

Estado da publicação: O preprint não foi publicado em outro meio.

Análise da implementação de uma unidade de tratamento de esgoto compacta na área rural do município de Joinville-SC

Robison Negri, Felipe Fagundes

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.17235>

Submetido em: 2026-07-31

Postado em: 2026-08-03 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA UNIDADE DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA NA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE-SC

Resumo: A expansão dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto em áreas rurais é um dos maiores desafios do saneamento no Brasil. Este artigo analisa a viabilidade ambiental da instalação de uma estação de tratamento descentralizada de esgoto na área rural de Joinville-SC, utilizando um sistema compacto de tratamento na Escola Municipal Professora Valesca May Engelmann. A unidade foi implantada por meio de uma parceria técnica entre a empresa Águas do Sul Montagens e Soluções Ambientais LTDA e a Companhia Águas de Joinville, coordenada pelo escritório de inovação. A metodologia adotada foi um estudo aplicado, com análise qualitativa e quantitativa dos dados operacionais, incluindo parâmetros como DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), pH, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis e relação DQO/DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio/Demanda Bioquímica de Oxigênio). Os resultados indicam que, após um período inicial de estabilização, o sistema apresentou melhoria contínua na remoção de carga orgânica, atingindo um valor de DBO de saída de 59,3 mg/L e uma eficiência de remoção de 88,4%, além de contribuir para a redução na geração de lodo e para o atendimento aos padrões ambientais vigentes. Ressalta-se que o bom desempenho está condicionado também a ações de educação ambiental, gestão adequada do uso de produtos de limpeza e manutenção periódica. Conclui-se que a solução descentralizada é ambientalmente viável e replicável em áreas rurais semelhantes, desde que associada à educação ambiental e à manutenção adequada, contribuindo para a universalização do saneamento básico.

Palavras-chave: saneamento rural; estação de tratamento; esgoto; viabilidade ambiental.

ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF A COMPACT SEWAGE TREATMENT UNIT IN THE RURAL AREA OF THE MUNICIPALITY OF JOINVILLE-SC

Abstract: The expansion of water supply and sewage collection and treatment services in rural areas is one of the greatest challenges for sanitation in Brazil. This article analyzes the environmental feasibility of installing a decentralized sewage treatment station in the rural area of Joinville-SC, using a compact treatment system at the Municipal School Professora Valesca May Engelmann. The unit was implemented through a Technical Partnership between the company Águas do Sul Montagens e Soluções Ambientais LTDA and the Companhia Águas de Joinville, coordinated by the innovation office. The adopted methodology was an applied study, with qualitative and quantitative analysis of operational data, including parameters such as BOD (Biochemical Oxygen Demand), pH, oils and greases, settleable solids, and COD/BOD ratio (Chemical Oxygen Demand/Biochemical Oxygen Demand). The results indicate that, after an initial stabilization period, the system showed continuous improvement in the removal of organic load, reaching a BOD effluent value of 59.3 mg/L and a removal efficiency of 88.4%, in addition to contributing to the reduction in sludge generation and compliance with current environmental standards. It is emphasized that good performance also depends on environmental education actions, proper management of cleaning product use, and regular maintenance. It is concluded that the decentralized solution is environmentally feasible and replicable in similar rural areas, provided it is associated with environmental education and proper maintenance, contributing to the universalization of basic sanitation.

Keywords: rural sanitation; treatment plant; sewage; environmental feasibility.

ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD COMPACTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE JOINVILLE-SC

Resumen: La ampliación de los servicios de abastecimiento de agua y de recolección y tratamiento de aguas residuales en áreas rurales constituye uno de los mayores desafíos para el saneamiento en Brasil. Este artículo analiza la viabilidad ambiental de instalar una estación descentralizada de tratamiento de aguas residuales en la zona rural de Joinville-SC, utilizando el sistema compacto de t en la Escuela Municipal Profesora Valesca May Engelmann. La unidad fue implementada mediante una Asociación Técnica entre la empresa Águas do Sul Montagens e Soluções Ambientais LTDA y la Companhia Águas de Joinville, coordinada por la oficina de innovación. La metodología adoptada fue un estudio aplicado, con análisis cualitativo y cuantitativo de los datos operativos, incluyendo parámetros como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), pH, aceites y grasas, sólidos sedimentables y relación DQO/DBO (Demanda Química de Oxígeno/Demanda Bioquímica de Oxígeno). Los resultados indican que, tras un período inicial de estabilización, el sistema presentó mejoras continuas en la remoción de carga orgánica, alcanzando un valor de DBO en el efluente de 59,3 mg/L y una eficiencia de remoción del 88,4%, además de contribuir a la reducción en la generación de lodos y al cumplimiento de las normas ambientales vigentes. Se destaca que el buen desempeño también depende de acciones de educación ambiental, del manejo adecuado del uso de productos de limpieza y de un mantenimiento regular. Se concluye que la solución descentralizada es ambientalmente viable y replicable en áreas rurales similares, siempre que esté asociada con educación ambiental y mantenimiento adecuado, contribuyendo a la universalización del saneamiento básico.

Palabras clave: saneamiento rural; planta de tratamiento; aguas residuales; viabilidad ambiental.

Robison Negri - Orientador Professor Doutor do Centro Universitário Católica de Santa Catarina - Brasil - Joinville - SC. e-mail: robisonnegr@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-2523-399X>

Felipe Fagundes - Graduado em Engenharia Civil - Centro Universitário Católica de Santa Catarina - Brasil - Joinville - SC. e-mail: felipe.fagundes@catolicasc.edu.br - <https://orcid.org/0000-0003-4290-9426>

Contribuição de autoria: Elaboração.

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico, no Brasil, representa um dos maiores desafios ao desenvolvimento social e ambiental, especialmente nas áreas rurais, onde a infraestrutura de tratamento de esgoto continua limitada ou inexistente (Leite; Moita Neto; Bezerra, 2022). A ausência de soluções eficazes e acessíveis que atendam essa necessidade em regiões afastadas das grandes cidades evidencia as desigualdades estruturais do país.

O lançamento de efluentes, sem o tratamento adequado em corpos hídricos, pode causar grave degradação ambiental. A poluição gerada causa a eutrofização dos corpos hídricos, altera o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e afeta a disponibilidade de água de alta qualidade para diferentes usos, como abastecimento humano e irrigação (Von Sperling, 2005). Além disso, a presença de coliformes fecais, nutrientes e metais pesados afeta diretamente a biodiversidade aquática e aumenta os riscos à saúde pública (ANA, 2021). Além disso, o tratamento inadequado de efluentes compromete os recursos hídricos, favorece a disseminação de doenças e afeta o solo e a biodiversidade (Amorim, 2024), tornando-se um obstáculo ao desenvolvimento sustentável e à qualidade de vida das pessoas.

De acordo com o IBGE (2022), apenas 62,5% da população possui acesso a redes de esgoto. Embora tenha havido progresso em comparação com censos anteriores, essa cobertura permanece insuficiente, especialmente nas zonas rurais, onde o acesso ao tratamento de esgoto é extremamente limitado. A defasagem em saneamento básico, na área rural, impacta diretamente o cumprimento das metas do Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que visa fornecer água potável para 99% da população e coleta e tratamento de esgoto para 90% da população até 2033. Essa meta dos 90% é especialmente relevante, pois não representa apenas um desafio técnico e estrutural, mas uma condição essencial para promover a saúde pública, reduzir desigualdades regionais e melhorar a qualidade de vida da população.

O saneamento básico é um dos desafios estruturais que o Brasil enfrenta, especialmente nas áreas rurais onde ainda falta infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto (Leite; Moita Neto; Bezerra, 2022). A ineficiência nos serviços de saneamento afeta diretamente a qualidade de vida das pessoas, comprometendo os recursos hídricos, a saúde pública e a sustentabilidade ambiental (Amorim, 2024). Portanto, o desenvolvimento de soluções descentralizadas parece ser uma alternativa viável para superar esta deficiência, garantindo a expansão do tratamento de esgoto de forma eficiente e acessível (Brasil, 2020).

Esse desafio demanda soluções inovadoras que considerem as características das zonas rurais, como baixa densidade populacional, dispersão geográfica e restrições orçamentárias (Brasil, 2019).

Joinville conta com aproximadamente 50% de cobertura de rede de esgoto, reflexo dos recentes investimentos em infraestrutura urbana. O município tem como meta atingir 90% de cobertura até 2033, conforme previsto no novo Marco Legal do Saneamento Básico (Prefeitura de Joinville, 2024).

Apesar do progresso nas áreas urbanas, os desafios continuam maiores nas áreas rurais, e as soluções descentralizadas implementadas pelo programa SOS Nascentes continuam sendo essenciais para proteger as fontes de água e promover a saúde pública.

