

Viabilidade da biotecnologia no saneamento básico: Uma avaliação econômica e sustentável

Viability of biotechnology in basic sanitation: An economic and sustainable assessment

Viabilidad de la biotecnología en el saneamiento básico: Una evaluación económica y sostenible

Recebido: 04/12/2023 | Revisado: 07/12/2023 | Aceitado: 07/12/2023 | Publicado: 09/12/2023

Abner Vitor de Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6473-521X>
Centro Universitário Una, Brasil
E-mail: abnervitor895@gmail.com

Ana Paula dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5169-1680>
Centro Universitário Una, Brasil
E-mail: anapaulasantos2017a@gmail.com

Daniel Marques de Aquino

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2345-9989>
Centro Universitário Una, Brasil
E-mail: dm0669678@gmail.com

Lucineia Rodrigues Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7325-2772>
Centro Universitário Una, Brasil
E-mail: leiamendes6@gmail.com

Phillipe Mateus Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0774-8542>
Centro Universitário Una, Brasil
E-mail: phillipmoema@gmail.com

Washington Ramon Aparecido da Silva Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8940-0634>
Centro Universitário Una, Brasil
E-mail: washingtonmoema@hotmail.com

Resumo

O saneamento básico enfrentou poucos avanços ao longo das décadas. Atualmente, a preocupação com questões ambientais, especialmente a gestão dos recursos hídricos, é evidente. Isso abrange desde o fornecimento adequado de água em termos de qualidade e quantidade para atender às necessidades da população até o tratamento e descarte correto dos resíduos resultantes do uso desse recurso. Neste contexto, este estudo visa analisar a viabilidade de tecnologias alternativas e de baixo custo para o tratamento de efluentes, com foco na Estação Biológica de Tratamento de Esgoto (BIOETE), a fim de resolver o déficit brasileiro nesse requisito. Sob essa ótica, o objeto deste estudo será a metodologia inovadora empregada pela empresa de saneamento Biosan de Minas Gerais. Essa abordagem emergiu como uma opção vital em questões econômicas e sustentáveis para municípios brasileiros. A análise será fundamentada por uma metodologia robusta, que inclui revisão bibliográfica e coleta de dados, com o uso de fontes como Google Acadêmico, Sciencedirect, Periódicos da Capes, Revista Brasileira de Ciências Ambientais, bem como bancos de teses e dissertações de renomadas instituições como USP, UFPE e UTFPR. Sendo assim, os resultados obtidos demonstraram que a BIOETE não só traz benefícios à saúde e ao meio ambiente, mas também se destaca pelo baixo custo de implantação e ausência de consumo energético. Consolidando, sua viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental como solução para o tratamento de efluentes domésticos e industriais. A análise aprofundada realizada ressalta sua eficácia, contribuindo significativamente para superar o déficit existente no saneamento básico brasileiro.

Palavras-chave: BIOETE; Questões ambientais; Resíduos; Sustentável; Viabilidade.

Abstract

Basic sanitation has faced few advances over the decades. Currently, concern about environmental issues, especially the management of water resources, is evident. This ranges from the adequate supply of water in terms of quality and quantity to meet the needs of the population to the correct treatment and disposal of waste resulting from the use of this resource. In this context, this study aims to analyze the feasibility of alternative and low-cost technologies for effluent treatment, focusing on the Biological Sewage Treatment Station (BIOETE), in order to resolve the Brazilian deficit in this requirement. From this perspective, the object of this study will be the innovative methodology used by the sanitation company Biosan in Minas Gerais. This approach has emerged as a vital option in economic and sustainable matters for Brazilian municipalities. The analysis will be based on a robust methodology, which includes

bibliographic review and data collection, using sources such as Google Scholar, Sciencedirect, Capes Periodicals, Revista Brasileira de Ciências Ambientais, as well as banks of theses and dissertations from renowned institutions such as USP, UFPE and UTFPR. Therefore, the results obtained demonstrated that BIOETE not only brings benefits to health and the environment, but also stands out for its low implementation cost and lack of energy consumption. Consolidating its economic viability and environmental sustainability as a solution for the treatment of domestic and industrial effluents. The in-depth analysis carried out highlights its effectiveness, contributing significantly to overcoming the existing deficit in Brazilian basic sanitation.

Keywords: BIOETE; Environmental issues; Waste; Sustainable; Viability.

Resumen

El saneamiento básico ha enfrentado pocos avances a lo largo de las décadas. Actualmente, la preocupación por los temas ambientales, especialmente la gestión de los recursos hídricos, es evidente. Esto abarca desde el suministro adecuado de agua en calidad y cantidad para satisfacer las necesidades de la población hasta el correcto tratamiento y eliminación de los residuos resultantes del uso de este recurso. En este contexto, este estudio tiene como objetivo analizar la viabilidad de tecnologías alternativas y de bajo costo para el tratamiento de efluentes, con foco en la Estación de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (BIOETE), con el fin de resolver el déficit brasileño en este requerimiento. Desde esta perspectiva, el objeto de este estudio será la metodología innovadora utilizada por la empresa de saneamiento Biosan en Minas Gerais. Este enfoque ha surgido como una opción vital en materia económica y sostenible para los municipios brasileños. El análisis se basará en una metodología robusta, que incluye revisión bibliográfica y recolección de datos, utilizando fuentes como Google Scholar, Sciencedirect, Capes Periodicals, Revista Brasileira de Ciências Ambientais, además de bancos de tesis y disertaciones de reconocidas instituciones como la USP, UFPE y UTFPR. Por tanto, los resultados obtenidos demostraron que BIOETE no sólo aporta beneficios a la salud y al medio ambiente, sino que también destaca por su bajo coste de implementación y bajo consumo energético. Consolidar su viabilidad económica y sostenibilidad ambiental como solución para el tratamiento de efluentes domésticos e industriales. El análisis en profundidad realizado destaca su eficacia, contribuyendo significativamente a superar el déficit existente en el saneamiento básico brasileño.

Palabras clave: BIOETE; Cuestiones ambientales; Desperdiciar; Sostenible; Viabilidad.

1. Introdução

A presença da humanidade no mundo está intrinsecamente ligada à produção de resíduos e, como resultado, à poluição. À medida que a sociedade conhecia os perigos que essa poluição representa para a vida em coletividade, iniciou a implementação de ações para reduzir esses efeitos negativos, dando origem ao conceito de saneamento básico (Alves Jr., 2023).

Nesse contexto, a Constituição Federal do Brasil assegura o direito de acesso às infraestruturas de saneamento básico, estabelecendo que a responsabilidade pela promoção de programas de aprimoramento no saneamento recai sobre a União, Estados, Distrito Federal e Municípios (Brasil, 1988). Esse conjunto abrange serviços públicos essenciais, como infraestruturas e instalações essenciais que englobam o fornecimento de água potável, o tratamento de esgoto, a gestão da limpeza urbana e dos resíduos sólidos, a drenagem e o manejo das águas pluviais nas áreas urbanas (Alves Jr., 2023). Este campo é fundamentado em três princípios-chave: a cooperação entre os diferentes níveis do governo por meio de consórcios públicos ou acordos de cooperação, a garantia de acesso universal a esses serviços em todos os lares e a participação ativa da sociedade na tomada de decisões e no controle social, assegurando que haja informações disponíveis, representação técnica e participação nos processos de elaboração de políticas públicas (Brasil, 2020).

Sob essa ótica, vale ressaltar a definição da Organização Mundial da Saúde – OMS (2019), a saúde não se limita à mera ausência de doença, mas sim representa um estado de completo bem-estar físico, mental e social. Além disso, a saúde não é um fenômeno isolado, mas sim um reflexo das condições do ambiente em que a população está inserida. Assim, é fundamental unir forças para aprimorar a saúde pública (OMS, 2019). Nesse cenário, é crucial ressaltar a relevância dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto tanto para a preservação do meio ambiente quanto para proteger a saúde pública (Cruz, 2022).

Sabe-se ainda que o Brasil continua enfrentando um significativo déficit no que diz respeito ao acesso ao saneamento básico e ao fornecimento de água. A grande maioria dos municípios brasileiros não possui sistemas eficazes de coleta e

tratamento de esgoto (SNIS, 2020). Em alguns casos, a coleta de esgoto ocorre, mas o tratamento adequado não é realizado, e em apenas alguns poucos municípios, a coleta e o tratamento dos esgotos sanitários ocorrem antes de seu despejo nos córregos e rios locais (Cruz, 2022).

Em vista disso, é de suma importância abordar as consequências decorrentes da ausência de saneamento básico e os efeitos que isso acarreta nos corpos d'água e na população que depende desses recursos para suas necessidades (Cruz, 2022). Quando a gestão adequada não é implementada e os limites de exploração dos recursos naturais não são respeitados em favor do crescimento econômico, podem ocorrer impactos ambientais irreversíveis, que podem levar à escassez de água potável (Sousa, 2018).

