

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

**Práticas sustentáveis de saneamento ecológico em
áreas rurais do município de Bonito - MS, com foco na
construção de círculos de bananeiras e fossas de
evapotranspiração (TEvap)**

Thyago Sabino de Moraes



UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

**Práticas sustentáveis de saneamento ecológico em
áreas rurais do município de Bonito - MS, com foco na
construção de círculos de bananeiras e fossas de
evapotranspiração (TEvap)**

Autor: Thyago Sabino de Moraes
Orientador: Dr. Filipe Martins Santos

"Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária da Universidade Católica Dom Bosco - Área de concentração: Saúde, Ambiente e Sustentabilidade"

Campo Grande
Mato Grosso do Sul
Fevereiro – 2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Bibliotecária Mourâmise de Moura Viana - CRB-1 3360

M827p Morais, Thyago Sabino de
 Práticas sustentáveis de saneamento ecológico em áreas
 rurais do município de Bonito - MS, com foco na construção
 de círculos de bananeiras e fossas de evapotranspiração
 (TEvap)/ Thyago Sabino de Morais sob orientação do
 Prof. Dr. Filipe Martins Santos.-- Campo Grande, MS
 : 2026.
 49 p.: il.

 Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade
 Agropecuária) - Universidade Católica Dom Bosco,
 Campo Grande-MS, 2026
 Bibliografia: p. 40-49

 1. Comunidades rurais. 2. Saneamento rural. 3. Tecnologias
 descentralizadas. 4. Políticas públicas. 5. Gestão
 ambiental I.Santos, Filipe Martins - Orient.. II.
 Título.

CDD: 628.098171

"Práticas Sustentáveis de Saneamento Ecológico em Áreas Rurais do Município de Bonito – MS, com Foco na Construção de Círculos de Bananeiras e Fossas de Evapotranspiração (TEvap)"

Autora: Thyago Sabino de Moraes

Orientador: Dr. Filipe Martins Santos

Titulação: Mestre em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária

Área de Concentração: Sustentabilidade Ambiental e Produtiva

Aprovada em 13 de fevereiro de 2026.

A presente defesa realizou de forma presencial na sala D-107, bloco Biosáude

Eu, Filipe Martins Santos, como presidente da banca, assinei a folha de aprovação com o consentimento de todos os membros.



Prof. Dr. Filipe Martins Santos – AGROAMBIENTAL/ UCDB

Prof. Dr. Nayara Yoshie Sano – AGROAMBIENTAL/UCDB

Profa. Dra. Micaella Lima Nogueira – PPG/DL - UCDB

EPÍGRAFE

“A ciência fundamenta os caminhos; a política pública deve consolidá-los como instrumentos aplicáveis para melhoria da qualidade de vida e proteção ambiental.”

Thyago Sabino

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio constante e pela compreensão ao longo de toda a trajetória acadêmica.

Aos amigos, que estiveram presentes durante esse percurso, contribuindo com apoio, trocas e incentivo nos diferentes momentos do processo.

Este trabalho é resultado de uma caminhada marcada por persistência e resiliência diante das dificuldades, refletindo o esforço contínuo para seguir adiante e concluir mais uma etapa da formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação representa a conclusão de uma importante etapa acadêmica e pessoal, construída a partir de uma trajetória marcada por esforço, aprendizado contínuo e apoio coletivo. Nenhum percurso científico se consolida de forma isolada, sendo este trabalho resultado direto da contribuição de diversas pessoas e instituições.

Agradeço, primeiramente, à minha família, pelo apoio incondicional ao longo de toda a caminhada acadêmica. Pelo incentivo constante e pela confiança depositada, mesmo diante dos desafios e incertezas inerentes ao processo de formação.

Ao meu orientador, expresso minha sincera gratidão pela orientação criteriosa, pelo rigor científico, pela disponibilidade e pelo compromisso com a construção de um trabalho consistente, crítico e socialmente responsável. A condução segura e o diálogo permanente foram essenciais para o amadurecimento acadêmico e metodológico desta dissertação.

Aos docentes do programa de pós-graduação, agradeço pelas contribuições teóricas e metodológicas, pelos debates qualificados e pelo estímulo ao pensamento crítico, que ampliaram minha compreensão sobre o tema e fortaleceram minha formação enquanto pesquisador.

Aos colegas do mestrado, registro meu agradecimento pela convivência, pela troca de experiências e pelo apoio mútuo ao longo dessa jornada. O compartilhamento de desafios e aprendizados demonstrou que a construção do conhecimento se fortalece no coletivo.

Aos amigos, agradeço pela compreensão, pelo incentivo e pelo apoio nos momentos decisivos, reafirmando a importância das relações humanas como suporte fundamental durante o percurso acadêmico.

Este trabalho também é fruto de uma formação que extrapola os limites da academia, marcada pelo contato com diferentes manifestações culturais e sociais que contribuíram para o desenvolvimento de uma visão crítica da realidade. Essas influências reforçaram a compreensão de que o conhecimento científico deve estar comprometido com a ética, à responsabilidade social e a transformação da realidade.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação. Que este trabalho represente não apenas a conclusão de um curso, mas também o fortalecimento do compromisso com a produção de conhecimento crítico, responsável e socialmente relevante.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Atualmente, Secretário Municipal de Meio Ambiente de Bonito, Mato Grosso do Sul, atuando na formulação, implementação e fortalecimento de políticas públicas ambientais no âmbito municipal, especialmente em territórios de elevada sensibilidade ambiental e relevância turística.

Formado em Ciências Biológicas, Bacharelado e Licenciatura, pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), e pós-graduado em Gestão Ambiental pela UNIDERP. Possui sólida experiência em gestão ambiental aplicada ao ordenamento territorial, conservação de recursos naturais e uso sustentável do meio ambiente.

Ao longo de sua trajetória profissional, acumulou longa experiência na gestão e no gerenciamento de atrativos e atividades turísticas em Bonito/MS, atuando diretamente no planejamento, controle, monitoramento e fiscalização de empreendimentos turísticos, com foco na compatibilização entre conservação ambiental, capacidade de carga, segurança dos visitantes e desenvolvimento econômico sustentável.

Atua de forma integrada com órgãos públicos, conselhos ambientais, setor produtivo e instituições parceiras, contribuindo para o fortalecimento da governança ambiental e para a preservação dos recursos naturais que sustentam o turismo e a qualidade de vida no município.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	6
1 Objetivo Geral	6
2. 2 Objetivos Específicos	6
3. REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Desenvolvimento Sustentável	7
3.2 Saneamento Básico	8
3.3 Saneamento em áreas rurais	8
3.4 Políticas públicas para Saneamento Rural	10
3.5 Saneamento Ecológico em Áreas Rurais: A Importância da Permacultura	12
3.6. Impactos socioambientais decorrentes da falta de saneamento	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1 Caracterização da área de estudo	17
4.1.2 Estância Mimosa	19
4.1.3 Comunidade Cristã Refúgio das Águias	20
4.2 Implementação de práticas de saneamento ecológico	20
4.2.1 Círculo de Bananeiras	22
4.2.2 Fossa de Evapotranspiração (TEvap)	24
5. RESULTADOS	29
6.DISSCUSSÃO	37
6.1 Diretrizes para Políticas Públicas de Saneamento Sustentável em Áreas Rurais	39
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
8. REFERÊNCIAS	43

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Limite do município e o perímetro urbano de Bonito MS.	15
Figura 2. Desenho esquemático do Círculo de Bananeira.	19
Figura 3. Abertura de uma vala com 1,0 metro de diâmetro e 1,0 metro de profundidade do Círculo de Bananeira.	19
Figura 4. Sistema de Círculo de Bananeira implantado, pronto para uso.	20
Figura 5. Desenho esquemático da Fossa de Evapotranspiração (TEvap).	21
Figura 6. (A) Duto de pneus e (B) preenchido com entulho de obra (tijolos, telhas e pedras) da Fossa de Evapotranspiração (TEvap).	22
Figura 7. Camada de (A) brita e (B) areia lavada da Fossa de Evapotranspiração (TEvap).	23
Figura 8. Fossa de Evapotranspiração (TEvap) finalizada.	24
Figura 9. Círculo de Bananeira implementado na Comunidade Cristã Refúgio das Águias.	26
Figura 10. Evolução dos custos com limpeza de fossas na Estância Mimosa entre 2015 e 2024, com destaque para a média móvel de 3 anos e os anos com maior e menor custo.	28

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Página

Tabela 1. Evolução dos custos com limpeza de fossas na Estância Mimosa entre 2015 e 2024, com destaque para a média móvel de 3 anos e os anos com maior e menor custo.	29
Quadro 1. Síntese de estudos que analisaram tecnologias de saneamento ecológico aplicadas ao tratamento descentralizado de efluentes domésticos	32

LISTA DE ABREVIATURAS

cm	Centímetro
COMTUR	Conselho Municipal de Turismo - Bonito
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
km	Quilômetro
MDSA	Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário
MI	Ministério da Integração Nacional
mm	Milímetro
MS	Mato Grosso do Sul
MS	Ministério da Saúde
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONGs	Organizações Não Governamentais
OTEB	Observatório do Turismo e Eventos de Bonito – MS
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PPA	Plano Plurianual
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SECTUR	Secretaria de Turismo e Desenvolvimento Econômico

SNIS Nacional de Informação sobre Saneamento

TEvap Fossa de Evapotranspiração

RESUMO

Desde a década de 1970, as questões ambientais têm adquirido crescente relevância em função dos impactos das atividades econômicas sobre os ecossistemas, impulsionando a busca por modelos de desenvolvimento capazes de conciliar crescimento, conservação ambiental e justiça social. Nesse contexto, o saneamento rural permanece como um dos principais desafios, embora apresente alternativas tecnológicas viáveis e adaptadas às especificidades territoriais. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da implementação de tecnologias de saneamento ecológico nos aspectos sanitários, ambientais e socioeconômicos, com ênfase nos Círculos de Bananeiras e nos Tanques de Evapotranspiração (TEvap), em duas localidades rurais do município de Bonito (MS). Na Comunidade Cristã Refúgio das Águias, foram implantadas, em 2021, cinco unidades de TEvap e cinco Círculos de Bananeiras distribuídos entre as residências existentes. A aceitação comunitária e o desempenho observado das tecnologias resultaram na ampliação das intervenções para 25 sistemas, evidenciando o potencial de replicabilidade do modelo. Na Estância Mimosa, empreendimento turístico de grande circulação, três Círculos de Bananeiras foram integrados ao sistema de fossas sépticas da cozinha principal, começando a operar em novembro de 2019. A análise dos custos anuais com limpeza de fossas sépticas no período de 2015 a 2024 revelou redução significativa após a adoção das tecnologias, com os menores valores registrados em 2021 e 2023 (R\$ 2.600,00), em contraste com o pico observado em 2017 (R\$ 10.200,00). A análise da média móvel confirmou a tendência de redução dos custos, atingindo o menor valor em 2024 (R\$ 2.883,33). Os resultados demonstram que as tecnologias de saneamento ecológico analisadas são eficazes na promoção de melhorias sanitárias, ambientais e econômicas em contextos rurais, além de fortalecerem a autonomia local e reduzirem a dependência de sistemas convencionais. As experiências estudadas evidenciam o potencial dessas práticas para subsidiar políticas públicas de saneamento sustentável, com possibilidade de replicação em áreas rurais e periurbanas.

Palavras-chave: Comunidades rurais; Gestão ambiental; Políticas públicas; Saneamento rural; Tecnologias descentralizadas;

ABSTRACT

Since the 1970s, environmental issues have increased its relevance due to the negative impacts of economic activities on ecosystems, driving the search for development models capable of reconciling economic growth, environmental conservation, and social justice. In this context, rural sanitation remains a major challenges, although it presents viable technological alternatives adapted to territorial specificities. This study aimed to evaluate the effects of implementing ecological sanitation technologies on sanitary, environmental, and socioeconomic aspects, with emphasis on Banana Circles and Evapotranspiration Tanks (TEvap), in two rural locations in the municipality of Bonito, Mato Grosso do Sul, Brazil. In the Refúgio das Águas Christian Community, five TEvap units and five Banana Circles were implemented in 2021 and distributed among existing households. Community acceptance and the observed performance of the technologies resulted in the expansion of system to 25 households, demonstrating the model's potential for replication. At Estância Mimosa, a high-traffic ecotourism enterprise, three Banana Circles were integrated into the septic system of the main kitchen and began operating in November 2019. An analysis of annual septic tank cleaning costs between 2015 and 2024 revealed a significant reduction following the adoption of the technologies, with the lowest costs recorded in 2021 and 2023 (R\$ 2,600.00), compared to a peak of R\$ 10,200.00 in 2017. The moving average analysis confirmed a downward trend in costs, reaching the lowest value in 2024 (R\$ 2,883.33). The results demonstrate that the ecological sanitation technologies analyzed are effective in promoting sanitary, environmental, and economic improvements in rural contexts, while strengthening local autonomy and reducing dependence on conventional systems. The experiences documented highlight the potential of these practices to support sustainable sanitation public policies aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) 3, 6, 11, 12, and 15, with applicability and replicability in rural and peri-urban areas.

Keywords: decentralized technologies; environmental management; public policies; rural communities; rural sanitation;

1.INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, as questões ambientais ganharam crescente destaque, especialmente devido aos impactos negativos das atividades econômicas sobre o meio ambiente. O crescimento econômico e a produção em larga escala resultaram em desmatamento, poluição e esgotamento de recursos naturais, ameaçando o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida (ROCKSTRÖM *et al.*, 2009; SACHS, 2015). Neste contexto, o desenvolvimento sustentável surge como uma abordagem essencial para mitigar esses impactos ambientais (MENEZES; MARTINS, 2021), destacando a necessidade de equilibrar crescimento econômico, justiça social e conservação ambiental (HAMILTON; NAIKAL, 2014; GOSSLING-GOIDSMTITHS, 2018; ZHAI; CHANG, 2019; BOFF, 2023).

