

# Alternativas para a gestão de efluentes domésticos em instalações militares isoladas

*Wastewater management alternatives for isolated military facilities*

Raquel Alves Ribeiro Pontes<sup>1\*</sup> , Paula Loureiro Paulo<sup>2</sup> , Marc Árpád Boncz<sup>3</sup> 

## RESUMO

O déficit em esgotamento sanitário nas comunidades isoladas é um obstáculo à universalização do saneamento, prescrita pelo Objetivo 6 de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) e pela Lei nº 14.026/2020. Projetos de tratamento de efluentes nas bases remotas do Exército Brasileiro podem auxiliar a reverter esse quadro. Portanto, o objetivo deste trabalho foi propor diferentes alternativas para a gestão de esgotos domésticos em instalações militares isoladas que possam ser aproveitadas em comunidades nos arredores. Um quartel isolado no Pantanal (Brasil) serviu como estudo de caso. Onze cenários foram propostos, classificados em sistemas individuais com separação de efluentes na fonte e sistemas individuais e semicoletivos para tratar esgoto doméstico convencional. No primeiro caso, não há remoção de lodo e as tecnologias de tratamento e disposição final selecionadas foram: 1) tanque de evapotranspiração (TEvap) para águas escuras (AE) e círculo de bananeiras (CB) para águas cinzas (AC); 2) TEvap para AE e *wetlands* de fluxo subsuperficial horizontal (WCH) seguido de vala de infiltração (VI) para AC; 3) TEvap para AE e *wetlands* de fluxo subsuperficial vertical (WCV) e VI para AC. Nos outros casos, sugeriu-se a utilização de leito de secagem e compostagem simplificados para o gerenciamento local do lodo, e as tecnologias foram: 1) tanque séptico (TS) seguido por filtro anaeróbico (FAN) e CB; 2) TS, FAN e VI; 3) TS, WCH e CB; e 4) TS, WCH e VI. Alternativas sem separação na fonte podem ser implementadas pelo Exército em edificações existentes, sendo necessário incentivar a separação na fonte nos novos projetos. Propuseram-se também ações para facilitar a replicação no entorno.

**Palavras-chave:** sistemas descentralizados; sustentabilidade ambiental; arranjo tecnológico.

## ABSTRACT

The sanitation deficit in isolated communities is an obstacle to achieve universal sanitation, prescribed by SDG-6 and by Law n. 14026/2020. Effluent treatment projects in remote Brazilian Army bases can improve this situation. Therefore, the objective of this work was to propose different wastewater management alternatives for isolated military facilities, which can be used in surrounding communities. An isolated base in Pantanal (Brazil) was the case study. Eleven scenarios were proposed, classified into individual systems with and without source effluent separation and semi-collective systems to treat conventional domestic sewage. In the first case, there is no sludge removal, and the suggested treatment and final disposal technologies were: 1) evapotranspiration tank (TEvap) for black water (BW) and banana circle (BC) for greywater (GW); 2) TEvap for BW and horizontal subsurface flow constructed wetlands (HCW) followed by infiltration trench (IT) for GW; 3) TEvap for BW and vertical subsurface flow constructed wetlands (VCW) and IT for GW. In other cases, simplified drying bed and composting were suggested for local sludge management and the technologies were: 1) septic tank (ST) followed by anaerobic filter (ANF) and BC; 2) ST, ANF, IT; 3) ST, HCW, BC; 4) ST, HCW, IT. Alternatives without source separation can be implemented by the Army in existing buildings, and it is necessary to encourage source separation in new projects. Actions were also proposed to facilitate replication in the surroundings.

**Keywords:** decentralized systems; environmental sustainability; technological arrangement.

<sup>1</sup>Engenheira Química pelo Instituto Militar de Engenharia (IME). Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Engenheira Química do Exército Brasileiro.

<sup>2</sup>Engenheira Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Engenharia de Saúde Pública pela Leeds University (Inglaterra). Doutora em Ciências Ambientais pela Wageningen University and Research Centrum (Holanda). Professora associada da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da UFMS. Líder do grupo de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) "Saneamento Focado em Recursos".

<sup>3</sup>Químico e Mestre em Química Orgânica pela Vrije Universiteit Amsterdam (Holanda). Doutor em Tecnologia Ambiental pela Wageningen University & Research Centre (Holanda). Professor associado da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da UFMS.

\*Endereço para correspondência: QGEx - Departamento de Ciência e Tecnologia - Bloco "G", Térreo, SMU, Brasília, DF, CEP: 70630-901. e-mail: raquelpontes.alves@eb.mil.br

## 1. INTRODUÇÃO

Até 2030, um dos desafios globais é assegurar o saneamento para todos, conforme Objetivo 6 de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6), da Organização das Nações Unidas (ONU) (UN, 2015). No Brasil, além desse compromisso internacional, a Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020) prevê a universalização dos serviços de água e esgoto até 2033, mas ainda há muito a progredir.