Diante disso, é possível perceber que para a universalização dos serviços é necessário investimento muito alto, visto que de acordo com Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) estipulou que R\$ 141,6 bilhões de investimentos são precisos para a expansão e reposição de infraestruturas de sistemas coletivos e individuais de coleta e tratamento de esgoto doméstico, até 2038 (Funasa, 2019). Sendo assim, a preocupação com o saneamento deve envolver não apenas sistemas de eliminação de resíduos, abastecimento de água e redes de esgoto, mas também proteção dos ecossistemas, ou seja, deve-se possuir uma opção mais econômica e sustentável (Sousa, 2018).

Em virtude do exposto, este estudo tem por objetivo realizar uma análise em termos de custo e eficiência de tratamento da BIOETE (Estação Biológica de Tratamento de Esgoto), sendo uma opção mais moderna e inovadora que tem feito sucesso ao ser utilizada por algumas cidades brasileiras, como em Conceição de Alagoas – Minas Gerais (MG). Nesse viés, o estudo concentra seus esforços na seguinte questão: como a biotecnologia implementada no ramo do saneamento básico é capaz de suprir os déficits brasileiros acerca da saúde pública e ambiental?

Desse modo, este estudo se propõe a uma análise minuciosa da aplicação prática da biotecnologia no saneamento básico, considerando não apenas os benefícios ambientais, mas também os aspectos econômicos associados. Posteriormente, serão detalhadas as experiências exitosas de implementação da BIOETE, com destaque para a referência nacional em Conceição de Alagoas/MG.

Logo, o presente estudo se justifica pelas preocupações relacionadas à saúde pública, como a ausência de sistemas eficazes de coleta e tratamento de esgoto, capazes de exercer influência no progresso econômico das áreas que não recebem um atendimento adequado em relação aos serviços de saneamento básico. Isso frequentemente resulta em disparidades regionais, dependendo da disponibilidade de acesso a serviços de saneamento de qualidade (Alves Jr., 2023).

2. Metodologia

A natureza do estudo enquadra-se como qualitativa, conforme definido por Creswell, 2014, sendo uma abordagem que busca compreender as especificidades sociais e humanas por meio de interpretação, análise e descrição, sem necessariamente quantificar os dados. Esta escolha metodológica é fundamentada na compreensão detalhada do tema em estudo, possibilitando uma visão mais profunda e contextualizada sobre o assunto. Nesse sentido:

[...] é uma etapa fundamental em todo trabalho científico que influenciará todas as etapas de uma pesquisa, na medida em que der o embasamento teórico em que se baseará o trabalho. Consistem no levantamento, seleção, fichamento e arquivamento de informações relacionadas à pesquisa (Amaral, 2007).

Quanto aos meios utilizados, a pesquisa se enquadra como uma revisão bibliográfica e estudo de caso. De acordo com Gil (2010), a pesquisa bibliográfica consiste na busca, seleção e análise de material já publicado, enquanto o estudo de caso, segundo Yin (2015), envolve uma investigação aprofundada de um objeto de estudo específico, permitindo uma compreensão detalhada e contextualizada do tema.

Além disso, segundo as palavras de Macedo, 1994, a pesquisa bibliográfica é identificada como o "primeiro passo em qualquer tipo de pesquisa científica, com o propósito de revisar a literatura existente e evitar redundâncias no tema de estudo ou experimentação". Outrossim, Lakatos e Marconi (2003) acrescentam que:

A pesquisa bibliográfica não se resume a uma simples repetição do que já foi dito ou escrito sobre determinado assunto, mas possibilita a análise de um tema sob uma nova perspectiva ou abordagem, resultando em conclusões inovadoras.

A pesquisa em questão é caracterizada como aplicada, conforme explicado por Babbie (2016). A pesquisa aplicada busca gerar conhecimento para a solução de problemas específicos, aplicando os resultados de forma prática e direta na realidade.

No que diz respeito à análise de dados, esta etapa será realizada posteriormente à coleta, consistindo na interpretação e organização dos dados obtidos por meio da revisão bibliográfica e estudo de caso.

A exposição seguirá uma estrutura organizada, iniciando-se com a abordagem específica sobre a situação atual da água e efluentes, seguida pela análise aprofundada do cenário do saneamento básico no Brasil, do tratamento de esgoto e de seus custos operacionais e de manutenção. No decorrer do estudo, será dedicada atenção especial aos estágios de funcionamento da estação BIOETE, abordando desde a instalação até a operação do sistema, e à sua versatilidade com projetos personalizados, considerando escalas que vão desde unifamiliar até grande porte.

Logo, a triangulação de dados provenientes dessas diferentes fontes contribuiu para a confiabilidade e robustez da pesquisa, permitindo uma abordagem holística que integra teoria, análise documental e uma perspectiva prática, respaldada por suporte visual, garantindo a integridade acadêmica do estudo.

3. Resultados e Discussão

A crescente vulnerabilidade do meio ambiente devido às ações humanas tem gerado um debate abrangente. Entre os temas em destaque, a gestão e o correto descarte do esgoto doméstico emergem como uma preocupação global devido ao seu impacto significativo na poluição (Alves Jr., 2023). No Brasil, diariamente são produzidos consideráveis volumes de esgoto doméstico, estimando-se em cerca de 21.267.971 m³. Destes, aproximadamente 51,6% passa por processos de tratamento em instalações apropriadas, enquanto a parcela restante é liberada sem tratamento adequado, ou é tratada por meio de sistemas individuais que nem sempre atendem aos padrões de qualidade desejados (IBGE, 2020). Por essa razão, deve-se analisar o saneamento básico brasileiro sobre diversas perspectivas, da histórica a legislação atual, dos desafios à nova alternativa de tratamento e implementação sustentável e econômica pelo sistema de tratamento biológico de esgoto sanitário – BIOETE, torna-se evidente, portanto, a urgência de abordar questões relacionadas à gestão e ao tratamento dos efluentes (Augusto & Campos, 2021).

Àgua e efluentes

A água desempenha um papel crucial tanto no equilíbrio ambiental quanto na qualidade de vida humana. Alterações na disponibilidade, distribuição e qualidade dos recursos hídricos representam ameaças significativas à sobrevivência não apenas da humanidade, mas de todas as espécies do planeta (Cruz, 2022). O desenvolvimento econômico e social de países está intrinsecamente ligado à presença de água de boa qualidade e à capacidade de conservação e proteção desse recurso (Santos et al., 2020).

Nesse contexto, a saúde humana está inextricavelmente associada ao acesso a uma fonte segura, acessível, e confiável de água potável. No entanto, é uma realidade conhecida que grande parte da água doce disponível no planeta se encontra em diferentes níveis de contaminação (Sousa, 2018). A água potável é caracterizada por sua transparência e limpeza, livre de micro-organismos e substâncias que possam representar riscos à saúde humana. Em outras palavras, água potável é aquela que

pode ser consumida sem riscos à saúde e sem causar rejeição ao consumo (Santos et al., 2020).

Acerca disso, sabe-se que a natureza e composição do solo, através do qual a água se infiltra, desempenham um papel crucial na determinação das impurezas presentes na água (Sousa, 2018). Esse cenário é agravado pelo crescimento da densidade populacional, a intensificação das atividades econômicas na indústria e agricultura, a exploração inadequada dos recursos naturais pelo ser humano e a poluição, que tornam praticamente nenhuma fonte de água superficial considerada 100% segura devido à possibilidade de arrastar substâncias químicas e micro-organismos do solo circundante (Santos et al., 2020).

Ao longo do tempo, com o aumento da população mundial e a migração de áreas rurais para áreas urbanas, surgiram desafios complexos no fornecimento de água limpa e sistemas de saneamento adequados (Mendonça & De Lima, 2020). Esse deslocamento populacional pressionou as infraestruturas das cidades, resultando em problemas como falta de moradia adequada, alta densidade populacional e deficiências nos serviços de tratamento de água e saneamento básico. Tendo em vista que, um sistema de saneamento básico bem estruturado pode reduzir significativamente a incidência de doenças infecciosas, contribuindo para a prevenção e interrupção da transmissão dessas doenças (Mendonça & De Lima, 2020).

O conceito de qualidade da água está relacionado ao seu uso pretendido e às características que deve apresentar, as quais variam dependendo do uso. A qualidade da água é determinada pelas substâncias presentes nela, e cada uso requer uma qualidade e quantidade específica de água (Cruz, 2022). Para o consumo humano, a água potável deve atender a padrões específicos estabelecidos por regulamentações, abrangendo parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos, conforme estipulado na Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde no Brasil (Brasil, 2011).