Diante desse cenário global de pressões ambientais, desigualdades e limitações estruturais no saneamento, as Nações Unidas instituíram, no âmbito da Agenda 2030, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), concebidos para orientar ações integradas nas dimensões econômica, social e ambiental. No contexto deste estudo, destacam-se especialmente o ODS 6 (água potável e saneamento), diretamente relacionado ao acesso universal e ao manejo seguro da água; o ODS 3 (saúde e bem-estar), pela redução de riscos sanitários; o ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis), pela promoção de ambientes mais seguros e resilientes; o ODS 12 (consumo e produção responsáveis), devido à valorização de tecnologias de baixo impacto; e o ODS 15 (vida terrestre), por sua relação com a proteção dos ecossistemas. Esses objetivos, quando articulados, fornecem um marco teórico e estratégico para avaliar soluções de saneamento descentralizado e ecológico (MOREIRA *et al.*, 2019).

A gestão sustentável dos recursos hídricos, central no ODS 6, permanece um desafio global (EVARISTO *et al.*, 2023), especialmente em regiões rurais onde a ausência de infraestrutura formal de saneamento intensifica vulnerabilidades

socioambientais. A adoção de tecnologias baseadas na natureza, como os Tanques de Evapotranspiração (TEvap) e os Círculos de Bananeiras, contribui de maneira direta para melhorias sanitárias (ODS 3), ao reduzir riscos de contaminação hídrica; fortalecimento de comunidades sustentáveis (ODS 11), ao promover soluções de baixo custo, adaptáveis e de fácil manutenção; práticas responsáveis de manejo e reutilização (ODS 12), ao reinserir nutrientes na cadeia produtiva; e proteção dos ecossistemas terrestres (ODS 15), ao minimizar a descarga de efluentes no solo e em áreas sensíveis. Para que esses avanços sejam consolidados, são essenciais políticas públicas inclusivas, mecanismos de financiamento sustentáveis e estratégias de educação ambiental que ampliem a participação comunitária (UNITED NATIONS, 2025).

Apesar dos avanços observados no saneamento básico das áreas urbanas, as regiões rurais ainda apresentam carência significativa de infraestrutura essencial, como abastecimento de água potável e sistemas adequados de coleta e tratamento de esgoto (HELLER, 2018). Esses territórios enfrentam desafios persistentes para alcançar o acesso universal a serviços seguros e de qualidade, entre os quais se destacam a insuficiência de investimentos, a ausência de políticas públicas específicas, a dificuldade de operacionalização das soluções convencionais e a dispersão populacional, que eleva custos e limita a cobertura (BRASIL, 2020; FORTES *et al.*, 2024; ROLAND *et al.*, 2019).

Assim, políticas públicas bem estruturadas tornam-se fundamentais para transformar essa realidade (ROSA *et al.*, 2023). A superação desses desafios depende de programas direcionados, mecanismos de financiamento contínuo e estratégias planejadas para ampliar o acesso a serviços de saneamento de forma equitativa e sustentável nas áreas rurais (BRITO *et al.*, 2019; GONÇALVES; SANTOS, 2019).

O atendimento às comunidades rurais no sistema de saneamento é fundamental para garantir condições básicas de saúde e prevenir agravos associados à exposição a efluentes não tratados. O manejo inadequado de resíduos e águas residuárias pode contaminar o solo, os rios e os lençóis freáticos, ampliando o risco de doenças de veiculação hídrica e provocando danos ambientais de longa duração, muitas vezes de difícil reversão (MIRANDA *et al.*, 2017).

As tecnologias de saneamento ecológico baseadas em processos naturais são amplamente reconhecidas na literatura internacional como alternativas tecnicamente eficientes para o tratamento descentralizado de efluentes, especialmente em áreas rurais e ambientalmente sensíveis (WANG *et al.*, 2016). Destacam-se os Círculos de Bananeiras, aplicados ao tratamento de águas cinzas e alinhados ao desempenho de sistemas vegetados para efluentes domésticos (SUN *et al.*, 2014; PERDANA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2024), e os Tanques de Evapotranspiração (TEvap), destinados ao tratamento de águas negras em estruturas fechadas que impedem a infiltração no solo (GALBIATI, 2009). Esses sistemas integram processos físicos, biológicos e vegetativos, promovendo a redução da carga orgânica e a retenção de nutrientes, com elevada eficiência sanitária e baixo risco de contaminação ambiental, sobretudo onde soluções convencionais são técnicas ou economicamente inviáveis (BORIN *et al.*, 2011; CURNEEN; GILL, 2016; PAULO *et al.*, 2019).

No âmbito dos sistemas descentralizados de saneamento ecológico fundamentados na permacultura, a bananeira (*Musa spp.*) constitui elemento fitotécnico estratégico em arranjos como a fossa de evapotranspiração (TEvap), sistematizada por Tom Watson, e os círculos de bananeiras, difundidos a partir dos princípios estabelecidos por Bill Mollison e David Holmgren. A espécie apresenta elevada taxa de crescimento, metabolismo fotossintético C3 e expressiva produção de biomassa, associadas a sistema radicular fasciculado, denso e predominantemente superficial (0–40 cm), o que potencializa a absorção de água e nutrientes em zonas com alta disponibilidade de matéria orgânica (EMBRAPA, 2012; FAO, 2019). Em sistemas TEvap, a bananeira exerce função central no balanço hídrico, atuando na remoção de volumes significativos de água por evapotranspiração, contribuindo para a manutenção do sistema fechado e impermeabilizado e mitigando riscos de percolação e contaminação do solo e do aquífero (Watson, 2007; Galbiati, 2009). Sua elevada exigência nutricional, especialmente quanto a nitrogênio e potássio, favorece a assimilação de nutrientes oriundos da mineralização da matéria orgânica do efluente primário, promovendo ciclagem eficiente e incremento da estabilidade do sistema (Mollison, 1988; Holmgren, 2002). Nos círculos de bananeiras, a espécie desempenha função

estruturante na dinâmica de infiltração e na degradação aeróbia da matéria orgânica das águas cinzas, intensificando processos de humificação, retenção de umidade e formação de microclimas produtivos, articulando saneamento ecológico, produção agrícola e regeneração ambiental (FAO, 2019).

A intensificação das atividades de ecoturismo provoca um fluxo elevado e contínuo de visitantes, aumentando a geração de efluentes e a produção de resíduos sólidos. Esse cenário exige sistemas mais eficientes de manejo e tratamento, especialmente em áreas que possuem elevada sensibilidade ambiental e grande atratividade devido às suas características naturais singulares (LIMA *et al.*, 2020). O saneamento rural, embora seja um desafio de alta complexidade, pode ser ampliado e aprimorado por meio do engajamento entre governo, sociedade civil e setor privado. A formulação e implementação de políticas públicas específicas, aliadas à participação ativa das comunidades locais, são fundamentais para garantir o acesso universal e seguro aos serviços de saneamento em territórios rurais (ALMEIDA; SILVA, 2016).

A ausência de previsão normativa específica para tecnologias descentralizadas de saneamento ecológico no Manual Técnico de Licenciamento do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul evidencia uma lacuna de legalidade que compromete a segurança jurídica dos empreendedores e do próprio órgão ambiental. Observa-se que sistemas como as bacias de evapotranspiração (TEvap) e os círculos de bananeiras, amplamente reconhecidos no âmbito do saneamento ecológico por sua eficiência no tratamento local de efluentes domésticos, não encontram enquadramento claro nos procedimentos administrativos padronizados, tampouco possuem critérios técnicos objetivos definidos para fins de licenciamento ambiental. Tal omissão afronta o princípio da legalidade administrativa, previsto no art. 37 da Constituição Federal, segundo o qual a Administração Pública somente pode agir conforme autorização normativa expressa, bem como compromete os princípios da segurança jurídica e da eficiência. A inexistência de regulamentação específica induz a decisões casuísticas, interpretações divergentes e entraves burocráticos desproporcionais, especialmente em áreas rurais e municípios de pequeno porte, onde essas soluções representam

alternativas sustentáveis e de baixo custo, alinhadas às diretrizes da Lei nº 11.445/2007 (Política Nacional de Saneamento Básico). Nesse contexto, torna-se imprescindível a revisão e atualização do manual técnico estadual, de modo a incorporar parâmetros normativos claros, critérios de dimensionamento e diretrizes procedimentais compatíveis com as tecnologias sociais de saneamento ecológico, conferindo-lhes respaldo jurídico e previsibilidade administrativa.

2. OBJETIVOS

2. 1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da implementação de práticas de saneamento ecológico aspectos sanitários, ambientais e socioeconômicos, com ênfase na construção de círculos de bananeiras e fossas de evapotranspiração (TEvap), em duas localidades rurais do município de Bonito – MS.

2. 2 Objetivos Específicos

- (1) Implantar e acompanhar a efetividade de círculos de bananeiras e fossas de evapotranspiração (TEvap) na Comunidade Cristã Refúgio das Águas e na Estância Mimosa.
- (2) Avaliar os impactos das tecnologias aplicadas sobre os custos operacionais, a percepção dos usuários e a proteção dos recursos hídricos locais.
- (3) Apresentar referências bibliográficas que atestam e comprovam a eficiência dos círculos de bananeiras e Tevap's.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Desenvolvimento Sustentável

O desenvolvimento sustentável pode ser definido como o processo de crescimento econômico e social que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem as suas próprias necessidades (RUGGERIO, 2021; MENSAH, 2019). Este conceito, amplamente reconhecido, foi formalizado pela primeira vez no relatório da Comissão Brundtland, intitulado *Nosso Futuro Comum* (WCED, 1987).

O conceito de desenvolvimento sustentável é firmado por três pilares fundamentais (TAYLOR, 2016). O pilar econômico enfatiza a promoção de um crescimento econômico equilibrado e inclusivo (PURVIS *et al.*, 2019), garantindo oportunidades de desenvolvimento para todas as camadas da sociedade (ZHAI; CHANG, 2019). O pilar social busca a redução das desigualdades e a melhoria da qualidade de vida (LITTIG; GRIEBLER, 2005), assegurando direitos básicos e justiça social (GRAY, 2010; GUO, 2017). Por fim, o pilar ambiental foca na conservação e gestão sustentável dos recursos naturais (CAMPAGNOLO *et al.*, 2018), promovendo práticas que assegurem a preservação do meio ambiente para as gerações futuras (SACHS *et al.*, 2010).

O desenvolvimento sustentável em áreas rurais é essencial para promover um futuro equilibrado e justo. Ao adotar práticas que respeitem os recursos naturais, promovam a equidade social e incentivem o crescimento econômico, o eixo de saneamento básico em áreas rurais torna-se uma questão crucial. A falta de saneamento adequado afeta desproporcionalmente as comunidades rurais, resultando em impactos negativos na saúde pública, na preservação ambiental e no desenvolvimento socioeconômico (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019).

3.2 Saneamento Básico

É de amplo conhecimento que o saneamento básico é um dos temas de maior importância para o desenvolvimento da qualidade de vida da população de um país (CASTRO; CEREZINI, 2023). No Brasil, apesar dos grandes avanços nos últimos séculos, ainda enfrentamos grandes desafios nessa área, especialmente nas áreas rurais (DORNFELD *et al.*, 2018; VITOR *et al.*, 2021; NOBERTO 2022). Entre os principais gargalos, podemos definir a falta de infraestrutura adequada para o tratamento de água e do esgoto propriamente dito. Quando olhamos na perspectiva das áreas rurais, a problemática se mostra maior. Muitas comunidades rurais não contam com sistemas de abastecimento de água potável ou qualquer forma de tratamento de seus dejetos, o que diretamente acarreta problemas de saúde pública por meio da contaminação direta da água (HELLER *et al.*, 2020). A ausência de tratamento adequado da água e do esgoto favorece a disseminação de doenças de veiculação hídrica, como a hepatite A e a leptospirose, que representam riscos significativos à saúde das comunidades expostas a condições sanitárias precárias (CASTRO *et al.*, 2016; REIS *et al.*, 2020).

Outro grande desafio enfrentado no Brasil é a falta de políticas públicas eficazes para a universalização do saneamento básico. Segundo dados do Instituto Trata Brasil, apenas 46,3% da população rural tem acesso a serviços de coleta de esgoto, e apenas 17,3% das residências rurais estão ligadas à rede de esgoto (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2022). Para enfrentar essas limitações, é fundamental a atuação articulada entre governo, iniciativa privada e sociedade civil, por meio do fortalecimento de políticas públicas que incentivem a universalização dos serviços de saneamento, bem como da adoção de soluções práticas, eficientes e de baixo custo, capazes de promover segurança sanitária e ambiental em comunidades onde a infraestrutura convencional de saneamento é insuficiente ou inexistente (CASANOVA; COSTA, 2020).

3.3 Saneamento em áreas rurais

A ausência de critérios claros para a distinção entre áreas rurais e urbanas no Brasil, bem como a consideração insuficiente das dinâmicas demográficas, frequentemente marcadas por controvérsias, compromete a formulação de políticas

públicas adequadas, podendo resultar em ações limitadas, inadequadas ou ineficazes para esses territórios (SILVA; ZANCUN, 2012). A definição do rural fica mais confusa quando se observam as novas características do campo, como a intensificação da pluriatividade, o aumento de atividades não agrícolas em áreas rurais, como (i) serviços e indústrias, (ii) modernização e mecanização da atividade agropecuária, (iii) e os movimentos socioterritoriais no campo. De acordo com Reis (2006), a expansão do território urbano sobre as áreas rurais e o crescimento do número de pessoas ocupadas em atividades consideradas até então como exclusivamente urbanas indicam a existência de um novo paradigma socioespacial no Brasil.

Segundo a legislação brasileira vigente, não existem parâmetros quantitativos nacionais, como número mínimo de habitantes ou densidade demográfica, que estabeleçam de forma objetiva a distinção entre áreas urbanas e rurais. A definição do perímetro urbano é atribuída à legislação municipal, conforme previsto na Constituição Federal de 1988 e no Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), cabendo a cada município delimitar seu espaço urbano por meio de instrumentos legais, como o Plano Diretor. Dessa forma, não há um critério único em âmbito nacional para estabelecer a fronteira entre o urbano e o rural, o que pode gerar inconsistências e limitações na formulação e implementação de políticas públicas voltadas a esses territórios (COSTA; NARDELLI, 2009; IBGE, 2011).

