

**DIAGNÓSTICO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA BET- BACIA
DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO: Unidades de Iretama e Campo Mourão - PR**

Adriana **Fanali**¹, Mauro **Parolin**², Jefferson de Queiróz **Crispim**³

(1 – Universidade Estadual de Maringá (UEM) , Programa de Pós-Graduação em Geografia, adrianafanalli@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-8848-5959> ; 2 – Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) campus de Campo Mourão, Departamento de Geografia, mauroparolin@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0003-2209-6341>); 3- Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) campus de Campo Mourão, Departamento de Geografia, jefferson.crispim@unespar.edu.br , <https://orcid.org/0000-0002-3582-3942>)

Resumo: O déficit histórico de acesso ao saneamento básico em áreas rurais brasileiras demanda a adoção de estratégias descentralizadas, de baixo custo e ecologicamente sustentáveis. Neste contexto, o presente estudo objetivou analisar a viabilidade técnica e a sustentabilidade social de cinco unidades de Bacia de Evapotranspiração (BET); uma tecnologia social baseada na permacultura, implantadas entre os anos de 2014 e 2019 no Assentamento Muquidão (Iretama/PR) e na Vila Franciscana (Campo Mourão/PR). A metodologia caracterizou-se como um estudo de caso com abordagem quali-quantitativa, utilizando mapeamento georreferenciado (QGIS), visitas técnicas *in loco* e aplicação de listas de verificação (*checklists*) para inspeção das condições físicas, sanitárias e operacionais dos sistemas. Os resultados demonstraram elevada eficiência da tecnologia: 60% das unidades analisadas operam há mais de 11 anos sem necessidade de limpeza do tanque séptico, entupimentos ou emissão de odores, validando o dimensionamento adotado. Contudo, identificou-se uma falha funcional em uma das unidades mais recentes, decorrente de sobrecarga populacional não planejada e descontinuidade na gestão do conhecimento local. Conclui-se que a BET se consolida como uma alternativa eficaz para o saneamento rural, capaz de proteger recursos hídricos e gerar biomassa; no entanto, sua resiliência a longo prazo depende não apenas do artefato técnico (trabalho morto), mas fundamentalmente da educação

ambiental e da governança comunitária (trabalho vivo) para garantir a manutenção e adaptação do sistema.

Palavras-chave: Saneamento Rural; Bacia de Evapotranspiração; Tecnologia Social.

DIAGNOSIS OF THE FUNCTIONING OF THE BET SYSTEM -

EVAPOTRANSPIRATION BASIN: Units in Iretama and Campo Mourão - PR.

Abstract: The historical deficit in access to basic sanitation in Brazilian rural areas demands the adoption of decentralized, low-cost, and ecologically sustainable strategies. In this context, the present study aimed to analyze the technical feasibility and social sustainability of five Evapotranspiration Basin (BET) units; a social technology based on permaculture, implemented between 2014 and 2019 in the Muquilão Settlement (Iretama/PR) and Vila Franciscana (Campo Mourão/PR). The methodology was characterized as a case study with a qualitative-quantitative approach, using georeferenced mapping (QGIS), *in loco* technical visits, and the application of checklists to inspect the physical, sanitary, and operational conditions of the systems. The results demonstrated high efficiency of the technology: 60% of the analyzed units have been operating for over 11 years without the need for septic tank cleaning, clogging, or odor emission, validating the adopted sizing. However, a functional failure was identified in one of the most recent units, resulting from unplanned population overload and a discontinuity in local knowledge management. It is concluded that the BET is an effective alternative for rural sanitation, capable of protecting water resources and generating biomass; however, its long-term resilience depends not only on the technical artifact (dead labor) but fundamentally on environmental education and community governance (living labor) to ensure system maintenance and adaptation.

Keywords: Rural Sanitation; Evapotranspiration Basin; Social Technology.

DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA BET - CUENCA DE

EVAPOTRANSPIRACIÓN: Unidades en Iretama y Campo Mourão - PR.

Resumen: El déficit histórico de acceso al saneamiento básico en zonas rurales brasileñas demanda la adopción de estrategias descentralizadas, de bajo costo y ecológicamente sostenibles. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la viabilidad técnica y la sostenibilidad social de cinco unidades de Cuenca de Evapotranspiración (BET);

una tecnología social basada en la permacultura, implantadas entre los años 2014 y 2019 en el Asentamiento Muquidão (Iretama/PR) y en la Vila Franciscana (Campo Mourão/PR). La metodología se caracterizó como un estudio de caso con enfoque cuali-cuantitativo, utilizando mapeo georreferenciado (QGIS), visitas técnicas *in loco* y la aplicación de listas de verificación (*checklists*) para la inspección de las condiciones físicas, sanitarias y operativas de los sistemas. Los resultados demostraron una elevada eficiencia de la tecnología: el 60% de las unidades analizadas operan hace más de 11 años sin necesidad de limpieza del tanque séptico, obstrucciones o emisión de olores, validando el dimensionamiento adoptado. Sin embargo, se identificó una falla funcional en una de las unidades más recientes, debido a la sobrecarga poblacional no planificada y la discontinuidad en la gestión del conocimiento local. Se concluye que la BET se consolida como una alternativa eficaz para el saneamiento rural, capaz de proteger recursos hídricos y generar biomasa; no obstante, su resiliencia a largo plazo depende no solo del artefacto técnico (trabajo muerto), sino fundamentalmente de la educación ambiental y de la gobernanza comunitaria (trabajo vivo) para garantizar el mantenimiento y la adaptación del sistema.

Palabras clave: Saneamiento Rural; Cuenca de Evapotranspiración; Tecnología Social.

Introdução

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde ([Funasa], 2015), os problemas relacionados à saúde, ao saneamento e ao meio ambiente afetam grande parte da população mundial. No Brasil, o déficit no acesso aos serviços básicos atinge principalmente as populações mais vulneráveis, concentradas em favelas, periferias urbanas e áreas rurais. A inexistência ou ineficácia desses serviços favorece o agravamento das condições de saúde e da qualidade de vida da população.

A problemática do saneamento rural transcende as fronteiras nacionais, configurando-se como um desafio global de segurança hídrica e saúde pública. No cenário internacional, o debate tem convergido para as chamadas Soluções baseadas na Natureza (NbS - *Nature-based Solutions*), que buscam mimetizar processos ecossistêmicos para o tratamento de resíduos. A Bacia de Evapotranspiração (BET) alinha-se a essa tendência, sendo classificada em estudos recentes como um sistema de Descarga Zero (*zero-discharge system*), essencial para o

cumprimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) da Agenda 2030 da ONU, em assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos especialmente em áreas de alta vulnerabilidade social e dispersão demográfica (RODRIGUES; BEZERRA, 2024).