Globalmente, um grande número de pessoas não tem acesso à água potável, e ainda mais carece de sistemas de saneamento básico adequados. Por conseguinte, as doenças diarreicas são uma das principais causas de mortalidade evitável em todo o mundo, e a ingestão de água contaminada é uma das principais causas dessas doenças (Oliveira, 2022). Cerca de um terço de todos os produtos químicos produzidos atualmente acabam sendo lançados no meio ambiente, incluindo a água, o que torna a presença de mais de 800 substâncias químicas, incluindo mais de 600 compostos orgânicos, uma preocupação significativa. Muitos desses produtos químicos ainda não tiveram seus efeitos a longo prazo no meio ambiente e na saúde humana completamente compreendidos (Alves, 2020).

Desse modo, é imperativo que a água destinada ao consumo humano seja submetida a processos de tratamento adequados (Alves, 2020). Isso requer conformidade com padrões de potabilidade que estabelecem limites máximos aceitáveis para diversos compostos químicos na água potável, como estipulado na Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil. É essencial, também, tratar adequadamente os efluentes gerados por atividades industriais e domésticas, uma vez que, se lançados no meio ambiente de forma inadequada, representam uma das principais fontes de poluição (Brasil, 2011). Para esse fim, legislações que regulam as condições para o lançamento de efluentes são estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) e são aprimoradas ao longo do tempo para enfrentar desafios ambientais em constante evolução (Brasil, 2005).

O tratamento de efluentes industriais e domésticos é fundamental para remover poluentes e garantir que os efluentes possam ser reintroduzidos no ambiente com segurança ou reutilizados. Esses efluentes podem variar amplamente em termos de características, composição e carga poluente devido à diversidade de atividades industriais (Alves, 2020). Portanto, a seleção do método de tratamento mais apropriado para um efluente específico requer uma análise detalhada da sua composição e dos contaminantes presentes. Nesse sentido, os processos de tratamento de efluentes podem envolver métodos físicos, químicos e biológicos, dependendo das características do efluente (Zebrowski, 2022).

Nesse viés, observa-se que a contaminação da água superficial e subterrânea, bem como da água destinada ao consumo humano, representa uma preocupação global. Haja vista que a deterioração da qualidade da água e a necessidade de sistemas de tratamento mais avançados são tópicos amplamente discutidos (Alves, 2020). Os efluentes industriais e domésticos

inadequadamente descartados nas águas superficiais são uma das principais fontes de poluição em rios e mares, com consequências graves e de alcance global (Cruz, 2022). O derramamento de substâncias contaminantes em corpos hídricos pode resultar em acidentes ambientais significativos, com impactos de longo prazo, como o desastre do petróleo no Alasca em 1989 e o acidente em Fukushima, Japão (Augusto & Campos, 2021).

Ademais, a ampla gama de substâncias poluentes, como substâncias radioativas, micro-organismos patogênicos, metais pesados, pesticidas, derivados de petróleo e substâncias desreguladoras endócrinas, que podem ser encontradas em águas e efluentes, representa uma ameaça à saúde humana. Portanto, o tratamento adequado de água destinada ao consumo humano é uma necessidade fundamental (Augusto & Campos, 2021).

Para lidar com essas questões ambientais complexas, é essencial que os efluentes sejam tratados antes de serem reintroduzidos no meio ambiente. A legislação ambiental, especialmente a Resolução 430 (Conama, 2011) estabelece critérios para o lançamento de efluentes, com o objetivo de proteger os corpos hídricos e a saúde pública. O tratamento de efluentes industriais e domésticos pode envolver processos físicos, químicos e biológicos, dependendo da natureza do efluente. Esses processos incluem etapas como coagulação, floculação, sedimentação, desinfecção e muitos outros para garantir que os efluentes atendam aos padrões de qualidade ambiental e de saúde estabelecidos (Zebrowski, 2022).

Em vista disso, a preservação da qualidade da água é crucial para a sustentabilidade ambiental e para a saúde pública. O tratamento adequado da água destinada ao consumo humano e a gestão responsável dos efluentes gerados por atividades industriais e domésticas são fundamentais para garantir a disponibilidade de água limpa e segura para as gerações presentes e futuras, além de prevenir impactos ambientais negativos. Logo, é imperativo explorar a situação do saneamento básico no Brasil, considerando suas preocupações, desafios e perspectivas (Cruz, 2022).

O saneamento básico no Brasil

Conforme a legislação federal, mais especificamente a Lei n. 11.445 de 2007, o saneamento básico engloba um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais relacionados ao fornecimento de água potável, ao tratamento de esgoto, à gestão de resíduos sólidos e ao controle das águas pluviais urbanas (Zebrowski, 2022). Estes serviços públicos são fundamentados em princípios essenciais que orientam sua prestação e gestão, sendo eles:

- a) universalização do acesso;
- b) integralidade dos serviços conforme a necessidade da população e maximização da eficácia das ações;
- c) serviços públicos realizados de forma adequada a saúde pública e a proteção do meio ambiente;
- d) disponibilidade de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais em todas as áreas urbanas, adequados a saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- e) articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- f) eficiência e sustentabilidade econômica;
- g) utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
- h) transparência de ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- i) controle social;
- j) segurança, qualidade e regularidade;
- k) integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos (Brasil, 2007).

Ao analisar o cenário atual do saneamento básico no Brasil, é evidente que ainda estamos distantes de alcançar o nível de atendimento desejado, seja devido à escassez de recursos financeiros ou à falta de ação das autoridades competentes (Sousa, 2018). De acordo com Vasco, 2022, a carência de saneamento básico afeta atualmente 50% da população brasileira, e essa situação tende a perdurar até o próximo século. Nota-se que a expansão do saneamento básico, especialmente no que diz respeito ao esgotamento sanitário, tem avançado em um ritmo mais lento em comparação a outros serviços públicos, como o abastecimento de água, a coleta de resíduos sólidos e o fornecimento de eletricidade (Cruz, 2022).

Investir em sistemas de coleta e tratamento de esgoto pode resultar em economias substanciais nos gastos com saúde pública, uma vez que o saneamento básico desempenha um papel fundamental na promoção da saúde e na melhoria da qualidade de vida (Alves, 2020). À medida que a população passa a contar com a cobertura de redes de esgoto e abastecimento de água de qualidade, a ocorrência de doenças é significativamente reduzida, uma vez que muitas delas têm relação direta com a ausência de soluções adequadas para o tratamento e disposição final de esgotos (Vasco, 2022). Por conseguinte, deve-se examinar detalhadamente a situação do esgoto sanitário no contexto nacional para uma gestão eficiente e sustentável (Alves, 2020).

O esgoto sanitário

Os sistemas de esgoto sanitário constituem um conjunto de estruturas e tubulações projetados com a finalidade de coletar, transportar, tratar e destinar adequadamente o esgoto, com o compromisso de preservar o meio ambiente e promover a saúde pública (Zebrowski, 2022). A eficácia de um sistema de esgotamento sanitário é avaliada com base na sua capacidade de realizar a coleta e remoção dos efluentes de forma eficiente, rápida e segura, ao mesmo tempo em que planeja uma disposição final que minimize ou elimine as doenças transmitidas pela água. Essa abordagem visa aprimorar as condições de conforto e bem-estar da população (Senedez, 2022).

Sob essa ótica, o esgotamento sanitário é definido de acordo com o estabelecido na Lei Federal n.º 14.026, de 15 de julho de 2020. Essa definição abrange todas as atividades, infraestruturas e instalações operacionais necessárias para a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos. A realização do tratamento de esgoto tem implicações significativas tanto para a saúde pública quanto para a preservação do meio ambiente (Brasil, 2020).

Em vista disso, a produção de esgoto está diretamente ligada à população, uma vez que o uso da água implica em uma parte dela retornando ao meio ambiente, porém com suas características naturais alteradas (Vasco, 2022). Conforme indicado por Sá, 2021, a combinação de diversos compostos orgânicos presentes nos esgotos resulta na formação do que é conhecido como matéria orgânica. Seguindo a perspectiva de Conceição (2020), a avaliação da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e da DQO (Demanda Química de Oxigênio), ambas relacionadas com a quantidade total de oxigênio necessária para a estabilização da matéria orgânica, é um componente essencial na análise do impacto dos esgotos no meio ambiente.

Sendo assim, as redes de esgoto são categorizadas em esgoto doméstico e industrial. Conforme definido na norma técnica brasileira 9648, o esgoto doméstico compreende o descarte de água utilizada para suprir as demandas de limpeza e higiene humanas, proveniente de residências e estabelecimentos comerciais (ABNT NBR 9648: 1986, Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário).

Acerca disso, tem-se que as propriedades do esgoto sanitário podem ser classificadas em três categorias distintas: características físicas, que incluem elementos como matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez; características químicas, que se dividem em matéria orgânica e inorgânica; e, por fim, características biológicas, relacionadas a micro-organismos como bactérias, fungos, protozoários e vírus (Lobo & Pinheiro, 2021). Diversos fatores desempenham um papel crucial no processo de caracterização dos efluentes sanitários, com destaque para a influência direta da temperatura nas reações físicas, químicas e biológicas utilizadas no tratamento, como discutido por Klüsener (2020).

