



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ESGOTO SEGREGADO NA ÁREA RURAL E ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO:**  
**ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**

**Michelle Cristina de Castro Souza**

**Belo Horizonte**  
**2025**

**Michelle Cristina de Castro Souza**

**ESGOTO SEGREGADO NA ÁREA RURAL E ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO:  
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Dr. Tiago Borges Ferreira

Belo Horizonte

2025

**MICHELLE CRISTINA DE CASTRO SOUZA**

**ESGOTO SEGREGADO NA ÁREA RURAL E ALTERNATIVAS DE  
TRATAMENTO: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 03 de dezembro de 2025

Banca examinadora:

---

Tiago Borges Ferreira – Presidente da Banca Examinadora  
Prof. DSc. CEFET-MG – Orientador

---

André Luiz Marques Rocha  
Prof. MSc. CEFET-MG

---

Túlio César Floripes Gonçalves  
Prof. DSc. CEFET-MG



**FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC Nº 13/2025 - DCTA (11.55.03)**

**(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

**(Assinado digitalmente em 04/12/2025 08:53 )**

**ANDRE LUIZ MARQUES ROCHA**  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: ###439#6

**(Assinado digitalmente em 04/12/2025 08:01 )**

**TIAGO BORGES FERREIRA**  
PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: ###585#8

**(Assinado digitalmente em 04/12/2025 09:09 )**

**TULIO CESAR FLORIPES GONCALVES**  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: ###754#5

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: **13**, ano: **2025**, tipo:  
**FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão: **04/12/2025** e o código de verificação: **6f79d54a47**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família por todo apoio e compreensão durante essa etapa da minha vida. Em especial aos meus pais, Claudio Alexandre e Glayse Maria, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e nunca medindo esforços para que eu chegasse até aqui. Cada sacrifício feito por vocês, muitas vezes em silêncio, foi parte essencial desta conquista.

Ao meu irmão, Richard, cujo apoio e parceria também foram fundamentais nessa caminhada, deixo minha sincera gratidão.

Agradeço a Deus por me dar esperança e força, mesmo nos momentos mais difíceis.

Registro meus agradecimentos também ao meu orientador, Prof. Tiago Borges, pela confiança, paciência e conselhos, sempre com dedicação ao longo deste estudo. Estendo também minha gratidão aos demais professores da graduação, pelos ensinamentos que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

Por fim, agradeço aos familiares e amigos que torceram por mim, ofereceram palavras de incentivo ou simplesmente estiveram presentes quando eu mais precisava.

## RESUMO

SOUZA, Michelle C. C. Esgoto segregado na área rural e alternativas de tratamento: estudo de caso na bacia do rio São Francisco. 2025. 67 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

O saneamento rural ainda representa um grande desafio para a universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil, em especial quanto ao esgotamento sanitário. Este trabalho tem como objetivo analisar o potencial de ampliação do portfólio de soluções de tratamento de esgoto na área rural, com foco na viabilidade das soluções destinadas a esgoto segregado. Desse modo, a pesquisa foi desenvolvida a partir da análise de dados secundários do IBGE sobre adequabilidade de soluções de esgotamento sanitário, além da avaliação de dois contratos públicos com a Agência Peixe Vivo na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, que tiveram como objetivo fazer o diagnóstico da área e implementar tecnologias individuais de tratamento de esgotamento sanitário em comunidades rurais. Os resultados indicam um cenário rural marcado por elevada inadequação segundo os critérios nacionais. Nos municípios contemplados pelo contrato, o esgotamento sanitário inadequado atinge 87% dos domicílios rurais (déficit). Em contrapartida, a análise das localidades específicas demonstrou que 68% dos domicílios avaliados realizam algum nível de separação entre águas cinzas e águas fecais, indicando que a segregação do esgoto é uma prática assimilada localmente. Assim, percebe-se que, o reconhecimento e a ampliação das soluções de esgoto segregado podem contribuir para a sustentabilidade, eficiência e adaptação dessas soluções às realidades rurais brasileiras.

**Palavras-chave:** Saneamento rural. Esgoto segregado. Soluções descentralizadas.

## ABSTRACT

SOUZA, Michelle C. C. **Segregated sewage in rural areas and treatment alternatives: a case study in the São Francisco River basin.** 2025. 67 p. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

Rural sanitation still represents a major challenge for the universalization of basic sanitation services in Brazil, especially with regard to sewage disposal. This study aims to analyze the potential for expanding the portfolio of sewage treatment solutions in rural areas, focusing on the feasibility of solutions for segregated sewage. Thus, the research was developed based on the analysis of secondary data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) on the adequacy of sewage solutions, in addition to the evaluation of two public contracts with the Peixe Vivo Agency in the São Francisco River Basin, which aimed to diagnose the area and implement individual sewage treatment technologies in rural communities. The results indicate a rural scenario marked by high inadequacy according to national criteria. In the municipalities covered by the contract, inadequate sewage reaches 87% of rural households (deficit). On the other hand, the analysis of specific locations showed that 68% of the households evaluated perform some level of separation between gray water and fecal water, indicating that sewage segregation is a locally assimilated practice. Thus, it is clear that the recognition and expansion of segregated sewage solutions can contribute to the sustainability, efficiency, and adaptation of these solutions to Brazilian rural realities.

**Keywords:** Rural sanitation. Segregated sewage. Decentralized solutions.

## SUMÁRIO

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| <b>1</b>      | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>2</b>      | <b>OBJETIVO GERAL .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>2.1.</b>   | <b>Objetivos específicos .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>3</b>      | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>3.1.</b>   | <b>Saneamento básico .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>3.2.</b>   | <b>Esgotamento sanitário .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>3.3.</b>   | <b>Classificação de adequação do esgotamento sanitário .....</b>                                     | <b>19</b> |
| <b>3.4.</b>   | <b>Componentes dos sistemas de esgotamento sanitário .....</b>                                       | <b>21</b> |
| <b>3.5.</b>   | <b>Etapas e tipos de tratamento de esgoto .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>3.5.1.</b> | <i>Tratamento Preliminar .....</i>   | <i>22</i> |
| <b>3.5.2.</b> | <i>Tratamento primário .....</i>   | <i>22</i> |
| <b>3.5.3.</b> | <i>Tratamento secundário .....</i>   | <i>23</i> |
| <b>3.5.4.</b> | <i>Tratamento terciário .....</i>  | <i>23</i> |
| <b>3.6.</b>   | <b>Classificação dos sistemas de esgotamento: individuais e coletivos .....</b>                      | <b>23</b> |
| <b>3.7.</b>   | <b>Áreas rurais e suas características .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>3.8.</b>   | <b>Cenário atual do saneamento em áreas rurais do brasil.....</b>                                    | <b>27</b> |
| <b>3.9.</b>   | <b>Soluções técnicas aplicadas ao esgotamento sanitário das áreas rurais .....</b>                   | <b>29</b> |
| <b>3.9.1.</b> | <i>Tecnologias aplicáveis ao tratamento de esgotos domésticos não segregados .</i>                   | <i>29</i> |
| <b>3.9.2.</b> | <i>Tecnologias aplicáveis ao tratamento de esgotos domésticos segregados .....</i>                   | <i>33</i> |
| <b>4</b>      | <b>METODOLOGIA .....</b>   | <b>39</b> |
| <b>4.1.</b>   | <b>Área de estudo .....</b>  | <b>39</b> |
| <b>4.2.</b>   | <b>Tratamento dos dados .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>5</b>      | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>5.1</b>    | <b>Situação do Esgotamento Sanitário nos Municípios da bacia em estudo ....</b>                      | <b>43</b> |
| <b>5.2</b>    | <b>Situação do Esgotamento Sanitário nos Municípios Contemplados pelo Contrato .....</b>             | <b>45</b> |
| <b>5.3</b>    | <b>Relação entre os Resultados Observados e as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Rural.....</b> | <b>51</b> |
| <b>6</b>      | <b>CONCLUSÕES .....</b>  | <b>60</b> |
| <b>7</b>      | <b>RECOMENDAÇÕES .....</b>   | <b>62</b> |