Nas áreas rurais e remotas do país, 7 em cada 10 pessoas viviam sem saneamento adequado, de acordo com censo realizado em 2010 (IBGE, 2011). O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), publicado em 2019 (BRASIL, 2019a), demonstrou que apenas 20,6% da população rural têm atendimento adequado quanto ao esgotamento sanitário, enquanto 54,1% têm atendimento precário e 25,3% não têm nenhum atendimento. Consequentemente, implantar soluções descentralizadas em comunidades isoladas é imprescindível para a universalização do saneamento.

A depender dos objetivos estratégicos da nação, quartéis podem localizar-se em comunidades isoladas. Os Pelotões Especiais de Fronteira (PEFs) do Exército Brasileiro (EB) são instalações militares isoladas localizadas em regiões fronteiriças do Brasil. Neles, vivem cerca de 20 a 50 militares, às vezes com suas famílias, que têm a missão de defender as fronteiras brasileiras e auxiliar operações interagências de combate ao contrabando e ao tráfico de drogas, contribuindo para o desenvolvimento e o povoamento das comunidades do entorno. Em algumas situações, o PEF é o único órgão do poder público nessas localidades. Assim, caso a instituição implante tecnologias de gestão de efluentes adequadas ao contexto local, poderá influenciar novas construções nos arredores, o que contribuirá para a expansão do esgotamento sanitário nesse tipo de comunidade.

Tradicionalmente, o EB utiliza as tecnologias estabelecidas nas normas brasileiras (ABNT, 1993, 1997). Contudo, publicações da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) (BRASIL, 2018, 2019b) incentivaram o emprego de outras tecnologias inovadoras, simplificadas e sociais, e o PNSR (BRASIL, 2019a) trouxe o planejamento para o saneamento no meio rural brasileiro contemplando o fomento à evolução tecnológica e incluindo soluções

sustentáveis e comprovadamente eficientes na matriz de tecnologias. Nesse sentido, alguns exemplos de tecnologias para o tratamento dos efluentes são a fossa biodigestora, o biodigestor, os *wetlands* construídos, o tanque de evapotranspiração (TEvap) e o círculo de bananeiras (CB), sendo que este último também é utilizado para a disposição final dos efluentes. Além dessa variedade de tecnologias, o tratamento pode ser realizado individual ou coletivamente e a rede hidráulica pode contemplar ou não a separação de efluentes na fonte. Assim, diversificou-se a possibilidade de arranjos tecnológicos para o saneamento.

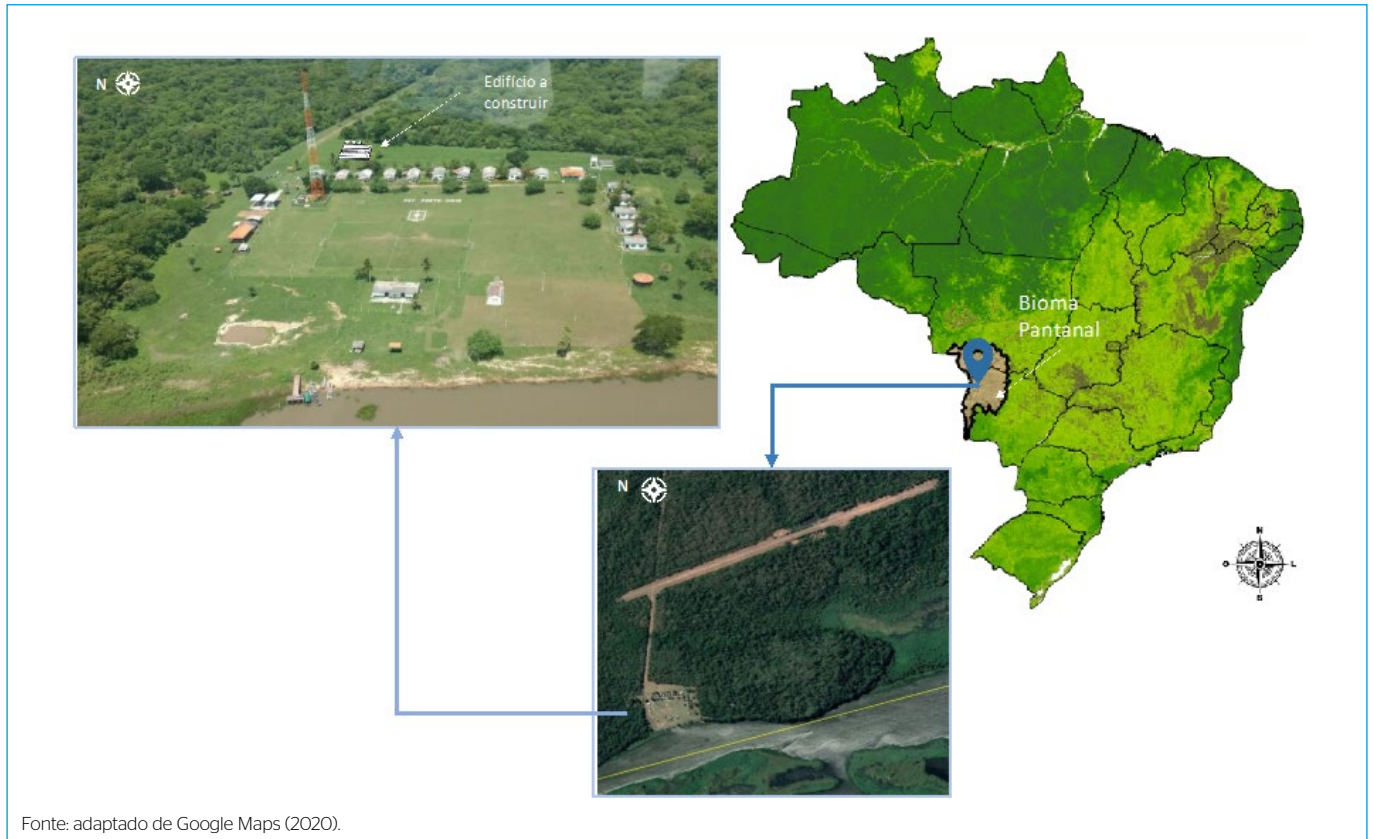
O objetivo deste trabalho foi, portanto, propor diferentes configurações para gerenciamento de esgotos domésticos em instalações militares isoladas que possam ser aproveitadas em comunidades nos arredores, tais como quilombos, assentamentos rurais, ribeirinhos e indígenas.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Características do estudo de caso