O cumprimento dessas metas, especificamente o ODS 6, exige soluções que ultrapassem as barreiras da infraestrutura convencional. Nesse sentido, Santos et al. (2025) destacam que o uso de tecnologias sociais em comunidades quilombolas tem se mostrado uma estratégia eficaz para promover a dignidade e a saúde pública em territórios tradicionais. Essa realidade corrobora a análise proposta neste estudo sobre as unidades implementadas em Iretama e Campo Mourão, e se alinha a uma tendência nacional de saneamento em áreas vulneráveis. O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) reforça essa necessidade, apontando que a superação do déficit rural demanda o uso de Tecnologias Sociais (TS) de fácil apropriação e baixo custo operacional.

Segundo dados recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([IBGE], 2024), a população residente em áreas rurais no Brasil totaliza cerca de 26,5 milhões de pessoas. Nesse cenário, o déficit de acesso à rede oficial de esgotamento permanece crítico, atingindo mais de 90% desses domicílios, o que obriga a vasta maioria da população rural a depender de soluções alternativas individuais ou comunitárias, muitas das quais ainda operam em condições precárias (IBGE, 2024).

Santos e Santana (2020) salientam que, em aglomerados rurais próximos da área urbana e mais adensados (aglomerados semiurbanos), há uma preponderância de soluções coletivas para o abastecimento de água, tratamento do esgoto sanitário e gestão dos resíduos sólidos. Vale ressaltar que grande parte desses sistemas, sejam individuais ou coletivos, enfrenta óbices relacionados às condições precárias de operação, bem como à intermitência no abastecimento de água e na coleta de esgoto (Santos & Santana, 2020, p. 22).

Diferentemente do meio urbano, onde o usuário geralmente apenas adquire o serviço de saneamento, no meio rural é primordial desenvolver formas participativas, associativas e cooperativas. Ainda, há o pressuposto de responsabilidade e atribuições compartilhadas entre

os moradores a respeito das tecnologias e sistemas a serem adotados (Santos & Santana, 2020, p. 45).

Conforme assevera a Funasa (2015), a adoção da gestão comunitária e o envolvimento direto dos produtores rurais são estratégias cruciais; tais ações não apenas otimizam a distribuição de custos, mas garantem a sustentabilidade dos sistemas por meio do fortalecimento da governança e da autonomia da comunidade na gestão do seu patrimônio sanitário. Tal abordagem converge especificamente para a participação comunitária como salvaguarda da resiliência dos recursos hídricos e da sustentabilidade dos sistemas implantados.

Dentre as alternativas para propriedades rurais, a Bacia de Evapotranspiração (BET) é uma das soluções possíveis, segundo Athaydes et al. (2022). Ainda pouco difundido, esse sistema destaca-se por aliar plantas com grande potencial de evapotranspiração ao tratamento biológico realizado por bactérias anaeróbias, resultando em reduzida geração de lodo e quase nenhum efluente final. Dessa forma, possibilita-se o aproveitamento da água e de grande parte dos nutrientes do esgoto doméstico pelas plantas, sem necessidade de pós-tratamento ou de contato direto dos usuários com o efluente.

A implementação de projetos de educação ambiental facilita aos produtores rurais a compreensão fundamental dos problemas existentes, da presença humana no ambiente e de seu papel crítico como cidadãos. Desenvolvem-se, assim, competências e valores que conduzem à reavaliação de atitudes diárias e de suas consequências para o meio ambiente.

Diante desse contexto, a presente pesquisa objetivou analisar cinco unidades de sistema de tratamento de efluentes modelos BET (Bacia de Evapotranspiração) no assentamento Muquidão (Iretama, PR) e na Vila Franciscana (Campo Mourão, PR). Essas unidades foram implantadas entre 2014 e 2019, por meio de parceria entre a comunidade rural e a Universidade Estadual do Paraná (Unespar), *campus* de Campo Mourão, sob o projeto n.º 470703/2014 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

O estudo avaliou as cinco BETs e as condições gerais de funcionamento e manutenção do sistema após seis, oito e dez anos de uso, bem como a conscientização ambiental dos produtores frente à conservação e aos impactos ambientais.

O Modelo BET: Ecotécnica, Permacultura e Saneamento Descentralizado

A Bacia de Evapotranspiração (BET), frequentemente denominada "fossa de bananeiras" ou "fossa verde", constitui-se uma ecotécnica de tratamento de efluentes fundamentada nos princípios da Permacultura. Segundo Holmgren (2013), a permacultura propõe o planejamento de paisagens que mimetizam padrões naturais para suprir necessidades humanas locais. Nesse sentido, a BET não é apenas um sistema de saneamento, mas um elemento de *design* funcional que integra a gestão de resíduos à produção de biomassa e alimentos.

Essa tecnologia representa uma alternativa sustentável para o tratamento domiciliar de águas cinzas (pia, chuveiro e lavanderia) e negras (vasos sanitários) em zonas urbanas e rurais. A definição e os objetivos da permacultura alinham-se, portanto, ao debate contemporâneo sobre ecotécnicas e sustentabilidade.

Sobre a evolução conceitual desse termo, Holmgren (2013) apresenta uma definição expandida:

Paisagens conscientemente planejadas que imitam os padrões e as relações encontrados na natureza, enquanto produzem uma abundância de alimento, fibra e energia para prover as necessidades locais. As pessoas, suas construções e os modos como elas se organizam são centrais para a permacultura. (p. 29).

Diferentemente dos sistemas convencionais de fossas sépticas, que apenas retardam a decomposição para posterior infiltração ou remoção, a BET configura-se como um sistema de fluxo fechado e estanque. O efluente (águas negras e cinzas) entra em uma câmara de digestão anaeróbia, geralmente construída com pneus reaproveitados ou entulhos de construção, onde ocorre a decomposição primária da matéria orgânica (Athaydes & Crispim, 2016).

O ponto forte do sistema reside na sua capacidade de evapotranspiração. O efluente pré-tratado pela digestão anaeróbia ascende por capilaridade através de camadas de substrato (pedra, brita, areia e solo), sendo absorvido pelas raízes de plantas macrófitas de crescimento rápido, como a bananeira (*Musa spp.*). Essas plantas utilizam os nutrientes do esgoto (nitrogênio e fósforo) para seu desenvolvimento, devolvendo a água purificada para a atmosfera na forma

de vapor. Esse processo elimina a infiltração no solo, protegendo, consequentemente, o lençol freático (Crispim, 2014).

BET- Tecnologia Social em Essência

A busca por alternativas ao saneamento convencional configura-se como uma urgência imposta pelas limitações e desafios que as infraestruturas tradicionais enfrentam. Em um cenário de rápida urbanização e escassez de recursos naturais, torna-se vital explorar soluções inovadoras e sustentáveis que atendam às diversas realidades, incluindo as pequenas propriedades rurais.

Nesse sentido, o Plano Nacional de Saneamento Básico ([PLANSAB]) estipulou a universalização do saneamento em áreas rurais para algumas regiões brasileiras. O documento prevê que as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste terão o atendimento de água potável universalizado até 2033, tanto em áreas urbanas quanto rurais (Brasil, 2013), com ênfase no tratamento do esgoto produzido nessas localidades.