O Programa Nacional de Saneamento Rural estima que a população rural do Brasil seja de aproximadamente 39,9 milhões de pessoas (BRASIL, 2019). Esse contingente expressivo evidencia a relevância do saneamento rural como política pública estratégica. Nas áreas rurais, observa-se ampla diversidade social, cultural, ambiental e econômica, o que demanda estratégias específicas, fundamentadas em abordagens diferenciadas quanto às tecnologias adotadas, aos modelos de gestão e às práticas de educação e mobilização social (FUNASA, 2011).

Nas áreas rurais, as noções de direitos e deveres em relação ao saneamento se confundem com o aumento das dimensões das propriedades privadas em relação ao espaço público. A menor inoperância e ausência do poder público no território (por meio de órgãos de apoio a ações públicas e de manutenção de infraestruturas) tende a confundir a noção de direitos e deveres em um meio social. Por se tratar de uma área vista e contemplada pelo poder público recentemente, sofre com ações e

políticas instáveis e descontínuas, fazendo com que a população residente nesses locais viva distante de alcançar legitimidade de representação em uma arena desequilibrada entre os diferentes grupos de interesse (SILVA, 2017).

O cenário brasileiro rural não é muito diferente, dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) de 2017 apontam que 16,6% da população não tem acesso à água e 47,6% não têm coleta de esgoto (BRASIL, 2017). Nas áreas rurais, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) do ano de 2014 reforça que apenas 33,4% do abastecimento de água está ligado à rede (IBGE, 2014); no restante dos domicílios, o abastecimento de água é proveniente de outras fontes, como poços diversos, rios, reservatórios etc. Em se tratando de esgotamento sanitário no meio rural, 49,9% dos domicílios apresentam como forma de esgotamento sanitário a fossa rudimentar, seguidos por 23,5% com fossa séptica, outros 18,7% com outras soluções e apenas 7,8% ligados à rede coletora. Já em relação à coleta de resíduos sólidos dos domicílios rurais, 64,8% dos resíduos sólidos têm destino diverso, outros 27% dos domicílios têm coleta direta, seguidos por 8,2% com coleta indireta (SNIS, 2017; PNAD, 2014).

3.4 Políticas públicas para Saneamento Rural

As comunidades rurais, em geral, apresentam características singulares, especialmente no que se refere à sua organização e valores culturais, o que as torna diferentes dos agrupamentos presentes no espaço urbano. Para que as ações de saneamento sejam efetivas e sólidas nesses locais, faz-se necessário o uso de instrumentos capazes de tornar a compreensão da diversidade existente e a participação social como eixos centrais para aceitação e implantação de determinadas práticas (SANTOS *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020). Nesse contexto, entender a forma como os governos se organizam e atuam é fundamental para superar os desafios de implantação de sistemas de saneamento adequados para cada realidade rural.

As políticas públicas voltadas ao saneamento rural no Brasil têm sido incorporadas aos instrumentos de planejamento do Governo Federal, com destaque nos Planos Plurianuais (PPA) elaborados entre os períodos de 2004 a 2019, especialmente por meio de programas executados pela Fundação Nacional de

Saúde (FUNASA) (Brasil, 2004; 2008; 2012; 2016; FUNASA, 2019). A partir disto, evidencia-se a baixa atenção destinada ao atendimento das áreas rurais e o “empurra-empurra” de competências entre os diferentes órgãos do poder, uma vez que as ações relacionadas ao saneamento rural se encontram entre diferentes “pastas” do governo e muitas vezes não são específicas para execução em áreas rurais, sendo também aplicadas nas áreas urbanas (ALMEIDA *et al.*, 2016; GONÇALVES; SANTOS, 2019).

A Constituição Federal estabelece que toda ação governamental do Poder Executivo, em todas as suas esferas (federal, estadual e municipal), seja previamente definida e orçada, com edição na forma de Lei e sendo votada nas casas legislativas de cada esfera (BRITO *et al.*, 2019). São diversos instrumentos de planejamento de políticas públicas, dentre eles o Plano Plurianual (PPA). Este, por sua vez, trata-se de um plano de médio prazo, que define as prioridades estratégicas dos governos durante o período de quatro anos, devendo ser elaborado no primeiro ano de mandato, com validade até o primeiro ano do próximo governo. No PPA, devem ser explicitados os programas que serão desenvolvidos, detalhando-se seus respectivos objetivos e metas.

Apesar da Lei Federal nº 11.445/2007 (Brasil, 2007) estabelecer o conceito de Saneamento Básico composto por quatro componentes, as metas para as áreas rurais do Plano Plurianual 2012-2015/2016-2019 (Programa 2068): “Saneamento Básico”, contemplam apenas ações de abastecimento de água e esgotamento sanitário. No que tange às políticas de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais, os Planos Plurianuais não abordam a atuação nas áreas rurais e comunidades tradicionais. Assim, nota-se a ausência em sua integralidade do planejamento das ações voltadas para questões pertinentes ao saneamento rural.

No período de 2004 a 2018, o Ministério da Saúde (MS), o Ministério da Integração Nacional (MI), o Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário (MDSA) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) destacam-se como principais órgãos do Governo Federal na realização de ações de saneamento rural nas diversas regiões brasileiras. Além dos referidos Ministérios, cabe mencionar também a atuação do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), que tem realizado, de forma suplementar, ações de saneamento básico em assentamentos da reforma

agrária. Trata-se de uma atuação supletiva, uma vez que não faz parte da missão do INCRA executar ações de infraestrutura (MIRANDA *et al.*, 2017).

3.5 Saneamento Ecológico em Áreas Rurais: A Importância da Permacultura

Quando pensamos em saneamento, muitas vezes associamos esse termo a sistemas de tratamento de água e esgoto em áreas urbanas. No entanto, o saneamento ecológico (LANGERGRABER; MUELLEGGGER 2005; WERNER *et al.*, 2009; HU *et al.*, 2016) em áreas rurais é igualmente importante e pode ser uma solução sustentável para garantir a saúde e o bem-estar das comunidades que vivem longe dos centros urbanos.

A permacultura, uma abordagem de design sustentável que busca desenvolver sistemas que sejam ecologicamente saudáveis, economicamente viáveis e socialmente justos, pode desempenhar um papel fundamental na implementação de soluções de saneamento ecológico em áreas rurais (RAFTER, 2017; AZEREDO, 2020). Ao integrar princípios de reciclagem de nutrientes, uso eficiente de recursos e respeito ao meio ambiente, a permacultura pode ajudar a criar sistemas de saneamento que sejam eficazes e sustentáveis a longo prazo.

Uma das principais vantagens do saneamento ecológico em áreas rurais é a redução do impacto ambiental causado pelos sistemas convencionais de tratamento de água e esgoto. Em vez de depender de produtos químicos e energia para tratar os resíduos, os sistemas de saneamento ecológico podem utilizar métodos naturais, como a filtragem por plantas aquáticas para purificar a água e devolvê-la ao meio ambiente sem contaminantes (CRITES; TCHOBANOGLIOUS, 1998; ALVES *et al.*, 2019).

O saneamento ecológico em áreas rurais contribui diretamente para a melhoria da qualidade de vida das comunidades locais, ao favorecer a gestão adequada dos recursos hídricos, a proteção ambiental e a redução de riscos à saúde pública. Esses sistemas auxiliam na prevenção de doenças de veiculação hídrica e promovem condições mais seguras de saúde e bem-estar em populações afastadas dos centros urbanos, configurando-se como uma alternativa eficaz para o atendimento sanitário em contextos rurais. Ao integrar princípios de permacultura e promover a gestão sustentável dos recursos naturais, podemos criar sistemas de

saneamento que sejam ecologicamente saudáveis, economicamente viáveis e socialmente justos.

3.6. Impactos socioambientais decorrentes da falta de saneamento

De acordo com o artigo 1º da resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986 (Brasil, 1986), impacto ambiental é definido como:

“Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.”

A deficiência dos serviços de saneamento básico tem grande relação e está diretamente ligada a questões de saúde pública e degradação do meio ambiente (BARTRAM; CAIRNCROSS, 2010). A falta de saneamento e a precariedade dos serviços contribuem para o aumento e incidência de infecções de origem presumível (ALMEIDA *et al.*, 2024). A ausência do saneamento é a principal causa de degradação ambiental das bacias hidrográficas brasileiras, principalmente daquelas onde estão situadas grandes metrópoles (HELLER *et al.*, 2014). Essa situação de carência permite a disseminação de doenças de veiculação hídrica, com impactos negativos em campos complexos como educação, trabalho, economia, biodiversidade, disponibilidade hídrica e outros.

A precariedade do saneamento básico, já observada nos centros urbanos, torna-se ainda mais acentuada nas áreas rurais. Dados do Instituto Trata Brasil indicam que apenas 32,8% dos municípios rurais contam com serviço de abastecimento de água, enquanto nas áreas urbanas esse percentual alcança 93%. No que se refere ao esgotamento sanitário, a disparidade é igualmente expressiva: somente 26% dos municípios rurais dispõem de algum tipo de atendimento, em contraste com 91,9% das zonas urbanas (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2022).

O saneamento básico constitui um serviço essencial que, assim como a saúde e a educação, exerce influência direta e imediata sobre a qualidade de vida

da população. Sua abrangência relaciona-se a aspectos fundamentais como habitação, alimentação, saúde pública e condições de trabalho, evidenciando que o saneamento permeia múltiplas dimensões da vida humana. Sob essa perspectiva, o saneamento básico configura-se como um serviço indispensável à dignidade humana e, portanto, como um direito fundamental (MENEGAT, 2022).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, com abordagem qualitativa e quantitativa, de natureza aplicada e caráter descritivo-analítico. O estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da implementação de tecnologias de saneamento ecológico Tanques de Evapotranspiração (TEvap) e Círculos de Bananeiras, em dois contextos rurais distintos no município de Bonito (MS), considerando aspectos sanitários, ambientais e socioeconômicos. Foram selecionadas duas áreas rurais com características e usos distintos: a Comunidade Cristã Refúgio das Águias, de caráter residencial comunitário; a Estância Mimosa, empreendimento turístico com fluxo contínuo de visitantes. A caracterização incluiu localização, distância do centro urbano, número de usuários, tipo de ocupação, atividades desenvolvidas e condições prévias de saneamento.

Para a implantação de Tanques de Evapotranspiração (TEvap) e Círculos de Bananeiras, os critérios técnicos relacionados a solo, altitude (cota topográfica) e áreas úmidas são determinantes para a eficiência do sistema e para a prevenção de impactos ambientais.

Quanto ao solo, recomenda-se a instalação em solos com boa estabilidade estrutural e capacidade de suporte, evitando-se solos excessivamente arenosos (alta permeabilidade e risco de percolação indesejada) e solos hidromórficos ou permanentemente saturados. No caso da TEvap, por se tratar de sistema impermeabilizado, é fundamental que o solo apresente condições geotécnicas adequadas para evitar recalques e rompimentos da estrutura, além de estar acima do nível máximo do lençol freático. Para Círculos de Bananeiras, é imprescindível solo com capacidade de infiltração moderada, permitindo absorção das águas cinzas sem formação de poças ou escoamento superficial. Recomenda-se a realização prévia de teste de infiltração e análise tátil-visual do perfil do solo.

Quanto à altitude/cota topográfica, os sistemas devem ser implantados em nível superior ao lençol freático e fora de áreas sujeitas a alagamentos sazonais. A cota deve permitir escoamento gravitacional do efluente desde a edificação até o sistema, evitando bombeamento sempre que possível. Também se recomenda evitar implantação em áreas de declividade acentuada (superior a 20%), reduzindo riscos de instabilidade, erosão e exposição da estrutura.

Quanto às áreas úmidas, é vedada a instalação em zonas de veredas, banhados, margens de cursos d'água ou em solos caracterizados como gleissolos e demais solos hidromórficos. Deve-se respeitar distanciamento mínimo de corpos hídricos superficiais e captações subterrâneas, prevenindo contaminação difusa. A implantação deve priorizar áreas já antropizadas, fora de corredores ecológicos e sem interferência direta em vegetação nativa protegida.

A observância desses critérios assegura o adequado funcionamento hidráulico e biológico dos sistemas, reduz riscos sanitários e garante conformidade com princípios da engenharia sanitária e da legislação ambiental aplicável. Diante disto, realizou-se um diagnóstico inicial das condições de saneamento existentes em cada área, contemplando:

1. Identificação das fontes geradoras de efluentes;
2. Distinção entre águas negras e águas cinzas;
3. Verificação dos sistemas de tratamento previamente existentes;
4. Análise das limitações técnicas e operacionais dos sistemas convencionais.
5. Com base no diagnóstico, foram definidas as tecnologias a serem implantadas:
6. Tanques de Evapotranspiração (TEvap) destinados ao tratamento das águas negras;
7. Círculos de Bananeiras destinados ao tratamento das águas cinzas, precedidos por caixa de gordura quando necessário.

A escolha considerou critérios técnicos, ambientais, disponibilidade de área, número de usuários e adequação às condições locais.

4.1 Caracterização da área de estudo

O município de Bonito está inserido em uma região identificada como Serra da Bodoquena, que compreende também os municípios de Bodoquena e Jardim, localizado na região sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1). A Serra da Bodoquena possui características físicas que compõem uma paisagem natural frágil e de interesse turístico. A vegetação existente nesta região varia conforme o tipo de solo, sendo encontradas vegetações típicas de Cerrado, Cerradão, Campo Cerrado e Campo Limpo, além da ocorrência de floresta estacional semidecidual e floresta estacional decidual. O território onde se localiza Bonito e a Serra da Bodoquena apresenta rochas calcárias que estão inseridas geologicamente no Grupo Corumbá (BOGGIANI, 1999). A presença de rochas calcárias é fator de grande relevância na geomorfologia local, pois favorece a formação de grutas e um entremeado de lençóis freáticos subterrâneos que caracterizam os atrativos naturais do município e região (ALMEIDA, 1965).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE 2022, a população de Bonito é de 23.659 habitantes. A área do município é de 5.373,016 km², o que o coloca na posição 17 de 79 entre os municípios do estado e 277 de 5570 entre todos os municípios do país. O município também se destaca pela presença de nove unidades de conservação oficialmente reconhecidas em seu território, das quais uma é federal — o Parque Nacional da Serra da Bodoquena —, duas são estaduais — o Monumento Natural Gruta do Lago Azul e o Monumento Natural do Rio Formoso — e seis são de caráter privado, classificadas como Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs): Estância Mimosa, Fazenda da Barra, Fazenda São Geraldo, Santuário, Reserva do Saci e Rancho do Tucano.