As soluções de gestão de esgotos domésticos foram propostas para o PEF de Porto Índio (**Figura 1**), que tem semelhanças com outras bases militares isoladas no território brasileiro. Situado na região do Pantanal fronteiriça com a Bolívia, o PEF está no extremo noroeste do estado de Mato Grosso do Sul e dista mais de 285 km da sede do município mais próximo (Corumbá-MS). Banhado pelo Rio Paraguai, não há acesso por estradas, apenas via fluvial ou aérea. A energia elétrica é restrita e fornecida por geradores a diesel. O efetivo é de 40 militares, que são substituídos periodicamente. O clima do local é tropical com estação seca de inverno (Köppen-Geiger) e o solo é argissolo vermelho-amarelo (GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL, 2016). Conforme teste de sondagem realizado em 2021 no local, há rocha impenetrável em profundidades de 2 a 3 m em diferentes pontos do terreno e o lençol freático não é raso. Não há problemas de abastecimento de água e todas as edificações têm água encanada. Atualmente, há fossas absorventes individuais e não há separação de efluentes.

Quinze residências, um refeitório e uma escola, para as crianças ribeirinhas e indígenas do entorno, são as



Fonte: adaptado de Google Maps (2020).

**Figura 1** – Mapa do Pelotão Especial de Fronteira de Porto Índio.

edificações produtoras de efluentes. Há também uma horta e um curral (galinhas e porcos). Um novo e grande edifício está previsto para ser projetado e construído em breve, visando concentrar grande parte da atividade militar.

## 2.2. Seleção dos arranjos tecnológicos para o gerenciamento de esgotos domésticos

O primeiro passo foi elencar uma variedade de tecnologias adaptáveis a comunidades isoladas para cada etapa do gerenciamento de efluentes domésticos, a partir de extensa revisão bibliográfica (artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais; manuais, catálogos e livros sobre tratamento de efluentes e saneamento; normas e notas técnicas) e consulta a especialistas, levando-se em conta as condições locais.

Excluíram-se opções sem uso de água. Apenas tecnologias aplicáveis a sistemas individuais ou semicoletivos de um número reduzido de domicílios foram consideradas, uma vez que o PNSR (BRASIL, 2019a) afirma que ações individuais são prioritárias para o contexto de

comunidades isoladas, sugerindo também algumas soluções para agrupamentos menores.

Ademais, buscou-se seguir a estratégia definida pelo PNSR (BRASIL, 2019a) de dar preferência à tecnologia já utilizada e, quando necessário, promover sua adequação ou melhoria. Nesse sentido, Firmansyah *et al.* (2021) também maximizaram o uso da infraestrutura de esgotamento sanitário já existente ao construírem os seus cenários de avaliação, visando economizar recursos.

