à saúde humana e à disponibilidade desse recurso, principalmente em áreas urbanas (Monte et al., 2021).

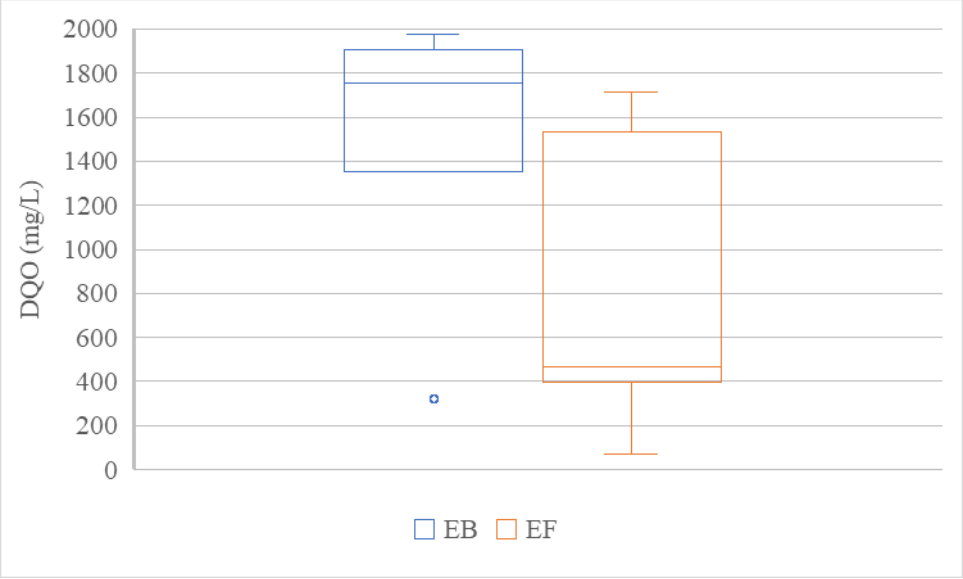
A estação de tratamento revelou-se pouco eficiente ou ineficiente na remoção dos parâmetros Fósforo Total e Nitrogênio Amoniacal, resultado semelhante ao observado no estudo de Peresin et al. (2021), realizado em um *Campus* universitário na região da Serra Gaúcha no Rio Grande do Sul. Os autores destacam que o processo de oxidação biológica tende a reduzir o pH, influenciando negativamente outros processos biológicos envolvidos na remoção de nutrientes. No entanto, esses achados não foram corroborados neste estudo, uma vez que os valores de pH permaneceram dentro da faixa considerada ótima e conforme a regulamentação vigente.

O *boxplot* apresentado na Figura 4 ilustra a variação dos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) em mg/L da estação de tratamento de esgoto objeto de estudo deste trabalho, analisando a carga orgânica antes e após o tratamento. No EB, os valores de DQO variam entre aproximadamente 1350,36 mg/L

e 1978,42 mg/L, com um *outlier* de 319,15 mg/L, enquanto a mediana se fez de 1751,82 mg/L, evidenciando uma alta carga orgânica e pouca variação na composição do esgoto afluente. No ET, os valores oscilam entre 70,92 mg/L e 1715,33 mg/L, com mediana próxima de 500 mg/L, o que indica uma certa redução da carga orgânica. No entanto, a dispersão dos dados na saída foi consideravelmente maior, sugerindo variações na eficiência do tratamento. A redução da mediana de 1700 mg/L para 500 mg/L demonstra uma remoção expressiva da matéria orgânica, mas a presença de valores elevados na saída pode indicar instabilidades no desempenho do sistema de tratamento. Além disso, o *outlier* registrado na entrada sugere possíveis flutuações na composição do esgoto ao longo do tempo.

Figura 4 – *Box-plot* dos valores do parâmetro Demanda Química de Oxigênio do esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgoto do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* Tapajós, Santarém, Pará

Figure 4 – Box-plot of the values of the Chemical Oxygen Demand parameter of raw and treated sewage from the Sewage Treatment Plant of the Classroom Center of the Federal University of Western Pará, Tapajós Campus, Santarém, Pará



Fonte: Autores (2025)
Source: Authors (2025)

Vale destacar que os resultados de DQO indicam inconsistências no desempenho do sistema. A primeira coleta apresentou um aumento na carga orgânica do efluente tratado (-2,4% de remoção), sugerindo falhas operacionais no processo. Já as segunda e terceira coletas demonstraram uma eficiência maior, com remoções de 77,8% e 76,9%, respectivamente, evidenciando que o sistema torna-se capaz de melhorar a qualidade do efluente quando operado em condições mais estáveis.