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3.1</b> - Gradiente de sistemas de tratamento de esgoto, conforme o seu nível de centralização. ....  | 25 |
| <b>Figura 3.2</b> - População por situação do domicílio no Brasil. ....   | 27 |
| <b>Figura 3.3</b> - Percentual de domicílios com esgotamento sanitário considerado adequado por região e situação do domicílio. ....  | 28 |
| <b>Figura 3.4</b> - Esquema de tanque séptico. ....   | 31 |
| <b>Figura 3.5</b> - Esquema de um tanque de evapotranspiração. ....   | 34 |
| <b>Figura 3.6</b> - Esquema de círculo de bananeiras. ....  | 36 |
| <b>Figura 3.7</b> - Esquema de <i>Wetland</i> construído. ....  | 38 |
| <b>Figura 4.1</b> - Mapa geral das localidades. ....  | 40 |
| <b>Figura 5.1</b> - Proporção de moradores por tipo de esgotamento sanitário em domicílios rurais particulares permanentes nos municípios que integram da Bacia do Rio São Francisco. ....                              | 43 |
| <b>Figura 5.2</b> - Proporção de moradores por tipo de esgotamento sanitário em domicílios urbanos particulares permanentes nos municípios que integram a Bacia do Rio São Francisco. ....                              | 43 |
| <b>Figura 5.3</b> - Média dos domicílios particulares permanentes segundo a situação do domicílio e a adequação do esgotamento sanitário nos municípios que compõem a Bacia do Rio São Francisco. ....                  | 44 |
| <b>Figura 5.4</b> - Proporção de moradores por tipo de esgotamento sanitário em domicílios rurais específicos do contrato nos municípios da Bacia do Rio São Francisco – 2022. ....                                     | 47 |
| <b>Figura 5.5</b> - Média dos domicílios particulares permanentes, segundo a situação do domicílio e a adequação do esgotamento sanitário nos municípios contemplados pelo contrato na Bacia do Rio São Francisco. .... | 48 |
| <b>Figura 5.6</b> - Proporção de imóveis que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais nos municípios do contrato nos domicílios rurais - Localidade (Lote 02). ....                                       | 49 |
| <b>Figura 5.7</b> - Proporção de imóveis que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais nos municípios do contrato nos domicílios rurais - Localidade (Lote 01). ....                                       | 50 |
| <b>Figura 5.8</b> - Proporção de domicílios que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais nas localidades avaliadas. ....  | 51 |
| <b>Figura 5.9</b> - Matriz tecnológica de soluções individuais para o esgotamento sanitário. ....   | 53 |

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 3.1** - Caracterização do atendimento e do déficit de acesso ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. ... 16

**Tabela 4.1** - Localidades contempladas pelo contrato e suas coordenadas de referência. ....40

**Tabela 5.1** - Caracterização demográfica e condições de esgotamento sanitário nos municípios do contrato da Bacia do Rio São Francisco (MG). ....46

**Tabela 5.2** - Soluções individuais ou de pequeno porte para o esgotamento sanitário..55

**Tabela 5.3** - Característica cultural principal das localidades. ....57

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

|                    |  |
|--------------------|--|
| ANA                | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico  |
| BET                | A Bacia de Evapotranspiração   |
| EMATER             | Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural  |
| ETE                | Estação de Tratamento de Esgoto  |
| FUNASA             | Fundação Nacional de Saúde   |
| IBGE               | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  |
| NBR                | Norma Brasileira Registrada  |
| PNSB               | Política Nacional de Saneamento Básico   |
| PNSR               | Programa Nacional de Saneamento Rural  |
| SIG                | Sistemas de Informação Geográfica  |
| SIGA São Francisco | Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos da Bacia<br>Hidrográfica do Rio São Francisco |
| TEvap              | Tanque de evapotranspiração  |

## 1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico inclui serviços essenciais como o fornecimento de água potável, o tratamento e a coleta de esgoto, a limpeza urbana e o manejo de resíduos, e a drenagem das águas pluviais urbanas. Além de ser um direito previsto na Constituição Federal, ele é garantido pela Lei nº 11.445/2007, atualizada pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que reforça sua importância na promoção da dignidade humana e para a melhoria das condições de vida da população (Brasil, 2020).

O esgotamento sanitário envolve um conjunto de estruturas e ações destinadas a conduzir os efluentes gerados nas residências até seu destino final, por meio de etapas como coleta, transporte, tratamento e descarte, conforme regulamentado pela legislação nacional (Brasil, 2020). No entanto, apesar dos avanços obtidos na área do saneamento básico, garantir o direito do acesso ao esgotamento sanitário ainda representa um desafio, principalmente nas áreas rurais mais isoladas do país. Diante desse cenário, o Brasil enfrenta o desafio de universalizar os serviços de saneamento básico em áreas rurais, considerando suas características específicas, como a dispersão dos domicílios, as dificuldades de acesso, a baixa densidade populacional e, frequentemente, a escassez de recursos financeiros e técnicos (Tonetti *et al.*, 2018).

Tratar o esgoto antes do descarte é essencial para a preservação ambiental e para a promoção da saúde pública, evitando que poluentes contaminem os corpos hídricos (von Sperling, 1996).

A ausência de saneamento básico é um problema que atinge diretamente a saúde pública, a segurança sanitária, o meio ambiente e a economia local. Assim, a disposição inadequada dos efluentes, frequentemente lançados diretamente no solo ou em corpos d'água, contribui para a contaminação de recursos hídricos, do solo e dos alimentos, além de favorecer a disseminação de doenças de veiculação hídrica, como diarreias, hepatite A, leptospirose, esquistossomose e parasitoses intestinais, que impactam especialmente os grupos de maior risco como crianças, idosos e populações em situação de vulnerabilidade (FUNASA, 2019).

Os projetos de saneamento, visam contribuir para a melhoria das condições de vida dos indivíduos e de seu ambiente, mas é importante garantir que eles funcionem de maneira contínua, acessível e eficaz a toda a população (Souza, 2007).

As bases de dados oficiais, como as do IBGE e do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), adotam uma metodologia que considera como formas adequadas de esgotamento, principalmente, duas configurações: i) coleta de esgotos por rede seguida de tratamento centralizado; e ii) tanque séptico, seguida por pós-tratamento e/ou unidade de disposição final, adequadamente projetada e construída (PLANSAB, 2019).

Assim, são considerados em déficit os atendimentos precários, como a coleta de esgotos não seguida de tratamento e o uso de fossa rudimentar, além das situações sem atendimento, que englobam todas as formas não enquadradas nas definições de atendimento e que se constituem em práticas consideradas inadequadas, tais como: lançamento direto de esgoto em valas, rios, lagos, mar ou outra forma pela unidade domiciliar (PLANSAB, 2019).

A implementação de sistemas de saneamento em áreas rurais exige políticas públicas adaptadas, já que as soluções tradicionais nem sempre são viáveis devido aos desafios como a dispersão geográfica dos domicílios, o isolamento político e territorial em relação às sedes municipais, a localização em áreas de difícil acesso (por vias terrestres ou fluviais), além das limitações financeiras e de pessoal por parte dos municípios, que comprometem a execução dos serviços (PNSR, 2019).

Nesses contextos, os sistemas individuais ou descentralizados têm se mostrado soluções eficazes, para atendimento de um grupo menor de população ou onde o serviço público não alcança, esses sistemas podem contribuir para melhorias nas condições sanitárias, apresentam maior resiliência a eventos extremos e permitem o tratamento segregado de águas cinzas e fecais (Tonetti et al., 2018).

Além disso, a segregação dos esgotos oferece vantagens, por possibilitar a otimização dos sistemas de tratamento, e essa separação reduz o volume e a carga poluidora dos fluxos que cada sistema precisa tratar, melhorando a eficiência e aumentando a vida útil dos dispositivos descentralizados (von Sperling, 1996).

Nesse contexto, o presente estudo objetiva analisar e compreender a situação atual do saneamento básico e identificar as principais soluções descentralizadas aplicáveis ao tratamento de esgoto em áreas rurais, considerando, adicionalmente, a segregação dos efluentes domésticos como uma estratégia técnica e ambientalmente viável para ampliar

o portfólio de soluções de tratamento, favorecendo a implantação de sistemas mais adequados, adaptáveis às particularidades locais e ambientalmente sustentáveis.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Analisar o cenário atual do esgotamento sanitário na área rural da região da Bacia do Rio São Francisco e as possíveis contribuições da segregação de esgotos para soluções de tratamento.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Avaliar o cenário atual do esgotamento sanitário em áreas rurais segundo aspectos legais federais.
- Analisar a perspectiva da região da Bacia do Rio São Francisco sobre as soluções tecnológicas aplicáveis ao meio rural.
- Avaliar as possibilidades de solução de tratamento advindas do uso da segregação de esgotos domésticos.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Saneamento básico**

O saneamento básico, de acordo com a Lei Federal nº 11.445/2007, também conhecida como Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), é o conjunto de serviços que garantem o acesso à água potável, à coleta e tratamento de esgoto, à limpeza urbana e ao manejo de resíduos, e drenagem urbana de águas pluviais. Tais serviços visam a promoção da saúde pública, da qualidade de vida, da proteção do meio ambiente e o desenvolvimento socioeconômico (Brasil, 2007).

Elaborado em alinhamento com a Lei nº 11.445/2007, o PLANSAB é o principal instrumento da política pública nacional de saneamento básico, que propõe uma classificação para avaliar o nível de acesso da população aos serviços de saneamento. Ele divide os atendimentos em três categorias: adequado, precário e sem atendimento que são apresentados na Tabela 3.1 (PLANSAB, 2019).