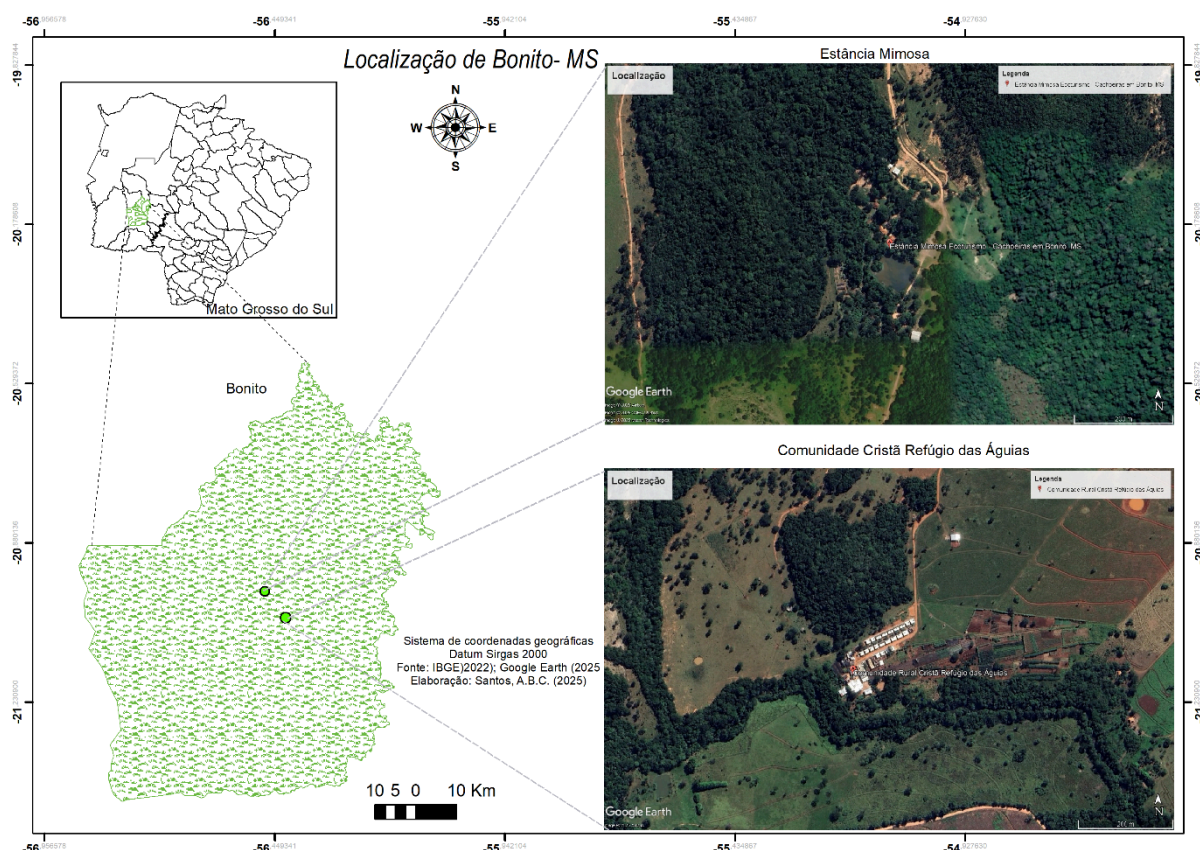


Figura 1. Limite do município e localização da Estância Mimosa e Comunidade Cristã Refúgio das Águas, Bonito MS.

A principal atração turística de Bonito e região está diretamente associada à sua rede de drenagem, inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai, especificamente na Sub-bacia dos rios Miranda e Aquidauana. Entre os principais cursos d'água que sustentam essa dinâmica estão o Rio Miranda, Rio Formoso e Rio da Prata. No âmbito municipal, destacam-se ainda os rios do Peixe, Formoso, Mimoso e Sucuri, os quais desempenham papel estratégico no desenvolvimento da atividade turística local. Corpos hídricos como os córregos Bonito, Restinga e Saladeiro, este último situado nas proximidades da área urbana, também exercem influência significativa, sobretudo como afluentes do Rio Formoso. Um marco importante na projeção turística de Bonito ocorreu em 1992, com a realização da Expedição Franco-Brasileira, que trouxe à luz diversas informações e descobertas científicas sobre a região. A ampla divulgação dessas descobertas pela mídia, com ênfase na Gruta do Lago Azul, contribuiu de forma decisiva para a inserção de

Bonito no cenário nacional e internacional como destino turístico de relevância (TRENTIN; SANSOLO, 2006).

Desde então, o turismo tem apresentado crescimento contínuo, acompanhado da ampliação da infraestrutura de hospedagem, alimentação e lazer, bem como do aumento e diversificação de atrativos naturais e culturais. Paralelamente, observa-se a organização de associações e segmentos ligados ao turismo, com foco na qualificação da gestão do destino e na mitigação dos impactos, positivos e negativos, inerentes à atividade turística.

4.1.2 Estância Mimosa

A Estância Mimosa é uma propriedade rural localizada no município de Bonito, Mato Grosso do Sul, inserida em um território reconhecido nacional e internacionalmente pela relevância de suas atividades de ecoturismo. De acordo com informações institucionais do empreendimento, a propriedade foi adquirida em 1998 com o objetivo de conservação ambiental e desenvolvimento de atividades turísticas, iniciando suas operações no segmento de ecoturismo em 1999. As atividades desenvolvidas na Estância Mimosa têm como diretriz a oferta de experiências turísticas pautadas em princípios de sustentabilidade, segurança e respeito ao meio ambiente, alinhadas ao perfil ecológico do destino turístico de Bonito.

A operação turística da Estância Mimosa está associada às características ambientais da RPPN onde se insere, marcada pela presença de biodiversidade e por elementos naturais como cursos d'água e cachoeiras. Essas condições possibilitam a realização de atividades de visitação e interação controlada com o ambiente natural. A abertura da área à visitação tem como finalidade contribuir para a sensibilização ambiental dos visitantes e evidenciar o papel das RPPNs como instrumentos de conservação voluntária. Nesse contexto, o ecoturismo é empregado como uma estratégia de uso do território que concilia atividades econômicas com a manutenção dos recursos naturais, sem comprometer suas funções ambientais.

A oficialização da RPPN Estância Mimosa ocorreu em 14 de fevereiro de 2013, por meio da Resolução SEMAC nº 03/2013 (BRASIL, 2013), estabelecendo a proteção de uma área de 271,7588 hectares, correspondente a aproximadamente

65% da área total da propriedade. A delimitação e o cálculo da área protegida baseiam-se nos registros georreferenciados do processo de criação da RPPN, conforme documentação ambiental apresentada ao órgão licenciador estadual. A reserva compreende fragmentos expressivos de mata ciliar e áreas associadas ao relevo ao longo do Rio Mimoso, contribuindo para a manutenção das funções ambientais locais. As atividades turísticas desenvolvidas incluem trilhas com acesso a cachoeiras, passeios a cavalo e observação de aves, com um fluxo anual estimado em cerca de 18 mil visitantes, conforme registros operacionais do empreendimento (ESTÂNCIA MIMOSA, 2024).

4.1.3 Comunidade Cristã Refúgio das Águias

A Comunidade Cristã Refúgio das Águias está situada em uma área de 55 ha às margens do Rio Mimoso, no município de Bonito, Mato Grosso do Sul, a aproximadamente 22 km do centro urbano. A comunidade é composta por 156 pessoas, provenientes de diferentes núcleos familiares, que, por afinidade de princípios e estilo de vida, constituem uma unidade social coesa. Os membros da comunidade são majoritariamente originários do interior do estado do Espírito Santo e migraram para a região de Bonito com o objetivo de estabelecer um modo de vida comunitário pautado na autossuficiência, na organização coletiva e na relação responsável com o ambiente, conforme informações institucionais da própria comunidade.

A organização social da comunidade envolve a cooperação entre seus membros e a divisão de tarefas orientadas à manutenção das atividades coletivas, o que reflete padrões de interação social observados em estudos de comunidades rurais, nos quais relações de apoio mútuo e organização coletiva são elementares para o funcionamento das atividades cotidianas (ZHANG; LI, 2024). Os próprios moradores fabricam os tijolos utilizados na construção das moradias, cultivam frutas e hortaliças destinadas ao consumo interno e produzem pães e bolos que complementam a renda local. A comercialização desses produtos ocorre em estabelecimentos comerciais da cidade de Bonito, bem como em pontos de venda comunitários, como a feira municipal.

4.2 Implementação de práticas de saneamento ecológico

A presente etapa do estudo consistiu na implementação de práticas de saneamento ecológico em duas propriedades rurais do município de Bonito (MS), previamente caracterizadas: a Estância Mimosa, empreendimento de ecoturismo, e a Comunidade Cristã Refúgio das Águias, organização comunitária baseada em princípios de autossuficiência. Inicialmente, foi realizado um levantamento das condições de saneamento de ambos locais, onde se identificou que em ambos por estarem localizado em zona rural, fora de área atendida por rede pública de esgoto, o sistema de tratamento é individualizado, feito através de fossas sépticas. Na Estância Mimosa esse sistema está dimensionado conforme a capacidade de carga do atrativo (150pessoas/dia). O atrativo opera mediante licenciamento ambiental junto ao órgão estadual competente, o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL), que estabelece condicionantes relacionadas ao saneamento, controle de efluentes, monitoramento ambiental e capacidade de visitação. Na Comunidade, considerando que o município está inserido em região de elevada fragilidade ambiental, com aquíferos cársticos e cursos d'água de alta transparência, eventuais sistemas rudimentares ou mal dimensionados, a permanência e estabelecimento em no território dependia de uma solução adequada e eficaz para os efluentes que ali seriam gerados. As fossas sépticas que era a solução adotada no primeiro momento se mostrou de forma ineficiente uma vez constatada uma alta impermeabilidade do solo, fazendo com que essas fossas transbordassem com maior facilidade.

Um princípio técnico essencial para a implantação das tecnologias de saneamento ecológico consiste na separação dos efluentes domésticos em águas negras e águas cinzas, considerando que esses fluxos apresentam composições distintas e demandam estratégias específicas de tratamento (TILLEY *et al.*, 2014; WHO, 2018). As águas negras, provenientes dos sanitários, foram destinadas aos Tanques de Evapotranspiração (TEvap), sistema indicado para o tratamento descentralizado desse tipo de efluente, operando em estruturas fechadas que favorecem a estabilização da matéria orgânica e minimizam riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas (JENSSEN *et al.*, 2004). As águas cinzas, oriundas de pias, tanques e chuveiros, foram direcionadas a um sistema complementar de tratamento composto por Círculos de Bananeiras, precedido por

caixa de gordura, medida recomendada como pré-tratamento para retenção de óleos, graxas e sólidos, contribuindo para a eficiência hidráulica e operacional do sistema (MOREL; DIENER, 2006).

Com base nesse diagnóstico, foram implementadas duas tecnologias de permacultura voltadas ao tratamento de águas negras e cinzas: os Círculos de Bananeiras e os TEvap. Tais técnicas foram escolhidas por sua adequação ao contexto rural, simplicidade de construção, baixo custo e alta eficiência no tratamento descentralizado de efluentes domésticos.

4.2.1 Círculo de Bananeiras

O Círculo de Bananeiras (Figura 2) é uma tecnologia de permacultura aplicada ao tratamento de águas cinzas, sendo reconhecida por sua simplicidade construtiva, baixo custo e eficácia ambiental (SILVA *et al.*, 2024). As águas cinzas, oriundas de pias, chuveiros e tanques, são direcionadas a esse sistema, impedindo seu lançamento direto no solo ou em corpos d'água, o que mitigaria potenciais impactos ambientais (MAGALHÃES FILHO *et al.*, 2018).

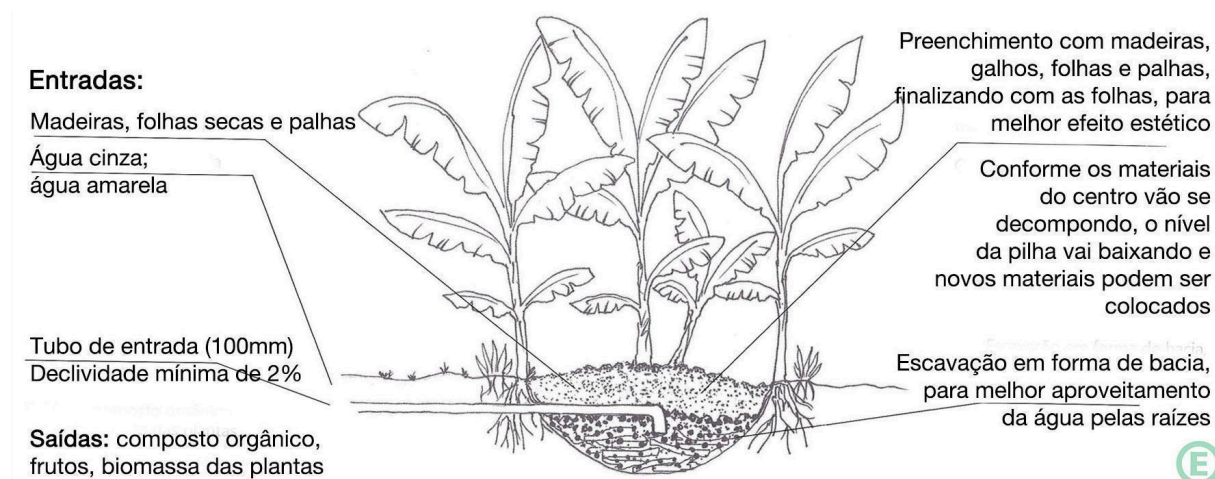


Figura 2. Esquema ilustrativo do Círculo de Bananeiras, sistema de tratamento descentralizado de águas cinzas, composto por uma escavação circular preenchida com camadas de material orgânico e mineral, destinada à infiltração controlada e ao aproveitamento de nutrientes por plantas de grande demanda hídrica, como bananeiras. O sistema favorece processos físicos, biológicos e vegetativos para a redução da carga orgânica dos efluentes.