Quanto às tecnologias de tratamento, priorizaram-se as seguintes características para a escolha: simples, baixo custo, sustentáveis e/ou sociais, conforme incentivada a Sustainable Sanitation Alliance (SUSANA, 2008) e o PNSR (BRASIL, 2019a). Já quanto à disposição final, adotaram-se apenas tecnologias de infiltração no solo, por serem mais sustentáveis, permitindo o aproveitamento dos nutrientes e um tratamento complementar do efluente no solo (BRASIL, 2018; TONETTI *et al.*, 2018). O reúso dos efluentes não foi considerado, dado o cuidado exigido (TONETTI *et al.*, 2018).

Após o levantamento inicial das tecnologias, alguns critérios foram estabelecidos para exclusão de opções:

- Tecnologias não consolidadas, pois o EB tem de motivar o gasto público por meio de documentos confiáveis que comprovem a eficácia dos sistemas.
- Dependência de energia elétrica, devido às restrições de fornecimento.
- Complexidade de operação e/ou manutenção, devido à substituição periódica de militares.
- Manutenção frequente, devido às dificuldades logísticas e à substituição periódica de pessoal.
- Tecnologias comerciais, pois geralmente são atreladas a manutenção/operação “casadas” e há dificuldades de acesso ao local.

O segundo passo foi analisar todas as tecnologias individualmente à luz de cada critério e quaisquer dificuldades adicionais à sua implementação. As alternativas selecionadas foram então combinadas em diferentes arranjos tecnológicos de sistemas descentralizados. Neles, priorizou-se construir sistemas sem remoção de lodo, afinal, o seu gerenciamento é um gargalo no caso de comunidades isoladas (TONETTI *et al.*, 2018). De fato, quando o acesso é difícil, a única opção é o manejo do lodo ser feito no local pela comunidade, o que é bastante arriscado, tanto para a saúde dos operadores quanto ambientalmente, e mais caro, devido à construção de uma estrutura para tratamento do lodo (BRASIL, 2019b; TONETTI *et al.*, 2018). Desse modo, pesquisou-se na literatura uma solução segura e mais barata para a gestão de lodo descentralizada nos sistemas de saneamento que assim necessitarem.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na infraestrutura local, as seguintes tecnologias foram adotadas para as etapas de gestão de esgotos domésticos:

- Interface com o usuário — bacias sanitárias com caixa acoplada sem separação de urina e mictórios com descarga (pontos de geração de águas escuras — AE); pias, tanques, máquinas de lavar e ralos (pontos de geração de águas cinzas — AC).
- Transporte — tubulações simplificadas (rede coletora condominial em sistemas semicoletivos).

Quanto ao tratamento dos efluentes, algumas tecnologias foram excluídas (**Tabela 1**) e outras, julgadas adequadas: tanque séptico (TS)<sup>1,4,8,9,13,16,24,25,26</sup>; filtro anaeróbio (FAN)<sup>2,4,8,9,12,25</sup>; *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial horizontal (WC H)<sup>3,8,9,13,16,19,22,23,24,25</sup>; TEvap<sup>3,8,9,11,13,18,25</sup> e CB<sup>3,5,8,9,13,25</sup>.

As tecnologias selecionadas para infiltração no solo foram o CB e a vala de infiltração (VI) — que deve ser plantada, pois as raízes facilitam a infiltração do esgoto tratado e a evapotranspiração (TONETTI *et al.*, 2018), cooperando para o aproveitamento dos nutrientes. Já o poço de infiltração e o filtro de *mulch* foram rejeitados por serem idealizados para pequenas vazões (BRASIL, 2018) e pouco citados na literatura brasileira. O canteiro de infiltração e evapotranspiração foi descartado, pois pode abranger algumas tecnologias sustentáveis, como WC e TEvap, segundo especialistas. E o sumidouro foi preterido em relação à VI, pois o solo do PEF de Porto Índio é pouco permeável.

A solução proposta para o manejo do lodo em quartéis isolados foi a sugerida pela Funasa (BRASIL, 2017) e ratificada por Tonetti *et al.* (2018): coleta por meio de uma bomba manual e tratamento via leito de secagem e compostagem simplificados, sendo algumas melhorias passíveis de serem aplicadas. Por exemplo, a coleta do lodo por meio de tanques de sucção de pequeno porte, apesar das desvantagens — dependência de energia elétrica e/ou combustível, bem como maior frequência de manutenção —, reduz os riscos aos operadores em relação à bomba manual. E o leito de secagem pode ser projetado segundo a NBR 12209/2011, dispensando o tratamento complementar de compostagem simples.