**Tabela 3.1** - Caracterização do atendimento e do déficit de acesso ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

| Componente<br>(1)                           | Atendimento adequado  | Déficit  |  |
|---|---|--|--|
|   |   | Atendimento precário   | Sem atendimento  |
| Abastecimento de água potável               | Abastecimento de água potável por rede de distribuição ou por poço, nascente ou cisterna, com canalização interna, em qualquer caso sem intermitências.   | Dentre o conjunto com abastecimento de água por rede ou poço ou nascente, a parcela de domicílios que: - não possui canalização interna; - recebe água fora dos padrões de potabilidade; e - tem intermitência.<br>Uso de cisterna para água de chuva, que forneça água sem segurança sanitária e, ou, em quantidade insuficiente para a proteção à saúde.<br>Uso de reservatório abastecido por carro pipa. | Todas as situações não enquadradas nas definições de atendimento e que se constituem em práticas consideradas inadequadas (3). |
| Esgotamento sanitário                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coleta de esgotos, seguida de tratamento.</li> <li>• Uso de tanque séptico(2).</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coleta de esgotos, não seguida de tratamento.</li> <li>• Uso de fossa rudimentar.</li> </ul>  |  |
| Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coleta direta ou indireta (4), na área urbana, com frequência mínima de três vezes por semana e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos;</li> <li>• Coleta direta ou indireta, na área rural, com destinação final ambientalmente adequada dos resíduos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dentre o conjunto com coleta, a parcela de domicílios que se encontram em pelo menos uma das seguintes situações: · na área urbana, com coleta cuja frequência não seja de pelo menos três vezes por semana; · com destinação final ambientalmente inadequada dos resíduos</li> </ul>   |  |

(1) Em função de suas particularidades, o componente drenagem e manejo das águas pluviais urbanas teve abordagem distinta.

(2) Por “tanque séptico” pressupõe-se o “tanque séptico sucedido por pós-tratamento ou unidade de disposição final, adequadamente projetada e construída”. O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) considera, nas áreas rurais, a fossa seca como atendimento adequado nos casos de indisponibilidade hídrica.

(3) A exemplo de coleta de água em cursos de água ou poços a longa distância; lançamento direto de esgoto em valas, rio, lago, mar ou outra forma pela unidade domiciliar; ausência de coleta, com resíduos queimados ou enterrados, jogados em terreno baldio, logradouro, rio, lago ou mar ou outro destino pela unidade domiciliar.

(4) Segundo o SNIS, coleta indireta ou ponto a ponto é aquela coleta de resíduos sólidos domiciliares ou equiparáveis, disponibilizados em ponto(s) estacionário(s) de uso coletivo (em contêineres, caçambas

| Componente<br>(1)  | Atendimento adequado | Déficit              |                 |
|--|----------------------|----------------------|-----------------|
|  |                      | Atendimento precário | Sem atendimento |
| ou contentores), destinada a domicílios ou condomínios multifamiliares sem acesso à coleta direta. |                      |                      |                 |

Fonte - PLANSAB (2019).

A Tabela 3.1 mostra que nem todas as formas de abastecimento e tratamento de esgoto são consideradas adequadas. Desse modo, práticas como uso de fossas rudimentares ou descarte direto em valas entram na categoria de atendimento precário ou inexistente.

Assim temos que o PLANSAB é um instrumento orientador da política nacional, já o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é a principal fonte de dados, realizando a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), por meio de pesquisas domiciliares e censitárias (PNSB, 2017). Sendo assim possível a identificação do déficit nacional.

### **3.2. Esgotamento sanitário**

Segundo o PLANSAB (2019), o esgotamento sanitário abrange um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais destinadas à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequada dos esgotos sanitários. Após o uso de diversos tipos, a água tem suas características naturais alteradas e passa a ser denominada esgoto. Esse efluente precisa ser tratado antes de voltar para o ambiente, de modo a evitar ou minimizar impactos negativos sobre a saúde pública, o meio ambiente e na economia (FUNASA, 2019).

No que se refere ao esgotamento sanitário, o Art. 3º-B da referida lei, atualizada pela Lei Federal nº 14.026, de 2020, especifica que esse serviço público inclui várias etapas: i) coleta, incluída ligação predial, dos esgotos sanitários; ii) transporte dos esgotos sanitários; iii) tratamento dos esgotos sanitários; e iv) disposição final dos esgotos sanitários e dos lodos originários da operação de unidades de tratamento coletivas ou individuais de forma ambientalmente adequada, incluídas fossas sépticas (Brasil, 2020).

De acordo com a NBR 17076: 2024, esgoto doméstico é definido como o efluente líquido resultante do uso da água para higiene, necessidades fisiológicas humanas entre outras atividades domésticas.

No Brasil, parte da população é atendida por sistemas públicos coletivos de esgoto, enquanto outra depende de soluções individuais. Mesmo entre quem tem acesso ao serviço, há diferenças de qualidade desse serviço. Há, ainda, grupos populacionais que não dispõem de qualquer tipo de tratamento (PLANSAB, 2019).

O tratamento adequado do esgoto é essencial para evitar a contaminação dos rios e proteger a saúde da população. Para isso, diferentes tecnologias podem ser usadas, conforme a área e o tipo de sistema disponível (von Sperling, 1996).

Nas cidades, o esgoto é gerado principalmente por residências, comércios e instituições. Ele é levado por tubulações até estações de tratamento, que funcionam separadamente das redes de águas pluviais, pois o Brasil adota o sistema separador absoluto de esgotamento sanitário, no qual o esgoto é conduzido de forma independente das águas pluviais. Mas em alguns casos o esgoto e água da chuva usam o mesmo sistema (von Sperling, 1996).

### **3.3. Classificação de Adequação do Esgotamento Sanitário**

O IBGE é responsável por fazer o levantamento nacional sobre o acesso ao saneamento básico no Brasil e, por meio da PNSB, que realiza a coleta dados em todos os municípios brasileiros visando compreender as condições e a qualidade dos serviços de saneamento básico, e o PLANSAB que orienta as políticas públicas voltadas para o setor de saneamento (PNSB, 2017).

Desse modo, como apresentado anteriormente, o PLANSAB caracteriza as soluções de esgotamento sanitário em três grupos: i) atendimento adequado, ii) atendimento precário e, iii) sem atendimento, e conforme a caracterização, todas as soluções que não se enquadram nas definições de atendimento adequado configuram práticas inadequadas, representando déficit em razão do atendimento precário ou ausência de atendimento.

Assim, no grupo do déficit, o qual é apresentado o atendimento precário compreendido como déficit em virtude de que mesmo que tenha algum tipo de solução para esgotamento, essa solução é precária, ou seja, não atendem ao padrão que consideram adequado. Assim, mesmo tendo acesso a algum tipo de solução para destinação do esgoto, ela acontece de forma insatisfatórias ou provisórias, o que pode comprometer a saúde humana e a qualidade do ambiente domiciliar e seu entorno. Desse modo, tem-se que soluções consideradas adequadas seriam somente as que promovem a coleta e posterior tratamento de esgotos de forma coletiva ou, ainda, aquelas constituídas de tanque séptico seguida de etapa adicional de tratamento e/ou unidade de disposição final que seja projetada e construída adequadamente (PLANSAB, 2019).

De acordo com Tonetti et al. (2018), comunidades localizadas em áreas rurais extensas, com baixa densidade populacional, domicílios dispersos com difícil acesso ou em situação de irregularidade fundiária apresentam maiores dificuldades para receber redes coletoras de esgoto de forma suficiente. Nesses contextos, a alternativa viável costuma ser a adoção de soluções locais, de caráter unifamiliar ou semicoletivo, pois são mais adequados à realidade das comunidades rurais e podem garantir um tratamento eficiente com custos menores.

Assim, é importante compreender que as soluções de saneamento que melhor se enquadram para áreas urbanas e rurais diferem em função das características e necessidades desses contextos. Nas cidades, onde a população é mais concentrada, a rede coletora e grandes estações de tratamento costumam ser viáveis, já que os custos podem ser diluídos e há maior infraestrutura disponível. Já no meio rural, as casas geralmente são mais afastadas umas das outras, o que torna a implantação de redes coletoras cara e difícil de manter. Além disso, fatores como relevo, tipo de solo, disponibilidade de recursos financeiros e técnicos também influenciam na escolha da solução mais adequada. Por isso, enquanto em áreas urbanas predominam soluções com rede coletoras de esgotos, no meio rural geralmente são mais indicadas alternativas descentralizadas e simplificadas que atendem melhor à realidade local (Tonetti et al., 2018).

De acordo com Tonetti et al. (2018), é importante buscar as melhores alternativas possíveis em localidades sem acesso a estações centralizadas, assim, para as comunidades rurais é importante avaliar as alternativas descentralizadas de modo a escolher a melhor alternativa adaptável à realidade local, para que assim seja capaz de garantir o tratamento adequado dos efluentes domésticos.

Além disso, as soluções individuais, são geralmente as mais indicadas para o meio rural, devido a inviabilidade de implantação de sistemas coletivos devido à dispersão geográfica, baixa densidade populacional, isolamento político/geográfico, e limitação financeira ou de pessoal dos municípios (COBRAPE, 2023).