Fonte: Baseado em Soluções sustentáveis de saneamento (SustentArqui, 2019).

A construção do sistema seguiu as seguintes etapas:

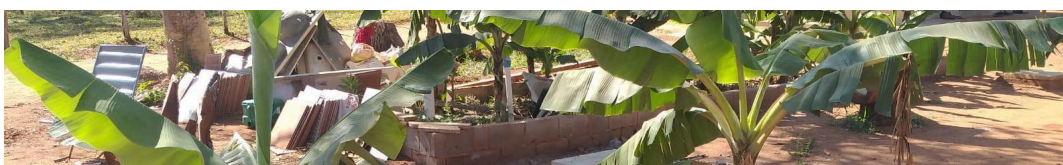
- **Escavação:** abertura de uma vala com 1,0 metro de diâmetro e 1,0 metro de profundidade (Figura 3);



Figura 3. Abertura de uma vala com 1,0 metro de diâmetro e 1,0 metro de profundidade do Círculo de Bananeira.

Fonte: Acervo da pesquisa.

- **Preenchimento:** o fundo da vala foi preenchido com troncos de madeira, galhos de diferentes tamanhos, folhas secas e capim, formando um montículo acima do nível do solo;
- **Encaminhamento das águas:** foi instalado um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro para conduzir as águas cinzas ao interior da vala;
- **Pré-tratamento:** antes de chegar ao círculo, as águas cinzas passam por uma caixa de gordura, construída com concreto, medindo 30 cm de altura por 35 cm de largura e comprimento. Essa estrutura atua como retentora de óleos e graxas, evitando obstruções;
- **Plantio:** ao redor da vala, a uma distância aproximada de 60 cm, foram plantadas de 4 a 6 mudas de bananeiras. Essas plantas apresentam elevada capacidade de evapotranspiração e adaptam-se bem a solos ricos em matéria orgânica. O preenchimento do buraco deverá ser feito com troncos de madeira pequenos, galhos médios e finos, folhas e/ou capim seco (Figura 4). Com o tempo, o nível dos materiais orgânicos no interior da vala tende a



diminuir, devendo ser repostado regularmente para manter o funcionamento do sistema.

Figura 4. Ao redor da vala, a uma distância aproximada de 60 cm, foram plantadas de 4 a 6 mudas de bananeiras.

Fonte: Acervo da pesquisa.

4.2.2 Fossa de Evapotranspiração (TEvap)

A Fossa de Evapotranspiração (Figura 5), também conhecida como TEvap, é uma técnica sustentável voltada ao tratamento das águas negras provenientes dos vasos sanitários (PAULO *et al.*, 2019; CURNEEN; GILL, 2016). O sistema consiste em um tanque impermeabilizado, construído em nível, onde ocorre o tratamento e absorção dos efluentes por meio de processos biológicos e evapotranspirativos, sem infiltração no solo.

TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO - (TEVAP) POS TRATAMENTO DE EFLUENTES

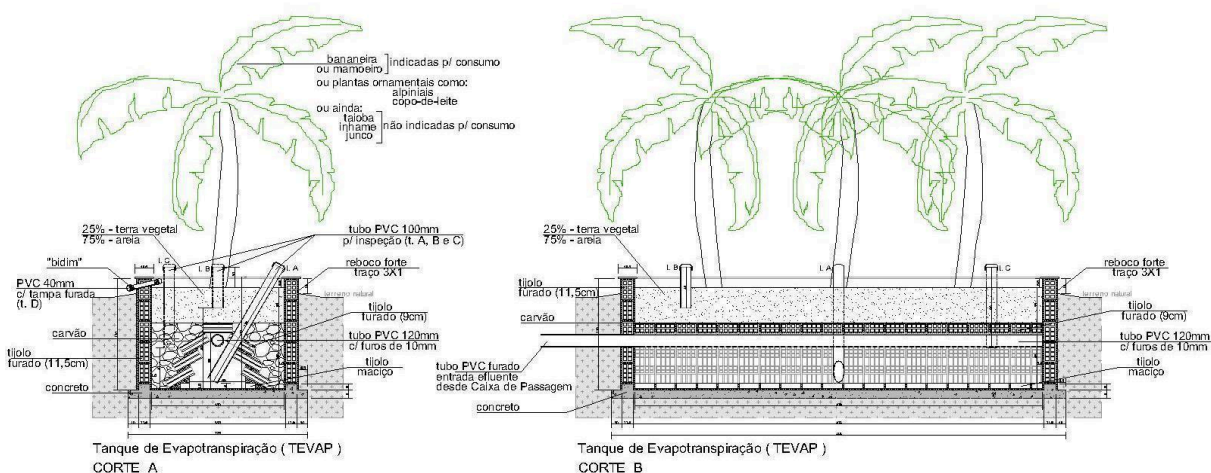


Figura 5. Esquema ilustrativo da Fossa de Evapotranspiração (TEvap), sistema de tratamento descentralizado de águas negras, constituído por estrutura impermeabilizada e preenchida com camadas de materiais orgânicos e minerais, associada ao cultivo de espécies vegetais de alta demanda hídrica. O funcionamento do sistema baseia-se na retenção, degradação biológica e evapotranspiração dos efluentes, evitando a infiltração no solo e reduzindo riscos de contaminação ambiental.

Fonte: Baseado em BIOhabitate - Saúde Ambiental e Arquitetura Viva (2010)

A construção do sistema envolveu as seguintes etapas:

- **Dimensões:** o tanque foi dimensionado com 2 metros de largura, 1 metro de profundidade e comprimento variável, calculado conforme o número de usuários (1 metro por pessoa, acrescido de 1 metro extra como margem de segurança). Foram evitados tanques com comprimento superior a 7,5 metros para manter a eficiência do sistema;
- **Impermeabilização:** as paredes e o fundo foram revestidos com ferrocimento, composto por tela de pinteiro (malha 15 mm) e argamassa de areia e cimento (2:1), formando uma camada de aproximadamente 2 cm de espessura, com acabamento liso para evitar infiltrações. Em solos instáveis, utilizou-se laje de concreto no fundo;
- **Câmara de fermentação:** no centro do tanque, formou-se um duto com pneus usados justapostos (Figura 6A), preenchido com entulho de obra (tijolos, telhas e pedras) até 45 cm de altura (Figura 6B). A entrada do esgoto foi conectada diretamente à câmara por meio de tubo PVC de 100 mm;



Figura 6. (A) Duto de pneus e (B) preenchido com entulho de obra (tijolos, telhas e pedras) da Fossa de Evapotranspiração (TEvap).

Fonte: Acervo da pesquisa.

- **Camadas filtrantes:** sobre o entulho, foram adicionadas sucessivamente as seguintes camadas:
 - 10 cm de brita (Figura 7A);
 - 10 cm de areia lavada (Figura 7B);
 - 35 cm de solo fértil, preferencialmente rico em matéria orgânica;

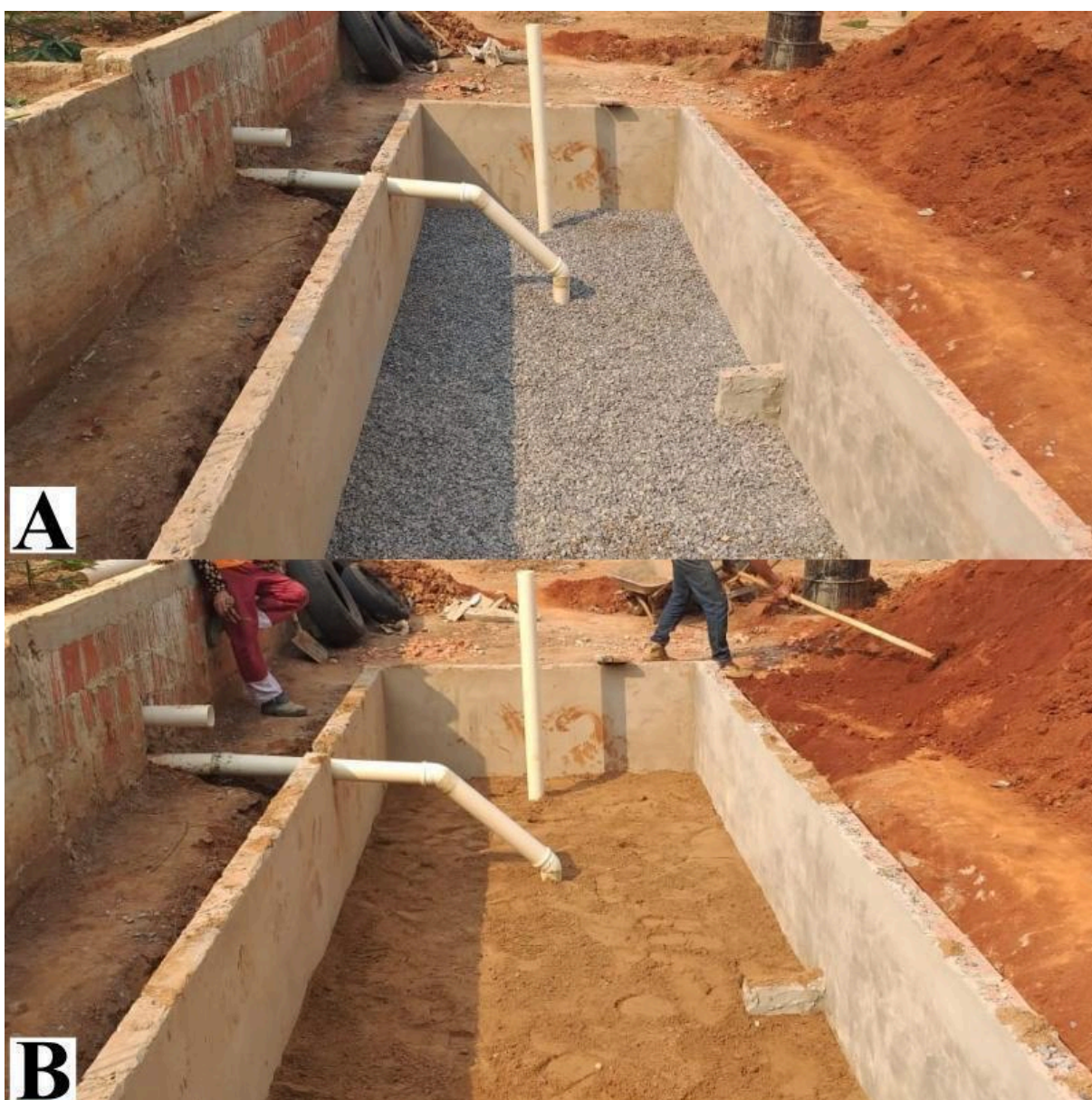


Figura 7. Camada de (A) brita e (B) areia lavada da Fossa de Evapotranspiração (TEvap).

Fonte: Acervo da pesquisa.

- **Proteção e acabamento:** o topo do tanque foi moldado em forma abaulada para evitar acúmulo de água de chuva. Ao redor, construiu-se uma proteção com blocos ou troncos para impedir o escoamento superficial para o interior do sistema;
- **Plantio final:** sobre o canteiro, foram plantadas espécies de folhas largas (bananeiras, copo-de-leite, caetés), que promovem a evapotranspiração e a remoção dos nutrientes por absorção radicular (Figura 8).



Figura 8. Fossa de Evapotranspiração (TEvap) finalizada.

Fonte: Acervo da pesquisa.

O sistema de Tanque de Evapotranspiração (TEvap) caracteriza-se por operar como uma estrutura fechada, projetada para minimizar riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas. O tratamento dos efluentes ocorre por meio da retenção e degradação da matéria orgânica associadas aos processos de evapotranspiração, resultando na liberação da água predominantemente na forma de vapor. Em função de sua concepção construtiva e operacional, o sistema não demanda esvaziamento periódico, sendo necessária apenas a observação de seu funcionamento e a manutenção pontual da cobertura vegetal, conforme as condições locais de uso.

5. RESULTADOS

A implementação das tecnologias de saneamento ecológico nas áreas estudadas resultou em ampliação efetiva da cobertura sanitária e em mudanças observáveis na organização do tratamento dos efluentes domésticos, ainda que com dinâmicas distintas entre a Comunidade Cristã Refúgio das Águias e a Estância Mimosa. Na comunidade, a adoção dos Tanques de Evapotranspiração (TEvap) e dos Círculos de Bananeiras possibilitou a instalação dos sistemas em 25 residências, refletindo elevada aceitação por parte dos moradores e a consolidação de um modelo de autogestão do saneamento rural. Além da função sanitária, os Círculos de Bananeiras passaram a ser utilizados como canteiros produtivos, integrando o cultivo de hortaliças e flores ao sistema de tratamento de águas cinzas, o que ampliou a funcionalidade da técnica e favoreceu sua incorporação ao cotidiano da comunidade (Figura 9).



Figura 9. Círculo de Bananeira implementado na Comunidade Cristã Refúgio das Águias.

Fonte: Acervo da pesquisa.

A implantação dos sistemas de saneamento ecológico na Comunidade Cristã Refúgio das Águias produziu impactos significativos na organização social e produtiva local (SILVA *et al.*, 2021), com efeitos diretos sobre a estrutura de custos do saneamento e sobre a autonomia da comunidade. A participação ativa dos moradores nas etapas de planejamento, construção e manutenção das estruturas resultou na redução de gastos com mão de obra especializada, uma vez que grande parte das atividades foi realizada de forma coletiva. Ademais, os sistemas foram construídos majoritariamente com materiais de baixo custo e insumos disponíveis

localmente, como resíduos orgânicos, solo e espécies vegetais, minimizando despesas com aquisição de materiais industrializados.