Historicamente, as áreas rurais de Joinville, especialmente na bacia do Rio Cubatão, tiveram cobertura de esgoto muito baixa, representando uma ameaça direta à proteção das fontes de abastecimento de água da cidade. Para enfrentar esse desafio, foi criado, em 1997, o programa SOS Nascentes, uma iniciativa da prefeitura de Joinville com foco na proteção ambiental e na implementação de soluções descentralizadas de saneamento. O programa é dividido em quatro frentes principais: o Projeto de Saneamento Rural (PROSAR), o Projeto de Restauração da Cobertura Florestal, o Projeto de Educação Ambiental e o Projeto de Fiscalização (Regert, 2020).

O PROSAR destaca-se pela instalação de sistemas individuais de tratamento de esgoto, como fossas sépticas e filtros anaeróbios, em áreas rurais localizadas em pontos de captação de água. Já o Projeto de Recuperação da Cobertura Florestal promoveu o reflorestamento de áreas estratégicas, com aproximadamente 50 hectares restaurados. Paralelamente, o Projeto de Educação Ambiental trabalhou para conscientizar os moradores sobre o uso correto dos sistemas e a proteção dos recursos naturais. Por fim, o Projeto de Fiscalização teve um papel importante no combate à construção irregular em áreas de proteção ambiental, garantindo maior controle territorial sobre áreas sensíveis (Regert, 2020).

Mesmo com o avanço significativo, as inspeções de campo constataram que muitos dos sistemas implantados apresentavam falhas, como tampas obstruídas, ausência de tubos-guias e não conformidade com as normas técnicas. Essas questões apontam para a necessidade de reforçar a qualificação da execução das obras e expandir a educação ambiental nas comunidades atendidas (Regert, 2020).

Além das soluções técnicas, é preciso considerar fatores como níveis de renda, níveis de escolaridade e grau de organização social da comunidade, que afetam diretamente a aceitação, a operação e a sustentabilidade de sistemas descentralizados em áreas rurais,

conforme discutido por autores que tratam da governança participativa em saneamento (Silva; Santos, 2021).

No Brasil, as formas mais comuns de tratamento de esgoto em áreas rurais incluem:

- Fossas sépticas: Esses sistemas individuais realizam a separação e a decomposição parcial da matéria orgânica por meio de processos anaeróbicos. Segundo Von Sperling (2017), se adequadamente projetadas, instaladas e mantidas, as fossas sépticas são eficazes no tratamento primário do esgoto doméstico e representam uma alternativa viável para pequenas comunidades. No entanto, sua eficiência depende da existência de unidades complementares, como fossas ou filtros, que permitam o descarte final seguro do efluente. Sem essa etapa, existe o risco de contaminação ambiental, especialmente do solo e do lençol freático.
- Fossas rudimentares: Também conhecidas como fossas negras, são estruturas escavadas diretamente no solo para despejar esgoto bruto. Marçal Jr. (2004) enfatiza que, apesar da simplicidade e do baixo custo de implantação, essas estruturas não realizam nenhum tipo de tratamento de esgoto, atuando apenas como reservatórios temporários. O risco de contaminação ambiental é alto, principalmente quando mal construídas ou localizadas próximas a mananciais, o que compromete o meio ambiente e representa um risco à saúde pública.
- Descarga direta em corpos hídricos: Uma prática comum em comunidades rurais é o lançamento direto de esgoto em corpos hídricos, como rios, córregos e lagos (Von Sperling, 2005). Embora adotada devido à falta de alternativas, contribui significativamente para a poluição hídrica, a degradação dos ecossistemas aquáticos e a disseminação de doenças de veiculação hídrica, o que afeta diretamente a qualidade de vida dos moradores de áreas ribeirinhas.
- Descarte a céu aberto: Ainda é uma realidade em áreas com infraestrutura extremamente precária. O lançamento de esgoto diretamente no solo, sem qualquer tipo de tratamento, promove a disseminação de patógenos, a contaminação ambiental e a exposição da população a condições precárias de saneamento (Metcalf; Eddy, 1991).

Diante desse contexto, a Companhia Águas de Joinville, concessionária dos serviços de água e esgoto da cidade de Joinville, por meio do seu escritório de inovação, vem buscando testar potenciais soluções inovadoras para enfrentar os desafios do saneamento em sua área de atuação, com atenção especial às comunidades rurais, atualmente desprovidas de

rede pública de esgoto, com a instalação e teste de uma solução descentralizada de tratamento de esgoto (InovaCAJ, 2025).

As tecnologias descentralizadas de tratamento de efluentes estão ganhando cada vez mais atenção como alternativas viáveis, especialmente em áreas rurais e comunidades isoladas. Essas soluções são eficazes no tratamento local dos efluentes, evitando a sobrecarga de sistemas centralizados e melhorando a eficiência do controle da poluição hídrica (Silva *et al.*, 2020). Além disso, esses sistemas podem reutilizar água tratada para fins não potáveis, como irrigação de jardins e fins agrícolas, o que ajuda a conservar os recursos hídricos e reduzir a demanda por água potável (Ferreira *et al.*, 2018). As estações de tratamento descentralizadas têm sido amplamente discutidas, na literatura, como uma opção viável em áreas com baixa densidade populacional e dispersão geográfica onde a instalação de grandes redes de esgoto não é economicamente viável (Von Sperling, 2017; Marçal Jr., 2004). Esses sistemas são projetados para operar de forma independente, reduzindo custos de infraestrutura e manutenção.

Dentre as soluções de tratamento descentralizado, destacam-se:

- **Reatores anaeróbios:** São sistemas que operam na ausência de oxigênio, o que facilita a ação de microrganismos anaeróbicos, que decompõem a matéria orgânica por meio de processos metabólicos complexos. Segundo Von Sperling (2005), essa degradação ocorre em quatro etapas principais: hidrólise, acidificação, acetogênese e metanogênese. O resultado é o biogás, uma mistura composta principalmente de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), que pode ser usado como fonte de energia (Chernicharo, 2007). Além da produção de energia, outra vantagem importante dos sistemas anaeróbios é a baixa produção de biólodo, o que significa menores custos operacionais e de disposição final (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Esses sistemas têm sido amplamente utilizados, principalmente em regiões tropicais, onde altas temperaturas favorecem a atividade de microrganismos anaeróbios (Chernicharo, 2007).
- **Lagoas de estabilização:** São sistemas que utilizam um processo natural baseado nas atividades combinadas de microrganismos, especificamente bactérias heterotróficas e algas fotossintéticas. Segundo Metcalf e Eddy (1991), essas lagoas promovem a remoção de matéria orgânica, por meio da decomposição biológica, sendo o oxigênio necessário para esse processo fornecido principalmente pela fotossíntese realizada pelas algas presentes no sistema. Esse equilíbrio simbiótico entre algas e bactérias permite que as águas residuais sejam purificadas, de forma eficaz, especialmente em áreas com bastante luz solar. Embora o sistema de lagoa de estabilização seja simples, de baixa manutenção

e baixo custo operacional, ele requer uma grande área de instalação, o que limita sua aplicação em áreas urbanas densamente povoadas (Metcalf; Eddy, 1991). Ainda assim, são amplamente utilizadas em áreas rurais e pequenas cidades devido à sua eficiência na remoção de matéria orgânica e à sua resistência a mudanças de carga e temperatura (Von Sperling, 2005).

- **Wetlands construídas:** São sistemas alagados construídos, cuja tecnologia de tratamento de águas residuais depende da interação entre plantas aquáticas, microrganismos e substrato do solo para promover a remoção de poluentes. De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional do Brasil (2019), esses sistemas combinam mecanismos físicos (como sedimentação e filtração), químicos (adsorção e precipitação) e biológicos (degradação microbiana e absorção pelas raízes das plantas) para tratar águas residuais de forma eficaz. A presença de plantas aquáticas, como taboas, juncos e papiros, desempenha um papel importante no fornecimento de oxigênio às raízes, promovendo o crescimento de biofilmes microbianos e aumentando a retenção de nutrientes e sólidos. Devido à sua alta eficiência, operação simples e baixos custos de manutenção, as zonas úmidas construídas são uma solução viável para o tratamento de águas residuais em pequenos centros populacionais e áreas rurais, especialmente em ambientes descentralizados de saneamento (Brasil, 2019; Kadlec; Wallace, 2009).
- **Biofiltro:** São sistemas de tratamento que utilizam um meio filtrante poroso, como cascalho, areia, carvão ativado ou material orgânico, para remover poluentes de águas residuais. Segundo Pestana e Ganhis (2013), esses sistemas promovem tanto a adsorção de compostos orgânicos na superfície do material filtrante como a sua degradação microbiana, realizada pelos biofilmes naturalmente formados nestes meios. Os microrganismos utilizam poluentes como fonte de energia, promovendo sua transformação ou mineralização ao longo do tempo. Os biofiltros são particularmente adequados para tratar esgoto com alta carga orgânica, como as da agroindústria, refeitórios e indústrias alimentícias, pois são capazes de suportar variações de carga e podem remover efetivamente a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e os sólidos suspensos. Além disso, seu funcionamento é relativamente simples, exigindo pouca energia e manutenção modesta, o que os torna atrativos para aplicações descentralizadas ou como complemento de outros processos (Pestana; Ganhis, 2013; Von Sperling, 2005).