Assim é importante repensar os critérios de adequação para áreas rurais dispersas, considerando soluções compatíveis com suas características socioeconômicas e territoriais. Dessa forma, seria possível produzir uma análise mais próxima da realidade

local sobre a situação do esgotamento sanitário. Pois as soluções oficialmente recomendadas para o esgotamento sanitário são, em sua maioria, voltadas para sistemas não segregados, o que nem sempre corresponde à realidade das áreas das comunidades rurais isoladas do Brasil.

A segregação dos efluentes sanitários possibilita e otimiza significativamente o reúso, sendo uma estratégia fundamental para a sustentabilidade do saneamento rural (FUNASA, 2019). A recuperação de recursos, como água e nutrientes (Lodo), é vista como uma oportunidade para o desenvolvimento local e para tornar os sistemas de saneamento mais viáveis e atrativos, especialmente diante da perspectiva de escassez e insegurança hídrica (COBRAPE, 2023).

De acordo com Tonetti et al. (2018), a segregação do esgoto permite a aplicação de tecnologias de tratamento mais adequadas para cada tipo de efluente, além de possibilitar o reúso de nutrientes da água e promovendo a eficiência dos sistemas de esgotamento ao reduzir o volume descartado de esgoto de a água que vem do vaso sanitário. A segregação do esgoto facilita a implementação de tecnologias mais simples e de baixo custo que são mais adequadas à realidade rural.

Na ausência de redes públicas de esgotamento sanitário e em conformidade com os cenários e metas estabelecidos nos planos municipais ou regionais de saneamento básico, visando à universalização do serviço, são permitidas soluções alternativas adequadas, individuais ou coletivas, desde que estejam previstas em norma publicada pela entidade reguladora infranacional (ANA, 2023).

### **3.4. Componentes dos Sistemas de Esgotamento Sanitário**

Os sistemas de esgoto incluem todas as etapas desde a coleta até o descarte final. Assim, o esgoto começa a ser coletado ainda dentro da casa, na saída da tubulação, sendo importante que a conexão com a rede pública seja realizada de maneira segura e eficiente. Por isso, recomenda-se a instalação de uma caixa de inspeção na calçada, que facilite o acesso em casos de entupimento e evita o retorno do esgoto para dentro da residência. Os tubos que levam o esgoto até a rede principal, chamados ramais, costumam ter 100 mm de diâmetro e podem ser feitos de cerâmica ou PVC, conforme a NBR 9649 (Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário). Eles conduzem o efluente dos usuários até a estação de tratamento (Trata Brasil, 2023).

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são responsáveis por remover as cargas poluentes do esgoto antes que o efluente seja devolvido ao meio ambiente. Assim, o seu objetivo é garantir que o efluente tratado esteja dentro dos padrões ambientais estabelecidos pela legislação ambiental vigente (FUNASA, 2015).

O tratamento de esgotos sanitários em estações de médio e grande porte no Brasil é realizado por meio de uma sequência de processos que visam à remoção eficiente de poluentes. Esses processos incluem as etapas de tratamento preliminar, primário, secundário e, quando necessário, o terciário, com o objetivo de adequar o efluente aos padrões ambientais antes do seu lançamento no meio ambiente. Em contrapartida, em conjuntos habitacionais ou comunidades de pequeno porte, geralmente são adotadas soluções mais simplificadas e compatíveis com a escala da demanda, como sistemas descentralizados (von Sperling, 2005).

### **3.5. Etapas e Tipos de Tratamento de Esgoto**

#### *3.5.1. Tratamento Preliminar*

De acordo com von Sperling (1996), o tratamento preliminar tem como principal objetivo a remoção de sólidos grosseiros em suspensão, que podem ocasionar danos aos equipamentos ou comprometer as etapas subsequentes. Esse processo é realizado por meio de operações físicas, como o gradeamento, responsável por reter sólidos de maiores dimensões, como plásticos e galhos; a desarenação, que promove a remoção de materiais pesados como areia, cascalhos e partículas minerais; e caixa de gordura etapa destinada à separação de óleos e graxas, quando presentes em quantidades significativas e de acordo com as exigências do sistema projetado. Essas etapas visam proteger os equipamentos e otimizar a eficiência dos tratamentos subsequentes, além de reduzir custos operacionais e de manutenção da ETE (von Sperling, 1996).

#### *3.5.2. Tratamento primário*

O tratamento primário é destinado à remoção de sólidos sedimentáveis e de parte da matéria orgânica presente no efluente. Ambos os processos são classificados como operações de natureza física. Nessa etapa os tanques de decantação operam com fluxo lento do esgoto para permitir a sedimentação dos sólidos mais densos, formando o chamado lodo primário bruto. No entanto, os materiais menos densos, como óleos e

graxas, flutuam e são retirados da superfície para tratamento posterior. (von Sperling, 1996).

#### 3.5.3. *Tratamento secundário*

De acordo com von Sperling (1996), o tratamento secundário contribui na remoção da matéria orgânica que ainda resta no esgoto. Nessa etapa, também pode haver redução de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo. Seu objetivo é acelerar os processos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores, permitindo que o tratamento seja realizado em intervalos de tempo menores e em um ambiente controlado. Assim, no tratamento secundário, tem-se a inclusão de uma etapa biológica, na qual a matéria orgânica é removida por meio de reações bioquímicas realizadas por microrganismos.

#### 3.5.4. *Tratamento terciário*

O tratamento terciário tem como propósito a remoção de poluentes específicos ou a complementação da remoção de contaminantes que não foram eliminados de forma satisfatória nas etapas anteriores, sendo o tipo de tratamento mais raro de ocorrer no Brasil (von Sperling, 1996).

### 3.6. **Classificação dos Sistemas de Esgotamento: Individuais e Coletivos**

Os sistemas de esgotamento sanitário podem ser divididos em dois tipos principais: individuais e coletivos. A escolha entre um ou outro depende de fatores como a quantidade de casas atendidas, a ocupação do solo e os custos envolvidos. Em áreas onde a implementação de redes públicas de coleta e tratamento centralizado de esgoto é inviável, como em determinadas zonas rurais ou comunidades isoladas, as soluções individuais ou semicoletivas tornam-se necessárias (Tonetti *et al.*, 2018).

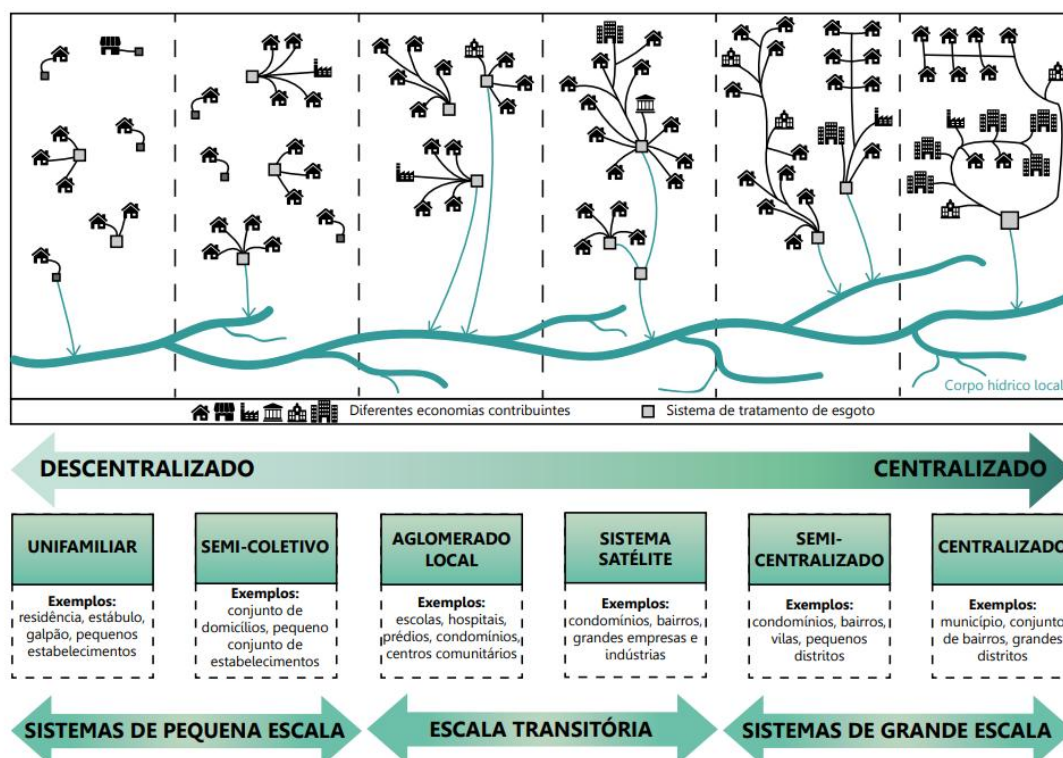
Conforme Tonetti *et al.* (2018), os sistemas individuais atendem a uma única unidade habitacional, enquanto os semicoletivos destinam-se a pequenos agrupamentos de até 20 pessoas, incluindo residências, comércios ou instituições locais. Os sistemas descentralizados trazem vantagens como promover melhorias no aspecto social, ajudam a melhorar a saúde pública e ainda podem gerar renda local, como no uso de subprodutos. No lado econômico, são mais baratos de instalar e exigem menos energia. Do ponto de vista ambiental, reduzem a poluição da água e permitem o



reaproveitamento de nutrientes. Por fim, por não possuir redes coletoras extensas são mais resistentes a eventos climáticos extremos e permitem o tratamento segregado de águas cinzas e fecais (Tonetti *et al.*, 2018).