Nesse sentido, é inquestionável que o esgoto sanitário carrega uma diversidade complexa de patógenos, que são excretados por seres humanos nas fezes, urina e descamação da pele, conforme discutido por Martínez-Puchol et al. (2020). Esses patógenos, quando presentes no esgoto, têm o potencial de contaminar e comprometer a qualidade da água, (García-Aljaro et al., 2020). Esse tipo de contaminação representa uma ameaça à saúde pública, uma vez que os corpos d'água receptores se tornam reservatórios de microrganismos patogênicos que podem desenvolver resistência a antibióticos, (Storto et al., 2021).

Vale salientar, portanto, que nos efluentes sanitários, encontramos uma variedade de microrganismos, com destaque para fungos, protozoários, vírus, algas e bactérias. Entre esses microrganismos, as bactérias desempenham um papel fundamental na decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza quanto nos processos de tratamento. Algumas bactérias, como as pertencentes ao grupo dos coliformes termos tolerantes, são frequentemente utilizadas como indicadores de contaminação fecal em corpos d'água (Brasil, 2019).

Custos e eficiência de uma Estação de Tratamento de Esgoto Tradicional (ETE)

A implementação e operação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) tradicionais em municípios de menor porte populacional representam um desafio considerável. Estas infraestruturas são essenciais para o gerenciamento eficiente dos resíduos líquidos, visando mitigar impactos ambientais e proteger a saúde pública (Silva & Santos, 2018, 2020).

Nesse contexto, sabe-se que apesar de essenciais, a sua construção e viabilidade demandam de certos investimentos operacionais e de manutenção significativos em infraestrutura física, equipamentos especializados e recursos humanos qualificados. Nota-se, com isso, que o custo associado a essa empreitada pode representar um ônus considerável para os cofres públicos municipais, exigindo a captação de recursos financeiros e a busca por alternativas viáveis de financiamento (Lima, 2019).

Sob esse viés, tem-se que além dos custos iniciais, os gastos operacionais recorrentes de uma ETE incluem despesas com energia elétrica, produtos químicos, manutenção, reposição de peças e pessoal técnico responsável pela operação e monitoramento do sistema. Gastos esses que podem representar um desafio adicional para municípios menores, muitas vezes enfrentando limitações orçamentárias (Souza, 2017).

Ademais, vale salientar que a eficiência operacional da ETE pode ser afetada por diversos fatores, como variações sazonais no volume de esgoto a ser tratado e características geográficas e climáticas da região, o que também influencia em seus custos (Oliveira, 2021).

Nesse sentido, é perceptível que são variados os elementos que influenciam os custos de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), englobando desde o porte da estação até as tecnologias adotadas, localização geográfica e conformidade com a legislação ambiental (Oliveira, 2021). De acordo com autores renomados como Metcalf e Eddy (2003), bem como Tchobanoglous et al. (2003), os gastos de construção de uma ETE podem ser significativos, frequentemente oscilando de centenas de milhares a milhões de reais, conforme a envergadura do projeto.

Além disso, os custos operacionais de uma ETE também exigem atenção especial. Autores como Von Sperling e Chernicharo, 2007, 2007 elucidam que tais despesas envolvem desembolsos recorrentes com consumo de energia elétrica para o funcionamento dos equipamentos, despesas com produtos químicos utilizados no processo de tratamento, custos de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, assim como a remuneração de pessoal qualificado, dentre outros aspectos.

Vale salientar ainda que os valores para construir uma estação de tratamento de esgoto tradicional são exorbitantes, uma vez que a ETE de médio porte capaz de atender uma cidade pequena ou média, os custos podem ser estimados em uma faixa ampla, de aproximadamente R\$25.000.000,00 a R\$ 50.000.000,00 ou até mais, dependendo das variáveis mencionadas

anteriormente. No entanto, é importante ressaltar que estes valores são estimativas realizadas por uma média das estações implementadas pelas companhias de recursos e tratamentos de água e esgoto do Brasil, podendo os custos reais variar significativamente de acordo com as necessidades específicas do projeto, o escopo das obras, os equipamentos utilizados, os custos de mão de obra, entre outros fatores (Oliveira, 2021).

Segundo a literatura de Von Sperling (2005), o custo de operação e manutenção fornecido pelas companhias brasileiras em reais por metro cúbico (R\$/m³) e convertidos para reais por habitante ano (R\$/hab.ano) é de R\$4,75 em média, o que em uma população de pequeno porte, com aproximadamente 29.000 habitantes custará cerca de R\$137.750,00 por ano para o município.

Todavia, quase sempre haverá uma discrepância notável entre os valores compilados na literatura e a realidade do projeto em si, tendo em vista que podem ocorrer imprevistos, bem como sempre há ajustes de inflação e preços do mercado. Outrossim, não se pode esquecer que aspectos como a população afetada e a vazão tratada estão intimamente ligados aos custos de operação e manutenção. Logo, é sabido que em diversos sistemas operacionais no Brasil há uma presença significativa de ligações clandestinas e águas parasitárias, resultando em um aumento na vazão. Isso acarreta custos de tratamento mais elevados como consequência direta (Oliveira, 2014).

Dessa forma, é crucial a realização de estudos de viabilidade e um planejamento criterioso na implementação de uma ETE, considerando não apenas aspectos técnicos e ambientais, mas também a sustentabilidade financeira a longo prazo para o município (Oliveira, 2021). Por conseguinte, a análise dos custos associados à construção e operação de uma ETE demanda um enfoque multidisciplinar e estratégico, buscando conciliar os imperativos ambientais com as realidades econômicas locais (Cruz, 2022).

Urge, pois, uma abordagem específica para garantir a remoção mais eficaz desses contaminantes, como o ideário de uma Estação Biológica de Tratamento de Esgoto (BIOETE), a fim de mitigar os riscos associados à contaminação fecal em corpos d'água, conforme orientado pelas diretrizes nacionais brasileiras (Oliveira, 2021).

Estação Biológica de Tratamento de Esgoto

A gestão eficiente do esgoto sanitário desempenha um papel crucial na preservação da qualidade da água e na proteção da saúde pública (García-Aljaro et al., 2020). Nesse contexto, as Estações de Tratamento de Esgoto Biológico (BIOETE) surgem como ferramentas fundamentais para a remoção de contaminantes biológicos e químicos presentes nos efluentes, contribuindo para a promoção da sustentabilidade ambiental (Cruz, 2022).

Tem-se, com isso, que ela emprega diversos processos biológicos para decompor e estabilizar a matéria orgânica presente nos efluentes. Estudos como os de Metcalf e Eddy (2003) destacam a importância da atividade bacteriana na transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, menos específicas ao meio ambiente.

Nesse sentido, a sua eficácia na remoção de patógenos é um ponto crítico para garantir a segurança da água tratada (Sousa, 2018). Pesquisas realizadas por Wagner et al. (2015) e Silva et al. (2020) evidenciaram a capacidade dessas estações em reduzir significativamente a carga microbiana, minimizando os riscos de contaminação e impactos na saúde pública.

Sendo assim, salienta-se a necessidade de se falar da eco tecnologia, já que ela é uma ciência que adota técnicas de design, equipamentos e procedimentos operacionais que limitam ou envolvem os impactos ambientais de produtos e serviços no ambiente natural, mais especificamente no seu uso cotidiano para se tratar do meio ambiente com eficácia e sustentabilidade e, para isso ela é utilizada nas estações biológicas de tratamento de esgoto, a fim de alcançar as condições e os padrões determinados para o lançamento e reuso dos efluentes domésticos, industriais e comerciais (Shah & Arora, 2020).

Dessa forma, é fundamental explorar os processos de tratamento anaeróbios e aeróbios como parte integrante desse contexto (Shah & Arora, 2020).

Processos de Tratamento anaeróbios e aeróbios

Nos processos anaeróbios, de acordo com Silva (2018) as bactérias não requerem a presença de oxigênio no efluente para realizar a degradação e estabilização da matéria orgânica. Nesse sentido, esses sistemas apresentam construção simples, alto desempenho na remoção da carga orgânica dissolvida e produzem pouco lodo. Tais sistemas geralmente dispensam o uso de energia elétrica, operando apenas com a força gravitacional. Eles constituem um sistema biológico que não exige a incorporação de aditivos químicos (Oliveira, 2013).

No que diz respeito aos processos aeróbios, segundo Von Sperling, 1995 as bactérias necessitam de oxigênio para realizar a estabilização da matéria orgânica, além de possibilitarem a remoção do nitrogênio e apresentarem elevados índices de supressão da DBO. No entanto, esses processos têm uma desvantagem associada aos equipamentos de aeração, que acabam consumindo energia elétrica e, conseqüentemente, aumentam as despesas operacionais do sistema (Ercole, 2003).