Convém ressaltar que a escolha do sistema depende de fatores como a topografia da área, a quantidade de esgoto gerado, as necessidades de manutenção e os custos envolvidos.

A regulamentação das instalações de saneamento básico, no Brasil, segue diretrizes estabelecidas por normas técnicas e legislação ambiental. Dentre as principais normas aplicáveis à implantação de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto, destacam-se:

- Lei nº 14.026/2020 – Marco Legal do Saneamento - Promove mudanças estruturais, visando ampliar a cobertura dos serviços e atrair investimentos, especialmente da iniciativa privada. Um dos principais marcos da legislação é o estabelecimento de uma meta de universalização dos serviços de abastecimento de água potável e saneamento até 2033, com 99% da população tendo acesso à água tratada e 90% tendo acesso à coleta e tratamento de esgoto. A lei também reforça o papel da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), atualmente responsável por estabelecer padrões de referência para regular os serviços de saneamento em todo o país. Além disso, a regra exige licitação obrigatória para novos contratos para aumentar a competitividade e a transparência no processo de concessão. Esta legislação é fundamental para o avanço do saneamento no país, especialmente no norte e nordeste, onde a cobertura ainda é baixa.
- A Resolução CONAMA 430:2011 – Estabelece as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o lançamento de efluentes líquidos em corpos hídricos. Esta resolução aplica-se a todo o território nacional como referência mínima e pode ser complementada por regulamentações estaduais mais rigorosas. Diferentemente de normas estaduais como a Resolução CONSEMA 181:2021, a Resolução CONAMA 430:2011 não classifica as estações de tratamento por categorias de vazão, aplicando-se de forma geral a todas as estações, independentemente do porte.

As principais restrições ao lançamento de efluentes líquidos são as seguintes:

- o DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio): 120 mg/L;
- o pH: entre 5,0 e 9,0;
- o Óleos e graxas totais: até 50 mg/L (valor limite estabelecido para a concentração de óleos vegetais e gorduras animais em efluentes);
- o Sólidos Sedimentáveis: até 1,0 mL/L (em teste de 1 hora);
- o Temperatura: até 40 °C.

Além disso, a resolução exige que a remoção mínima de DBO seja de 60%, garantindo eficiência adequada no tratamento antes do lançamento.

- Resolução CONSEMA 181:2021 - Estabelece normas e especificações para o lançamento de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto (ETEs) no estado de Santa Catarina. O objetivo é garantir que os lançamentos não prejudiquem a qualidade dos

corpos hídricos receptores e estejam em conformidade com as diretrizes de proteção ambiental estabelecidas pelo estado. A norma classifica as estações em diferentes categorias com base em suas vazões de projeto, sendo a categoria 1 aplicável a sistemas com vazões abaixo de 15 m³/dia, geralmente localizados em pequenas comunidades, assentamentos descentralizados e áreas rurais. Para essa categoria, a resolução estabelece limites máximos específicos para vários parâmetros de efluente tratado, como DBO, óleos e graxas e pH. Ela é aplicada pelo Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA), que exige o cumprimento dessas normas como condição para a obtenção de uma licença ambiental, realiza inspeções e pode aplicar sanções em caso de descumprimento. Em relação à Resolução CONAMA 430:2011, que estabelece diretrizes nacionais para lançamento de águas residuais, a Resolução CONSEMA 181:2021 atua de forma complementar, adaptando essas normas às especificidades ambientais e operacionais do estado, estabelecendo requisitos mais restritivos em função do porte do sistema. Os limites permitidos para os efluentes tratados na Categoria 1 são:

- o DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio): 60 mg/L (permite que esse valor seja ultrapassado caso a estação de tratamento alcance uma eficiência de remoção de DBO igual ou superior a 80%);
 - o Óleos e graxas totais: 30 mg/L (valor limite estabelecido para a concentração de óleos vegetais e gorduras animais em efluentes);
 - o pH: entre 6,0 e 9,0;
 - o Sólidos Sedimentáveis: até 1,0 mL/L (em teste de 1 hora);
 - o Temperatura: até 40 °C.
- ABNT NBR 13969:2007 - Especifica requisitos mínimos para projeto, implantação e operação de sistemas individuais de tratamento de águas residuais. Esta norma é particularmente aplicável a áreas rurais, comunidades isoladas e locais sem acesso a redes públicas de esgoto. A norma abrange o uso de tanques sépticos integrados a unidades de tratamento complementar, como sumidouros, valas de infiltração e filtros anaeróbicos. Ela estabelece padrões para dimensionamento, localização, materiais de construção e manutenção de sistemas para garantir que as águas residuais sejam tratadas de forma eficaz e que os riscos ao solo, aos lençóis freáticos e à saúde humana sejam minimizados. A revisão de 2007 atualizou vários parâmetros com o objetivo de alinhar o padrão com práticas de saneamento descentralizadas mais sustentáveis e seguras.
 - ABNT NBR 7229:1993 - Fornece diretrizes detalhadas para o projeto, construção e instalação de fossas sépticas e é frequentemente usada em conjunto com a NBR 13969. A

norma abrange os aspectos técnicos e construtivos dessas principais unidades de tratamento, incluindo recomendações para sua localização, forma de construção, ventilação, drenagem e acesso para limpeza. Além disso, a norma orienta sobre a destinação final do efluente tratado, que pode ser lançado por meio de sistemas de infiltração no solo ou em corpos hídricos, desde que atendidas as exigências da regulamentação ambiental vigente, como a Resolução CONAMA 430:2011. O atendimento a essa norma é essencial para garantir o desempenho e a durabilidade adequados das fossas sépticas, evitar contaminações e promover o saneamento básico em áreas não atendidas por redes públicas.

A conformidade com esses regulamentos é fundamental para garantir a eficiência do sistema e a segurança ambiental. Por fim, é importante ressaltar que a adoção de soluções descentralizadas segue os princípios do desenvolvimento sustentável e da gestão participativa dos recursos hídricos. Essas tecnologias podem ser adaptadas às realidades locais, promover a inclusão social e fortalecer a governança ambiental (Silva; Santos, 2021). A implementação da tecnologia pode representar um passo importante para a universalização do saneamento básico em áreas onde a infraestrutura tradicional não é viável.

Este estudo justifica-se por proporcionar a análise da viabilidade de soluções alternativas de tratamento de esgoto, servindo, desta forma, como um potencial norteador de novas tecnologias e contribuindo com o processo de universalização dos serviços de saneamento, especialmente em regiões que enfrentam barreiras econômicas, logísticas e geográficas. Portanto, espera-se que esta pesquisa possa contribuir para o avanço das políticas de saneamento, demonstrando como inovações tecnológicas podem superar os desafios do setor, respeitando as particularidades locais e as necessidades da população.

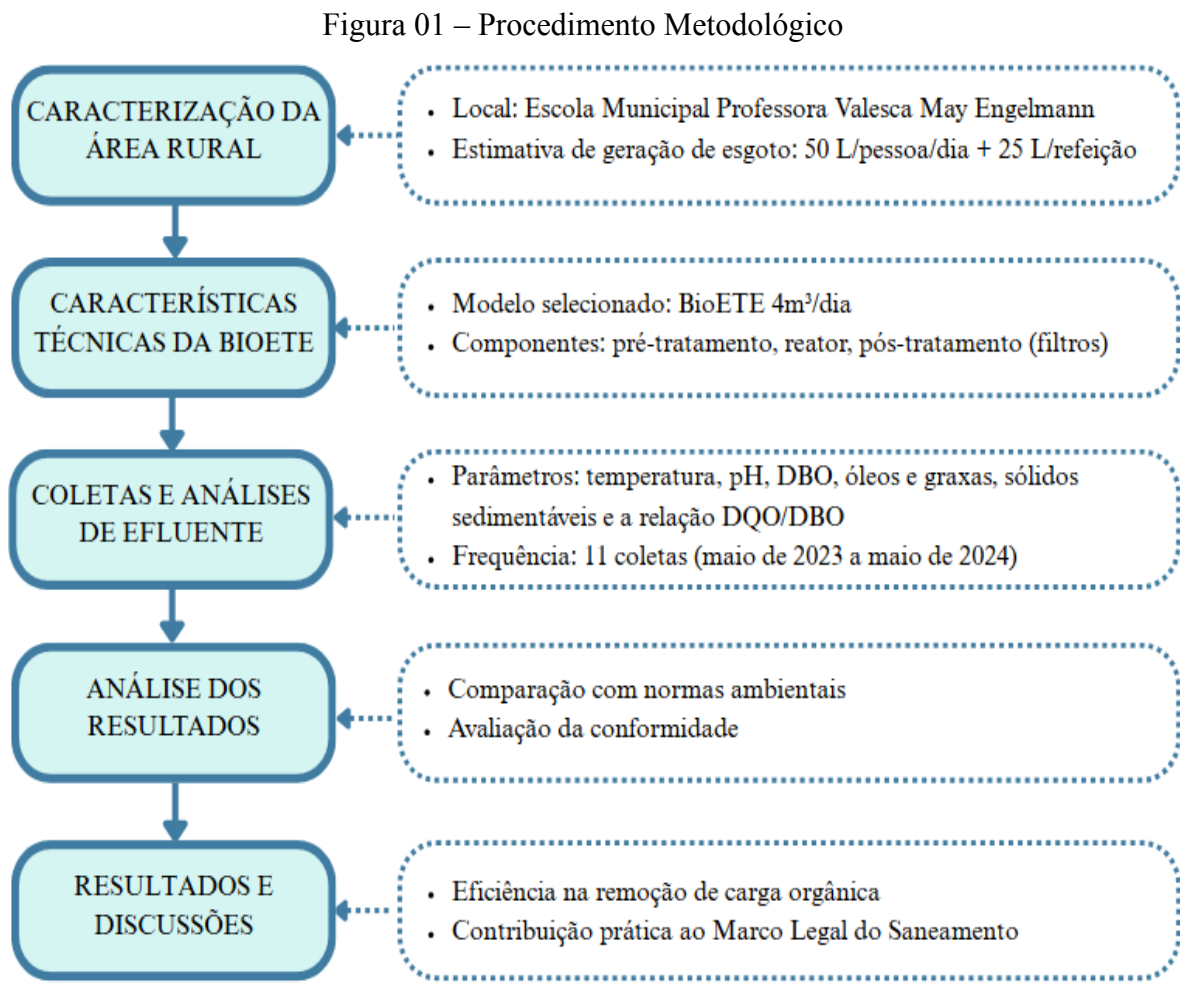
O objetivo deste artigo é analisar a viabilidade de implementação de uma unidade de tratamento de esgoto descentralizada em uma área rural no âmbito ambiental. Este objetivo está alinhado ao Edital de Chamada Pública lançado pela Companhia Águas de Joinville para testar e validar soluções inovadoras para instalações descentralizadas de tratamento de esgoto em áreas rurais ou isoladas, ampliando a cobertura de saneamento com alternativas técnica e economicamente viáveis (Companhia Águas de Joinville, 2024).