Ao considerar as diretrizes estabelecidas pela ABNT-NBR 13969 (1997), que normatiza os parâmetros para unidades de tratamento complementar (tanques sépticos) e a disposição final dos efluentes líquidos, é possível analisar a conformidade dos resultados com os limites exigidos para DQO. De acordo com essa norma, o valor limite de DQO para lançamento nas galerias de águas pluviais é inferior a 150 mg/L, e os limites para o lançamento de efluentes tratados nas águas superficiais variam conforme a classe de lançamento: Classe A (inferior a 50 mg/L), Classe B (inferior a 75 mg/L), Classe C (inferior a 125 mg/L) e Classe D (inferior a 150 mg/L).

Analisando os resultados das segunda e terceira coletas, em que os valores de DQO para o esgoto tratado foram 419,66 mg/L e 70,92 mg/L, respectivamente, observa-se que o efluente tratado na segunda coleta ultrapassou o limite para lançamento nas galerias de águas pluviais, assim como em todas as categorias de águas superficiais. Por outro lado, o efluente tratado na terceira coleta ficou dentro dos parâmetros estabelecidos pela Classe B, assim como para seu despejo nas galerias de águas pluviais.

A melhoria na eficiência, observada na terceira coleta, com a redução de DQO para 70,92 mg/L, superou o valor registrado no estudo de Silva et al. (2024), que avaliou o desempenho ambiental da ETE de Samambaia, em Goiânia-GO. Esse resultado evidencia que o sistema da ETE do Núcleo de Salas de Aula tem o potencial de atingir um desempenho adequado quando as variáveis operacionais são mais controladas.

No entanto, os resultados das primeira e segunda coletas indicam que o sistema ainda precisa ser aprimorado, especialmente no que diz respeito ao controle de variáveis operacionais e ao gerenciamento de fatores que possam influenciar a eficiência do tratamento, para garantir um desempenho mais estável e eficaz ao longo do tempo.

De modo geral, os resultados obtidos para a ETE do NSA da UFOPA demonstram uma eficiência insatisfatória, especialmente na remoção de nitrogênio e fósforo. Além disso, a remoção da DQO mostrou-se insatisfatória na maior parte das campanhas de monitoramento, indicando que a etapa aeróbia do tratamento pode estar comprometida. A limitação citada acima também foi observada no estudo de Rodrigues e Antunes (2021), que avaliaram o desempenho de uma estação compacta de tratamento de efluentes em um campus universitário no município de Tramandaí – RS. Os autores destacaram que a remoção de fósforo, materiais flutuantes e nitrogênio foi insuficiente para atender aos padrões estabelecidos pelas resoluções ambientais vigentes.

A baixa eficiência na remoção de nitrogênio fósforo e DQO pode estar relacionada ao tempo de residência do efluente no reator aerado, que pode ser insuficiente para a remoção eficaz (Rodrigues & Antunes, 2021), atrelado ao fato de possivelmente não haver acionamento suficiente do soprador ou simplesmente ele não está funcionando.

De acordo com Assis et al. (2023), um reator de fluxo ascendente em ambiente anóxico permite a remoção simultânea de carbono e nitrogênio por meio do processo de nitrificação e desnitrificação simultânea. Para que esse mecanismo ocorra de forma eficaz, faz-se essencial a presença de zonas aeróbias, onde o nitrogênio amoniacal é convertido em nitrito e nitrato, e de zonas anóxicas, responsáveis por transformar o nitrato em gás nitrogênio, que é liberado na atmosfera. Embora a ETE do NSA utilize um sistema baseado nesse princípio, a baixa remoção de nutrientes sugere que os parâmetros operacionais podem não estar sendo adequadamente atendidos.

Adiante ETE do NSA foi projetada para atender uma demanda de 720 alunos por turno, com uma capacidade de tratamento de 36,00 m³/dia e uma vazão média operada de 28,80 m³/dia, podendo alcançar uma vazão máxima de 51,84 m³/dia (Engnew Construções e Empreendimentos Eireli, 2019).

O NSA é composto por três blocos (A, B e C), cada um com dois pavimentos e 12 salas por pavimento. Considerando a capacidade de 40 alunos por sala, a população potencialmente contribuinte por turno é de 2.880 alunos. Com uma contribuição per capita de 50 L/aluno.dia, conforme adotado no projeto, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) deve ser dimensionada para atender uma vazão média de 144 m³/dia. Esse valor excede a capacidade atual da ETE, evidenciando a necessidade de ajustes no dimensionamento para garantir um tratamento adequado à real demanda do sistema.

Por fim, é altamente recomendável a realização de análises periódicas da qualidade da água no corpo hídrico receptor do efluente tratado pela ETE do NSA. Conforme destacado por Von Sperling (1996), afirma que o lançamento de efluentes provenientes de estações de tratamento em corpos d'água representa uma preocupação significativa, sendo necessário seu monitoramento, pois tal medida se faz necessário para assegurar que a disposição de efluentes tratados não comprometa a qualidade dos recursos hídricos e contribua para a preservação ambiental.