A Figura 3.1, apresentada a seguir, sintetiza essa gradação entre os modelos de esgotamento sanitário, organizando-os em um contínuo que vai dos sistemas totalmente descentralizados aos centralizados. Essa representação gráfica permite visualizar a transição progressiva entre arranjos unifamiliares, semicoletivos e aglomerados locais, até os sistemas satélites, semicentralizados e, por fim, os centralizados, que atendem grandes populações e demandam infraestrutura extensiva. A figura evidencia como diferentes escalas e níveis de complexidade técnica podem ser aplicados conforme o contexto territorial e demográfico.

**Figura 3.1** - Gradiente de sistemas de tratamento de esgoto, conforme o seu nível de centralização.



Fonte - Tonetti *et al.* (2018).

Nos sistemas descentralizados, especialmente os unifamiliares, geralmente não são requeridas unidades de tratamento preliminar, como grades e caixas de areia, isso ocorre porque a distância entre a residência e o local de tratamento é pequena. Já em sistemas semicoletivos, que atendem a um número maior de domicílios por meio de uma pequena rede local de coleta, é recomendável a instalação dessas unidades para evitar entupimentos e facilitar o pré-tratamento do esgoto (Tonetti *et al.*, 2018).

A caixa de gordura é importante antes de sistemas de tratamento individuais, pois recebe a água da cozinha e evita que gorduras e restos de comida entupam as tubulações. Seu dimensionamento está definido na NBR 8160/1999 (ABNT, 1999), sendo fundamental garantir sua vedação e o desnível adequado entre a entrada e a saída. É possível encontrar modelos prontos, feitos de polietileno ou concreto (Tonetti *et al.*, 2018).

O esgoto segregado é aquele em que se faz a separação entre dois tipos de águas residuais: as águas fecais, que vêm do vaso sanitário e têm alta carga de poluição, e as

águas cinzas, que vêm da pia, do chuveiro e da lavanderia, que apresentam carga poluidora menor (von Sperling, 1996).

Separar o esgoto em dois tipos traz várias vantagens, especialmente no meio rural, pois permitir a otimização dos sistemas de tratamento: as águas fecais, por serem mais contaminadas, podem ser direcionadas para um tratamento mais específico, enquanto as águas cinzas podem ser tratadas por um processo mais simples. Essa separação reduz o volume de esgoto com maior carga poluidora, aumentando assim a eficiência e a vida útil dos dispositivos descentralizados (von Sperling, 1996).

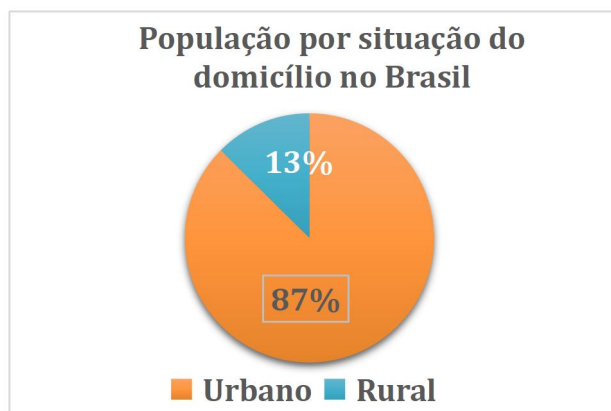
Outra vantagem da separação é que as águas cinzas, se tratadas corretamente, existe a possibilidade de se fazer o reúso seguro para outros usos. No entanto, para o reúso das águas cinzas é necessário satisfazer exigências mínimas de qualidade, conforme recomendado na NBR 17076/2024, para que seja realizado de maneira planejada de modo a garantir um uso adequado (ABNT, 2024).

### **3.7. Áreas rurais e suas características**

O IBGE caracteriza as áreas rurais como territórios de baixa densidade populacional nos quais a paisagem foi modificada, sobretudo por ações humanas voltadas à produção agropecuária ou a outras atividades econômicas. Além disso, esses espaços podem incluir pequenos núcleos urbanizados e/ou fragmentos naturais (IBGE, 2023). Assim, a definição adotada considera o espaço rural como uma categoria dinâmica e multidimensional, inserida em um processo contínuo que abrange também pequenos núcleos urbanos ou áreas naturais preservadas. Conforme o PNSR, a definição dos espaços urbanos e rurais é competência das legislações municipais (Brasil, 2019).

A Figura 3.2 apresenta a distribuição da população brasileira por situação do domicílio, dividida entre áreas urbanas e áreas rurais. Observa-se uma predominância significativa da população residente em áreas urbanas, totalizando 177.508.417 pessoas (87% da população), enquanto a população rural é de 25.572.339 indivíduos (13% da população) (IBGE, 2022).

**Figura 3.2 - População por situação do domicílio no Brasil.**



Fonte - Autora (2025), segundo Censo Demográfico (2022).

### **3.8. Cenário atual do saneamento em áreas rurais do Brasil**

O IBGE usa uma classificação do território que separa áreas urbanas e rurais em diferentes categorias. Essa divisão considera o tipo de ocupação do espaço, o grau de urbanização e as atividades realizadas em cada local. A metodologia vem sendo aprimorada ao longo do tempo, com uso de imagens de satélite e tecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (IBGE, 2023).

Segundo o IBGE, comunidades isoladas são grupos de domicílios localizados longe do perímetro urbano, caracterizados por baixa densidade populacional e dispersão territorial. Geralmente, essas áreas carecem de infraestrutura básica, como redes de abastecimento de água e serviços públicos consolidados, e estão desconectadas fisicamente dos núcleos urbanos e aglomerados rurais mais densos. Classificadas como "área urbana isolada" ou "aglomerado rural isolado", essas comunidades são definidas com base em critérios de localização, ocupação do território e função socioeconômica (IBGE, 2023).

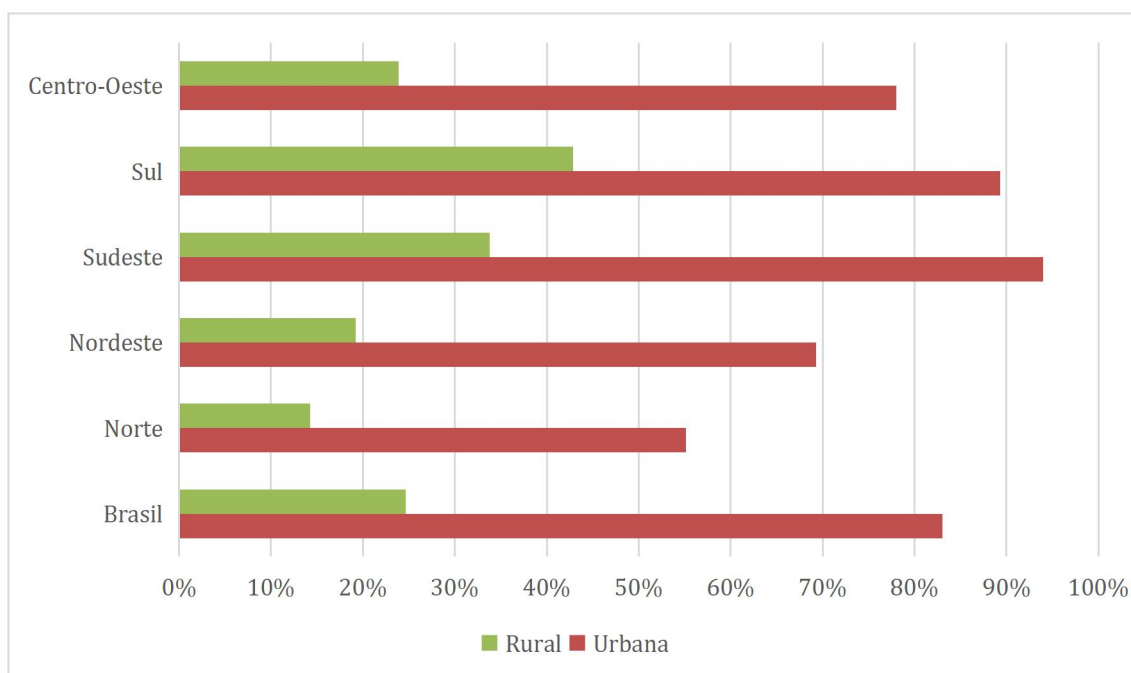
Levar saneamento básico para as áreas rurais do Brasil ainda é um grande desafio. Muitas dessas regiões são isoladas, com casas distantes umas das outras, o que dificulta a instalação de redes coletoras coletivas de esgoto (FUNASA, 2019). Nesse sentido, as políticas públicas de saneamento para o atendimento dessas áreas precisam considerar

vários aspectos ao mesmo tempo: questões técnicas, sociais, econômicas, culturais e de saúde.