Dentre os objetivos específicos traçados pelo plano, destaca-se:

Buscar a universalização da oferta de abastecimento de água potável e de esgotamento sanitário nas áreas urbana e rural, minimizando o risco à saúde e assegurando qualidade ambiental, adotando-se tratamento dos esgotos em nível compatível com os padrões de lançamento de efluentes e requisitos de qualidade de água dos corpos receptores. (Brasil, 2013, p. 140).

Diversas soluções alternativas de saneamento têm sido propostas para famílias rurais, sendo implantadas e monitoradas por pesquisadores vinculados a universidades paranaenses. Tais iniciativas, desenvolvidas sob a perspectiva da Tecnologia Social e com apoio do poder público, fornecem subsídios essenciais para a formulação de políticas públicas inclusivas.

A Tecnologia Social (TS) é definida como um conjunto de "produtos, métodos, processos e técnicas criados para solucionar algum tipo de problema social e que atendam aos quesitos de simplicidade, baixo custo, fácil aplicabilidade e impacto social comprovado" (Instituto de Tecnologia Social [ITS], 2004).

A BET materializa tal definição, funcionando como um reator isolado que realiza o tratamento do esgoto *in loco*, sem gerar efluentes líquidos, eliminando assim os riscos de

contaminação do solo e dos lençóis freáticos. A concepção desse sistema atende diretamente aos princípios da Tecnologia Social (TS), conforme detalhado a seguir:

1. Solução para um problema social: A tecnologia mitiga diretamente a carência de saneamento, reconhecida como uma das principais causas de doenças de veiculação hídrica e de degradação da qualidade de vida no campo.
2. Baixo custo e reaproveitamento: A construção utiliza materiais de baixo valor agregado ou de descarte, como pneus inservíveis, entulho, areia e brita, muitos dos quais podem ser encontrados na própria localidade. Isso reduz drasticamente a dependência de recursos financeiros e insumos industriais (Crispim et al., 2018).
3. Simplicidade e replicabilidade: A lógica construtiva, embora exija orientação técnica para garantir a impermeabilização e o dimensionamento correto, é relativamente simples. O sistema pode ser executado pela própria família ou em mutirões comunitários, o que fortalece os laços sociais e a autonomia local.
4. Sustentabilidade e adequação local: O sistema utiliza processos biológicos naturais — a mineralização da matéria orgânica por bactérias no leito filtrante e a absorção da água e nutrientes por plantas cultivadas na superfície, como bananeiras (*Musa spp.*) ou taiobas (*Xanthosoma spp.*). Essas plantas, além de fecharem o ciclo da água pela evapotranspiração, geram biomassa, transformando o esgoto (problema) em recurso.

Ao ser desenvolvida com a comunidade e não apenas para ela, a BET deixa de ser um objeto estranho para se tornar uma conquista coletiva. Esse processo gera um sentimento de pertencimento e responsabilidade pela manutenção, fator que Dagnino (2009) aponta como fundamental para a adequação sociotécnica que diferencia a Tecnologia Social da tecnologia convencional.

Em suma, conforme aponta Crispim (2014), a BET consolida-se como um sistema ambientalmente sustentável, de baixo custo e de fácil apropriação para áreas rurais, cujo diferencial reside no envolvimento ativo dos atores do território em sua implantação e gestão.

Nas reflexões de Dagnino (2014), uma tecnologia social materializa-se na cooperação entre o "trabalho morto" que, neste contexto representa a construção do objeto em si, (a BET),

e o compartilhamento do "trabalho vivo", entendido como a capacidade de aprendizado humano passível de distribuição e reapropriação.

A capacidade de aprender é apontada como o diferencial do ser humano em relação a outras espécies. Sobre essa aptidão cognitiva e sua relação com a práxis, o autor destaca:

A capacidade de aprender tem sido entendida como o que diferencia o ser humano de outros seres vivos. Esta aptidão sugere que cada vez que o homem cogite em realizar uma ação igual ou semelhante a uma outra que já realizou, esteja sempre influenciado pelo aprendizado posterior àquela ação pretérita. A capacidade que decorre desse aprendizado passa, então, a influenciar no modo como ele desempenha as suas ações. (Dagnino, 2014, p. 116).

Nesse cenário, a formação de lideranças comunitárias constitui um componente fundamental. Ao capacitar indivíduos para que se tornem agentes de mudança, a educação ambiental cria um efeito multiplicador. Tais líderes disseminam conhecimentos e práticas sustentáveis, inspirando o engajamento coletivo. Essa dinâmica possibilita a consolidação de comunidades onde os membros atuam como defensores do saneamento e da saúde ambiental, promovendo ações que resultam em melhorias tangíveis quando a educação ambiental é integrada ao cotidiano.

É pertinente considerar uma análise geográfica sobre o aprimoramento da cultura e da sociedade, uma vez que indivíduos são agrupados em situações comuns de existência, segundo de Sousa (2017). Nesse sentido, o autor argumenta que "a sustentabilidade não seria apenas um conceito ambiental isento da sociedade, uma vez que, as práticas sustentáveis devem surgir da própria sociedade, como um novo paradigma a ser seguido" (de Sousa, 2017, p. 184). Sob essa ótica, a Geografia oferece infinitas possibilidades de reflexão para a melhoria da qualidade de vida e para a busca da sustentabilidade planetária.

É necessário compreender que a sustentabilidade transcende o conceito estritamente ambiental. Ela trata também "de direitos humanos, de cidadania, de desenvolvimento, de responsabilidade com nossas ações e como um caminho melhor para direcionarmos nossas práticas" (de Sousa, 2017, p. 187).

A implementação de uma TS como a BET em áreas rurais, conforme mencionado por Crispim (2014), altera a escala da gestão ambiental: do controle estatal/técnico para a escala do lugar. Na perspectiva geográfica de Carlos (2007), o lugar é a dimensão cotidiana da reprodução

da vida. A BET, ao ser apropriada coletivamente, deixa de ser uma solução de engenharia isolada para se tornar um componente da reprodução social, onde a sustentabilidade emerge não como um imperativo externo, mas como uma prática enraizada nas condições comuns de existência (de Sousa, 2017).

Ao considerar que a sustentabilidade abrange direitos humanos e responsabilidade (de Sousa, 2017), a Geografia contribui com o conceito de Justiça Ambiental. A adoção da BET em comunidades rurais configura-se como uma resposta política à marginalização geográfica. A tecnologia social atua, portanto, como um instrumento de reordenamento territorial, no qual o baixo custo e o envolvimento dos atores locais garantem o direito ao saneamento sem a dependência de sistemas centralizados que, historicamente, excluem as periferias rurais (Santos, 2006).

Metodologia

A discussão teórica fundamentou-se em revisões bibliográficas a respeito dos modelos de tratamento de efluente doméstico em área rural e, especificamente, sobre a Bacia de Evapotranspiração (BET), tecnologia que vem sendo estudada por pesquisadores da Universidade Estadual do Paraná (Unespar), *campus* de Campo Mourão (Quadro1).