4. Conclusão

A avaliação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Núcleo de Salas de Aula da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) revelou um desempenho misto em relação aos parâmetros de qualidade exigidos pela legislação ambiental vigente. Embora o sistema tenha apresentado estabilidade nos valores de pH e uma elevada eficiência na remoção de sólidos suspensos, os resultados para os demais parâmetros, especialmente nitrogênio amoniacal, fósforo total e demanda química de oxigênio (DQO); evidenciaram limitações no processo de tratamento.

A baixa eficiência na remoção de nutrientes aponta para deficiências operacionais na etapa aeróbia do sistema, possivelmente relacionadas ao tempo de residência insuficiente, falhas no sistema de aeração ou dimensionamento inadequado da unidade. A ETE foi projetada para uma capacidade inferior à demanda real, atendendo apenas cerca de 25% da carga gerada pelo NSA, o que contribui significativamente para a sobrecarga do sistema e a ineficiência observada.

Além disso, a variabilidade dos resultados obtidos nas coletas indica instabilidade operacional, reforçando a necessidade de manutenção preventiva regular, capacitação técnica da equipe responsável e controle mais rigoroso das variáveis de processo. A ausência de remoção eficiente de compostos nitrogenados e fosfotados pode levar à degradação ambiental de corpos receptores, com potencial de provocar eutrofização e outros impactos negativos nos ecossistemas aquáticos.

Portanto, recomenda-se a reestruturação da ETE, com ampliação de sua capacidade de tratamento, melhoria do sistema de aeração, implementação de monitoramento contínuo da qualidade do efluente e a adoção de boas práticas operacionais. A realização de estudos complementares sobre os impactos ambientais no corpo hídrico receptor também é fundamental para assegurar a sustentabilidade e a conformidade ambiental da unidade.

5. Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969: 1997. (1997). **Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9648:1986. (1986). **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário: procedimento**. Rio de Janeiro.

American Public Health Association American Water Works Association, Water Environment Federation. (2022). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** (24ª ed.).

Assis, T. M.; Burgath, F. P.; Wosiak, P. A.; Stolle, E. M.; Nizer, J. V. T.; Cunha, G. S. C.; Queiros, G. L. P.; Barana, A. C. (2023). Uso de reator de leito fixo em meio suporte BioBob®, operando em escala piloto na remoção de DQO e nitrogênio total de esgoto sanitário. **Holos**, 39 (5,), e16342.

Barbosa, R. B. G.; Almeida, R. De S.; Meira, A. C. S.; Silva, D. R. S.; Moura, L. B.; Pessoa, T. (2021). Identificação dos impactos socioambientais decorrentes da implantação da estação de tratamento de esgoto no Semiárido Paraibano. **Research, Society and Development**, 10 (10), e263101018678-e263101018678.

Barros, V. G.; Diegoli, S. B.; Moreira, N. M.; Silva, J. C. dos S. (2021). Operação, acompanhamento e desenvolvimento de algoritmo de controle para automatização de remoção de nutrientes de uma estação de tratamento de esgotos piloto. **Brazilian Journal of Development**, 7 (5), 48996-49009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 13 maio 2011.

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 nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, para transformar o cargo de Especialista em Recursos Hídricos e Saneamento Básico em Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico; e revoga dispositivos da Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978, e da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 jul. 2020.

BRASIL. (2014). **Plano Nacional de Saneamento Básico – PNSB.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília.

CESTEB - Companhia Ambiental do Estado DE São Paulo; ANA - Agência Nacional de Águas. (2011) **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA.

Casqueiro, M. L.; Irffi, G.; Silva, C. da C. da. (2020). A expansão das Universidades Federais e os seus efeitos de curto prazo sobre os Indicadores Municipais. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, 25, 1, 155-177.

Costa, A. S. V da. (2020). Estimativa de uso da água residuária da estação de tratamento de esgoto de Teófilo Otoni, Minas Gerais, na fertirrigação de pastagens. **Research, Society and Development**, 9 (8), e675985364-e675985364.

Crizel, M. G.; LARA, A. C. (2020). Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes instalada em uma universidade federal: questão de gestão ambiental. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, 8, 3, 54-70.

Cunha, A. F., Sousa, I. M. P., de Sousa Carvalho, V. L., dos Santos, C. M., Galvão, R. R., Parente, L. P. R., ... & Henrique, I. N. (2024). Estudo da eficiência físico-química em estações compactas de tratamento de efluentes em condomínios residenciais na cidade de Santarém, PA. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 10, p. e7071-e7071, 2024.

Debatin, A. H.; Ibsch, R. B. M. (2022). Otimização do processo de tratamento de efluentes de uma indústria de alimentos para melhoria da eficiência e produtividade. **Revista da UNIFEBE**, 1, 27, 1-28.