3 METODOLOGIA

Como objetivo de analisar a eficiência da estação de tratamento de esgoto compacta, disponibilizada pela empresa parceira, esta foi instalada na Escola Municipal Professora

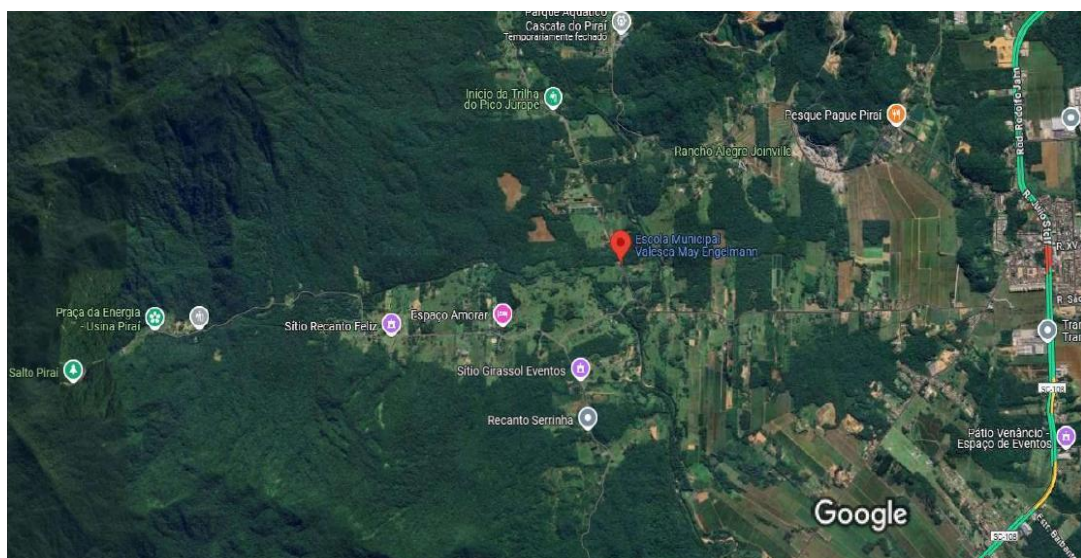
Valesca May Engelmann, localizada na zona rural do bairro Vila Nova, por meio de uma Parceria Técnica com a Companhia Águas de Joinville, coordenada pelo escritório de inovação. Além da solução técnica, a implantação em uma escola se deu, pois estas desempenham papel importante na gestão sustentável da água, uma vez que a conscientização ambiental se inicia no ambiente escolar. (MEDEIROS, BRIETZIG, COLETTI & NEGRI, 2025)

O procedimento metodológico seguiu o fluxograma da Figura 1.



O local de instalação não conta com cobertura de rede pública de esgoto e é adequado para testar soluções descentralizadas, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3. A comunidade escolar atende em média 25 pessoas por dia, entre alunos e funcionários. Conforme a ABNT NBR 7229:1993, a vazão de esgoto per capita é estimada em 50 litros/pessoa/dia. Além disso, considerando o preparo da merenda no local, a vazão de esgoto por refeição é de 25 litros.

Figura 02 – Localização da Escola Municipal Professora Valesca May Engelmann



Fonte: Google Maps (2025).

Figura 03 – Foto da Escola Municipal Professora Valesca May Engelmann



Fonte: Google Maps (2025).

A ETE implantada possui capacidade para tratar 4 m³/dia de efluentes sanitários e é composta por três etapas principais: pré-tratamento, reator e pós-tratamento (filtro), conforme ilustrado nas Figura 04.

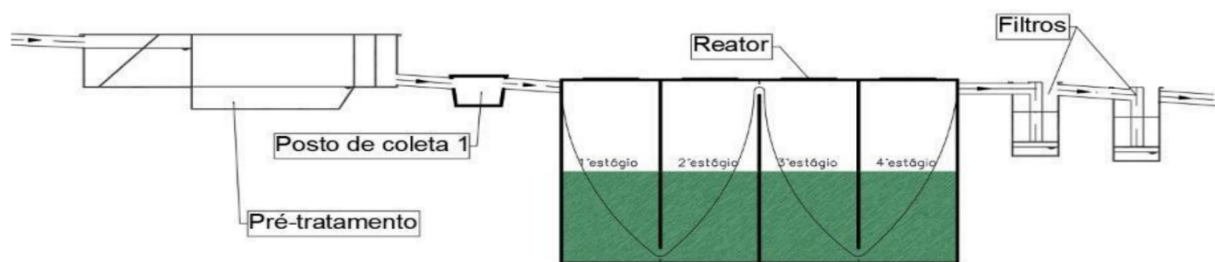
O objetivo principal do pré-tratamento é remover os sólidos grosseiros. Não há praticamente remoção da DBO, mas sim a preparação do efluente para posterior tratamento, evitando entupimentos e danos à estrutura e ao funcionamento do reator. O processamento inicial inclui o gradeamento e desarenador. O gradeamento tem como objetivo remover sólidos muito grossos, como materiais plásticos e de papelão usados em embalagens,

enquanto a desarenação tem como objetivo remover sólidos com características de sedimentação semelhantes às da areia, que entram nos esgotos principalmente como resultado da infiltração de águas subterrâneas na rede de coleta de esgoto.

Figura 04 – Instalação da ETE.



Fonte: Companhia Águas de Joinville (2023).



Fonte: Memorial Técnico do Sistema de Tratamento de Esgotos ETE (2023).

O processo de tratamento é caracterizado por 4 estágios: 1º Estágio: Inoculação de biomassa degradadora da matéria orgânica, por meio de um processo de hidrólise facilitado pela colônia bacteriana. 2º Estágio: Os sólidos produzidos pela degradação são depositados no fundo do decantador secundário e circulam naturalmente pelo fluxo hidráulico ascendente, aumentando a concentração de biomassa, responsável pela alta eficiência do sistema. 3º Estágio: À medida que o polimento inicia, as bactérias começam a quebrar os nitratos. 4º Estágio: Filtração e polimento do efluente tratado

O efluente do sistema principal entra no reator anaeróbico ETE através de um canal equipado com uma comporta ou válvula. Sem recirculação, o efluente primário é introduzido na zona anóxica do reator e então tratado em etapas de forma alternada (para baixo e para cima), aumentando assim o caminho do fluxo do efluente.

Um sistema de filtração é instalado para purificar o efluente do reator anaeróbico de leito fixo usando ativação biotecnológica. Esta única operação serve apenas para remover partículas em suspensão e micropartículas geradas pelas fibras naturais do meio de suporte que se desprende durante a fase de maturação das cepas microbianas, tratando-se apenas de um processo físico, já que o processo biológico é realizado pelo reator. Se necessário, os sistemas de filtração, normalmente instalados após a ETE, possuem estrutura em brita e cascalho, cujas dimensões são determinadas de acordo com o projeto técnico.