Biosan Saneamento: uma BIOETE de referência nacional

A empresa Biosan Saneamento lidera um conjunto de soluções que incorporam sistemas dotados da mais avançada biotecnologia, permitindo a efetiva atuação bacteriana na digestão e degradação dos poluentes presentes nos efluentes do esgoto doméstico, industrial e comercial (Biosan, 2021). Sendo assim, é imprescindível para este estudo, verificar a viabilidade econômica e sustentável de seu produto biotecnológico, a fim de prever uma alternativa capaz de suprir os déficits brasileiros acerca da saúde pública e ambiental. Logo, deve-se conhecer primeiro a sua origem e objetivos.

A Empresa Biosan

A empresa Biosan, oriunda da percepção da necessidade premente e da capacidade intrínseca para resolver um dos grandes desafios da humanidade, destacando-se no tratamento de esgoto, firma-se como líder no setor. Com uma biotecnologia internacionalmente patenteada, a empresa se destaca por seu corpo técnico qualificado e capacidade produtiva, visando primariamente oferecer, simultaneamente, eficiência e sustentabilidade (Biosan, 2023a).

Nessa perspectiva, a sua ampla experiência é evidenciada pelos inúmeros projetos já concretizados, distribuídos em diversas regiões do Brasil. Esses projetos abrangem uma variedade de setores, desde aplicações domésticas até contextos mais complexos, como hospitais, escolas, indústrias e até cidades inteiras. Tal diversidade de empreendimentos confere à empresa um vasto conhecimento na comercialização de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) adaptáveis a diferentes necessidades e ambientes (Biosan, 2023a).

No cerne de suas operações, todos os seus produtos atendem rigorosamente às exigências da legislação brasileira acerca do saneamento básico e aos padrões de qualidade estabelecidos por órgãos como o Ibama e a Funasa. Tendo em vista que, a BIOETE, uma de suas principais soluções, destaca-se como a melhor opção no mercado para o tratamento natural de esgoto, proporcionando não apenas eficácia, mas também a facilidade de instalação e uma manutenção praticamente inexistente (Biosan, 2023a).

Sendo assim, a sua missão é clara: oferecer soluções para a gestão e tratamento de água e esgoto com excelência, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e a preservação do meio ambiente. Almejando ser uma referência global, a visão da empresa é ser reconhecida como líder em soluções para o tratamento de água e esgoto no mundo (Biosan, 2023a).

Alicerçada em valores como ética, inovação, sustentabilidade, segurança, eficiência, qualidade e responsabilidade socioambiental, a Biosan atua em diversos segmentos, incluindo residências, hospitais, condomínios, hotéis, propriedades rurais, cidades, conjuntos habitacionais, indústrias, escolas e clubes. Ela se destaca por suas vantagens competitivas, entre elas o know-how consolidado em saneamento, um modelo flexível que se adapta a diferentes contextos e a performance comprovada de seus sistemas (Biosan, 2023a).

Acerca disso, ela não apenas oferece soluções inovadoras para o tratamento de água e esgoto, mas também representa um exemplo de comprometimento com a excelência, a sustentabilidade e a qualidade, contribuindo significativamente para a promoção de um ambiente mais saudável e para a melhoria da qualidade de vida em diversas comunidades (Biosan, 2023a).

Desse modo, perante a destacada atuação da Biosan no setor de tratamento de esgoto e sua notória expertise em biotecnologia, é imperativo uma análise mais aprofundada sobre tal tópico. O próximo subitem busca elucidar os fundamentos, aplicações e inovações da biotecnologia empregada pela empresa, consolidando a compreensão sobre como essa abordagem técnica singular contribui para a eficiência e sustentabilidade nas soluções oferecidas em tratamento de esgoto.

A biotecnologia da Biosan

O tratamento biológico implementado pela Biosan consiste em uma abordagem que visa aumentar a concentração de colônias de microrganismos em um fluxo contínuo e/ou descontínuo, utilizando biomassa como meio para remover contaminantes orgânicos e inorgânicos da água e de reservatórios domésticos. Esse método é caracterizado por uma etapa de adsorção seguida por uma fase de degradação biológica através da digestão anaeróbica de microrganismos previamente selecionados e ativados biotecnologicamente. Esses microrganismos tornam-se altamente eficientes na absorção e adsorção dos compostos presentes na fração contaminante dos efluentes, como matéria orgânica - DBO, DQO, sólidos totais - e nutrientes - fósforo e nitrogênio (Biosan, 2023b).

Nesse viés, essa empresa detém a patente de um sistema que se vale da biotecnologia, incorporando um consórcio de bactérias humanas e rizobactérias, microrganismos especializados na degradação de matéria orgânica. Essa estratégia visa maximizar a eficiência do tratamento e otimizar os espaços das instalações. O modelo realiza a completa quebra da matéria orgânica, gerando apenas gases (CO e CO₂) como subprodutos carbonáceos, resultando em uma produção de lodo praticamente insignificante (Biosan, 2023b).

Desse modo, esse sistema em sua essência, é compacto e supera o desempenho de sistemas anaeróbios convencionais. Desenvolvido para otimizar o método de degradação natural da matéria orgânica, utilizando uma cepa bacteriana integrada, alcança resultados de eficiência superiores aos estabelecidos pela legislação, contribuindo diretamente para a preservação ambiental (Biosan, 2023b).

Paralelamente, o sistema Bioete, adota reatores nos quais o próprio meio de suporte funciona como um fluxo em pistão para o desenvolvimento microbiano em seu interior. Esse meio de suporte favorece a formação do biofilme, onde os compostos contaminantes são adsorvidos pela parede interna, fornecendo suprimento para a digestão celular. O processo compreende cinco estágios de tratamento, culminando em uma saída de água padrão classe 2, após o ciclo completo de filtragem e purificação (Biosan, 2023b).

No contexto apresentado, a abordagem inovadora do Biosan no uso da BIOETE no tratamento de esgoto doméstico, industrial e comercial, utilizando bactérias humanas e rizobactérias tem evidenciado a necessidade de compreensão aprofundada do funcionamento desse sistema. Este próximo subitem busca fornecer uma análise detalhada sobre o funcionamento da BIOETE, destacando suas particularidades e as cinco estratégias de tratamento. Além disso, examinaremos como o próprio meio de suporte contribui para o desenvolvimento microbiano, resultando em uma água de saída que atende aos padrões de qualidade e excelência após o processo completo de filtragem e purificação. Essa análise coletiva contribuirá para uma compreensão abrangente do papel crucial de que esse sistema influencia no tratamento de efluentes, oferecendo uma visão holística sobre sua eficácia e relevância.

O funcionamento da BIOETE

A BIOETE compreende quatro estágios em seu funcionamento, sendo cada um desempenhando um papel específico

no tratamento de esgoto:

- No primeiro estágio, ocorre a entrada do esgoto sanitário, marcando o primeiro contato com a biomassa, elemento fundamental para a eficiência do tratamento, principalmente na fase de metanogênese (Biosan, 2021).
- No segundo estágio, o sistema conta com três câmaras de tratamento. Durante esse processo, o esgoto perpassa pela biomassa, responsável pela degradação (hidrólise) da matéria e pela transformação em compostos mais simples, tais como dióxido de carbono, metano e íons (Biosan, 2021).
- O terceiro estágio envolve o processo físico de perenamento, assegurando uma eficiência superior a 75% (Biosan, 2021).
- No quarto estágio, a função principal é a realização da filtragem final e polimento do efluente. O efluente proveniente do segundo estágio já não apresenta nenhum sedimento. Cada estágio contribui de maneira específica para garantir um tratamento completo e eficiente do esgoto (Biosan, 2021).

Nesse contexto, a compreensão dos avanços de funcionamento do sistema da BIOETE é fundamental para explorar a forma como a instalação é realizada atualizando a eficiência do tratamento de esgoto. O próximo subtópico abordará especificamente a instalação da BIOETE, destacando não apenas os aspectos técnicos envolvidos, mas também a implementação prática dessa tecnologia inovadora. Esta análise apresentada oferecerá insights sobre os procedimentos e estratégias empregados durante a instalação, contribuindo para uma compreensão mais completa não apenas do funcionamento técnico, mas também dos processos práticos e operacionais envolvidos na incorporação bem-sucedida dessa tecnologia para um tratamento eficaz de efluentes.

A instalação da BIOETE

A implementação dos tanques de PRFV (Plástico Reforçado por Fibra de Vidro) pela Biosan é notavelmente simples. É essencial levar em consideração diversos aspectos locais, como topografia, lençol freático, nivelamento, inclinação da rede e tipologia do solo. Nesse sentido, o dimensionamento do sistema deve obedecer aos padrões normativos estabelecidos ou aos dados fornecidos pelo SNIS (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento), sempre considerando o número máximo de usuários. Com isso, a projeção futura da população deve ser analisada de maneira independente, levando em consideração a possibilidade de modularidade do sistema (Biosan, 2021).