O modelo avaliado

O dimensionamento da unidade de pré-tratamento (Tanque Séptico), seguiu os parâmetros de volume útil e tempo de detenção hidráulica estabelecidos pela NBR 7229 (ABNT, 1993), garantindo a sedimentação e digestão anaeróbia primária dos efluentes.

Para a Bacia de Evapotranspiração, a configuração estrutural e a seleção das espécies vegetais para o tratamento por evapotranspiração foram revisadas em conformidade com as diretrizes da recente NBR 17076 (ABNT, 2024), que estabelece requisitos para sistemas de tratamento de esgoto descentralizados e baseados em processos naturais. Considerou-se a demanda de uso de água de 2 m³ por habitante da residência, e para fins de cálculo, utilizou-se o seguinte parâmetro: para uma família de quatro pessoas, dimensiona-se uma escavação de 4 m x 4 m x 1 m, totalizando 16 m³. Importante salientar que a seleção do local para

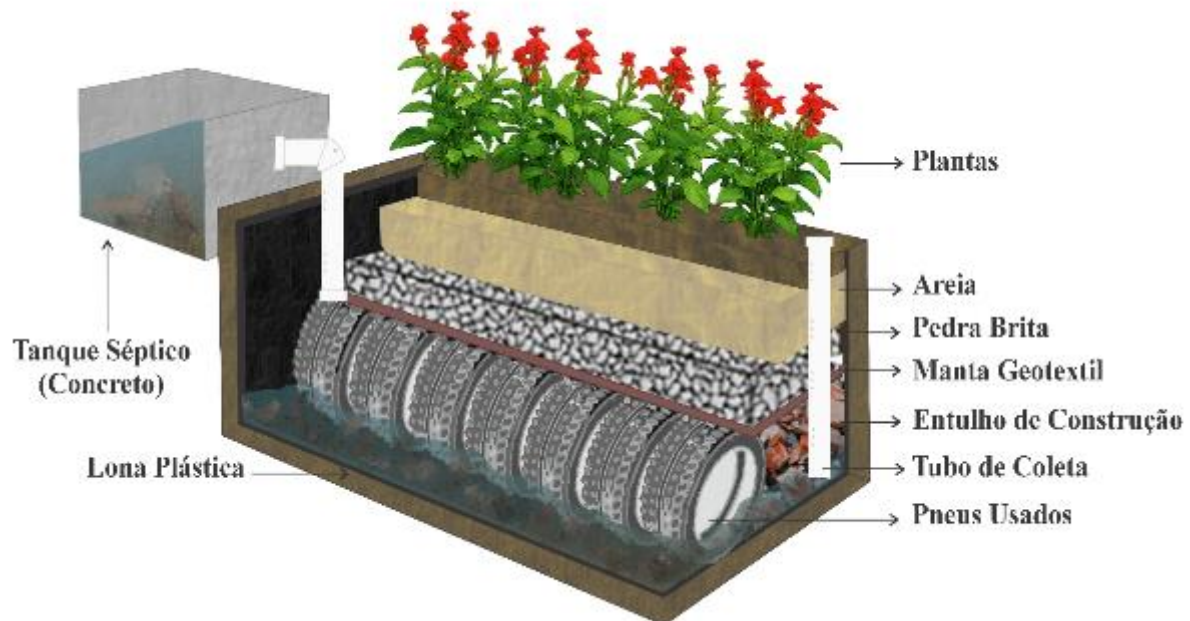
construção das BETs priorizou áreas com grande incidência de luz solar, conforme recomendam Athaydes e Crispim (2016) (Figura 1).

Quadro1- Pesquisas sobre Bacia de Evapotranspiração na região de Campo Mourão/PR.

Ano de Publicação	Autores	Instituições de Pesquisa	Título/Tipo de Publicação
2011	Parolin & Crispim	Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus de Campo Mourão	Estações de Tratamento de Esgoto por Zonas de Raízes, uma Alternativa Viável para as Cidades? (Artigo)
2015	Athaydes, T. V. S.; Crispim, J. de Q.; et al.	Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus de Campo Mourão	Saneamento rural por meio de estação de tratamento de esgoto na comunidade Muquidão no município de Iretama-PR (Artigo)
2016	Athaydes, T. V. S.; Crispim, J. de Q.	Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus de Campo Mourão	Saneamento rural por meio de estação de tratamento de esgoto por zona de raízes modelo bacia de evapotranspiração (BET) no município de Iretama – Paraná (Artigo)
2018	Crispim, J. de Q.; et al.	Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus de Campo Mourão	Bacia de Evapotranspiração, uma forma eficiente no tratamento do esgoto na zona rural (Artigo)
2018	Athaydes, T. V. S.; Crispim, J. de Q.; Rocha, J. A.	Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus de Campo Mourão	A criação de estações de tratamento de esgoto no modelo de “Bacia de Evapotranspiração” (BET) no município de Iretama, no interior do Paraná (Artigo)
2019	Athaydes, T. V. S.	Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)	Tratamento alternativo do esgoto negro em residências rurais (Dissertação de Mestrado)
2020	Crispim, J. de Q.; et al.	Universidade Estadual de Maringá (UEM)	Estações de tratamento de esgoto: uma forma de melhorar a qualidade de vida do agricultor familiar (Artigo)
2021	Athaydes, T. V. S.; Crispim, J. de Q.; et al.	Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus de Campo Mourão; Universidade Estadual de Maringá (UEM)	Saneamento Ambiental Rural: o caso da Comunidade Terapêutica Redenção (Artigo)
2022	Athaydes, T. V. S.; Crispim, J. de Q.; et al.	Universidade Estadual de Maringá (UEM); Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus de Campo Mourão	Implantação e avaliação do sistema Bacia de Evapotranspiração (BET) para o tratamento do esgoto doméstico no meio rural: o caso da Comunidade Terapêutica Redenção no município de Campo Mourão – PR (Artigo)
2023	Athaydes, T. V. S.	Universidade Estadual de Maringá (UEM)	Tese de Doutorado que cita a implantação de BETs em assentamentos rurais
2024	Athaydes, T. V. S.; Crispim, J. de Q.; et al.	Universidade Estadual de Maringá (UEM)	Sistemas de tratamento de esgoto no meio rural modelo bacia de evapotranspiração: o caso de Campo Mourão e Iretama – PR (Artigo)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 1- Sistema de tratamento de esgoto modelo BET.