Do ponto de vista operacional, a adoção dos TEvaps e dos Círculos de Bananeiras eliminou a necessidade de esvaziamento periódico de fossas, bem como os custos associados ao transporte e à destinação final de efluentes, comuns em sistemas convencionais. Esses fatores contribuíram para o aumento da segurança sanitária, a redução de riscos ambientais e a incorporação do saneamento às práticas agroecológicas da comunidade. Os resultados demonstram que tecnologias descentralizadas, quando associadas à autogestão comunitária, constituem alternativas economicamente viáveis para áreas rurais com infraestrutura limitada, ao combinar redução de custos operacionais, fortalecimento da organização social e maior controle local sobre os serviços de saneamento.

Enquanto, na Comunidade Cristã Refúgio das Águias, os benefícios econômicos manifestaram-se principalmente na redução de custos evitados e na autogestão dos sistemas, na Estância Mimosa, empreendimento turístico de grande circulação, os resultados puderam ser quantificados financeiramente. Nesse caso, a implantação dos Círculos de Bananeiras refletiu-se tanto em melhorias visuais e ambientais do sistema de esgotamento quanto na redução dos custos operacionais associados à limpeza de fossas sépticas. A análise dos gastos anuais indica uma queda significativa a partir de 2020, com os menores valores registrados nos serviços de manutenção nos anos de 2021 e 2023 (R\$ 2.600,00). Em contraste, o maior dispêndio ocorreu em 2017, quando os custos atingiram R\$ 10.200,00 (Tabela 1).

Para avaliar a tendência temporal desses gastos e minimizar o efeito de variações pontuais, foi aplicada a média móvel de três anos, procedimento que permite identificar padrões de médio e longo prazo. A Figura 10 apresenta a evolução dos custos anuais em comparação com a média móvel, evidenciando de forma mais clara a tendência de redução dos dispêndios após a adoção do sistema alternativo.

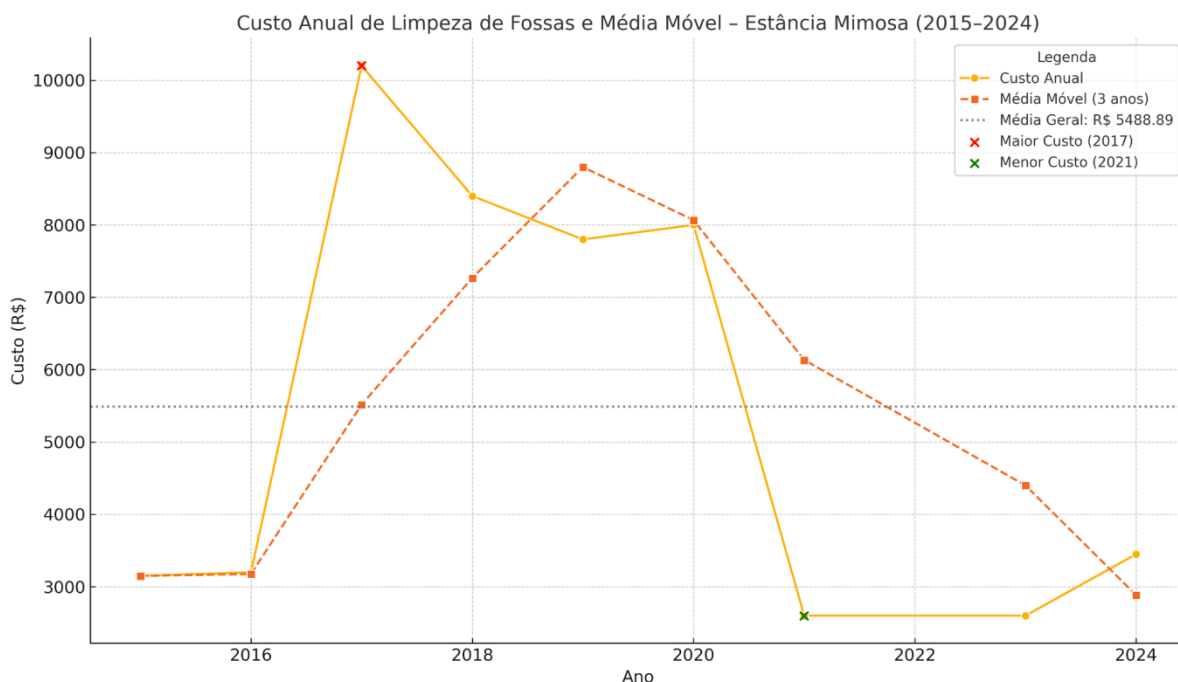


Figura 10. Evolução dos custos com limpeza de fossas na Estância Mimosa entre 2015 e 2024, com destaque para a média móvel de 3 anos e os anos com maior e menor custo.

No contexto da Estância Mimosa, a análise da média móvel de três anos evidencia que o período entre 2017 e 2020 concentrou os maiores valores acumulados de gastos com a limpeza de fossas sépticas, indicando uma maior pressão sobre o sistema convencional de esgotamento antes da adoção dos Círculos de Bananeiras. A partir de 2021, observa-se uma redução progressiva e consistente da média móvel, que atingiu R\$ 2.883,33 em 2024, o menor valor registrado em todo o período analisado (Tabela 1).

Esse comportamento sugere uma tendência de diminuição sustentada dos custos operacionais, associada à redução da carga direcionada às fossas sépticas após a implementação do sistema alternativo para o tratamento das águas cinzas. A utilização da média móvel permite confirmar que essa redução não decorre apenas de variações pontuais, mas representa um padrão de médio prazo, mesmo diante das oscilações naturais do fluxo turístico e das demandas operacionais da unidade. Assim, os resultados indicam que a adoção dos Círculos de Bananeiras contribuiu para maior estabilidade e eficiência econômica do sistema de saneamento da Estância Mimosa ao longo do tempo.

Tabela 1. Evolução dos custos com limpeza de fossas na Estância Mimosa entre 2015 e 2024, com destaque para a média móvel de 3 anos e os anos com maior e menor custo.

<i>Ano</i>	<i>Custo de Manutenção (R\$)</i>	<i>Média Móvel (3 anos)</i>	
2015	R\$ 3.100,00	R\$ 3.150,00	
2016	R\$ 3.200,00	R\$ 3.175,00	
2017	R\$ 10.200,00	R\$ 5.116,67	Maior Custo
2018	R\$ 8.400,00	R\$ 7.266,67	
2019	R\$ 7.800,00	R\$ 8.800,00	
2020	R\$ 8.000,00	R\$ 8.066,67	
2021	R\$ 2.600,00	R\$ 6.133,33	Menor Custo
2023	R\$ 2.600,00	R\$ 4.400,00	
2024	R\$ 3.400,00	R\$ 2.883,33	

A redução dos custos operacionais observada entre 2021 e 2024 está associada à implantação das técnicas de saneamento ecológico, especialmente no que se refere à gestão descentralizada das águas cinzas. Os Círculos de Bananeiras, ao assumirem o tratamento desse tipo de efluente, contribuíram para a diminuição da carga direcionada às fossas sépticas convencionais, refletindo-se na redução da frequência de limpezas e, conseqüentemente, nos gastos anuais registrados.

Em um contexto caracterizado por turismo sazonal e de alta intensidade, como o município de Bonito, essa redução torna-se particularmente relevante, uma vez que os períodos de maior fluxo de visitantes tendem a exercer maior pressão sobre a infraestrutura sanitária. Os resultados indicam que a adoção das tecnologias ecológicas contribuiu para maior eficiência operacional e estabilidade dos custos, mesmo diante das variações inerentes à dinâmica turística da Estância Mimosa que gira em torno de 18 mil visitantes por ano (ESTANCIA MIMOSA, 2024).

Os Tevaps mostraram-se uma alternativa robusta e segura para o tratamento das águas negras, uma vez que operam como sistemas fechados, impedindo o escoamento superficial e a infiltração de efluentes no solo. A concepção do sistema fundamenta-se em princípios centrais do saneamento ecológico, como a proteção dos recursos hídricos, a contenção e estabilização da matéria orgânica, o reaproveitamento de nutrientes e a integração entre processos biológicos e

vegetativos. A absorção de nutrientes pela vegetação e a remoção da água por evapotranspiração contribuem para a manutenção da qualidade ambiental e para a redução de riscos sanitários, em consonância com os princípios descritos por Paulo *et al.* (2019) e Borin *et al.* (2011).

A análise dos dados indica que os custos elevados observados em 2017 refletem um período de maior pressão sobre o sistema convencional de fossas sépticas, anterior à adoção das tecnologias de saneamento ecológico. Embora variações na intensidade de uso das instalações sanitárias possam ocorrer em função da dinâmica turística local, os dados analisados não permitem estabelecer relações diretas entre eventos específicos e os custos registrados.

Por sua vez, a redução consistente dos gastos a partir de 2021, evidenciada tanto pelos valores anuais quanto pela tendência observada na média móvel, coincide temporalmente com a implementação dos Círculos de Bananeiras para o tratamento das águas cinzas. Esse comportamento sugere que a diminuição da carga direcionada às fossas sépticas convencionais contribuiu para a redução da frequência de limpezas e para maior estabilidade operacional do sistema. Dessa forma, os resultados reforçam o papel das tecnologias descentralizadas como instrumentos eficazes de apoio à gestão sanitária em áreas turísticas, especialmente quando integradas a sistemas já existentes.

A adoção combinada de tecnologias inspiradas nos princípios da permacultura, como os Círculos de Bananeiras e os Tanques de Evapotranspiração (TEvap), esteve associada a melhorias nos aspectos ambientais e sanitários observados nas áreas estudadas, além de favorecer maior autonomia local na gestão dos efluentes domésticos. Ao reduzir a dependência de sistemas convencionais e de serviços externos para a destinação dos resíduos, essas técnicas contribuíram para um modelo de saneamento mais adaptado às condições locais.

Quadro 1. Síntese de estudos que analisaram tecnologias de saneamento ecológico aplicadas ao tratamento descentralizado de efluentes domésticos.

Autor / Ano	Tecnologia analisada	Tipo de efluente	Contexto de aplicação	Principais resultados	Contribuição para o presente estudo
Travis <i>et al.</i> (2014)	Sistema evapotranspirativo fechado	Águas negras	Rural e periurbano	Elevada remoção de matéria orgânica (>95%); ausência de lançamento no solo	Evidencia a proteção de aquíferos e a eficiência dos TEvap
Beebe <i>et al.</i> (2014)	Leitos evapotranspirativos	Águas negras	Onsite sanitation	Retenção de nutrientes e integração de processos anaeróbios e aeróbios	Reforça a relevância do desenho construtivo e da vegetação
Van Afferden <i>et al.</i> (2015)	Sistemas baseados em evapotranspiração	Efluentes domésticos	Regiões áridas e semiáridas	Robustez operacional e bom desempenho climático	Sustenta a adequação ambiental dos TEvap
Vasconcelos <i>et al.</i> (2023)	Tecnologias de saneamento ecológico	Águas negras e cinzas	América do Sul	Efetividade condicionada à compatibilidade técnica e socioterritorial	Dialoga com os resultados observados neste estudo
Eriksson <i>et al.</i> (2002)	Sistemas vegetados descentralizados	Águas cinzas	Urbano e periurbano	Boa remoção de matéria orgânica; necessidade de pré-tratamento	Fundamenta o uso de caixas de gordura
Ghaitidak e Yadav (2013)	Sistemas solo-planta	Águas cinzas	Rural	Remoção significativa de DBO e nutrientes	Corroborar o desempenho dos Círculos de Bananeiras
Brasil (2005)	Tecnologias baseadas em processos naturais	Efluentes domésticos	Rural (Brasil)	Baixo custo e melhoria da qualidade do efluente	Legitima institucionalmente a tecnologia
Tonetti <i>et al.</i> (2018)	Sistemas descentralizados alternativos	Águas negras e cinzas	Rural	Bom desempenho técnico e aceitação social	Apoia a aplicabilidade em contextos de autogestão

Fonte: Elaboração própria com base nos autores supracitados.

A análise comparativa apresentada no Quadro 1 evidencia a convergência entre os resultados obtidos neste estudo e aqueles reportados na literatura. Observa-se que os Tanques de Evapotranspiração apresentam desempenho consistente no tratamento de águas negras, com elevada eficiência na contenção da matéria orgânica e proteção dos recursos hídricos, enquanto os sistemas vegetados

aplicados às águas cinzas, como os Círculos de Bananeiras, demonstram boa capacidade de remoção de poluentes e elevada aceitação social. Esses achados reforçam a adequação técnica das tecnologias adotadas, ao mesmo tempo em que evidenciam o diferencial do presente estudo ao integrar aspectos sanitários, ambientais e socioeconômicos em contextos de autogestão comunitária e atividade turística.

Os resultados obtidos dialogam diretamente com os objetivos estabelecidos pela Agenda 2030, em especial com o ODS 6, ao evidenciarem o potencial dessas soluções para ampliar o acesso ao saneamento de forma segura e ambientalmente adequada em contextos rurais. A experiência analisada indica que a replicação dessas tecnologias em outras localidades é viável, desde que acompanhada de capacitação técnica, participação comunitária e apoio institucional, elementos fundamentais para a manutenção e o desempenho dos sistemas ao longo do tempo.

6.DISSCUSSÃO

Estudos internacionais que analisam sistemas evapotranspirativos aplicados ao tratamento descentralizado de efluentes domésticos indicam que essas tecnologias apresentam bom desempenho em contextos rurais e periurbanos, especialmente em áreas com restrições à infiltração no solo. A convergência de soluções eficientes em saneamento ecológico, à luz dos trabalhos de Travis et al. (2014), Beebe et al. (2014), Van Afferden et al. (2015), Vasconcelos et al. (2023), Eriksson et al. (2002), Ghaitidak e Yadav (2013), Brasil (2005) e Tonetti et al. (2018), evidencia uma transição paradigmática do modelo centralizado, linear e energeticamente intensivo para sistemas descentralizados, circulares e baseados em processos naturais.