Combinando-se as tecnologias selecionadas em cada etapa da gestão de efluentes, 11 configurações de arranjos tecnológicos de sistemas descentralizados de esgotamento sanitário foram obtidas (**Tabela 2** e **Figura 2**): sistemas individuais com separação de efluentes na fonte (alternativas 1, 2 e 3), sistemas individuais para tratar esgoto doméstico convencional (alternativas 4 a 7) e sistemas semicoletivos para tratar esgoto doméstico convencional de um número reduzido de domicílios (alternativas 8 a 11). Não é viável utilizar sistemas semicoletivos que separam os efluentes na fonte devido à falta de segregação nas redes prediais das edificações. Além disso, por simplicidade e para reduzir

**Tabela 1 - Tecnologias excluídas para o tratamento de esgotos domésticos em bases militares isoladas.**

	Tecnol. Não consolidada	Depen. en. elé.	Complex. op./manut.	Manut. frequente	Tecnologia comercial	Dificuldades adicionais
Evapotranspiração e tratamento de água cinza clara <sup>9,22</sup>	x - pouca aplicação prática					Não haverá separação completa de efluentes
Sistemas industrializados <sup>15,20</sup>					x	
Vermifiltro <sup>3,14,25</sup>	x - s/normas e padrões			x - retirar húmus		
Biosistema integrado <sup>6,13,25</sup>			x	x		Produção de biogás insuficiente
<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket - Compacto</i> <sup>7,9,24,25</sup>	x - poucos estudos em escalas menores	x - às vezes	x		x - opções comerciais	Produção de biogás insuficiente
Wetlands construídos (WC) sistema francês <sup>3,8,9,13,16,19,22,23,24,25</sup>	x - pouco uso no Brasil	x - se bombas	x - bombas e sifões			Não indicado p/ tratamento dentro do próprio lote
Biodigestor <sup>3,4,8,12,13,24,25</sup>			x	x		Construção mais difícil e cara; biogás insuficiente.
Reator Anaeróbico Compartimentado <sup>4,8,10,12,24,25</sup>	x - pouco uso no Brasil					Construção mais difícil e cara
*WC de fluxo subsuperficial vertical (WCV) <sup>3,8,9,13,16,19,22,23,24,25</sup>		x - se bombas	x - bombas e sifões			Não colocar tubulações acima do meio suporte
WC de fluxo superficial <sup>3,8,9,13,16,19,22,23,24,25</sup>	x - pouco uso no Brasil					Não indicado p/ tratamento dentro do próprio lote
Vala de filtração e Filtro de areia <sup>2,9,25</sup>			x	x	x - opções comerciais	Indicado só se não der p/ usar outro sistema mais barato
Fossa séptica biodigestora <sup>5,8,13,21,25</sup>	x - recomenda-se mais estudos			x - fonte de esterco	x - opções comerciais	
Filtro de <i>mulch</i> <sup>5,8,17,25</sup>	x - pouco uso no Brasil					Adequado a pequenas vazões