A legislação brasileira reconhece que, em áreas rurais, remotas ou com ocupação urbana informal consolidada, a adoção de sistemas convencionais de saneamento nem sempre é tecnicamente ou economicamente viável. Nesse sentido, a Lei Federal nº 11.445/2007 prevê a possibilidade de utilização de soluções alternativas e descentralizadas para os serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto, desde que compatíveis com as condições locais e atendam aos critérios de segurança e adequação. Tal previsão busca assegurar a economicidade e a efetividade da prestação dos serviços públicos de saneamento, ao permitir sua adaptação a contextos nos quais a implantação de infraestruturas convencionais se mostra inviável (Brasil, 2020).

Em relação ao esgotamento sanitário, a Figura 3.3 apresenta a relação entre os domicílios rurais que possuíam sistemas de esgotamento por rede coletora geral ou por tanque séptico ligada ou não à rede em 2022 comparando a área Urbana e Rural nas grandes regiões brasileiras, de acordo com o IBGE:

**Figura 3.3** - Percentual de domicílios com esgotamento sanitário considerado adequado por região e situação do domicílio.



Fonte - Autora (2025) segundo Censo Demográfico (2022).

Pela Figura 3.3 podemos notar que o acesso ao esgotamento sanitário adequado no Brasil é desigual, principalmente entre os meios urbano e rural, sendo que o rural apresenta valor notavelmente inferior ao registrado na área urbana. Em relação as regiões Sudeste e Sul essas apresentaram os maiores percentuais de cobertura, principalmente no meio urbano, onde os valores são próximos a 90%. No meio rural, embora essa porcentagem seja menor, os percentuais dessas regiões ainda se mantêm acima da média nacional, demonstrando melhor distribuição territorial de serviços sanitários nessas regiões. Por outro lado, a região Nordeste mostra uma realidade mais desfavorável, especialmente no meio rural, onde a cobertura atinge apenas cerca de 19%. Entretanto, a situação mais crítica ocorre na região Norte, que apresenta os menores índices tanto no total quanto nas áreas urbana e rural, sendo que o meio rural é particularmente alarmante, com percentual de apenas 14%.

Além disso, os domicílios rurais em sua maioria adotam soluções individuais, como fossas rudimentares ou a simples disposição de esgoto a céu aberto (IBGE, 2022). Dados do PNSR apontaram que, entre 1991 e 2010, houve pouca evolução quanto ao afastamento adequado dos esgotos, com uma persistência no uso de fossas improvisadas e aumento das práticas inadequadas de disposição dos dejetos em valas e corpos d'água (FUNASA - PNRS, 2019).

Diante desse quadro, a adoção de tecnologias descentralizadas, de baixo custo e apropriadas às realidades locais, podem representar uma estratégia promissora para a ampliação do portfólio de soluções de tratamento em áreas rurais, conforme preconizado pelas diretrizes do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020).

### **3.9. Soluções técnicas aplicadas ao esgotamento sanitário das áreas rurais**

#### *3.9.1. Tecnologias aplicáveis ao tratamento de esgotos domésticos não segregados*

##### *3.9.1.1. Sistema de Tanque Séptico*

O tanque séptico é uma unidade de tratamento primário utilizada para o esgoto gerado em vasos sanitários e demais contribuições domésticas. Ela funciona como um tanque fechado onde ocorre a retenção temporária do esgoto em uma câmara que permite a sedimentação de sólidos e a ascensão de gorduras e óleos, formando o lodo séptico e a camada de espuma, respectivamente. Esses resíduos acumulados são gradualmente

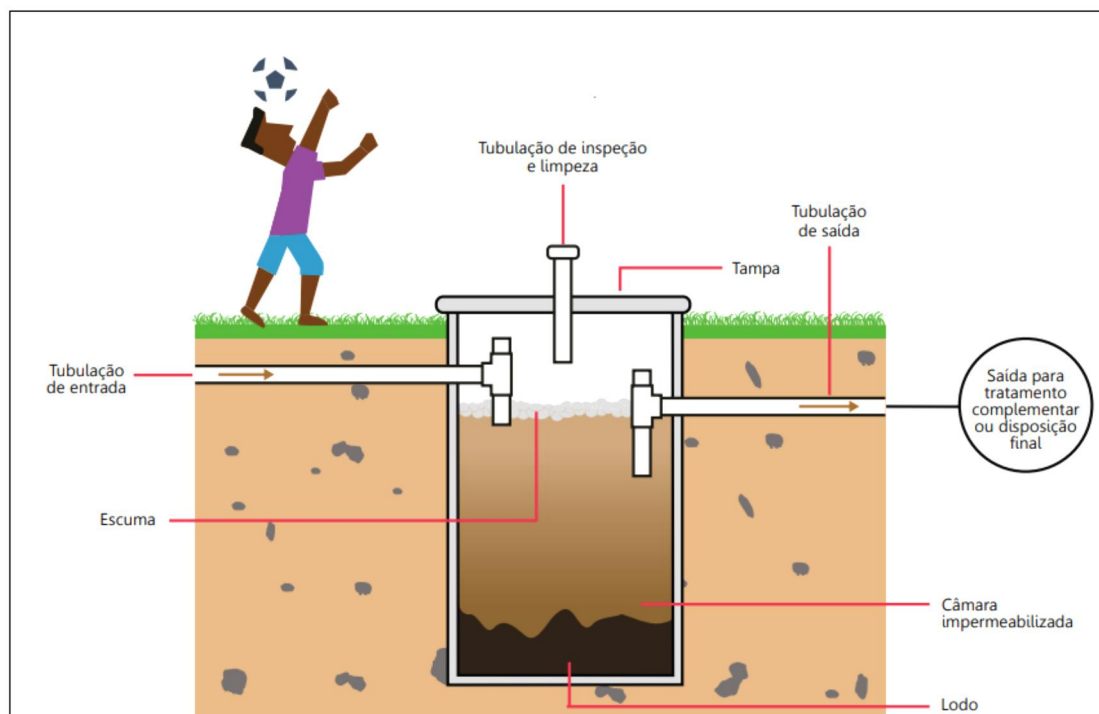
decompostos por micro-organismos anaeróbios, que são os responsáveis pela digestão da matéria orgânica, reduzindo a carga poluente do efluente (Tonetti *et al.*, 2018).

A NBR 17.076/2024, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, estabelece os critérios para o projeto, construção e operação dos sistemas de tanques sépticos. Conforme a norma, o sistema deve ser concebido de forma completa, prevendo a disposição final dos efluentes líquidos e do lodo, e, sempre que necessário, o uso de unidades de tratamento complementar. (ABNT, 2024).

O tanque séptico pode ser pré-fabricado ou moldados *in loco*, eles são utilizados em sistemas locais de tratamento de esgoto com vazão diária de até 12.000 litros e carga orgânica total de até 3,80 kg de DBO por dia (ABNT, 2024). A estrutura pode ser cilíndrico ou prismático retangular, possuindo o diâmetro interno mínimo de 1,10 metros e a largura interna mínima: 0,80 m, sendo que para o tanque prismático retangular, a relação entre comprimento e largura deve situar-se entre 2:1 e 4:1, respeitando ainda os limites normativos estabelecidos para profundidade útil e demais parâmetros construtivos (ABNT, 2024).

Durante o processo, parte da matéria orgânica contida no esgoto é retida na forma de lodo, enquanto o restante segue para uma etapa posterior de tratamento ou disposição final, conforme as características do terreno e os requisitos legais. A Figura 3.4 apresenta um esquema ilustrativo do funcionamento do tanque séptico, destacando seus principais componentes estruturais.

**Figura 3.4** - Esquema de tanque séptico.



Fonte - Tonetti *et al.* (2018)

É importante ressaltar que o sistema não deve receber águas pluviais ou despejos capazes de causar interferência negativa no tratamento como água de piscinas e de lavagem de reservatórios de água.

A limpeza periódica é essencial para o bom desempenho, e o lodo removido deve ser encaminhado para unidades de tratamento adequadas. Caso o efluente não possa ser lançado diretamente no solo, tecnologias complementares como filtros anaeróbios, vermifiltros ou *wetlands* construídos podem ser adotados, respeitando a legislação vigente e as condições ambientais locais (Tonetti *et al.*, 2018).

Os tanques sépticos representam uma das alternativas mais utilizadas no meio rural para o tratamento de esgoto, especialmente devido à sua simplicidade construtiva e facilidade de operação. Além disso, instituições nacionais como o IBGE reconhecem o tanque séptico como uma solução adequada e eficiente para o tratamento primário de esgoto, especialmente em contextos rurais ou descentralizados.