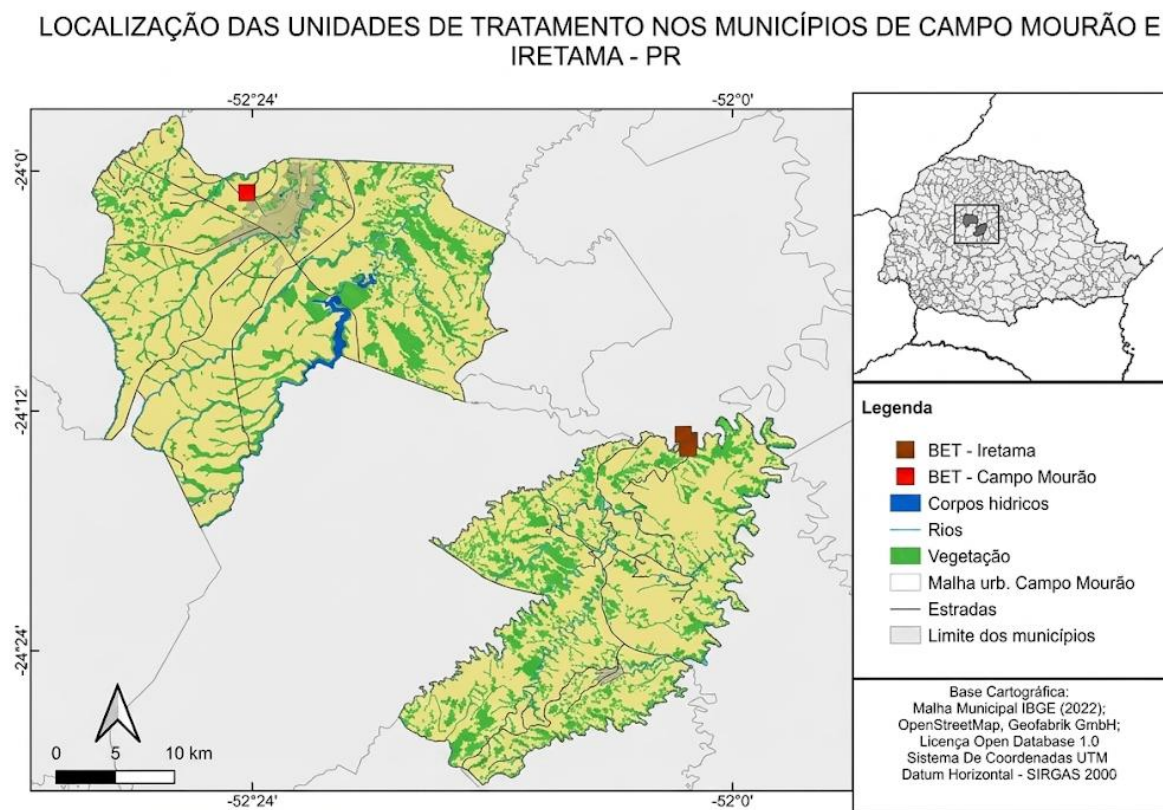
Fonte: Organizado pelo autores.

Localização

Inicialmente, realizou-se o mapeamento da localização e da distribuição das unidades BET analisadas nos municípios de Campo Mourão e Iretama (PR). Para tanto, utilizou-se o *software* QGIS para georreferenciar as unidades BET 1, 2 e 3, construídas em Iretama (em operação há 10 anos), e as BET 4 e 5, construídas em Campo Mourão (em operação há seis anos), conforme ilustrado na Figura 2.

A avaliação dos sistemas ocorreu por meio de duas visitas técnicas ao assentamento Muquilhão, em Iretama/PR (unidades 1, 2 e 3), e à Vila Franciscana, em Campo Mourão/PR (unidades 4 e 5), realizadas nos dias 04 e 05 de setembro de 2024. As inspeções foram acompanhadas pelos produtores rurais, aos quais foi aplicada uma lista de verificação (*checklist*), elaborada previamente para analisar as condições de cada sistema.

Figura 2 – Localização das unidades BET.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A lista de verificação é uma ferramenta de controle que reúne itens para avaliações sistemáticas, garantindo a monitoria de processos, atividades ou equipamentos; sua aplicação é frequente na identificação de não conformidades, especialmente nas áreas de Gestão da Qualidade, Saúde e Segurança. Segundo Marshall et al. (2017), no âmbito da Gestão da Qualidade, o *checklist* classifica-se como uma das sete ferramentas clássicas, sendo essencial para a coleta de dados que subsidiará análises estatísticas. A eficácia dessa ferramenta reside na capacidade de transformar percepções subjetivas em registros objetivos (Quadro 2).

Quadro 2- Lista de Checagem (*checklist*) para inspeção BET.

Checklist de Diagnóstico: Bacia de Evapotranspiração (BET)				
Identificação: [Número da BET]				
Local/Propriedade: [Unidade/Município]				
Responsável: [Nome]				
Período de Inspeção: [Data da montagem]				
Itens de Inspeção Operacional				
Item	Ponto de Controle	Critério de Verificação	Status (Sim/Não)	Observações
1.0	Tubulação de Inspeção	Há presença de água visível no fundo do tubo?		(Indica o nível de saturação)
1.1	Odor	Há mau cheiro exalando da bacia?		(Pode indicar saturação ou má vedação)
2.0	Vegetação	As plantas apresentam folhas verdes e saudáveis?		(Essencial para a evapotranspiração)
2.1	Manejo Vegetal	Foi feita a poda de folhas secas e remoção de excessos?		(Melhora paisagística)
2.2	Crescimento	Há novas brotações (mudas) surgindo?		(Melhora paisagística)
3.0	Estrutura Física	A camada de cobertura (mulching/palhada) está seca e fofa?		(Evita a criação de mosquitos)
3.1	Integridade	Existem sinais de erosão ou frestas nas bordas da bacia?		(Isso indica se as camadas estão cedendo)
4.0	Entrada de Efluente	Há sinais de entupimento na caixa de gordura (se houver)?		(Importante avaliar o manejo da caixa de gordura, quando houver, para evitar a colmatação do sistema)
5.0	Incidência de luz solar	A bacia recebe luz solar diretamente?		(É fundamental que a Bacia fique exposta diretamente a luz solar, favorecendo a evapotranspiração do efluente)

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A inspeção foi realizada de forma visual (*in loco*), sem a utilização de equipamentos de medição complexos, no horário compreendido entre 13h30 e 15h30, período de maior incidência solar (Figura 3). Com os dados obtidos na aplicação da lista de checagem, somados aos relatos dos produtores, elaborou-se um panorama das condições atuais de funcionamento dos sistemas.

Figura 3- Aplicação da lista de checagem (*Check List*) em campo.



Fig. 3A- Avaliação do efluente na bacia

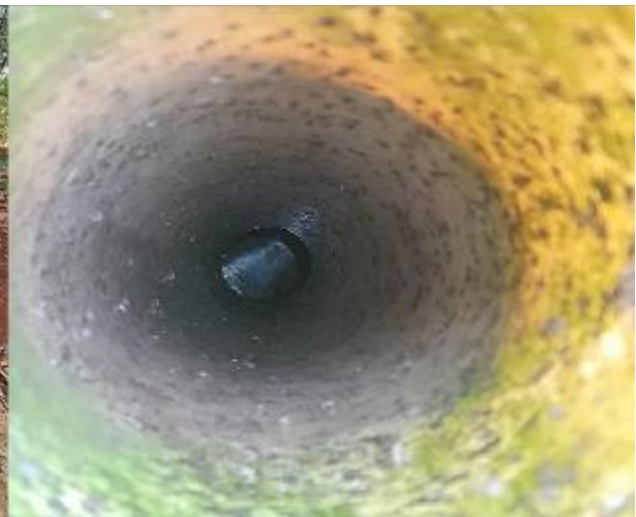


Fig. 3B- Aparência e nível do efluente



Fig. 3C- Condições no suspiro do tanque séptico.