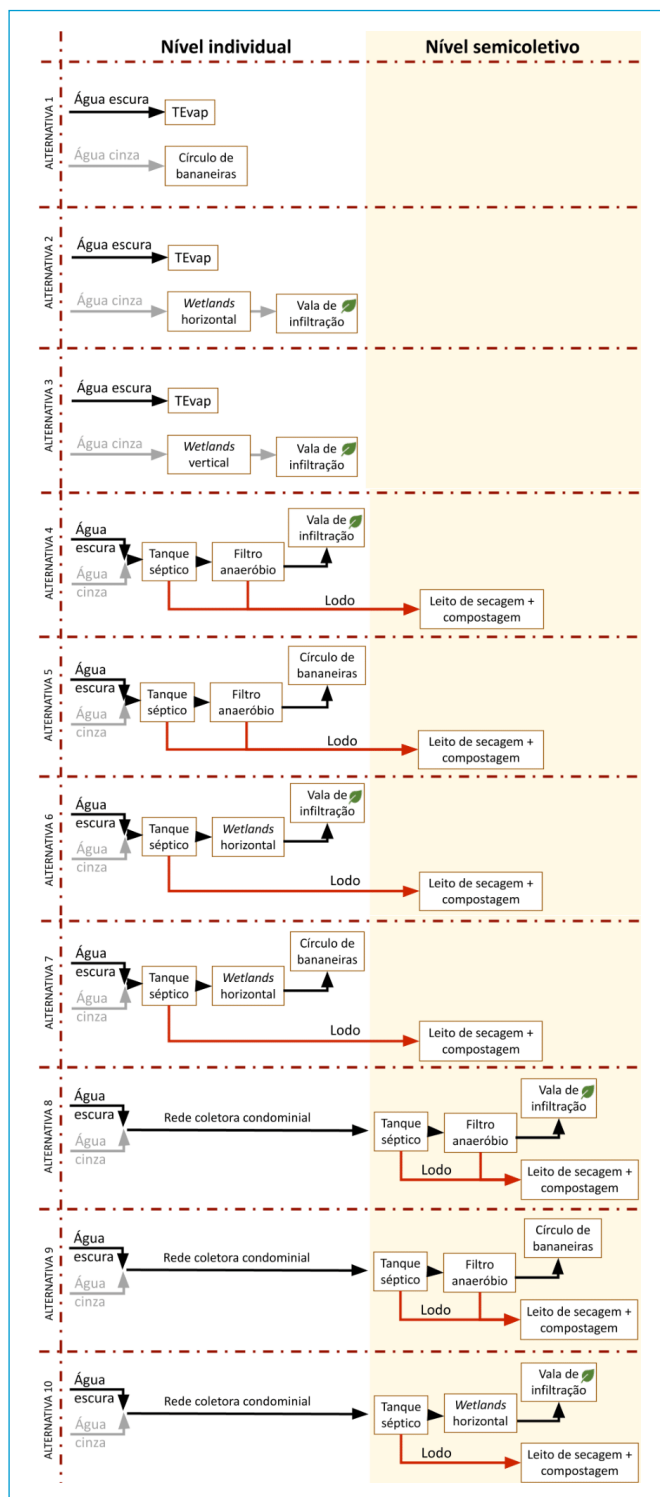
\*Excluída apenas para tratar esgoto doméstico, sendo aplicável a águas cinzas com uso de sifões; <sup>1</sup>(ABNT, 1993); <sup>2</sup>(ABNT, 1997); <sup>3</sup>(CASTAGNA *et al.*, 2019); <sup>4</sup>(ELVAS e SY 2005); <sup>5</sup>(FIGUEIREDO, 2019); <sup>6</sup>(FONSECA, 2008); <sup>7</sup>(FRANCESCHINI, 2018); <sup>8</sup>(BRASIL, 2018); <sup>9</sup>(BRASIL, 2019b); <sup>10</sup>(BRASIL, 2019a); <sup>11</sup>(HU *et al.*, 2016); <sup>12</sup>(LE JALLÉ *et al.*, 2012); <sup>13</sup>(MACHADO *et al.*, 2019); <sup>14</sup>(MADRID *et al.*, 2019); <sup>15</sup>(MARTINETTI, 2015); <sup>16</sup>(METCALF e EDDY *et al.*, 2007); <sup>17</sup>(MOREL e DIENER, 2006); <sup>18</sup>(PAULO *et al.*, 2019); <sup>19</sup>(SANTOS, 2019); <sup>20</sup>(SARRI, 2018); <sup>21</sup>(SENAR, 2019); <sup>22</sup>(SEZERINO *et al.*, 2021); <sup>23</sup>(VON SPERLING e SEZERINO, 2018); <sup>24</sup>(TILLEY *et al.*, 2014); <sup>25</sup>(TONETTI *et al.*, 2018); <sup>26</sup>(WHO, 2006).

**Tabela 2 - Alternativas para o gerenciamento dos esgotos domésticos em bases militares isoladas.**

nº	Interface com o usuário	Coleta e transporte	Tratamento de AE	Tratamento de AC	Gestão do lodo	Disposição final - Infiltração no solo
1	Pontos de geração de AE: bacias sanitárias com caixa acoplada sem separação de urina e mictórios com descarga	AE e AC coletadas separadamente e tratadas em sistemas individuais	TEvap (sistema individual)	CB (sistema individual)	-	-
2				WCH (sistema individual)		Apenas para AC: VI (plantada)
3				WCV (sistema individual)		Apenas para AC: VI (plantada)
4	Pontos de geração de AC: pias, tanques, máquinas de lavar e ralos.	Esgoto convencional (AE+AC) coletado sem separação e tratado em sistema individual	TS + FAN (sistema individual)	Leito de secagem e compostagem	VI (plantada)	
5					CB	
6					VI (plantada)	
7					CB	
8	Pontos de geração de AC: pias, tanques, máquinas de lavar e ralos.	Esgoto convencional (AE+AC) coletado sem separação de forma semicoletiva e transportado via rede coletora condominial	TS + FAN (sistema semicoletivo de um número reduzido de domicílios)	Leito de secagem e compostagem	VI (plantada)	
9					CB	
10					VI (plantada)	
11			TS + WCH (sistema semicoletivo de um número reduzido de domicílios)		CB	

AE: águas escuras; AC: águas cinzas; TEvap: tanque de evapotranspiração; CB: círculo de bananeiras; WCH: *wetlands* de fluxo subsuperficial horizontal; VI: vala de infiltração; WCV: *wetlands* de fluxo subsuperficial vertical; TS: tanque séptico; FAN: filtro anaeróbico.





**Figura 2 -** Alternativas para a gestão de efluentes em bases militares isoladas (tratamento e disposição final).

custos, o CB não foi considerado apenas para disposição final de AC, já que é capaz de tratá-las, diferentemente da VI, cuja eficiência para tratamento de AC ainda está em estudo (TONETTI *et al.*, 2018).