Inicialmente, os estudos de Eriksson et al. (2002) destacam os riscos ambientais e sanitários associados à disposição inadequada de efluentes domésticos, sobretudo em áreas não atendidas por redes coletoras. Ao apontar a presença de micropoluentes e a complexidade dos fluxos contaminantes, os autores reforçam a necessidade de soluções que integrem tratamento, contenção de riscos e reaproveitamento seguro de nutrientes. Nesse contexto, a revisão sistemática conduzida por Ghaitidak e Yadav (2013) demonstra que sistemas descentralizados, como wetlands construídos, reatores anaeróbios e sistemas combinados solo-planta, apresentam elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos, especialmente quando adaptados às condições climáticas locais. A eficiência técnica associada ao baixo custo operacional torna essas tecnologias particularmente adequadas a municípios de pequeno e médio porte e a áreas rurais.

A perspectiva de reaproveitamento e fechamento de ciclos é aprofundada por Van Afferden et al. (2015), que discute a recuperação de nutrientes e água em sistemas descentralizados, destacando o potencial de integração entre saneamento e agricultura. Essa abordagem converge com os princípios do saneamento ecológico (ecosan), ao tratar o efluente não como resíduo, mas como recurso. A valorização

do nitrogênio, fósforo e matéria orgânica insere o saneamento no escopo da economia circular. No campo da inovação tecnológica aplicada a contextos reais, Travis et al. (2014) e Beebe et al. (2014) evidenciam a viabilidade técnica de sistemas compactos, modulares e energeticamente eficientes, com desempenho comparável aos sistemas convencionais centralizados. Os autores destacam que o êxito dessas soluções depende da adequada operação, manutenção simplificada e capacitação local, apontando para a importância da governança e da gestão participativa.

Mais recentemente, Vasconcelos et al. (2023) reforçam a aplicabilidade do saneamento ecológico em realidades brasileiras, com destaque para tecnologias como círculos de bananeiras, fossas de evapotranspiração (TEvap) e wetlands construídos de fluxo subsuperficial. O estudo demonstra que tais soluções, além de atenderem parâmetros de eficiência ambiental, promovem inclusão social, educação ambiental e redução de custos públicos, consolidando-se como alternativas estratégicas para universalização do saneamento em territórios com limitações orçamentárias e geográficas. No plano normativo, a referência a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005) estabelece parâmetros de qualidade para corpos hídricos e critérios para lançamento de efluentes, funcionando como marco regulatório que orienta a adoção de tecnologias capazes de garantir conformidade ambiental. A adequação dos sistemas ecológicos a esses parâmetros reforça sua legitimidade técnica e jurídica. Por fim, Tonetti et al. (2018) discutem a universalização do saneamento rural no Brasil sob a ótica da sustentabilidade, defendendo modelos descentralizados e de base ecológica como instrumentos eficazes para redução de desigualdades territoriais. Os autores argumentam que a integração entre conhecimento técnico, participação comunitária e políticas públicas é determinante para a consolidação dessas soluções.

A convergência entre esses trabalhos pode ser sintetizada em quatro eixos estruturantes:

1. **Descentralização como estratégia de eficiência** – Sistemas locais reduzem custos de infraestrutura, ampliam a cobertura e permitem adaptações às condições ambientais específicas.

2. **Processos naturais como base tecnológica** – O uso de plantas, solo e microrganismos como agentes de tratamento promove eficiência energética e resiliência ecológica.
3. **Economia circular e recuperação de recursos** – A transformação de resíduos em insumos agrícolas consolida o conceito de saneamento produtivo.
4. **Integração normativa e governança participativa** – A compatibilidade com marcos regulatórios e o envolvimento comunitário são fatores críticos de sucesso.

A análise dos resultados obtidos e o diálogo estabelecido com a literatura evidenciam que a adoção de tecnologias descentralizadas de saneamento, quando adequadas às condições ambientais, sociais e institucionais locais, pode contribuir de forma significativa para a ampliação do acesso ao saneamento em áreas rurais. No entanto, a efetividade e a replicabilidade dessas soluções não dependem apenas de seu desempenho técnico, mas também de arranjos institucionais, marcos regulatórios compatíveis e estratégias de apoio contínuo que viabilizem sua implementação em maior escala. Nesse sentido, torna-se necessário avançar da análise dos casos estudados para a reflexão sobre como essas experiências podem subsidiar a formulação de diretrizes para políticas públicas de saneamento sustentável em áreas rurais, capazes de integrar inovação tecnológica, participação social e planejamento territorial.

6.1 Diretrizes para Políticas Públicas de Saneamento Sustentável em Áreas Rurais

Com base na experiência prática de implementação dos sistemas de saneamento ecológico na Comunidade Cristã Refúgio das Águas e na Estância Mimosa, foi possível sistematizar um conjunto de diretrizes técnicas e institucionais que podem subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas à ampliação e à replicação dessas práticas no contexto rural do município de Bonito. As diretrizes a seguir articulam aspectos de planejamento, capacitação, regulação e integração territorial:

1. **Incorporação de tecnologias descentralizadas de saneamento** nos instrumentos de planejamento local, como o Plano Municipal de Saneamento Básico e o Plano Diretor Rural, reconhecendo sua adequação a contextos rurais com infraestrutura limitada.
2. **Fomento à formação de multiplicadores comunitários**, por meio da realização de oficinas técnicas e ações educativas com moradores e agentes locais, visando garantir o manejo adequado, a autonomia operacional e a replicabilidade das técnicas.
3. **Criação de linhas de incentivo financeiro e apoio técnico** destinadas a pequenos produtores e comunidades rurais interessadas na adoção de sistemas como os Círculos de Bananeiras e os Tanques de Evapotranspiração, incluindo parcerias com organizações da sociedade civil, universidades e instituições de pesquisa.
4. **Reconhecimento das tecnologias baseadas em princípios da permacultura** como soluções válidas nos processos de licenciamento ambiental e regularização sanitária, fundamentado em evidências de eficácia, segurança sanitária e baixo impacto ambiental.
5. **Estabelecimento de unidades demonstrativas permanentes** nas zonas rurais do município, associadas a processos de monitoramento participativo que avaliem desempenho técnico, eficiência sanitária e aceitação social ao longo do tempo.
6. **Integração das práticas de saneamento sustentável** com políticas públicas de agricultura familiar, agroecologia e turismo rural, reforçando a multifuncionalidade do território e ampliando os benefícios ambientais, sociais e econômicos das áreas onde essas tecnologias forem aplicadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação mostra a adoção de tecnologias ecológicas de saneamento, como os Círculos de Bananeiras e os Tanques de Evapotranspiração (TEvap), constitui uma alternativa tecnicamente viável, ambientalmente segura e socialmente adequada para o enfrentamento das deficiências de saneamento em áreas rurais do município de Bonito (MS). As experiências analisadas na Comunidade Cristã Refúgio das Águias e na Estância Mimosa demonstraram que essas soluções descentralizadas são capazes de responder às demandas sanitárias locais, promovendo melhorias mensuráveis na gestão dos efluentes, na eficiência operacional e na redução de pressões sobre sistemas convencionais.

Os resultados obtidos indicam que o saneamento ecológico extrapola a função estritamente técnica de tratamento de efluentes, assumindo um papel estratégico na promoção da saúde pública, na otimização de recursos financeiros, no fortalecimento da participação comunitária e na integração com práticas agroecológicas e de uso sustentável do território. A incorporação dessas tecnologias mostrou-se especialmente relevante em contextos rurais e turísticos, nos quais a infraestrutura convencional é limitada ou inadequada às dinâmicas locais.

Além disso, o estudo reforça que a consolidação e a ampliação dessas práticas dependem de arranjos institucionais favoráveis, do reconhecimento normativo das tecnologias de saneamento ecológico e da articulação entre comunidades locais, gestores públicos, instituições de pesquisa e organizações da sociedade civil. Nesse sentido, as diretrizes propostas ao longo deste trabalho configuram-se como subsídios técnicos e políticos relevantes para a formulação de políticas públicas voltadas ao saneamento sustentável em áreas rurais.

Por fim, ao evidenciar experiências implementadas em escala real e dialogar com a literatura especializada, esta dissertação contribui para o avanço do debate sobre modelos alternativos de saneamento, alinhados aos princípios da Agenda 2030 e às especificidades do Brasil rural. As práticas analisadas apresentam

potencial de replicação e adaptação em diferentes contextos territoriais, desde que respeitadas as condições ambientais, sociais e institucionais de cada localidade, reafirmando o saneamento ecológico como um instrumento relevante para a promoção do desenvolvimento territorial sustentável.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. B. S.; OLIVEIRA, P. J.; SOUZA, A. M. N.; SOUZA, I. L. L. A relação entre a falta de saneamento básico, o aumento das doenças infecciosas e dos gastos públicos: revisão sistemática de literatura. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 7, n. 2, e68014, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.34119/bjhrv7n2-090>. Acesso em: 7 jun. 2025.

ALMEIDA, J. C.; SILVA, R. M. Saneamento rural no Brasil: análise de políticas públicas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. *Revista de Administração Pública*, v. 50, n. 1, p. 79-100, 2016.

ALMEIDA, F. F. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso do Sul), Brasil. *Boletim de Geologia e Mineralogia*, Departamento Nacional de Produção Mineral – DPNM, Rio de Janeiro, n. 219, p. 1-96, 1965.

ALVES, L. M. et al. Saneamento ecológico rural: alternativa sustentável para o tratamento de água e esgoto em comunidades rurais. *Revista Agrogeoambiental*, v. 11, n. 2, p. 111-122, 2019.

AZEREDO, S. M. C. Saneamento ecológico como alternativa para áreas rurais: uma revisão da literatura. *Cadernos de Geografia*, v. 30, n. 1, p. 241-255, 2020.

BARTRAM, J.; CAIRNCROSS, S. Hygiene, sanitation, and water: forgotten foundations of health. *PLoS Medicine*, v. 7, n. 11, e1000367, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000367>. Acesso em: 7 jun. 2025.

BEEBE, D. A., Castle, J. W., Molz, F. J., & Rodgers, J. H. (2014). Effects of evapotranspiration on treatment performance in constructed wetlands: Experimental studies and modeling. *Ecological Engineering*, 71, 394–400. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.052>

BIOHABITATE – Saúde Ambiental e Arquitetura Viva. Tanque de evapotranspiração – Tevap, pós tratamento de efluentes, 2010. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/flaviopereiraduarte/5094117402>. Acesso em: 7 jun. 2025.

BOFF, L. Sustentabilidade: o que é-o que não é. 2. ed. rev. ampl. Petrópolis, RJ: Vozes, 2023.

BORIN, M.; MILANI, M.; SALVATO, M.; TOSCANO, A. Evaluation of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. evapotranspiration in Northern and Southern Italy. *Ecological*

Engineering, v. 37, p. 721–728, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.05.003>. Acesso em: 7 jun. 2025.

BRASIL, M. S. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, supl. 1, p. 133–137, 2005. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp133-137.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 jul. 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745. Acesso em: 7 jun. 2025.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Brasília, DF, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 7 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 10.933, de 11 de agosto de 2004. Dispõe sobre o Plano Plurianual 2004–2007.

BRASIL. Lei nº 11.653, de 7 de abril de 2008. Dispõe sobre o Plano Plurianual 2008–2011.

BRASIL. Lei nº 12.593, de 18 de janeiro de 2012. Dispõe sobre o Plano Plurianual 2012–2015.

BRASIL. Lei nº 13.249, de 13 de janeiro de 2016. Dispõe sobre o Plano Plurianual 2016–2019.

BRASIL. Resolução SEMAC n. 03/2013. Criação da Reserva Particular do Patrimônio Natural Estância Mimosa. *Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul*, Campo Grande, 14 fev. 2013.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2017. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/residuos-solidos-1/2017>. Acesso em: 7 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Política Nacional de Saneamento Básico: avanços e desafios. Brasília, 2020.

BRITO, R. C. et al. Políticas públicas de saneamento básico no Brasil: um estudo a partir de artigos científicos nacionais. *Revista Administração Pública e Gestão Social*, v. 11, n. 4, p. 231-245, 2019.

CAMPAGNOLO, L. et al. The ex-ante evaluation of achieving sustainable development goals. *Social Indicators Research*, v. 136, p. 73–116, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1572-x>. Acesso em: 7 jun. 2025.

CASANOVA, L. M.; COSTA, F. Strategies for achieving universal access to water and sanitation in Brazil. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v. 10, n. 2, p. 179-186, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/washdev.2020.054>. Acesso em: 7 jun. 2025.

CASTRO, M. C.; SINGER, B. H. The emergence of Brazil as a global player in health and science: collaborating for the benefit of all. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 10, n. 6, e0004632, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004632>. Acesso em: 7 jun. 2025.

CASTRO, C. N. de; CEREZINI, M. T. *Saneamento rural no Brasil: a universalização é possível?* Texto para Discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Rio de Janeiro, 2023. <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/90f5d6a4-bc9f-4e3f-953b-15bdf056249/content>

COSTA, D.; NARDELLI, R. Criados critérios de classificação do espaço urbano e rural. *Senado Federal*, 6 out. 2009. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2009/10/06/criados-criterios-de-classificacao-do-espaco-urbano-e-rural>. Acesso em: 16 maio 2025.

CRITES, R. W.; TCHOBANOGLIOUS, G. Small and decentralized wastewater management systems. New York: McGraw-Hill Education, 1998.

CURNEEN, S.; GILL, L. W. Willow-based evapotranspiration systems for on-site wastewater effluent in areas of low permeability subsoils. *Ecological Engineering*, v. 92, p. 199–209, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.032>. Acesso em: 7 jun. 2025.

DORNFELD, C. B. et al. Basic sanitation and environmental issues in a rural settlement in northwestern São Paulo. *Saúde e Meio Ambiente: Revista Interdisciplinar*, v. 7, n. 2, p. 1-19, 2018. Disponível em: <http://www.periodicos.unc.br/index.php/sma/article/view/1551>. Acesso em: 7 jun. 2025.