Por fim, os efluentes gerados pela Estação de Tratamento de Esgoto ETE devem ser tratados adequadamente para controlar eficazmente a poluição ambiental. Existe a possibilidade de destinação desses efluentes na aplicação no solo e no lançamento em corpos hídricos. O esgoto tratado pelo projeto tem a característica de poder ser lançado diretamente no corpo hídrico.

Foram coletados dados sobre a operação da ETE e analisados os relatórios fornecidos pela empresa Águas do Sul, responsável pela operação e monitoramento do sistema. Os parâmetros utilizados para avaliar o desempenho da ETE e sua conformidade com a legislação vigente foram: temperatura, pH, DBO, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis e a relação DQO/DBO. Durante o processo de amostragem, uma porção do esgoto foi coletada em um volume suficiente para permitir que os resultados do laboratório representem com precisão a composição do esgoto. Onze coletas foram realizadas entre maio de 2023 e maio de 2024.

Os dados obtidos foram comparados com os padrões estabelecidos na legislação ambiental, Resolução CONAMA 430:2011, que estabelece os limites para lançamento de efluentes em corpos receptores, e a Resolução CONSEMA 181:2021, específica para o Estado de Santa Catarina.

Além disso, foram considerados os critérios técnicos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 13969:2007 e ABNT NBR 7229:1993, referentes ao dimensionamento e operação de sistemas únicos e descentralizados. A análise buscou verificar se a estação de tratamento descentralizada opera dentro dos limites legais e ambientais para cada parâmetro monitorado, levando em consideração as características da área rural em que está inserida.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O escritório de inovação da Companhia Águas de Joinville tem como objetivo incentivar o teste de novas soluções para os desafios de saneamento, especialmente no meio rural. Um dos focos da iniciativa é a implementação de estações de tratamento descentralizadas que possam operar de forma eficiente e sustentável (CAJ, 2021). Estas estações compactas utilizam processos biológicos anaeróbios para tratar águas residuais e são uma alternativa viável em áreas onde as redes tradicionais de esgoto não são viáveis.

O sistema é uma tecnologia inovadora que combina processos biológicos anaeróbios para tratar águas residuais de forma eficiente e sustentável. Este sistema utiliza um meio suporte para imobilizar a biomassa e otimizar a degradação da matéria orgânica (ÁGUAS DO SUL MONTAGENS E SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA, 2023). Segundo o Memorial Técnico do Sistema de Tratamento de Esgotos, essa tecnologia destaca-se pela alta eficiência na remoção de cargas orgânicas e baixa produção de lodo.

Os reatores possuem as seguintes características:

- Baixa produção de lodo: A retenção de biomassa no sistema reduz a formação de excesso de lodo, minimizando assim os custos de manutenção e descarte (João, 2007);
- Eficiência de remoção de carga orgânica: Apresenta uma taxa de remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) superior a 60%, atendendo e superando o limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 430:2011;
- Fácil de instalar e operar: Por ser um sistema modular, pode ser rapidamente instalado em diversos locais sem a necessidade de infraestrutura complexa (Campos, 1999);
- Utilização de biomassa aderida: A tecnologia utiliza reatores de biomassa aderente com meios de suporte fixo como o bambu (*bambusa vulgaris*), permitindo maior crescimento de biofilmes bacterianos e garantindo mais eficiência na degradação da matéria orgânica (Brasil, 2019);
- Requisitos reduzidos de pós-processamento: O projeto do reator permite um processamento eficiente sem a necessidade de processos físico-químicos adicionais (Metcalf; Eddy, 1991).

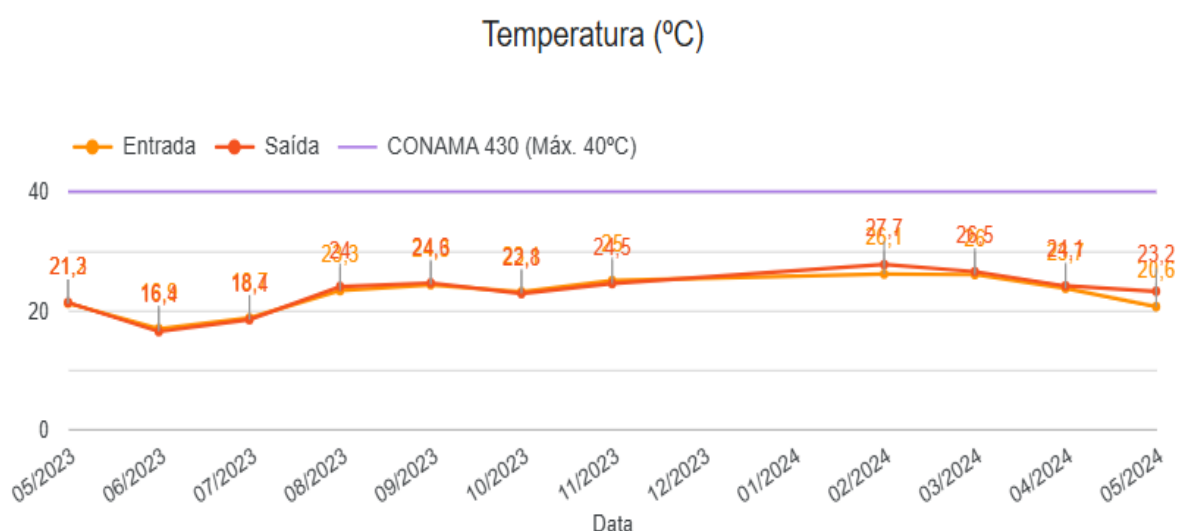
Além disso, os sistemas apresentam configurações flexíveis que podem ser expandidas para diferentes vazões e tipos de águas residuais. Seu funcionamento baseia-se na ação de colônias bacterianas, que degradam a matéria orgânica sem oxigenação forçada, reduzindo assim os custos operacionais.

A ETE destaca-se pela operação compacta, baixo custo operacional e ao atendimento dos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 430:2011 (Brasil, 2011). Estudos demonstram que tecnologias similares ou sistemas de wetlands construídos podem remover efetivamente matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos, promovendo a melhoria na qualidade da água dos corpos receptores (Cardoso *et al.*, 2017).

Os parâmetros utilizados para avaliar o desempenho da ETE e sua conformidade com a legislação vigente foram: temperatura, pH, DBO, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis e a relação DQO/DBO.

A Figura 05 mostra o gráfico da análise do parâmetro temperatura, em 11 coletas realizadas ao longo de 13 meses.

Figura 05 – Gráfico representativo do parâmetro temperatura.



Fonte: Os Autores (2025).

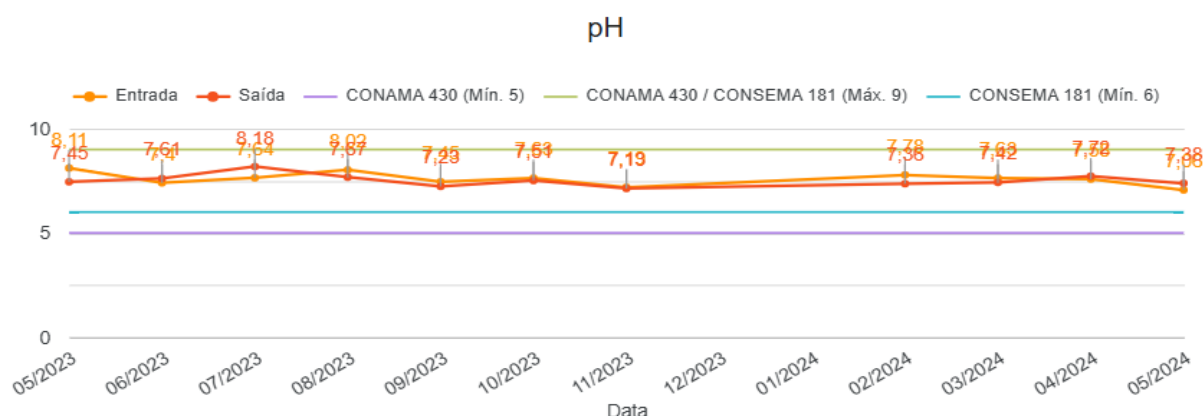
A temperatura afeta diretamente a atividade dos microrganismos no reator anaeróbio e é um parâmetro fundamental para a operação eficiente do sistema. Durante as 11 amostragens, observou-se que a temperatura do efluente de entrada variou entre 16,9 °C e 26,1 °C, com média de 22,6 °C. A temperatura de saída variou entre 16,4 °C e 27,7 °C, com média de 23,0 °C. A pequena elevação entre a entrada e a saída indica que o sistema não produz um aquecimento significativo no efluente, o que é positivo do ponto de vista ambiental.

De acordo com a Resolução CONAMA 430:2011, o limite máximo permitido para a temperatura do efluente após o tratamento é de 40 °C, e todas as amostras atenderam a esse

limite. Portanto, o sistema permanece dentro da faixa ideal para operação biológica e está em total conformidade com as normas vigentes.

A Figura 06 mostra o gráfico da análise do parâmetro pH, em 11 coletas realizadas ao longo de 13 meses.