Fig. 3D- Condições das plantas na bacia

Fonte: Registro dos autores (2024).

Resultados e Discussões

Antes da implantação do sistema de tratamento BET, os produtores utilizavam fossas rudimentares (conhecidas como fossas negras) como alternativa para o despejo do esgoto doméstico. Segundo Souza (2015), essa é a opção menos segura e a que acarreta maiores riscos à saúde humana. Tal modalidade de depósito recebe dejetos sem a devida impermeabilização

de paredes e base, o que, conforme alerta o autor, potencializa o risco de contaminação do lençol freático, rios, lagos, aquíferos e do próprio solo.

As propriedades contempladas com o sistema de tratamento no município de Iretama localizam-se sobre solos do tipo Neossolo Litólico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Por serem solos rasos, as fossas negras escavadas apresentavam profundidades inferiores a 2,5 metros, o que aumentava os riscos de contaminação das nascentes utilizadas para abastecimento doméstico, muitas das quais situadas a jusante (Crispim, 2014). Por outro lado, os sistemas BET de Campo Mourão estão implantados sobre Latossolo Vermelho Distroférico, solo que apresenta boa profundidade, elevada porosidade, boa drenagem e permeabilidade.

As unidades experimentais foram codificadas por ordem cronológica de implantação, sendo identificadas de BET 1 a BET 5. Após as visitas a campo e a aplicação da lista de verificação, foi possível sistematizar as condições de funcionamento de cada unidade, conforme apresentado na Quadro 3.

Quadro 3- Condições gerais do sistema BET

BET	Ano da Construção	Tipo de efluente tratado no sistema	Caixa de gordura	Suspiro	Tanque séptico	Jardim Filtrante	Solo da bacia	Proliferação de insetos
BET 1	2014	Águas Cinzas e Negras	Não possui	Sem odor	Sem manutenção, limpa fossa	Conservado, com plantas esparsas (citronela)	Sem afundamento	Não relatado
BET 2	2014	Águas Cinzas e Negras	Não apresentou entupimento	Sem odor	Sem manutenção, limpa fossa	Conservado, com plantas esparsas (citronela)	Sem afundamento	Não relatado
BET 3	2014	Águas Cinzas e Negras	Não possui	Sem odor	Sem manutenção, limpa fossa	Conservado, com plantas esparsas (bananeira de jardim)	Sem afundamento	Não relatado
BET 4	2017	Águas Cinzas e Negras	Apresentou entupimento	Apresentou odor e vazamento	Sobrecarga do sistema em 100%, necessitando manutenção e desentupimento da BET	Conservado, com plantas abundantes (caeté)	Sem afundamento	Não relatado
BET 5	2019	Águas Cinzas e Negras	Não apresentou entupimento	Sem odor	Sem manutenção, limpa fossa	Conservado, com plantas abundantes (caeté)	Sem afundamento	Não relatado

Fonte: Elaborado pelos autores.

Todos os sistemas avaliados foram projetados para tratar águas cinzas (provenientes de cozinha, lavanderia e chuveiro) e negras (provenientes de vasos sanitários). No entanto, observou-se que as unidades BET 1 e BET 3 desviam as águas cinzas da cozinha para um sumidouro específico, tratando na bacia apenas os demais efluentes.

As unidades BET 1, BET 2 e BET 3 estão em funcionamento há mais de 11 anos sem a necessidade de limpeza do tanque séptico (limpa-fossa), pois não apresentaram nenhum tipo de entupimento ou odor ofensivo. Isso demonstra que o dimensionamento adotado na execução do projeto: 2,30 m de comprimento, 1,50 m de largura e 1,0 m de profundidade (2,30 X 1,50 X 1,0), totalizando um volume útil adequado, foi suficiente para garantir um tempo de detenção hidráulica de 0,83 dias (aproximadamente 20 horas) dentro do tanque séptico, antes de o efluente adentrar o sistema de evapotranspiração (Crispim et al., 2016, p. 17).

O dimensionamento das unidades avaliadas demonstrou ser suficiente para garantir um tempo de detenção hidráulica adequado, fator crucial para a completa degradação da matéria orgânica. Essa adequação técnica é sustentada pelos critérios estabelecidos por Silva et al. (2025), que propõem parâmetros de design baseados na correlação entre temperatura média e umidade relativa do ar. Ao alinhar a geometria do tanque às taxas de evapotranspiração locais, assegura-se que o volume afluente seja processado sem sobrecarga do sistema, conferindo solidez ao projeto executado em Iretama e Campo Mourão.

O primeiro estágio do tratamento consiste na digestão anaeróbia no tanque séptico. Essa etapa é fundamental para o pré-tratamento, retendo o material sólido sedimentável no fundo da câmara, enquanto o efluente líquido é encaminhado por gravidade para a bacia. Conforme definem Costa et al. (2014), "a digestão anaeróbia é um processo biológico de decomposição de matéria orgânica que, através do metabolismo dos microrganismos, é convertida em lodo biológico, líquido e gases".

A manutenção recomendada para esse estágio restringe-se ao manejo adequado da caixa de gordura, visando evitar obstruções e danos ao sistema. Contudo, no caso da BET 4, construída em 2017, registrou-se entupimento e sobrecarga no tanque.

A falha ocorreu devido ao aumento do fluxo de efluentes; o número de habitantes da residência duplicou nos anos subsequentes, cenário não previsto no projeto original. Além disso, a descontinuidade administrativa da instituição agravou o problema: a cada troca de

gestão, os novos responsáveis não tinham acesso a um "manual" ou histórico de funcionamento do modelo.

Para solucionar o problema momentaneamente, foi necessária a limpeza do sistema e a adaptação de uma nova caixa de gordura e de um segundo tanque séptico.

A análise da falha funcional observada na unidade BET 4, embora denote um evento pontual, é emblemática para a compreensão da sustentabilidade de tecnologias descentralizadas. Sob a ótica da Geografia, a implementação de uma Tecnologia Social (TS) altera drasticamente a escala da gestão ambiental: desloca-se do controle estatal e técnico-normativo para a escala do Lugar.

Na perspectiva de Carlos (2007), o lugar constitui a dimensão cotidiana da reprodução da vida; assim, a BET deixa de ser um artefato isolado de engenharia para integrar-se à reprodução social, onde a sustentabilidade emerge como uma prática enraizada nas condições comuns de existência.