### **3.9.1.2.      *Filtros anaeróbios***

O filtro anaeróbio é uma unidade de tratamento biológico complementar de esgotos domésticos que opera em regime de fluxo ascendente, utilizando um leito fixo submerso composto por meio suporte como a brita no qual se desenvolvem micro-organismos anaeróbios. Assim, sua principal função é promover a decomposição da matéria orgânica dissolvida por meio do contato com a biomassa aderida ao suporte (FUNASA, 2014). O sistema de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio é eficiente para remover matéria orgânica em condições anaeróbias. Embora tenha eficiência inferior a sistemas aeróbios, apresenta vantagens operacionais, como baixa produção de lodo e simplicidade construtiva (von Sperling, 2005).

### **3.9.1.3.      *Disposição no solo***

A disposição no solo consiste em uma alternativa de destinação final do efluente tratado que aproveita as propriedades do solo-planta para complementar o tratamento dos efluentes. Por meio da infiltração, o esgoto percola lentamente pelo solo passando por processos como filtração, adsorção e degradação microbiológica, que contribuem que ocorra uma remoção adicional de nutrientes e patógenos. Apesar de suas vantagens, como a recarga do aquífero e o reaproveitamento de nutrientes, a disposição no solo exige cuidados quanto à escolha da área e à profundidade do lençol freático, para evitar riscos de contaminação ambiental e de culturas agrícolas (FUNASA, 2015). Os sistemas de infiltração normalmente são conjugados a tratamento primário por tanques sépticos. É aplicado usualmente para conjuntos de residências ou comunidades de pequeno porte (von Sperling, 2005). As principais unidades empregadas com a finalidade de disposição final no solo são sumidouro e vala de infiltração, detalhadas a seguir.

#### **3.9.1.3.1.      *Sumidouro***

Os sumidouros, também chamados de poços absorventes é uma unidade destinada à disposição final do efluente que já passou pela etapa de tratamento primário, funcionando por meio da infiltração no solo (Salvador; Frigo, 2021). Sendo estruturas verticais escavadas no solo e utilizadas para infiltrar o efluente de tanques sépticos. São construídos com materiais como alvenaria ou anéis de concreto com aberturas laterais, preenchidos no fundo com brita ou cascalho para facilitar a infiltração (FUNASA, 2015).

Esse tipo de sistema deve manter uma distância mínima de 1,50 metro entre o fundo da estrutura e o nível máximo do lençol freático, a fim de evitar a contaminação do aquífero. Caso essa condição não possa ser atendida, é necessário apresentar uma justificativa técnica, com base na análise das características específicas do local, como textura e permeabilidade do solo, declividade do terreno, variações sazonais, índice pluviométrico e cobertura vegetal existente (ABNT, 2024).

#### *3.9.1.3.2. Vala de infiltração*

A vala de infiltração é um sistema de disposição final do efluente que funciona de maneira semelhante ao sumidouro, mas é uma alternativa horizontal, composta por tubulações perfuradas dispostas sobre material granular em solos com boa capacidade de infiltração. O efluente percola lentamente, sofrendo processos físicos, químicos e biológicos que ajudam a remover impurezas antes de atingir águas subterrâneas. Esse sistema é simples, eficiente e adequado para áreas com espaço disponível, mas exige manejo cuidadoso para garantir a sua durabilidade, incluindo aplicação intermitente e manutenção periódica (FUNASA, 2015).

### *3.9.2. Tecnologias aplicáveis ao tratamento de esgotos domésticos segregados*

#### *3.9.2.1. Tanque de Evapotranspiração*

O tanque de evapotranspiração (TEvap), também chamada de fossa verde, Bacia de Evapotranspiração (BET) ou ecofossa, é um sistema compacto de tratamento de águas fecais, provenientes dos vasos sanitários, que integra processos físicos, biológicos e vegetais para máxima eficiência e reaproveitamento de recursos (FUNASA, 2019).

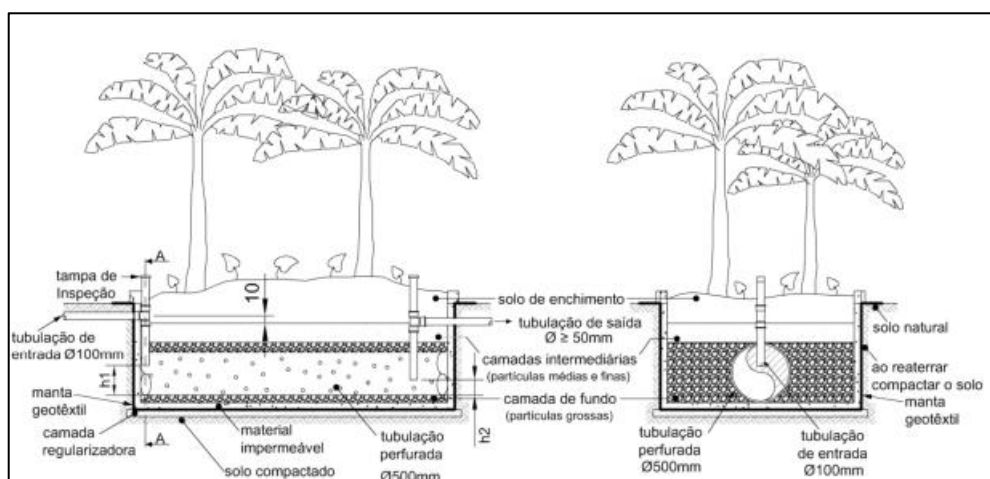
Estruturalmente, a TEvap consiste em uma câmara impermeabilizada de recepção e digestão inicial do esgoto, envolvida por um leito filtrante em camadas, composto normalmente de entulho, brita, areia e terra, dispostas em ordem de granulometria decrescente e uma cobertura vegetal formada por plantas de alta demanda hídrica, como bananeiras, mamoeiros ou taiobas (Galbiatti, 2009).

O funcionamento baseia-se na digestão anaeróbia nas camadas inferiores do leito e na ascensão capilar do efluente tratado até a zona radicular, onde a evapotranspiração (pelas plantas e pelo solo) elimina a maior parte da água, retraindo nutrientes na biomassa vegetal (Galbiatti, 2009). Esse processo gera pouquíssimo ou nenhum efluente líquido

final, tornando o TEvap especialmente indicada em locais com restrições ambientais à disposição de efluentes no solo (FUNASA, 2018). Além de reduzir custos operacionais e de manutenção, já que o usuário lida minimamente com o lodo, o TEvap promove a reciclagem de água e nutrientes por meio da produção de biomassa comestível ou ornamental, comprovadamente isenta de contaminação por patógenos (Benjamin, 2013 apud Figueiredo, 2019).

A Figura 3.5 apresenta um esquema simplificado de funcionamento do TEvap, destacando seus principais componentes e o fluxo do efluente no sistema.

**Figura 3.5** - Esquema de um tanque de evapotranspiração.



Fonte – NBR 17076 (ABNT, 2024)

### 3.9.2.2. *Fossa absorvente*

A fossa absorvente ou fossa rudimentar, é composta por um poço ou buraco escavados no solo sem impermeabilização ou com impermeabilização parcial que recebe esgotos domésticos permitindo sua infiltração no solo, assim é importante ser em uma área com solo que possua características favoráveis para sua implementação (FUNASA, 2015).

### 3.9.2.3. *Círculo de Bananeiras*

Segundo a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), o sistema de círculo de bananeiras é uma alternativa para o tratamento de águas cinzas que contribui para a recarga do lençol freático, evita o consumo de água potável e aproveita os nutrientes presentes nas águas cinzas no próprio local. Foi observado que as bananeiras

conseguem evaporar grandes quantidades de água e se adapta bem a solos úmidos e ricos em matéria orgânica (Leal, 2012).

O círculo de bananeiras possui baixo custo para o tratamento e a disposição final de águas cinzas em contextos domésticos, especialmente em áreas rurais. Consiste em um buraco escavado no solo com volume aproximado de 1.000 litros, capacidade suficiente para atender uma residência com até cinco moradores. Ao redor desse buraco, forma-se um pequeno monte com a própria terra retirada da escavação, criando um “morrinho” que serve de contenção e base para o plantio. Sobre essa elevação são plantadas bananeiras, em espaçamentos regulares de aproximadamente 60 cm, podendo-se ainda incluir outras espécies vegetais adaptadas à umidade, como mamoeiros, lírio-do-brejo e taiobas. O sistema deve ser dimensionado conforme o volume de água gerado diariamente; quando esse volume for elevado, recomenda-se a implantação de dois ou mais círculos em paralelo para dividir a carga hidráulica (Tonetti *et al.*, 2018).