Figura 06 – Gráfico representativo do parâmetro pH.



Fonte: Os Autores (2025).

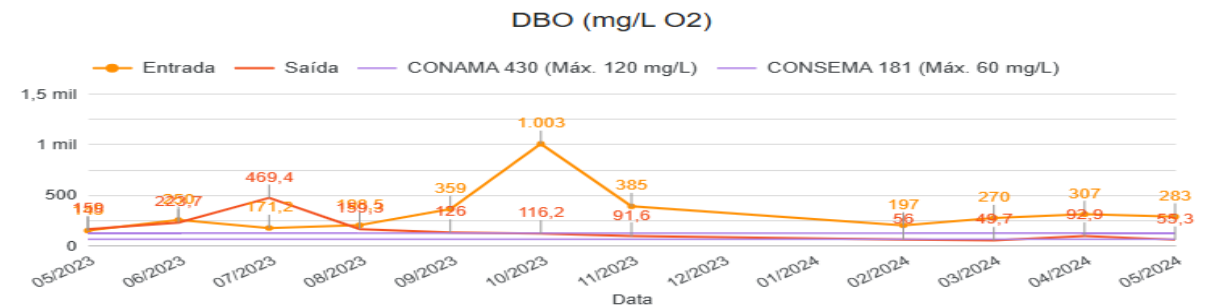
O valor do pH é essencial para garantir a estabilidade da biomassa microbiana. Valores extremos (ácidos ou alcalinos) inibem ou até mesmo eliminam os microrganismos responsáveis pela digestão anaeróbica. Durante o período de análise, o pH de entrada variou entre 7,06 e 8,11, e o pH de saída variou entre 7,13 e 8,18. A média geral do pH de entrada foi de 7,59 e a média do pH de saída foi de 7,51, indicando um bom equilíbrio do sistema. Esses resultados estão em total conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430:2011 (5,0 a 9,0) e pela Resolução CONSEMA 181:2021 (6,0 a 9,0). Não foram registrados excessos de acidez ou excessos de alcalinidade, o que comprova a estabilidade do reator.

A Figura 07 mostra o gráfico da análise do parâmetro DBO, em 11 coletas realizadas ao longo de 13 meses. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um dos principais parâmetros para avaliar a carga orgânica em águas residuais. Durante o período de monitoramento, os valores de DBO de entrada variaram de 145 a 1.003 mg/l, com uma média de 324 mg/l, valores que são consistentes com esgoto doméstico típico. Os valores de DBO de saída variaram de 49,7 a 469,4 mg/l, com uma média de 145 mg/l.

A legislação ambiental estabelece limites diferentes para o parâmetro DBO. Resolução CONAMA 430:2011, válida em âmbito federal, estabelece um limite de

concentração de 120 mg/L, enquanto a Resolução CONSEMA 181:2021 fixa um limite de 60 mg/L, porém permite que esse valor seja ultrapassado caso a estação de tratamento alcance uma eficiência de remoção de DBO igual ou superior a 80%. Considerando os critérios estaduais mais restritivos, observa-se que a maioria das amostras ficou acima do limite de 60 mg/L, especialmente nos primeiros meses de operação, período em que o sistema ainda passava por um processo natural de estabilização da biomassa.

Figura 07 – Gráfico representativo do parâmetro DBO.

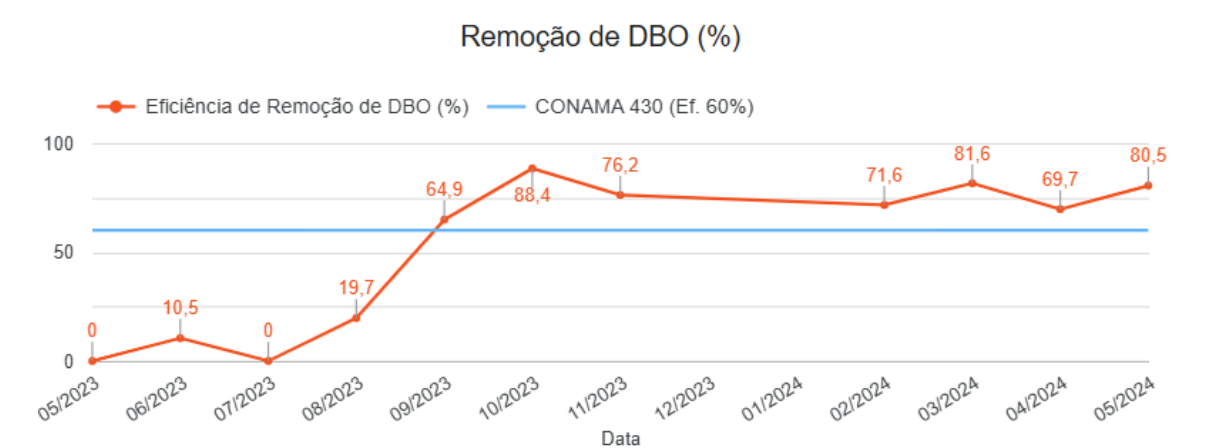


Fonte: Os Autores (2025).

Com o passar do tempo, a eficiência do tratamento aumentou significativamente, refletindo a adaptação gradual do sistema. Durante a última coleta, em maio de 2024, o valor de DBO, na saída foi de 59,3 mg/L, em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação estadual. Este resultado demonstra que o sistema compacto tem potencial para operar de forma estável, desde que seja operado com cautela e monitoramento técnico contínuo.

A Figura 08 mostra o gráfico da análise do parâmetro remoção de DBO, em 11 coletas realizadas ao longo de 13 meses.

Figura 08 - Gráfico representativo da remoção de DBO.



Fonte: Os Autores (2025).

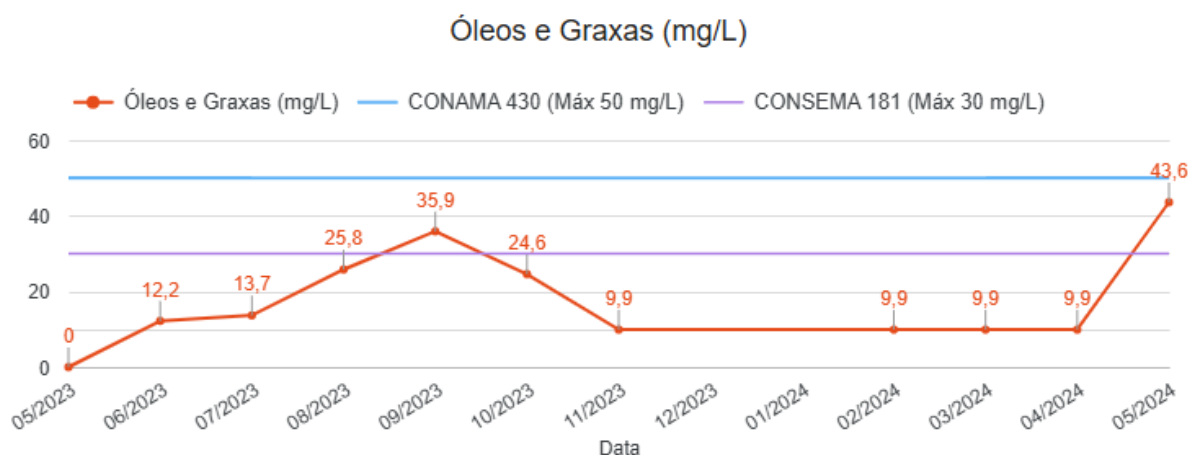
A eficiência de remoção de DBO variou de 0% a 88,4%, com uma média de 51,2% nas 11 coletas. Os dados refletem claramente a evolução da operação do sistema. Nos primeiros meses após a instalação da estação, a eficiência ficou próxima de 0%, o que é esperado devido ao processo natural de adaptação da biomassa. Essa instabilidade inicial pode estar relacionada à sobrecarga orgânica, à presença de substâncias inibidoras ou à formação gradual da comunidade microbiana responsável pelo tratamento. No entanto, a partir da sexta coleta, a eficiência continuou a aumentar, atingindo mais de 70% e alcançando um pico de 88,4% em outubro de 2023. Nos meses seguintes, o sistema permaneceu em um nível elevado, com menos flutuações, refletindo uma maior estabilidade operacional.

Dessa forma, além do atendimento aos limites finais, a eficiência percentual permanece como um importante indicador do desempenho do sistema. A Resolução CONAMA 430:2011 estabelece uma eficiência mínima de 60%. Embora a Resolução CONSEMA 181:2021 não imponha diretamente uma eficiência mínima de remoção de DBO, esse parâmetro pode ser adotado como referência para demonstrar conformidade e desempenho satisfatório do sistema, já que a norma permite a ultrapassagem do limite de 60 mg/L de DBO no efluente tratado, desde que a eficiência de remoção seja igual ou superior a 80%.

Os resultados da segunda metade do período de monitoramento demonstram, portanto, que a ETE foi ajustada e operada de forma eficiente, atendendo aos padrões técnicos e ambientais exigidos para um sistema descentralizado em área rural.