Engnew Construções e Empreendimentos Eireli. (2019). **Memorial descritivo e de cálculo do sistema de tratamento de efluentes: projeto Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).** Manaus: ENGNEW Construções e Empreendimentos.
ITB - Instituto Trata Brasil. (2024). **Ranking do saneamento do Instituto Trata Brasil de 2024 (SNIS 2022).** 2024. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2024/. Acesso em: 23/01/2025.

Lima, D. T. da S. de; Barbado, N.; Moritz, J. (2021). Educação Ambiental a partir do conhecimento dos estudantes sobre Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes. **Research, Society and Development**, 10 (7), e15710716261-e15710716261.

Magalhães, T. M., Pedro, J. P. B., da Silva Oliveira, C. A., Gomes, M. C. R. L., & Von Sperling, M. (2024). Fossa alta comunitária: tecnologia social de tratamento de esgoto na Amazônia sob a perspectiva dos direitos humanos. **Revista Tecnologia e Sociedade**, 20 (60), 56-73.

Marques, V. H. da S. (2023). **Proposta de alternativa sustentável para o sistema de esgotamento sanitário da expansão do campus da Universidade Federal de Goiás em Aparecida de Goiânia – GO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, *Campus* Aparecida de Goiânia.

Monte, C. do N.; Rodrigues, A. P. de C.; Macedo, S.; Régis, C.; Saldanha, E. C.; Ribeiro, A. C.; Machado, W. (2021). A influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14 (06), 3695-3710.

Moraes, A. M. de S. (2025). **Otimização do Uso de Hidróxido de Cálcio no Tratamento de Efluentes: Estudo de Caso em uma Indústria de Reciclagem de Chumbo**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba (*Campus* I).

Nascimento, A. J. C., Silva, V. M. da, Souza, C. M. N. (2022). Estado da arte das tecnologias sociais de esgotamento sanitário: conceitos e principais alternativas aplicadas na Amazônia. **Cadernos UniFOA**, 17 (50), 1-11.

Nascimento, T. S. R.; Monte, C. do N.; Correa, E. S. (2021). Qualidade de água em áreas influenciadas por uma estação de tratamento de esgoto na Amazônia. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 12 (9), 6-16.

Nuvolari, A.; Martinelli, A.; Telles, D. d'a.; Ribeiro, J. Tarcísio; Miyashita, N. J.; Rodrigues, R. B.; Araujo, R. de. (2011). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Blucher, 2. ed. rev., atual. e ampl.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS BRASIL (ONU BRASIL). (2025). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF: ONU Brasil. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 2 jan. 2026.

Peresin, E.; Bortolin, T. A.; Cechinatto, M.; Schneide, V. E. (2021). Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de esgoto sanitário de um campus universitário. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, 14 (3), 1109-11226.

Portal do Saneamento Básico. (2023). **Otimização do uso de hidróxido de cálcio no tratamento de efluentes**. Disponível em: https://saneamentobasico.com.br/acervo-tecnico/otimizacao-hidroxido-calcio-tratamento-efluentes/. Acesso em: 2 jan. 2026.

Relatório de Gestão da Ufopa. (2023). Disponível em: https://www.ufopa.edu.br/media/file/site/proplan/documentos/2024/406c09bfdb634fd962949ae570814c83.pdf. Acesso em: 23/01/2025.

Rodrigues, E. A.; Antunes, G. R. (2021). Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes compacta de um campus universitário. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Anais

eletrônicos. Rio de Janeiro: Abes.

Silva, L. Q.; Borges, S. A. D.; Júnior, G. S. C.; Brito, N. N.; Cerqueira, P. L. W. Avaliação do desempenho ambiental da Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Samambaia - Localizada em Goiânia-GO. **Revista Processos Químicos**, 19 (36), 91-96.

Tourinho, A. C. C., Barbosa, S. A., Rocha, C. H. B., Prado, T. O., & Alberto, K. C. (2021). O processo de consolidação e expansão do Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora: reflexões sobre o REUNI e seus impactos nas transformações da paisagem do campus e seu entorno imediato. *urbe.* **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 13, e20200069.

VIEIRA, J. M. de S.; VALÉRIO FILHO, M.; MENDES, R. M. (2024). A precariedade dos serviços de esgotamento sanitário nos aglomerados subnormais do estado de São Paulo: uma chaga de difícil tratamento. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, 1, 1, 29-50.

Vieira, N. Q. A. (2023). **Fungos poliporoides (Basidiomycota, Agaricomycetes) da Unidade Tapajós - UFOPA, Campus Santarém, Pará**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém.

Von Sperling, M. (1996). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal de Minas Gerais, 2. ed., 243.

Von Sperling, T. L.; Von Sperling, M. (2013). Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 18, 313-322.