Essa integração, contudo, é vulnerável à ruptura da resiliência sociotécnica. Ao analisarmos a sobrecarga populacional e a descontinuidade administrativa na BET 4, dialogamos com o conceito de *Resilience Engineering* de Hollnagel (2006). Segundo o autor:

A resiliência de um sistema não reside apenas na sua robustez física, mas na capacidade sociotécnica de monitorar, antecipar, aprender e responder a variações no ambiente de uso. (HOLLNAGEL, 2006, p. 16)

No caso da BET 4, houve uma ruptura nessa resiliência: a dimensão técnica (trabalho morto) não foi acompanhada pela dimensão humana (trabalho vivo), resultando na incapacidade de antecipar a sobrecarga e na perda de aprendizado organizacional durante a troca de gestão. Esse cenário reforça que a sustentabilidade de longo prazo das BETs, que em outras unidades já ultrapassa uma década, depende da manutenção de um fluxo contínuo de informações e da educação ambiental sanitária, garantindo que o sistema responda de forma adaptativa às mudanças demográficas e administrativas.

Ainda sobre essa unidade, a eficácia do trabalho morto, representado pela robustez física do sistema que, em outras unidades, garante operação plena por mais de 11 anos, foi comprometida pela fragilidade do trabalho vivo. Conforme postula Dagnino (2014), o trabalho vivo compreende a capacidade de aprendizado humano passível de distribuição e reapropriação. A ausência de um trabalho vivo contínuo (gestão do conhecimento e educação

ambiental) impediu que os novos gestores antecipassem a sobrecarga, evidenciando que:

A capacidade de aprender tem sido entendida como o que diferencia o ser humano de outros seres vivos. Esta aptidão sugere que cada vez que o homem cogite em realizar uma ação igual ou semelhante a uma outra que já realizou, esteja sempre influenciado pelo aprendizado posterior àquela ação pretérita." (DAGNINO, 2014, p. 116)

Em nenhuma das BET, houve colmatção ou extravasamento, sugerindo que o dimensionamento da Bacia de Evapotranspiração (BET) foi adequado, uma vez que constitui uma variável crítica para assegurar o balanço hídrico e a eficiência do tratamento. No sistema estudado, o controle do nível do efluente líquido entre 0,80 m e 0,85 m, visa otimizar a interface entre a zona saturada e a rizosfera, garantindo a transpiração vegetal contínua. Segundo Athaydes (2019):

BET 1 e 5: Dimensionadas para famílias de dois moradores, com medidas de 2,0 X 2,0 X 1,0 m. BET 2: Dimensionada para quatro moradores, com medidas de 4,0 X 2,0 X 1,0 m. BET 4: Dimensionada para seis moradores, com medidas de 4,0 X 4,0 X 1,0 m. (ATHAYDES, 2019, p. 119).

Este dimensionamento, que adota uma área média de 2,0 m² a 2,6 m² por pessoa, demonstra uma margem de segurança superior quando confrontado com estudos internacionais de sistemas de descarga zero (*zero-discharge*). Pimentel et al. (2025) observam que, em climas subtropicais, áreas a partir de 2,0 m²/hab são suficientes para prevenir o transbordamento, desde que a biomassa vegetal (como *Musa spp.*) mantenha taxas de evapotranspiração elevadas.

Ademais, as dimensões apresentadas estão em plena consonância com a nova NBR 17076 (ABNT, 2024), que preconiza o uso de profundidades de 1,0 m para favorecer a estabilização anaeróbia no fundo da bacia, ao mesmo tempo em que protege o sistema contra variações sazonais de pluviosidade.

A eficácia observada nas unidades reforça o entendimento de que a BET transcende a categoria de simples tecnologia social, configurando-se como uma autêntica Solução Baseada na Natureza (SbN). De acordo com Bezerra (2024), sistemas que mimetizam processos ecológicos para o tratamento de efluentes, como a evapotranspiração e a filtragem biológica, oferecem uma resposta resiliente e de baixo impacto ambiental, alinhando a gestão do

saneamento rural às demandas globais de sustentabilidade e conservação dos ecossistemas locais.

A manutenção requerida no jardim das BET consiste na poda regular e na reposição de espécies, assegurando que as plantas mantenham o vigor necessário para o processo de evapotranspiração e absorção de nutrientes.

Todas as BET apresentaram o solo sobre a bacia uniforme, sem afundamentos (subsistência). As unidades 1, 2 e 3 necessitam de poda e reposição de espécies, procedimento que foi orientado aos produtores durante a visita. Já os sistemas 4 e 5 apresentam jardins bem conservados; contudo, na BET 4, recomendou-se a retirada de espécies causadoras de sombreamento excessivo, como a leucena (*Leucaena leucocephala*) e arbustos adjacentes.

Portanto, a eficiência das unidades de Iretama (BET 1, 2 e 3), que operam sem colapsos há mais de uma década, não deve ser lida apenas como um sucesso de dimensionamento hidráulico. O sistema deixa de ser um artefato passivo para se tornar um elemento do reordenamento territorial, onde o fechamento do ciclo hidrológico *in loco* protege o lençol freático em solos de alta vulnerabilidade, como os Neossolos Litólicos predominantes na região (ATHAYDES et al., 2022).

Os *feedbacks* dos produtores rurais apontaram satisfação com a implantação das unidades em suas propriedades, atuando inclusive como multiplicadores da tecnologia para outros produtores da região.

Os dados de eficiência do sistema, refletem o bom desempenho das unidades de Iretama, e encontram ressonância na análise de Figueiredo et al. (2024), onde os autores demonstram que a eficácia dos processos químicos de biodegradação e a ausência de odores são fatores determinantes para a elevada aceitação social da técnica no meio rural. Essa correlação explica a satisfação manifestada pelos produtores locais, uma vez que a percepção de um sistema limpo e funcional transforma a visão do saneamento de um problema doméstico em uma solução de valor ambiental e familiar.

Conclusão

- O diagnóstico realizado nas unidades de Bacia de Evapotranspiração (BET) em Iretama e Campo Mourão- PR, permite concluir que essa Tecnologia Social (TS) apresenta significativa solidez técnica. Os sistemas mantiveram-se operacionais por até 11 anos sem a necessidade de limpeza do tanque séptico em 60% dos casos analisados. Esse achado desafia as métricas convencionais de manutenção de sistemas descentralizados e valida o modelo de dimensionamento aplicado pelos pesquisadores da Unespar.
- Contudo, a pesquisa revela que a sustentabilidade de longo prazo não é garantida exclusivamente pelo artefato técnico (o trabalho morto), mas depende criticamente da resiliência do sistema sociotécnico. A falha identificada na unidade BET 4 demonstrou que a ausência de mecanismos de monitoramento e a perda do conhecimento acumulado pelos gestores (o trabalho vivo) tornam o sistema vulnerável a variações de carga e a descontinuidades administrativas.
- Sob a ótica de Hollnagel (2006), conclui-se que, para uma tecnologia de saneamento ser verdadeiramente resiliente, o usuário deve ser capacitado não apenas para a operação inicial, mas também para a antecipação de falhas e para a resposta adaptativa a mudanças no perfil de uso.
- Nesse sentido, a implementação de listas de verificação (*checklists*) e manuais de operação adaptados à realidade rural, conforme proposto neste estudo, configura-se como uma estratégia essencial de governança. Tais ferramentas atuam como mediadoras entre o saber técnico e o saber popular, assegurando que o saneamento ecológico cumpra, de forma perene, seu papel de promotor da saúde pública e da preservação ambiental, alinhando as comunidades rurais aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1993). *NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2024). *NBR 17076: Saneamento rural — Sistemas de tratamento de esgoto descentralizados — Projeto, construção e operação*.