Infere-se, pois, que a sua instalação pode ser realizada diretamente no solo, com a opção de enterramento, semienterramento ou configuração aérea, dependendo da profundidade da rede. Essa abordagem flexível permite adaptar o sistema de acordo com as condições específicas de cada local, conforme demonstrado pela Figura 1 (Biosan, 2021).

Figura 1 – Instalação de uma Bioete.



Fonte: Biosan (2021).

Considerando a Figura 1, é possível atentar-se aos diferenciais de instalação desse sistema, visto que não necessita de uma área tão vasta quanto uma ETE tradicional, permanecendo a maioria das estruturas aterradas no solo, o que nos dá uma situação visual mais agradável. Com isso, é necessário compreender a importância dos impactos ambientais e a eficácia do tratamento de esgoto, a análise do descarte do sistema de tanques de PRFV se torna crucial (Biosan, 2021). O próximo subtópico abordará especificamente o descarte da BIOETE, possibilitando uma avaliação abrangente não apenas da eficácia do tratamento, mas também dos impactos ambientais associados ao destino final dos efluentes tratados. Essa abordagem permitirá uma visão completa do ciclo de vida do sistema, contribuindo para uma avaliação holística de sua sustentabilidade e conformidade com regulamentações ambientais, tais como a Lei do Saneamento Básico (Lei Federal nº 11.445/2007) e as diretrizes da Agência Nacional de Águas (ANA) referente à gestão dos recursos hídricos utilizados nos processos de tratamento de água e esgoto.

O descarte da BIOETE

O descarte dos efluentes requer uma análise criteriosa, considerando fatores como o tipo de solo, a infraestrutura de saneamento já existente e a drenagem natural da região. Com base nessas informações, deve-se eleger a alternativa técnica mais apropriada para o descarte, que pode incluir: sumidouro, vala de infiltração, curso d'água e drenagem pluvial urbana, em conformidade com a legislação local (Biosan, 2021).

Em vista disso, a escolha da melhor alternativa dependerá das características específicas do ambiente, visando assegurar um descarte adequado dos efluentes tratados pela BIOETE. Essa abordagem considera não apenas a eficácia técnica, mas também o alinhamento com as normativas locais (a depender do município e região em que será implementado) para preservação ambiental (Biosan, 2021).

Logo, é válido verificar como a operação dessa estação de tratamento é envolvida, abrangendo desde a ativação do sistema até as práticas regulares de manutenção. Compreendê-la é primordial para garantir a continuidade da eficiência do tratamento de esgoto e a sustentabilidade no longo prazo do sistema (Biosan, 2023).

Operação

Um ponto de destaque, que posiciona o sistema BIOETE da empresa Biosan como a opção de melhor custo-benefício no mercado, é a facilidade operacional, acompanhada de custos extremamente baixos. Devido à ausência de geração de sólidos no reator, a ponto de não exigir remoção, a operação resume-se a uma limpeza periódica no pré-tratamento (caixa gradeada/desarenador). Essa etapa visa remover materiais não degradáveis, como plásticos e metais, assegurando assim a eficácia contínua do sistema (Biosan, 2021).

Figura 2 – Instalação de uma BIOETE Unifamiliar.



Fonte: Biosan (2021).

Sob a ótica da Figura 2 vê-se a fácil instalação de seu modelo pequeno, a estrutura Unifamiliar indicada para residências, sendo possível percebê-la por completo.

Figura 3 – Estrutura de pré tratamento.



Fonte: Biosan (2021).

A Figura 3 demonstra uma estrutura de pré tratamento, totalmente compactada, o que chama atenção pelo espaço reduzido e prático que ocupara, como já mencionado anteriormente.

Figura 4 – Reator anaeróbico da BIOETE.



Fonte: Biosan (2021).

Na Figura 4 é demonstrado o seu reator anaeróbico, a fim de demonstrar e exemplificar a ausência de complexidade nesse sistema, o que facilita a operação rotineira de cuidados e manutenção desta.

Nesse sentido, a facilidade de sua operação permite com que a Biosan desenvolva projetos personalizados, adaptando-se às necessidades específicas de diferentes contextos e ambientes. Sendo assim, vê-se uma visão abrangente da versatilidade do sistema, contribuindo para uma compreensão mais detalhada de como ele é capaz de atender às diversas demandas de seus clientes (Biosan, 2021).

Projetos Personalizados da Biosan

O sistema BIOETE oferece a possibilidade de realizar o tratamento sanitário em diversas escalas, sendo ideal para condomínios, bairros, cidades inteiras, escolas, indústrias, hospitais, shoppings, aeroportos, canteiros de obras, estabelecimentos comerciais, entre outros. Por conseguinte, a equipe da Biosan Saneamento é composta por engenheiros, arquitetos e projetistas, colaborando de maneira integrada para desenvolver as soluções mais adequadas às necessidades específicas de cada cliente. Todos os projetos são personalizados e dimensionados conforme o número de usuários e em conformidade com as normas legais, principalmente após o marco legal de 2020 sobre o Saneamento Sanitário no Brasil

(Biosan, 2021).

Em vista disso, tem-se que devido ao Marco Legal Sanitário (Brasil, 2020) foram estabelecidas premissas cruciais para que o país possa superar sua posição nos últimos lugares do ranking mundial de cobertura de serviços de água e esgoto destinados à população. Desde então, o Ministério Público tem atuado de maneira incisiva para buscar a sua efetividade por parte dos municípios. Diante desse cenário, a Biosan reconhece a necessidade de avançar em tecnologias de tratamento de água e esgoto, buscando aumentar a eficiência e simplificar e compactar as técnicas utilizadas no país, abrangendo desde sistemas unifamiliares até grandes cidades (Biosan, 2021).

Diante disso, nota-se uma versatilidade do sistema BIOETE e da importância de projetos personalizados, uma vez que a equipe de engenheiros, arquitetos e projetistas da Biosan desenvolve soluções sob medida. Em vista disso, é interessante analisar cada sistema e a sua garantia de atender às necessidades únicas de seus clientes, sendo eles:

- **BIOETE Unifamiliar**

A solução BIOETE Unifamiliar destaca-se como uma opção prática e com excelente relação custo-benefício no mercado para o tratamento doméstico de esgoto. Essa alternativa singular é a única que realiza o tratamento abrangente de toda a casa, abarcando tanto a água cinza quanto a água negra (Biosan, 2021).

- **BIOETE Médio Porte**

O médio porte, se mostra um pouco maior que o unifamiliar, mas isso não reduz a sua funcionalidade e potencialidade de tratamento, sendo recomendado para loteamentos, condomínios verticais e horizontais, edifícios, indústrias, hospitais e unidades de saúde, hotéis e pousadas, e estabelecimentos comerciais (Biosan, 2021).

- **BIOETE Grande Porte**

Tem-se ainda, a estrutura de grande porte, que acaba por ocupar um espaço maior do que o modelo unifamiliar e de médio porte, entretanto, nem se compara a dimensão ocupada por uma ETE Tradicional. Sendo, portanto, recomendado para bairros, distritos, cidades., dais quais possuem uma demanda maior de geração de resíduos e, conseqüentemente, da necessidade de tratá-lo (Biosan, 2021).

Nesse interim, diante da flexibilidade do sistema desenvolvido tem-se notado a sua aplicabilidade por diversos municípios pelo Brasil. Sistema de grande destaque, principalmente no estado de Minas Gerais, já que a empresa Biosan é residente de Contagem – MG. O seu serviço de médio porte já está em uso em vários municípios do estado como em: MECBRUM – Brumadinho e SAAE – Itabirito. Nos demais estados tem-se estações de grande porte como na EMCAMP – Rio de Janeiro/RJ (Biosan, 2021).

Pensando nisso, é válido salientar a instalação de uma BIOETE de grande porte em Minas Gerais que abrange cerca de 35 mil habitantes, uma grande referência no estado e no país.

BIOETE em Conceição de Alagoas/MG: uma referência nacional

Conceição das Alagoas, município localizado em Minas Gerais, apresenta 100% de seu território no bioma Cerrado, com Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,71. Apesar da ausência de Política Municipal de Saneamento Básico, o município conta com um Plano Municipal de Saneamento Básico (SNIS, 2020).

Nesse contexto, a prefeitura deu início às instalações das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) no município, com uma BIOETE de grande porte, desenvolvida pela Biosan, empresa vencedora da licitação, responsável pela execução da obra estimada em R\$ 10.000.000,00. O início do projeto se deu em junho de 2022 e teve a sua conclusão, com todas as instalações em pleno funcionamento, em seis meses (Prefeitura de Conceição de Alagoas, 2023).