A Figura 9 mostra o gráfico da análise do parâmetro óleos e graxas, em 11 coletas realizadas ao longo de 13 meses.

Figura 9 – Gráfico representativo do parâmetro de óleos e graxas.

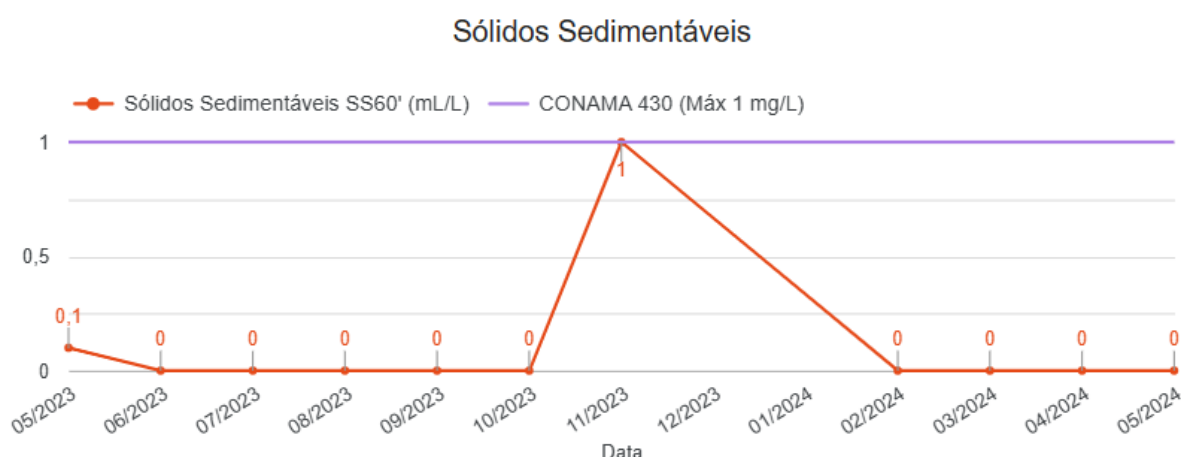


Fonte: Os Autores (2025).

Os óleos e as graxas são contaminantes que prejudicam a atividade dos microrganismos no reator e reduzem a eficiência de remoção da matéria orgânica. Os valores registrados variaram de 0,0 a 43,59 mg/L, com média de 17,8 mg/L. Entretanto, o valor máximo registrado (43,59 mg/L) configura uma não conformidade com o limite máximo de 30 mg/L para óleos e gorduras animais e vegetais, estabelecido pela Resolução CONSEMA 181:2021, enquanto a Resolução CONAMA 430:2011 estabelece um limite mais flexível de até 50 mg/L. Como a estação está sujeita a regulamentações do governo estadual, ações corretivas devem ser tomadas para garantir a conformidade com as normas de Santa Catarina. Portanto, é crucial reforçar a manutenção das caixas de gordura e conscientizar a escola sobre o descarte correto de óleos, pois esse parâmetro afeta diretamente a estabilidade do reator.

A Figura 10 mostra o gráfico da análise do parâmetro sólidos sedimentáveis, em 11 coletas realizadas ao longo de 13 meses.

Figura 10 - Gráfico representativo dos parâmetros sólidos sedimentáveis.



Fonte: Os Autores (2025).

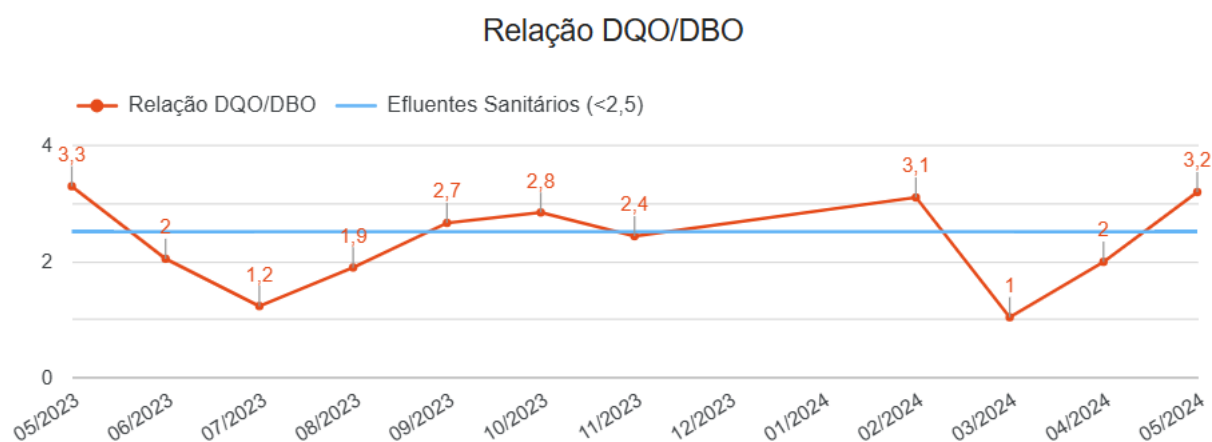
Os sólidos sedimentáveis (SS60') são partículas que podem se depositar no fundo de corpos hídricos, causando assoreamento e impactos físicos ao meio ambiente. Durante os 11 monitoramentos, os valores variaram de 0,0 a 1,0 mL/L, com média de 0,10 mL/L. O sistema atende integralmente aos valores-limite da Resolução CONAMA 430:2011 ($\leq 1,0$ mL/L). A eficiente remoção dos sólidos sedimentáveis demonstra o bom desempenho físico do sistema, principalmente durante as etapas de filtração e decantação.

No processo de análise dos resultados, constatou-se a necessidade de avaliar a relação DQO/DBO do efluente bruto.

A Figura 11 mostra o gráfico da análise do parâmetro relação DQO/DBO, em 11 coletas realizadas ao longo de 13 meses.

No gráfico, pode-se observar que, até novembro de 2023, os resultados da saída bruta estavam todos abaixo de 2,5. Pode-se observar também que a relação aumentou em março de 2024, chegando a 3,03.

Figura 11 - Gráfico representativo do parâmetro de relação DQO/DBO.



Fonte: Os Autores (2025).

A razão entre a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) pode ser usada para inferir a biodegradabilidade do efluente. Segundo Von Sperling (2005), valores abaixo de 2,5 indicam esgoto biodegradável, enquanto valores acima de 2,5 indicam a presença de compostos tóxicos ou detergentes de difícil degradação. Durante o período do estudo, a razão variou de 1,03 a 3,3, com média de 2,3. Em algumas ocasiões, os valores ultrapassaram o limite técnico de 2,5, o que não é característico de efluentes sanitários típicos.

Este resultado indica que o sistema pode ter recebido uma grande quantidade de produtos químicos com baixo pH, como produtos químicos usados para remover gordura e sujeira, ou com baixa degradabilidade, como detergentes não biodegradáveis. Portanto, recomenda-se a substituição desses produtos por alternativas neutras e biodegradáveis e, caso isso não seja viável, deve-se realizar um pré-tratamento químico do efluente antes de sua entrada no reator biológico para evitar impactos negativos no desempenho do sistema.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados neste artigo, pode-se concluir que o sistema apresenta uma tendência de estabilidade na operação, especialmente a partir do segundo semestre de 2023. O desempenho inicial do sistema foi afetado pela baixa eficiência de remoção de DBO, com valores de saída fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430:2011, o que é esperado em sistemas recém-instalados devido ao processo natural de adaptação da biomassa microbiana. No entanto, a eficiência melhorou gradativamente ao longo do tempo, atingindo uma taxa de remoção de 88,4% em outubro de 2023, indicando que o sistema se estabilizou. Apesar da melhora, a relação DQO/DBO ultrapassou 2,5 em algumas coletas, o que indica o uso de produtos de limpeza com baixa biodegradabilidade ou valor de pH inadequado. Recomenda-se a substituição de produtos ácidos por soluções alcalinas e biodegradáveis, a fim de manter a eficiência do processo biológico e evitar o acúmulo de compostos não biodegradáveis no reator.

Os parâmetros de temperatura, pH e sólidos sedimentáveis, estão totalmente em conformidade, e os níveis de óleos e graxas permanecem, em média, dentro dos limites legais, com exceções ocasionais. Isso sugere que o sistema é estável e tem potencial para ser replicado em outras áreas com características semelhantes. No entanto, a importância de ações educativas com os usuários, juntamente com a manutenção regular das caixas de gordura e grelhas, é uma estratégia essencial para manter a estabilidade do sistema e garantir a conformidade com as normas ambientais.

A análise dos dados operacionais demonstra que a tecnologia possui potencial para aplicação em áreas rurais e comunidades isoladas, desde que acompanhada por monitoramento técnico contínuo e gestão adequada do uso local. Fatores como instabilidade inicial na remoção de matéria orgânica, possivelmente causada por sobrecarga de DBO ou presença de compostos tóxicos, indicam a necessidade de período de adaptação em novos sistemas.