- Athaydes, G. B., Athaydes, T. V. S., Crispim, J. Q., Feiden, A., & Mercante, E. (2022). Implantação e avaliação do sistema bacia de evapotranspiração (BET) para o tratamento do esgoto doméstico no meio rural: O caso da Comunidade Terapêutica Redenção no município de Campo Mourão-PR. *Caderno Prudentino de Geografia*, 1(44), 215–235. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2022\)092211](https://doi.org/10.21438/rbgas(2022)092211)
- Athaydes, T. V. S. (2019). *Sistemas de tratamento de esgoto no meio rural: Uma avaliação de experiências no município de Francisco Beltrão, Iretama e Campo Mourão - PR* [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná].
- Athaydes, T. V. S., & Crispim, J. Q. (2016). Saneamento rural por meio de estação de tratamento de esgoto por zona de raízes modelo bacia de evapotranspiração (BET) no município de Iretama – Paraná. In *Anais do 2º Congresso Internacional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional*.
- Bezerra, A. S. (2024). Soluções baseadas na natureza para o saneamento rural: Uma análise técnica da bacia de evapotranspiração como tecnologia de resiliência climática. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 29(1), 112–125. <https://doi.org/10.1590/rbesa.2024.0042>
- Brasil. Fundação Nacional de Saúde. (2015). *Manual de saneamento* (4. ed.). Funasa.
- Carlos, A. F. A. (2007). *O lugar no/do mundo*. Labur Edições.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Diário Oficial da União.
- Costa, E. S., Barbosa Filho, O., & Giordano, G. (2014). *Reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB): Uma abordagem concisa*. FEN/UERJ.
- Crispim, D. L., Crispim, J. Q., Figueiredo, R., & Braga, S. (2014). Tratamento de águas cinzas por bacia de evapotranspiração (BET). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 9(3). <https://doi.org/10.18378/rvads.v9i3.2847>

- Crispim, J. Q., Athaydes, T. V. S., Souza, L. C., & Villwock, F. H. (2018). Bacia de evapotranspiração, uma forma eficiente no tratamento do esgoto na zona rural. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 6(2).
- Dagnino, R. (2009). *Tecnologia social: Ferramenta para construir outra sociedade*. Komedi.
- Dagnino, R. (2014). *Tecnologia social: Contribuições conceituais e metodológicas*. Eduepb.
<https://doi.org/10.7476/9788578793272>
- De Sousa, V. P. (2017). Geografia e meio ambiente: Reflexões acerca das práticas socioculturais na concepção de sustentabilidade. *Revista Diversidade e Gestão*, 1(2), 178–188. <https://doi.org/10.24325/issn.2526-5121.v1i2p178-188>
- Figueiredo, A. S., [completar com os nomes dos coautores]. (2024). Processos físico-químicos e percepção social de sistemas descentralizados de saneamento no meio rural. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 11(26), 145–160.
[https://doi.org/10.21438/rbgas\(2024\)112608](https://doi.org/10.21438/rbgas(2024)112608)
- Hollnagel, E. (2006). *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Ashgate Publishing.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). *Censo Demográfico 2022: Características dos domicílios - Resultados do universo*. <https://www.ibge.gov.br>
- Instituto de Tecnologia Social. (2004). *Tecnologia social: Uma estratégia para o desenvolvimento*. Fundação Banco do Brasil.
- Kaick, T. S. V. (2002). *Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: Uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná* [Dissertação de mestrado, CEFET-PR].
- Marshall Junior, I., [completar com os nomes dos coautores]. (2017). *Gestão da qualidade* (11. ed.). FGV.
- Parolin, M., & Crispim, J. (2011). Estações de tratamento de esgoto por zona de raízes, uma alternativa viável para as cidades? *Revista GEOMAE*, 2(esp.), 231–244.

- Pimentel, M., Crispim, J. Q., & Athaydes, T. V. S. (2025). Design criteria for wastewater treatment and disposal by evapotranspiration systems: A comprehensive review. *Sustainability*, 17(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su17010142>
- Rodrigues, L., & Bezerra, M. (2024). Tanque de evapotranspiração como instrumento facilitador do ODS 6. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 13(1). <https://doi.org/10.5585/geas.v13i1.24810>
- Santos, G. R., & Santana, A. S. (2020). *Gestão comunitária da água: Soluções e dificuldades do saneamento rural no Brasil* (Texto para Discussão IPEA nº 2601). <https://doi.org/10.38116/td2601>
- Santos, J. P., [completar com os nomes dos coautores]. (2025). Saneamento e justiça ambiental: A aplicação de bacias de evapotranspiração em comunidades quilombolas. *Revista de Estudos Ambientais e Tradicionais*, 12(1), 88–105.
- Santos, M. (2006). *A natureza do espaço: Técnica e tempo, razão e emoção* (4. ed.). EdUSP.
- Silva, R. T., [completar com os nomes dos coautores]. (2025). Parâmetros climáticos e dimensionamento de sistemas BET: Uma análise baseada em temperatura e umidade relativa. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 30(2), 210–225. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220250042>
- Souza-Júnior, P. R. B., [completar com os nomes dos coautores]. (2015). Desenho da amostra da Pesquisa Nacional de Saúde 2013. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 24(2), 207–216. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200003>
- Universidade Federal de Minas Gerais & Fundação Nacional de Saúde. (2018). *PNSR em construção – Programa Nacional de Saneamento Rural*. <https://tinyurl.com/y5j3n7ql>
- Villwock, F. H., Athaydes, T. V. S., & Crispim, J. Q. (2015). Saneamento rural por meio de estação de tratamento de esgoto na comunidade Muquidão no município de Iretama–Paraná. In *Anais do 9º Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar* (pp. 4–8).

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Adriana Fanali: Elaboração, coleta, organização e análise dos dados, tabelas, gráficos, mapas, escrita e discussão; Mauro Parolin: Orientação e revisão; Jefferson de Queiróz Crispim: Orientação na coleta de dados.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) bolsa de Doutorado (Processo 88887.901226/2023-00), e bolsa Produtividade (Processo nº. 308093/2023-2).

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.

Uso de Inteligência Artificial: Os autores declaram que ferramenta de inteligência artificial generativa (Gemini) foi utilizada durante a preparação deste manuscrito exclusivamente para aprimoramento das imagens, estrutura linguística e organização textual. Nenhuma ferramenta de IA foi utilizada para gerar resultados científicos, interpretações ou conclusões. Os autores revisaram e aprovaram integralmente a versão final do manuscrito e assumem total responsabilidade pelo conteúdo apresentado.