As 11 alternativas são passíveis de ser empregadas, segundo a literatura, para a gestão dos efluentes domésticos em instalações militares isoladas brasileiras, em especial o PEF de Porto Índio, ou em países semelhantes. As tecnologias elencadas são normalmente empregadas em comunidades remotas, buscam seguir os princípios da sustentabilidade e, embora nem todas estejam previstas nas normas brasileiras, têm respaldo técnico e se encontram em documentos de órgãos brasileiros (BRASIL, 2018, 2019b) e nas diretrizes do PNSR (BRASIL, 2019b). A única mudança pode ser substituir a VI por sumidouro, a depender do tipo de solo e do nível do lençol freático do local avaliado.

Os sistemas que tratam de esgoto doméstico convencional se destacam porque podem ser instalados nas edificações já existentes dos quartéis isolados. Por outro lado, o manejo do lodo é necessário e, apesar de o leito de secagem e a compostagem serem uma solução satisfatória, envolvem maiores custos, riscos à saúde e complexidade de operação e manutenção. Já os sistemas com separação de efluentes na fonte são os mais sustentáveis e recomendados, pois fecham o ciclo de nutrientes e proporcionam outros benefícios, como redução da produção de esgoto, possibilidade de reaproveitamento de recursos e maior eficiência do tratamento (BRASIL, 2018, 2019a; MACHADO *et al.*, 2019; SUSTAINABLE SANITATION ALLIANCE, 2008). Ainda, neste trabalho, tais cenários foram construídos de modo a não exigir a remoção de lodo. Consequentemente, sugere-se que nos novos projetos de obras no EB, particularmente nos PEFs, a separação de efluentes na fonte seja incentivada.

Diante disso, os sistemas com separação de efluentes na fonte têm grande potencial de aplicação no país em longo prazo. Inclusive, em diferentes comunidades isoladas eles já são passíveis de serem implantados, pois é comum a água do vaso estar separada do restante do esgoto (TONETTI *et al.*, 2018). Por outro lado, redes prediais com separação completa dos efluentes ainda são uma realidade bem distante no Brasil e por isso não foram abordadas neste trabalho.

Além das 11 configurações, as tecnologias apresentadas em cada etapa da gestão de efluentes, desde a coleta até a disposição final, e os seus critérios de exclusão constituem valiosas fontes de consulta para estudos de concepção de

projetos de obras em comunidades isoladas, sobretudo no âmbito de novos empreendimentos públicos ou comerciais e, em particular, dos PEFs do EB. Nesse contexto, é importante destacar que os arranjos tecnológicos foram elaborados visando à minimização dos custos, mas sem deixar de cumprir as exigências da legislação ambiental. Isso significa que foram selecionadas apenas as tecnologias essenciais para garantir que os efluentes tratados possam ser descartados no solo sem causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas, conforme estabelecido no artigo 2º da Resolução CONAMA nº 430, de 2011 (BRASIL, 2011).

Ademais, para que a instalação do sistema de saneamento na base militar estimule a replicação no entorno, sugere-se o estabelecimento de uma política por meio da qual os membros das comunidades acompanhem a instalação, a operação e a manutenção dos sistemas nos quartéis isolados. Em caso de sistemas semicoletivos e/ou estruturas para a gestão do lodo, recomenda-se também a coordenação da liderança local para a instalação e operação.

#### 4. CONCLUSÕES

As principais conclusões são:

- Onze alternativas são propostas como soluções possíveis e adequadas para o gerenciamento de esgotos domésticos em instalações militares isoladas e que também podem ser aproveitadas em comunidades isoladas civis:
- três sistemas individuais com separação de efluentes na fonte: 1) TEvap (AE) e CB (AC), 2) TEvap (AE), WCH e VI (AC), 3) TEvap (AE), WCV e VI (AC); quatro sistemas individuais para tratar esgoto doméstico convencional: 4) TS, FAN e CB, 5) TS, FAN e VI, 6) TS, WCH e CB, 7) TS, WCH e VI; e, ainda, quatro sistemas semicoletivos para tratar esgoto doméstico convencional de um número reduzido de domicílios, com os mesmos arranjos dos sistemas individuais. Dependendo do local avaliado, o sumidouro pode ser priorizado em relação à VI.
- Os sistemas de saneamento, as tecnologias elencadas e o seu processo de seleção podem ser utilizados nas etapas de concepção de projetos de obras em comunidades isoladas, sobretudo para instalações militares.
- Leito de secagem e compostagem simplificados são uma solução satisfatória para o manejo do lodo no local, apesar das desvantagens.
- Sugere-se a implantação das alternativas que envolvem a separação de efluentes na fonte sempre que for possível, o que, no caso dos quartéis isolados do EB, é aplicado às novas edificações a serem construídas.
- Uma política de envolvimento da liderança das comunidades civis adjacentes com a implantação do sistema de saneamento na base militar isolada pode contribuir para a ampliação do saneamento.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BRASIL. *Lei nº 14.026*, de 15 de julho de 2020. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade

federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Brasília: Diário Oficial da União, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Tecnologia de tratamento de lodo de tanque séptico unifamiliar conjuntamente com resíduos sólidos orgânicos aplicada em municípios de pequeno porte do semiárido paraibano* - Tectraloro. Brasília: Funasa, 2017. p. 7-37. (8º Caderno de pesquisa em Engenharia de Saúde Pública).