A tecnologia adotada pela BIOETE para o tratamento de esgoto destaca-se por sua inovação, utilizando biotecnologia por meio de bactérias humanas e rizobactérias. O responsável técnico da empresa, Marcel Thommes, destaca que essa abordagem resulta em uma eficiência superior a 92%, eliminando o odor associado a tecnologias mais antigas de digestão de matéria orgânica (Prefeitura de Conceição de Alagoas, 2023).

Em vista disso, é sabido que foram três estações planejadas para atender a uma população de 35 mil habitantes, com possibilidade de expansão para 50 mil habitantes. Ela possui uma vazão diária de aproximadamente 4,5 milhões de litros, o que o torna capaz de tratar 99% do efluente sanitário gerado pela sua população. O secretário de Governo, Celson Pires, enfatiza a importância ambiental do projeto, considerando-o uma conquista fundamental para Conceição das Alagoas (Prefeitura de Conceição de Alagoas, 2023). O tratamento por biotecnologia nas ETEs reduz até 98% as impurezas do efluente, gerando água de "classe 2" que pode ser utilizada de forma intuitiva e na criação de animais em confinamento, além de atender aos requisitos da legislação brasileira sem consumo de energia elétrica (Biosan, 2021).

Sob essa ótica, houve uma visita do ex-prefeito Duarte Júnior, de Mariana-MG ao município de Conceição das Alagoas-MG, evidenciando o seu destaque no cenário nacional em políticas públicas de saneamento básico. Portanto, é inquestionável que as ETEs representam um investimento significativo, projetado para acomodar um crescimento populacional futuro, fornecendo direcionamento de esgoto por gravidade, sem a necessidade de maquinário e economizando energia elétrica (Biosan & Prefeitura de Conceição de Alagoas, 2021, 2023).

Figura 5 – BIOETE Grande Porte em Conceição de Alagoas -MG.



Fonte: Biosan (2021).

A Figura 5 já demonstra a instalação praticamente concluída, sendo de grande porte e podendo no futuro, ainda ser estendida para a margem de 50 mil habitantes, sem grandes gastos e manutenções, visando o crescimento do município e a viabilidade dessa implementação em impactos populacionais futuros.

Nessa ótica, é indiscutível que a Prefeitura de Conceição de Alagoas visitou diversas ETEs e conheceu as diferentes tecnologias, garantindo assim, que a sua escolha pela Biosan tenha sido a mais inovadora e a que trará o maior benefício para a cidade, fazendo com que, de fato, resolvam uma situação ambiental importante e que trará resultado nos próximos anos com a despoluição do rio que corta a cidade.

A BIOETE na resolução dos déficits brasileiros de saneamento básico

Os resultados deste estudo refletem a atual situação do saneamento sanitário no Brasil, especialmente após a recente promulgação do Marco Legal (Brasil, 2020). O contexto revela desafios significativos nos tópicos relacionados à água, efluentes, saneamento e esgoto no país, evidenciando a necessidade de soluções inovadoras para enfrentar essas questões complexas.

Nesse cenário, destaca-se a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) biológica da Biosan, conhecida como BIOETE,

como uma alternativa revolucionária. Os resultados obtidos comprovam sua eficiência e qualidade, posicionando-a como uma referência em tratamento de esgoto no Brasil, uma vez que demonstrou ser um investimento econômico, pois, se comparado a implementação de uma ETE Tradicional em uma cidade pequena a médio porte, com possibilidade futura de ampliação, gera uma economia aproximada de R\$15.000.000,00 a R\$40.000.000,00 já que o custo da BIOETE é de aproximadamente R\$10.000.000,00, como visto em Conceição de Alagoas - MG.

Ademais, percebe-se que ao adotar uma abordagem biológica inovadora, com bactérias humanas e rizobactérias, tendo um aproveitamento de 92% da água residual tanto cinza quanto negra, evidencia inquestionavelmente uma série de vantagens notáveis. A qualidade do efluente tratado atende rigorosamente às exigências das legislações brasileiras, como já supracitadas, demonstrando o comprometimento da Biosan com os padrões ambientais e de saúde pública. Além disso, seu funcionamento não envolve o consumo de energia elétrica, contribuindo para uma solução mais econômica e sustentável. Fato esse que pode reduzir consideravelmente os problemas do saneamento básico brasileiro, podendo alcançar a todos que se encontram em situações desumanas pela falta de saneamento básico, principalmente, pela falta de tratamento do esgoto, o que acarreta em doenças parasitárias e diarreicas.

Sob essa ótica, a manutenção da BIOTE é praticamente inexistente, visto que basta apenas limpar os resíduos como plásticos e metais da caixa de pré tratamento da BIOETE, representando mais uma economia significativa, eliminando a necessidade frequente de caminhões limpa fossa. Essa característica se traduz em uma melhor relação custo-benefício em comparação com outras soluções do mercado, destacando a viabilidade econômica da tecnologia.

Nesse sentido, infere-se que a implementação bem-sucedida da BIOETE em Conceição das Alagoas, MG, destaca-se como um marco nacional. Com 92% do esgoto tratado e a despoluição eficaz do rio local, a Biosan demonstra sua capacidade de solucionar desafios ambientais em larga escala, consolidando-se como referência no setor.

Destarte, tem-se a BIOETE como uma contribuição significativa para a melhoria do saneamento no Brasil, enfatizando seus benefícios ambientais, eficiência operacional e impacto positivo em comunidades locais.

4. Conclusão

De acordo com o supracitado, emerge uma compreensão profunda sobre a relevância e eficácia da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) biológica, representada pela notável tecnologia desenvolvida pela Biosan. A abordagem metodológica adotada, embasada em revisões bibliográficas, análises de documentos oficiais e a observação prática de implementações, proporcionou uma visão holística e aprofundada sobre os múltiplos aspectos dessa inovadora solução para o saneamento sanitário.

Nesse viés, os resultados obtidos corroboram a assertividade da BIOETE como resposta aos desafios enfrentados no setor de saneamento no Brasil. Sua abordagem biológica não apenas atende aos rigorosos padrões ambientais e de saúde pública, mas também redefine paradigmas ao oferecer uma solução energeticamente eficiente e de baixa manutenção, em contraste com as alternativas convencionais.

Desse modo, tem-se que a BIOETE em Conceição de Alagoas, MG, destaca-se como um capítulo significativo dessa busca pela sustentabilidade, evidenciando não apenas a excelência técnica do sistema, mas também seu impacto transformador nas condições ambientais e de vida da comunidade local. A despoluição eficaz do rio e o tratamento de praticamente todo o esgoto gerado demonstram o potencial desta tecnologia inovadora em resolver problemas complexos em larga escala.

Nessa perspectiva, este estudo não apenas revela as características técnicas e operacionais da estação de tratamento de esgoto, mas também ressalta sua contribuição para um futuro sustentável. A sua capacidade adaptativa, sua versatilidade e sua eficiência operacional destacam essa biotecnologia alternativa como uma peça crucial no quebra-cabeça da melhoria do saneamento no Brasil.

Nesse viés, a pesquisa não apenas valida a tecnologia patenteada pela Biosan, como também reforça a importância contínua de investir em inovações neste campo. Acerca disso, a BIOETE não é apenas uma solução, mas uma promissora narrativa de progresso tecnológico e ambiental, apontando para um caminho mais saudável e sustentável para as comunidades beneficiadas por essa revolucionária abordagem de tratamento de esgoto.

Além disso, considerando a constante evolução do campo do saneamento ambiental e a crescente necessidade de soluções inovadoras, recomenda-se uma análise mais aprofundada sobre a viabilidade econômica da implementação da BIOETE em diferentes escalas e contextos regionais. Investigações futuras podem se concentrar na avaliação comparativa da eficiência e dos custos operacionais dessa tecnologia em comparação com outras alternativas de tratamento de esgoto. Além disso, explorar os impactos sociais e econômicos a longo prazo da adoção da BIOETE em comunidades diversas pode fornecer insights valiosos para aprimorar estratégias de implementação e políticas públicas. Adicionalmente, estudos prospectivos poderiam direcionar esforços para a otimização contínua da tecnologia, buscando aperfeiçoamentos e adaptações que possam ampliar ainda mais sua eficácia, durabilidade e acessibilidade em diferentes cenários. Essas investigações futuras podem contribuir significativamente para a expansão do conhecimento sobre soluções sustentáveis de saneamento, reforçando a importância e o impacto positivo das inovações tecnológicas como a BIOETE no contexto do saneamento ambiental.