Do ponto de vista ambiental, o sistema mostrou eficiência na remoção de sólidos sedimentáveis, controle de pH e manutenção da temperatura dentro dos padrões legais, o que contribui para a segurança do efluente lançado no meio ambiente. Contudo, a recorrente elevação na razão DQO/DBO evidencia o impacto do uso de produtos químicos inadequados, o que pode comprometer a qualidade do efluente e sua classificação como esgoto sanitário típico.

A partir desses resultados, conclui-se que a viabilidade ambiental do sistema depende não apenas do dimensionamento técnico, mas também da gestão dos hábitos locais de consumo e descarte, incluindo treinamentos e campanhas de educação ambiental. A operação do sistema requer rotinas mínimas de manutenção e orientações claras aos usuários, tornando-se uma alternativa viável para a universalização do saneamento em áreas rurais, alinhada às diretrizes do novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020).

Nesse contexto, a Companhia Águas de Joinville desempenha um papel fundamental no acompanhamento e na promoção dessa solução descentralizada, apoiando o desenvolvimento de melhorias para otimizar o desempenho da estação e contribuindo para a eficiência operacional e a sustentabilidade do sistema implantado.

Além disso, os aprendizados obtidos com a implementação na Escola Municipal Professora Valesca May Engelmann podem guiar a replicação da solução em outras comunidades, considerando ajustes específicos de acordo com as particularidades socioambientais de cada local.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Atlas Esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2021.

ÁGUAS DO SUL MONTAGENS E SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA. **Memorial Técnico do Sistema de Tratamento de Esgotos Bioete®**. Contagem, MG: Domus Dei, 2023.

ALVES, T. A.; AMARAL, M. C. S. Sistemas compactos de tratamento de esgoto: alternativas para comunidades isoladas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 24(2), 387-394, 2019.

AMORIM, A. T. Poluição dos recursos hídricos e políticas para proteção dos recursos hídricos. **Geopauta**, v. 8, e14952, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/geop/a/5hMLDbgKq9Vpjwx9sQbBJ7H>. Acesso em: 11 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969:2007** – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7229:1993** – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos e sistemas de tratamento complementar e disposição final de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1993.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **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. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 92, p. 89-91, 16 maio 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Dispõe sobre critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. Diário Oficial da União, Brasília, 30 ago. 2006.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, e a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que cria a Agência Nacional de Águas, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2019a. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf. Acesso em: 20 mar. de 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Manual de sistemas de wetlands construídos aplicados ao tratamento de esgotos sanitários**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019.

CAMPOS, J. R. Tratamentos de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. **Projeto PROSAB**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CARDOSO, C. L. *et al.* Eficiência de sistemas de wetlands construídos no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Ambiente & Água**, 12(3), 429-441, 2017.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE. **Edital de Chamada Pública SEI nº 0022342554/2024**. Joinville: CAJ, 2024. Disponível em: https://www.aguasdejoinville.com.br/conteudo/licitacoes/licitacao/LICITACAO_4271_13155.pdf. Acesso em: 09 abr. 2025.

COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE. **Processo SEI nº 23.1.007470-0**. Joinville: CAJ, 2023. Documento interno.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). **Resolução CONSEMA nº 181, de 2 de agosto de 2021**. Estabelece diretrizes para os padrões de lançamento de efluentes no Estado de Santa Catarina. Diário Oficial do Estado de Santa Catarina, 2 ago. 2021.

FERREIRA, A. M. et al. (2018). Reúso de água em pequenas comunidades: oportunidades e desafios. **Revista Engenharia e Sustentabilidade**, 6(1), 21-30.

GOOGLE. Escola Municipal Valesca May Engelmann. **Google Maps**, 2025. Disponível em: <https://maps.app.goo.gl/4Jq62AJRVrTzXsgr6>. Acesso em: 15 jun. 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022**: Rede de esgoto alcança 62,5% da população, mas desigualdades regionais e por cor e raça persistem. Agência IBGE de Notícias, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao-mas-desigualdades-regionais-e-por-cor-e-raca-persistem>. Acesso em: 09 abr. 2025.

InovaCAJ. Escritório de Inovação da Companhia Águas de Joinville. **Joinville**: CAJ, 2025. Disponível em: <https://aguasdejoinville.my.canva.site/inovacaj>. Acesso em: 09 abr. 2025.

JOÃO, J. J. **Acompanhamento experimental**: microbiologia Bioete®. 2007. 13 f. Relatório Técnico (Relatório de Pesquisa) – Divisão de Tratamento de Águas e Efluentes, SISNATE, 2007.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment Wetlands**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

LEITE, C. H. P.; MOITA NETO, J. M.; BEZERRA, A. K. L. **Novo marco legal do saneamento básico**: alterações e perspectivas. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 5, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/c9q3cL4bMT4L4KP7zCMxzCP/>. Acesso em: 12 abr. 2025

MARÇAL JR., E. **Curso de tratamento de esgotos**: introdução ao tratamento de esgotos. Rio Claro: EEA – Empresa Engenharia Ambiental, 2004. 237 p. Disponível em: <https://livrozilla.com/doc/272955/curso-de-tratamento-de-esgoto---eea-empresa-de-engenharia>. Acesso em: 12 abr. 2025

MARCON, A. M.; WESZ JUNIOR, V. J. O “novo” marco legal e a universalização do saneamento básico no espaço rural. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 26, p. e202441pt, 2024. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/7623>. Acesso em: 12 abr. 2025.

MEDEIROS, A. dos S., BRIETZIG, F. R., COLETTI, P. S., & NEGRI, R. (2025). **Análise do consumo médio per capita de água em escolas municipais de Joinville**, Brasil. Paranoá, 18, e53545. <https://doi.org/10.18830/1679-09442025v18e53545>.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater engineering**: treatment, disposal, and reuse. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (orgs.). **Gestão sustentável dos recursos naturais**: uma abordagem participativa [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013. p. 213-232. ISBN 9788578792824. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824-09.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2025.

PANCERI, Bernardete *et al.* **Tecnologias sociais de baixo custo em sistemas de tratamento de esgoto doméstico na área rural de Gravatal, SC**. Florianópolis: Epagri, 2015. 24 p. (Boletim Didático, n. 126).

PESTANA, M.; GANHIS, J. **Apostila**: “Tratamento de esgotos sanitários”. Piracicaba: ESALQ/USP – Engenharia de Biossistemas, 2013.

PESTANA, M.; GANHIS, J. Tratamento de águas residuais por biofiltros. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 45-52, 2013.

PREFEITURA DE JOINVILLE. **Joinville atinge a marca de 50% de cobertura de redes coletoras de esgoto implantadas na cidade**. 2024. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/noticias/joinville-atinge-a-marca-de-50-de-cobertura-de-redes-coletoras-de-esgoto-implantadas-na-cidade>. Acesso em: 30 abr. 2025.

REGERT, Marcos Fellipe. **Tópicos construtivos do programa SOS Nascentes** – Joinville/SC. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville, 2020. Disponível em: <https://repositorio.udesc.br/entities/publication/932c9eaa-019b-458e-85dd-a24db7ac15d9>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SANTOS, L. A. dos. **Aplicação da digestão anaeróbia na redução de volume de lodo de estação de tratamento de esgoto**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124550/272.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS. Poluição dos recursos hídricos e políticas para proteção dos recursos hídricos. **Geopauta**, 8. 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/geop/a/5hMLDbgKq9Vpjwx9sQbBJ7H/>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SILVA, D. F. *et al.* Análise do uso de tecnologias descentralizadas em áreas rurais. **Revista Tecnologia e Sociedade**, 16(45), 82-95, 2020.

SILVA, R. A.; SANTOS, D. A. (2021). Tecnologias descentralizadas no saneamento rural: alternativas sustentáveis para o Brasil. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 55, 98-113.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. Boston: McGraw-Hill, 2003.

VON SPERLING, M.; FRÓES, C. M. V. Avaliação do desempenho de uma ETE tipo aeração prolongada com base em três anos de monitoramento intensivo. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, XXVI (AIDIS 98), Lima, 1998. In: Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. **Gestión ambiental en el siglo XXI**. Lima, APIS, 1998. p.1-7.

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

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

ZSCHORNACK, Thiago et al. InovaCAJ – um escritório de inovação: a potencialização de soluções inovadoras no saneamento. **Revista Inteligência Empresarial**, v. 46, edição especial KM Brasil 2022, p. 1–14, 2022.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Robison Negri: Foi o orientador da pesquisa, auxiliando na elaboração da metodologia, revisão e edição.

Felipe Fagundes: Desenvolve as atividades de coleta e gerenciamento de dados e elaboração do trabalho escrito.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver qualquer conflito de interesses financeiro, pessoal, comercial ou acadêmico que possa ter influenciado de forma inadequada a condução ou os resultados deste trabalho, em conformidade com as diretrizes do Committee on Publication Ethics (COPE).

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os conjuntos de dados gerados e/ou analisados durante o presente estudo estão disponíveis publicamente no repositório no presente manuscrito.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.