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *CataloSan*: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos. Campo Grande: UFMS, 2018.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Programa Nacional de Saneamento Rural*. Brasília: Funasa, 2019a.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Manual de Saneamento*. 5 ed. Brasília: Funasa, 2019b.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 430*, de 13 maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília: Diário Oficial da União, 2011.
- CASTAGNA, G.; BARROS, L.; SAMORA, P.; YAMAMOTO, P.; DIAS, J. *Guia Prático Manejo da Água*. 2 ed. São Paulo: IPESA, 2019.
- ELVAS, L.; SY, J. *Philippines sanitation sourcebook and decision aid (English)*. Water and Sanitation Program (WSP) Washington, D.C.: World Bank Group, 2005.
- FIGUEIREDO, I. C. S. *Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas*. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.
- FIRMANSYAH, I.; CARJENS, G. J.; DE RUIJTER, F. J.; ZEEMAN, G.; SPILLER, M. An integrated assessment of environmental, economic, social and technological parameters of source separated and conventional sanitation concepts: A contribution to sustainability analysis. *Journal of Environmental Management*, v. 295, n. 1, p. 113131, 2021.
- FONSECA, A. R. *Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil*. 2008. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2008.
- FRANCESCHINI, G. *Tecnologias de baixo custo para tratamento de esgoto rural: reator UASB e Fossa Séptica Econômica*. 2018. 126f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, 2018.
- GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. *Geoambientes na faixa de fronteira do MS - GT NFMS*. Campo Grande: SEMADE/IMASUL, 2016.
- 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.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Brasileiro Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- LE JALLÉ, C.; BAEHRE, C.; NGNIKAM, E.; DÉVILLE, D.; ILY, J.-M. *CMS guide nº 1: How to develop a concerted municipal strategy for water and sanitation*. Concerted Municipal Strategies (CMS), a program coordinated by the Municipal Development Partnership (MDP) and programme Solidarité Eau (pS-Eau), 2012.
- MACHADO, G. C. X. M. P.; ROALE, C.; SOBRINHO, F. X.; RUPRECHT, T.; OLIVEIRA, F. J. R. *Caminhos e cuidados com as águas: faça você mesmo seu sistema de saneamento ecológico*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2019.
- MADRID, F. J. P. Y. L.; SCHNEIDER, J.; MARQUES, M. M. S.; PARIZOTTO, M. C.; FIGUEIREDO, I. C. S.; TONETTI, L. A. Vermifiltração: o uso de minhocas como uma nova alternativa para o tratamento de esgoto. *Revista DAE*, v. 67, n. 220, p. 128-140, 2019.
- MARTINETTI, T. H. *Análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para habitações unifamiliares*. 2015. 310f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.
- METCALF & EDDY, INC. AN A. C.; ASANO, T.; BURTON, F.; LEVERENZ, H. *Water reuse: issues, technologies, and applications*. New York: McGraw-Hill Education, 2007.
- MOREL, A.; DIENER, S. *Greywater management in low and middle-income countries: Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2006.
- 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 and Recycling*, v. 147, p. 61-66, 2019.
- SANTOS, A. B. (org). *Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais*. Foz de Iguaçu: Imprece, 2019.
- SARRI, R. F. *Proposta de tambor séptico biodigestor para várzea Amazônica e sua contribuição para o tratamento de esgoto na conservação dos recursos hídricos*. 2018. 107f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). *Saúde: saneamento rural*. Brasília: SENAR, 2019.
- SEZERINO, P. H.; PELISSARI, C. (orgs.). *Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras*. Curitiba: Brazil Publishing, 2021.



SUSTAINABLE SANITATION ALLIANCE (SUSANA). Towards more sustainable sanitation solutions Towards more sustainable sanitation solutions. 2008. Disponível em: <<https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/>>. Acesso em: 6 abr. 2022.

TILLEY, E.; ULRICH, L.; LÜTHI, C.; REYMOND, P.; ZURBRÜGG, C. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2 ed. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P. Y L.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N.; FERNANDES, P. M.; LIMA COASACA, R.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. *Tratamento*

*de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções*. Campinas: Biblioteca/Unicamp, 2018.

UNITED NATIONS. *Sustainable development knowledge platform*. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/>>. Acesso em: 8 nov. 2022.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. Documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. *Boletim Wetlands Brasil*, Edição Especial, dezembro/2018, p. 65, 2018. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>. Acesso em: 7 abr. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta, and greywater*. 3 ed. Geneva: WHO, 2006.