Referências

- Alves Junior, F. M. (2023). *Estudo comparativo entre as legislações de saneamento básico no Brasil: lei 11.445 de 2007 e lei 14.026 de 2020* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/39277>
- Alves, F. (2020). As maiores do saneamento: planos de investimento avançam. *Saneamento Ambiental*, 30(194). <http://www.sambiental.com.br/revista/194/>
- Amaral, J. J. F. (2007). Como fazer uma pesquisa bibliográfica. Universidade Federal do Ceará. <http://200.17.137.109:8081/xiscanoe/courses-1/mentoring/tutoring/Como%20fazer%20pesquisa%20bibliografica.pdf>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1986). NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.
- Augusto, V. A., & Campos, J. E. G. (2021). Domínios Hidrogeoclimáticos no Semiárido Brasileiro, Estado da Bahia: Unidades Base para Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44, 36253 <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/36253/pdf>
- Babbie, E. (2016). *A prática de pesquisa social*. Cengage Aprendizagem.
- Biosan Saneamento. (2023a). Quem somos. <https://biosan.eco.br/quem-somos/>
- Biosan Saneamento. (2023b). Biotecnologia. <https://biosan.eco.br/quem-somos/>
- Biosan Saneamento. (2021). Biosan Saneamento: biotecnologia integrada de saneamento – apresentação.
- Brasil. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.
- Brasil. (2005). Lei n. 11.107, de 6 de abril de 2005. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111107.htm
- Brasil. Ministério da Saúde. (2011). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.
- Brasil. Ministério da Saúde. (2019). Manual de Saneamento (5a ed.). <http://twixar.me/cN8m>
- Brasil. (2020). Lei nº 14.026, de julho de 2020.
- Chernicharo, C. A. L. (2007). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Editora da UFMG.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2011). Decreto Nº 430.
- Conceição, S. R. da. (2020). *Avaliação da eficiência de um sistema de tratamento de esgoto*. Universidade do Sul de Santa Catarina. <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4109/1/Relat%C3%B3rio%20de%20est%C3%A1gio%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20efici%C3%Aancia%20de%20um%20sistema%20de%20tratamento%20de%20esgoto.pdf>
- Creswell, J. W. (2014). *Desenho de pesquisa: abordagens qualitativas, quantitativas e de métodos mistos*. Publicações Sábias.
- Cruz, K. C. V. (2022). *Recuperação de nutrientes de esgoto sanitário doméstico com o uso de fotogrânulo em lagoas de alta taxa*. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/48651>
- Ercole, L. A. dos S. (2003). *Sistema modular de gestão de águas residuárias: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5529?show=full>

- Fundação Nacional de Saúde. (2019). Programa Nacional de Saneamento Rural. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.
- García-Aljaro, C., et al. (2020). *Pathogens, faecal indicators and human-specific microbial source-tracking markers in sewage*. *Journal of Applied Microbiology*, 126, 701-717. <http://twixar.me/hN8m>
- Gil, A. C. (2010). Como elaborar projetos de pesquisa. Atlas.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário. <http://twixar.me/g88m>
- Klüsener, J. J. (2020). *Influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos em lagoas facultativas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. <http://twixar.me/YV8m>
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2003). Fundamentos de Metodologia Científica. Atlas.
- Lima, E. F. (2019). Viabilidade Econômica e Fontes de Financiamento para Infraestrutura de ETES. *Revista de Administração Municipal*, 25(4), 78-91.
- Lobo, I. V., & Pinheiro, J. H. P. A. (2021). *Esgoto sanitário: caracterização, tratamento e ecotoxicidade*. Periódico Eletrônico – Fórum Ambiental da Alta Paulista, 17(5). <https://diretorio.rcaap.pt/handle/2/1565>
- Macedo, N. D. (1994). Iniciação à pesquisa bibliográfica: guia do estudante para a fundamentação do trabalho de pesquisa. Edições Loyola.
- Martínez-Puchol, S., et al. (2020). Characterisation of the sewage virome: comparison of NGS tools and occurrence of significant pathogens. *Science of Total Environment*, 713, 136604. <http://twixar.me/Y78m>
- Mendonça, F., & de Lima, M. D. V. (2020). *A cidade e os problemas socioambientais urbanos [recurso eletrônico]: uma perspectiva interdisciplinar*. Editora UFPR.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater engineering treatment disposal reuse* (4th ed.). McGraw Hill Book.
- Oliveira, B. R. C. (2013). *Tratamento de esgotos: proposta de projeto mais sustentável*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/78207#>
- Oliveira, C. M. R. (2014). *Aplicabilidade de sistemas simplificados para estações de tratamento de esgoto de cidades de pequeno porte*. Universidade Federal de Juiz de Fora. <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/Vers%c3%a3o-Final-corrigidaV02.pdf>
- Oliveira, C. R. de. (2022). *Novo marco regulatório para o saneamento básico: estratégias para definição, capacitação e acompanhamento das normas de referência emitidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA* (Cadernos Enap, 117). <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/7256>
- Oliveira, I. J. (2021). Fatores Impactantes na Eficiência Operacional de ETES: Um Estudo de Caso. *Revista Brasileira de Saneamento*, 40(4), 210-225.
- OMS – Organização Mundial de Saúde. (2019). <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php>
- Prefeitura de Conceição das Alagoas. (2023). Tratamento de Esgoto em Conceição é Referência em Minas Gerais. <https://www.conceicaoadasalagoas.mg.gov.br/tratamento-de-esgoto-em-conceicao-e-referencia-em-minas-gerais/>
- Sá, R. D. (2021). *Avaliação do tratamento de efluente de estabelecimento de apoio à saúde através de reator anaeróbio e processos oxidativo avançado*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/28158/1/tratamentoeffluenteapoiosaude.pdf>
- Santos, C. D. (2020). Aspectos Financeiros na Operação de Estações de Tratamento de Esgoto. *Revista de Gestão Pública*, 15(2), 112-125.
- Santos, A. C. dos, Reis, A., & Mendiondo, E. M. (2020). Segurança hídrica no Brasil: situação atual, principais desafios e perspectivas futuras. *Revista DAE*, 68(225), 167-179. <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2020.060>
- Senendez, I. de A. (2022). *A concessão dos serviços de tratamento de água e esgoto sanitário e a universalização do saneamento básico imposta pelo novo marco legal (Lei 14.020/2020)*. Repositório Universitário da Ânima (RUNA). <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/32941>
- Shah, M. P., & Arora, B. (Eds.). (2020). *Ecotecnologias para gestão industrial e de águas residuais*. Imprensa CRC.
- Silva, A. B. (2018). Desafios na Implementação de Estações de Tratamento de Esgoto em Municípios de Pequeno Porte. *Revista de Engenharia Ambiental*, 20(3), 45-58.
- Silva, A. F., et al. (2020). Avaliação do Desempenho de uma Estação de Tratamento Biológico de Efluentes por meio de Análises Microbiológicas, Moleculares e Químicas. *Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição*, 27(12), 14245-14259.
- Silva, J. S. (2018). *Remoção de matéria orgânica em tanque séptico com biomassa aderida* (Dissertação de mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3078>
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). (2020). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2020. <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-dos-servicos-deagua-e-esgotos-2020/>
- Sousa, Í. D. (2018). *Fitorremediação: contribuição científica brasileira no contexto nacional e internacional*. <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/344>
- Souza, G. H. (2017). Custos Operacionais e Sustentabilidade de ETES em Municípios Menores. *Revista de Tecnologia Ambiental*, 30(1), 22-35.
- Storto, D., et al. (2021). *Seasonal Dynamics of Microbial Contamination and Antibiotic Resistance in the Water at the Tietê Ecological Park, Brazil*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(257), 1-18. [10.1007/s11270-021-05207-y](https://doi.org/10.1007/s11270-021-05207-y)

- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Engenharia de Águas Residuárias: Tratamento e Recuperação de Recursos*. Educação McGraw-Hill.
- Vachon, S., & Klassen, R. D. (2007). *Gestão da cadeia de suprimentos e tecnologias do meio ambiente: O papel da integração da pesquisa de jornada internacional de produção*.
- Vasco, P. S. (2022). Estudo aponta que falta de saneamento prejudica mais de 130 milhões de brasileiros. Agência Senado. <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes>
- Von Sperling, M. (1995). *Princípios do tratamento biológico da água residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (Vol. 1). Belo Horizonte: Editora da UFMG.
- Von Sperling, M. (2005). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 1 – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos* (3ª Edição). Editora UFMG - Belo Horizonte.
- Von Sperling, M. (2007). *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos* (Vol. 1). Editora da UFMG.
- Wagner, E. G., et al. (2015). Qualidade microbiológica da água em um grande sistema de distribuição de água potável brasileiro. *Ciência do Meio Ambiente Total*, 502, 504-514.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Livroman.
- Zebrowski, J. G. C. (2022). *Avaliação da viabilidade de implantação de um sistema de tratamento e reaproveitamento de efluentes líquidos em residências*. RUNA - Repositório Universitário da Ânima. Recuperado de <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/30765>