EMBRAPA. *Sistema de Produção da Banana*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2012.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v. 4, p. 85–104, 2002. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)

ESTÂNCIA MIMOSA ECOTURISMO. Página oficial. Disponível em: <https://www.estanciamimosa.eco.br/>. Acesso em: 2 maio 2025.

EVARISTO, J.; JAMEEL, Y.; TORTAJADA, C. et al. Water woes: the institutional challenges in achieving SDG 6. *Sustain Earth Reviews*, v. 6, 13, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42055-023-00067-2>. Acesso em: 7 jun. 2025.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Banana market review and banana statistics*. Rome, 2019.

FORTES, P.; FURLAN, M. R.; COSTA, Y. N.; COBO, V. J. C.; FORTES, I. P. F. Tecnologias utilizadas no saneamento básico das áreas rurais no Brasil: uma revisão sistemática. *Latin American Journal of Business Management*, v. 15, n. 2, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.69609/2178-4833.2024.v15.n2.a799>. Acesso em: 7 jun. 2025.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Relatório de gestão 2011. Brasília: Funasa, 2011. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/relatorios-de-gestao/-/document_library_display/yfvhcEGS4a9x/view/25817. Acesso em: 16 maio 2025.

GALBIATI, A. F. Tanque de evapotranspiração para tratamento e reuso domiciliar de águas negras. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009. <https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/1163/1/Adriana%20Farina%20Galbiati.pdf>

GAHITIDAK, D. M.; YADAV, K. D. V. Characteristics and treatment of greywater: a review. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 20, n. 5, p. 2795–2809, 2013. doi: 10.1007/s11356-013-1533-0.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 757–768, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.12.048>. Acesso em: 7 jun. 2025.

GONÇALVES, F. M.; SANTOS, M. A. B. Desafios na implementação das políticas públicas de saneamento básico no Brasil: uma análise das disposições contidas na Lei Federal n. 11.445/2007. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 8, n. 2, p. 129-146, 2019.

GOSSLING-GOIDSMTHS, J. Sustainable development goals and uncertainty visualization. 2018. Thesis (Master of Science in Cartography) – Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente, 2018.

GRAY, R. Is accounting for sustainability actually accounting for sustainability ... and how would we know? An exploration of narratives of organisations and the planet. *Accounting, Organizations and Society*, v. 35, n. 1, p. 47–62, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2009.04.006>. Acesso em: 7 jun. 2025.

GUO, F. The spirit and characteristic of the general provisions of civil law. *Law and Economics*, v. 3, p. 5–16, 54, 2017.

HAMILTON, K.; NAIKAL, E. Comprehensive wealth accounting and sustainable development. In: Handbook of sustainable development. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4337/9781782544708.00010>. Acesso em: 7 jun. 2025.

HELLER, L.; COLOSI, L. Caminhos do saneamento no Brasil. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/>. Acesso em: 7 jun. 2025.

HELLER, L. Saneamento como política pública: um olhar a partir dos desafios do SUS. 2018.

HELLER, L.; REZENDE, S. C.; CAIRNCROSS, S. Water and sanitation in Brazil: the challenges of achieving universal access by 2030. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 13, p. 4737, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph17134737>. Acesso em: 7 jun. 2025.

HOLMGREN, D. *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability*. Hepburn: Holmgren Design Services, 2002.

HU, M.; FAN, B.; WANG, H.; QU, B.; ZHU, S. Constructing the ecological sanitation: a review on technology and methods. *Journal of Cleaner Production*, v. 125, p. 1–21, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.012>. Acesso em: 7 jun. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades/Panorama: Bonito, MS. IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/bonito/panorama>. Acesso em: 7 jun. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9127-pesquisa-nacional-por-a-mostra-de-domicilios.html>. Acesso em: 7 jun. 2025.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN); SEBRAE/MS; COMTUR-BONITO. Estudo de impacto ambiental da visitação turística

do monumento natural Gruta do Lago Azul – Bonito, MS. CD-ROM. Versão jan. 2004.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Relatório de saneamento rural. 2022. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/>. Acesso em: 7 jun. 2025.

JENSSEN, P. D. et al. Ecological sanitation and reuse of wastewater: ecosan, a thinkpiece on ecological sanitation. Oslo: Agricultural University of Norway; Stockholm: Sida, 2004.
<https://www.ircwash.org/resources/ecological-sanitation-and-reuse-wastewater-ecosan-thinkpiece-ecological-sanitation>

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. Ecological sanitation – A way to solve global sanitation problems? *Environment International*, v. 31, p. 433–444, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.08.006>. Acesso em: 7 jun. 2025.
LIMA, L. C. S. et al. Saneamento rural: uma análise crítica da gestão e da participação social em comunidades rurais no Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v. 54, p. 66, 2020.

LITTIG, B.; GRIEBLER, E. Social sustainability: a catchword between political pragmatism and social theory. *International Journal of Sustainable Development*, v. 8, p. 65–79, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJSD.2005.007375>. Acesso em: 7 jun. 2025.

MAGALHÃES FILHO, F.; QUEIROZ, A.; MACHADO, B.; PAULO, P. Sustainable sanitation management tool for decision making in isolated areas in Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph16071118>. Acesso em: 7 jun. 2025.

MENEGAT, D. R. O direito humano e fundamental ao saneamento básico. *Revista do Ministério Público do Rio Grande do Sul*, v. 1, n. 89, p. 307-338, 2022. Disponível em: <https://www.revistadomprs.org.br/index.php/amprs/article/view/240>. Acesso em: 7 jun. 2025.

MENÊZES, A. K. M.; MARTINS, M. F. Conexões entre as temáticas Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), indicadores de sustentabilidade e gestão municipal sustentável: uma revisão sistemática da literatura contemporânea. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 10, n. 5, p. e57810515309, 2021.
MENSAH, J. Sustainable development: meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: literature review. *Cogent Social Sciences*, v. 5, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>. Acesso em: 7 jun. 2025.

MIRANDA, C. A. D. et al. Saneamento rural no Brasil: desafios e perspectivas para a gestão e políticas públicas. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 4, n. 1, p. 12-29, 2017.

MOREIRA, M.; KASTRUP, E.; RIBEIRO, J.; CARVALHO, A.; BRAGA, A. O Brasil rumo a 2030? Percepções de especialistas brasileiros(as) em saúde sobre o potencial de o país cumprir os ODS. *Saúde em Debate*, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s702>. Acesso em: 7 jun. 2025

MOREL, A.; DIENER, S. Greywater management in low and middle-income countries: review of different treatment systems for households or neighbourhoods. Dübendorf: Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2006.

NORBERTO, T. C. B. Challenges of rural basic sanitation in the context of agrarian reform. *Revista Extraprensa*, v. 15, p. 1-16, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/extraprensa/article/view/195444/184926>. Acesso em: 7 jun. 2025.

PAULO, P. L.; GALBIATI, A. F.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; BERNARDES, F. S.; CARVALHO, G. A.; BONCZ, M. A. Evapotranspiration tank for the treatment, disposal and resource recovery of blackwater. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 147, p. 61–66, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.04.025>. Acesso em: 7 jun. 2025.

PERDANA MC, Hadisusanto S, Purnama ILS. Implementation of a full-scale constructed wetland to treat greywater from tourism in Suluban Uluwatu Beach, Bali, Indonesia. *Heliyon*. 2020 Oct 6;6(10) <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05038>

PURVIS, B., MAO, Y., & ROBINSON, D. (2019). Three pillars of sustainability: In search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14, 681–695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>

RAFTER, R. Permaculture as a planning framework for community-based decentralized ecological sanitation provision in rural areas: a review. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 117, p. 83-97, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.021>. Acesso em: 7 jun. 2025.

REIS, R. B.; RIBEIRO, G. S.; FELZEMBURGH, R. D.; SANTANA, F. S.; MOHR, S.; REIS, M. G. Impact of environment and social gradient on *Leptospira* infection in urban slums. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 12, n. 7, e0009957, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009957>. Acesso em: 7 jun. 2025.

REIS, D. S. O rural e o urbano no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS – ABEP, XV, Caxambu. Anais... Caxambu: ABEP, 2006. s.p.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, Å.; CHAPIN III, F. S.; LAMBIN, E. F.; FOLEY, J. A. A safe operating space for humanity. *Nature*, v. 461, p. 472–475, 2009. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/461472a>. Acesso em: 7 jun. 2025.

RUGGERIO, C. A. Sustainability and sustainable development: a review of principles and definitions. *The Science of the Total Environment*, v. 786, 147481, 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147481>. Acesso em: 7 jun. 2025.

ROLAND, N. et al. A ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico. *Revista DAE*, São Paulo, v. 67, n. 220, p. 15-35, nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.053>. Acesso em: 7 jun. 2025.

ROSA, M. N.; TEIXEIRA, D.; HORA, K. E. R. Ações participativas em saneamento rural: bases conceituais e diretrizes metodológicas. *Saúde e Sociedade*, v. 32, n. 2, e201040pt, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902023201040pt>. Acesso em: 7 jun. 2025.

SACHS, J. D. The age of sustainable development. New York: Columbia University Press, 2015. Disponível em: <https://cup.columbia.edu/book/the-age-of-sustainable-development/9780231173155>. Acesso em: 7 jun. 2025.

SACHS, I.; LOPES, C.; DOWBOR, L. Crises e oportunidades em tempos de mudança. *Economia Global e Gestão*, v. 15, n. 1, p. 133-154, 2010.

SANTOS, M. A. B. et al. Saneamento rural: caracterização e desafios para a gestão. *Revista Saneamento e Meio Ambiente*, v. 3, n. 1, p. 59-70, 2018.

SILVA, E. R.; ZANCUL, J. S. Análise da dinâmica demográfica rural brasileira como estratégia na formulação da política federal de saneamento rural. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS (ABEP), XVIII, Águas de Lindóia, 2012. Anais... Águas de Lindóia: ABEP, 2012.

SILVA, S. P. Participação social e políticas públicas de desenvolvimento rural: uma análise da percepção dos conselheiros do CONDRAF. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 25, n. 3, p. 591-615, out. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.36920/esa-v25n3-6>. Acesso em: 7 jun. 2025.

SILVA, W. T. L. et al. 20 anos do saneamento rural na Embrapa Instrumentação: do básico ao ambiental. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2021. 34 p. Disponível para download em PDF oficial da Embrapa: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1138679/1/DOC72-2021.pdfembrapa+1>

SILVA, J. R. M.; CARRARO BORGES, A.; LÜTHI, C.; SPUHLER, D.; FERNANDES, R. B. A. The banana tree circle as a nature-based solution for sustainable greywater management: a new design model. *Water Science and Technology*, v. 89, n. 9, p. 2240–2253, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2024.141>. Acesso em: 7 jun. 2025.

SUN, Zhigao; SONG, Hongli; SUN, Wenguang; SUN, Jingkuan. Effects of continual burial by sediment on morphological traits and dry mass allocation of Suaeda salsa

seedlings in the Yellow River estuary: an experimental study. *Ecological Engineering*, v. 68, p. 176-183, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.021>

SUSTENTARQUI. Soluções sustentáveis de saneamento: círculo de bananeiras, 2019. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/solucoes-sustentaveis-de-saneamento/>. Acesso em: 9 maio 2025.

TAYLOR, S. J. A review of sustainable development principles: Centre for Environmental Studies. South Africa: University of Pretoria, 2016.

TILLEY, E. et al. Compendium of sanitation systems and technologies. 2nd rev. ed. Dübendorf: Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2014. <https://www.ircwash.org/resources/compendium-sanitation-systems-and-technologies-2nd-edition>

TONETTI, A. L., BRASIL, A. L., MADRID, F. J. P. Y L., **et al.** (2018). *Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções* [e-book]. Campinas, SP: Biblioteca/Unicamp. ISBN 978-85-85783-9

TRAVIS, M. J.; WEIL-SCHMIDT, A.; WILSON, J. Evapotranspiration systems for on-site wastewater management. *Water Research*, v. 48, p. 277–289, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.052>

TRENTIN, F.; SANSOLO, D. V. Políticas públicas de turismo e indicadores de sustentabilidade ambiental: um estudo sobre Bonito – MS. *Turismo – Visão e Ação*, v. 8, n. 1, p. 61-74, jan./abr. 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2610/261056106005.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2025.

UNITED NATIONS. Sustainable Development Goals: SDG 6 – Clean Water and Sanitation. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals/goal6>. Acesso em: 28 abr. 2025.

VASCONCELOS, M. A.; ZANTA, V. M.; QUEIROZ, L. M. Ecological sanitation (EcoSan): overview of initiatives, practices and policy analysis in South American countries. *Revista de Gestão, Sustentabilidade e Ambiente* (RGSA), v. 19, n. 12, 2025. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n12-026>

VITOR, G. A. et al. Health and sanitation in Brazil: a narrative review on the association between basic sanitation conditions and waterborne diseases. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 15, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22913/20557>. Acesso em: 7 jun. 2025.

WANG, S.; HUANG, G. H.; ZHOU, Y. A fractional-factorial probabilistic-possibilistic optimization framework for planning water resources management systems with multi-level parametric interactions. *Journal of Environmental Management*, v. 172, p. 97-106, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.019>

WATSON, T. *The Banana Circle and Evapotranspiration Bed System*. Permaculture Research Institute, 2007.

WERNER, C.; PANESAR, A.; RÜD, S. B.; OLT, C. U. Ecological sanitation: principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management. *Desalination*, v. 248, p. 392–401, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.080>. Acesso em: 7 jun. 2025.

WHO. Guidelines on sanitation and health. Geneva: World Health Organization, 2018. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514705>. Acesso em: 20 dez. 2025.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). Our common future. Oxford: Oxford University Press, 1987. Disponível em: <https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development>. Acesso em: 7 jun. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2017: special focus on inequalities. Geneva: WHO and UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP), 2019.

ZHAI, T. T., & CHANG, Y. C. (2019). Standing of environmental public-interest litigants in China: Evolution, obstacles and solutions. *Journal of Environmental Law*, 30, 369–397. <https://doi.org/10.1093/jel/eqy01111>

Zhang, J., & Li, S. (2024). Decoding rurais connections: A comparative insight into social network analysis in rural communities of China and beyond. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 22(4), 501–514. <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2024.11.013>