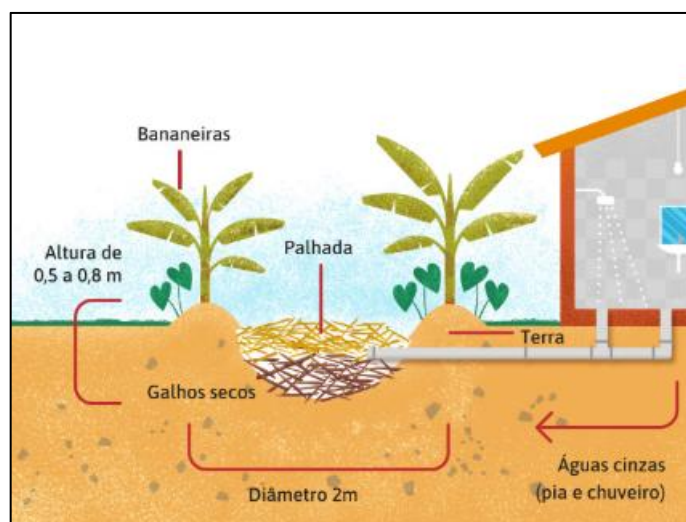
Para garantir a eficiência e a segurança sanitária do sistema, é fundamental que ele seja implantado em áreas afastadas de lençóis freáticos, nascentes ou solos muito arenosos. Nestes casos, pode-se aplicar uma camada de argila nas paredes e no fundo da escavação, de modo a reduzir a infiltração e evitar a contaminação do subsolo. Além disso, alguns autores recomendam a instalação de uma caixa de gordura como etapa de pré-tratamento das águas provenientes da cozinha. Embora essa unidade retenha resíduos alimentares e grande parte das gorduras, o efluente resultante ainda apresenta odor desagradável, o que exige atenção quanto à sua localização, especialmente quando o sistema estiver próximo à residência (Tonetti *et al.*, 2018).

Segundo a EMATER (2013), o uso do círculo de bananeiras como prática ambiental contribui para a recarga do lençol freático, para a redução do consumo de água tratada destinada à irrigação e para a retenção de nutrientes no solo. Adicionalmente, essa solução favorece o desenvolvimento da vegetação local e reduz o volume de esgoto encaminhado às fossas, mitigando seus impactos ambientais.

A estrutura do círculo de bananeiras pode ser visualizada na Figura 3.6, que ilustra os principais componentes do sistema, como a entrada de esgoto, o berço central preenchido com galhos secos e palhada, e o entorno com terra onde se realizam os cultivos. A disposição das bananeiras ao redor do círculo contribui para a absorção de

nutrientes e umidade, promovendo o reuso das águas cinzas de forma segura e produtiva (Tonetti et al., 2018).

**Figura 3.6** - Esquema de círculo de bananeiras.



Fonte - Clermont Cintra, em *Revista Velhas 2021*

#### 3.9.2.4. *Banheiro seco compostável*

O banheiro seco é uma tecnologia de saneamento considerada ecológica e sustentável. É um tipo de sanitário que não utiliza água para dar descarga, assim ocorre uma redução do consumo de água e à produção de adubo orgânico. Esta tecnologia é indicada para comunidades com escassez de água ou sem acesso a serviços básicos (Viana *et al.*, 2020).

O funcionamento do banheiro seco baseia-se na separação e no tratamento dos resíduos líquidos e sólidos. No uso diário, substitui-se a descarga hídrica pela aplicação de materiais secos, como serragem, palha, folhas secas, cinzas ou cal que cobrem as fezes e o papel higiênico, reduzem odores, absorvem o excesso de líquidos e favorecem o processo de compostagem. Em alguns modelos, a urina é coletada separadamente por meio de vasos segregadores ou mictórios, sendo posteriormente tratada por estocagem ou direcionada para sistemas de aproveitamento, como círculos de bananeira ou unidades de tratamento de águas cinzas (Tonetti *et al.*, 2018).

Ao término da capacidade da câmara ou bombona, o material sólido segue para compostagem, resultando em um adubo orgânico seguro após período de maturação. Em todos os métodos, a eficiência e a segurança dependem do manejo adequado, da

correta aplicação do material seco e do processo de tratamento, garantindo um sistema de baixo custo, ecológico e compatível com as realidades rurais (Viana *et al.*, 2020).

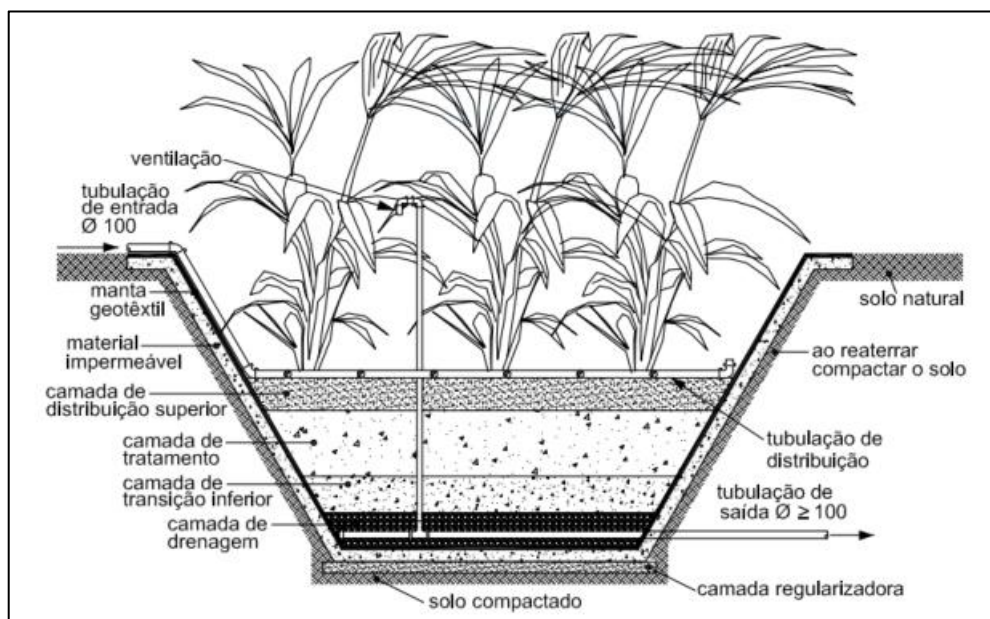
#### 3.9.2.5. *Wetland construído*

O termo *Wetland* construído é a nomenclatura internacional utilizada para descrever o que é referenciado na literatura nacional como Sistemas Alagados Construídos (SAC). A versatilidade dos *Wetlands* construídos reside na sua capacidade de tratar diferentes tipos de efluentes, incluindo tanto esgoto com algum nível de pré-tratamento (efluente segregado ou pré-tratado) quanto esgoto bruto (não segregado) (Tonetti *et al.*, 2018).

Os *Wetlands* construídos são uma tecnologia de tratamento de águas residuárias cuja principal aplicação é principalmente em sistemas coletivos de pequeno porte (pequenas comunidades). Eles objetivam principalmente a remoção de matéria orgânica (DBO e DQO), além de sólidos em suspensão tecnologia baseia-se no uso de material particulado (como areia, brita, cascalho, seixo rolado ou outros materiais com resistência física) que funcionam como meio suporte para o crescimento das plantas e microrganismos (von Sperling; Sezerino, 2018).

A Figura 3.7 apresenta o esquema do *Wetland* construído, ilustrando o funcionamento básico do sistema. Nela é possível observar a disposição das macrófitas, o meio suporte formado por materiais como areia, brita e seixo rolado, e o fluxo do efluente através do leito filtrante, representando visualmente o processo de depuração realizado por plantas e microrganismos.

**Figura 3.7** - Esquema de *Wetland* construído.



Fonte – NBR 17076 (ABNT, 2024)

Os *Wetlands* construídos podem assumir diferentes configurações hidráulicas, que definem o tipo de efluente tratado. Os sistemas de escoamento horizontal subsuperficial (WCH) operam com efluente pré-tratado, conduzido horizontalmente por um meio saturado até a zona de saída. Nos sistemas de escoamento vertical convencionais (WCV), o efluente também pré-tratado é aplicado intermitentemente na superfície, percolando verticalmente por um meio não saturado, predominantemente aeróbio. Já o sistema francês de escoamento vertical se diferencia por aceitar esgoto bruto, sendo estruturado em dois estágios que permitem a mineralização e secagem do lodo (von Sperling; Sezerino, 2018).

Em sistemas individuais, os *wetlands* podem tratar esgoto doméstico, desde que haja caixa de gordura e pré-tratamento, geralmente por tanque séptico. Quando aplicados ao tratamento de águas cinzas, que possuem menor carga poluente e não incluem águas fecais, utiliza-se apenas caixa de gordura, sem necessidade de tanque séptico a montante dos *wetlands* (von Sperling; Sezerino, 2018).

#### 4 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi organizada em etapas sequenciais que integram tanto a análise ampla dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco quanto o

estudo de caso das localidades contempladas pelo contrato de implantação de módulos individuais. Inicialmente, foram levantados e tratados dados secundários do Censo Demográfico 2022, disponibilizados pelo SIDRA/IBGE<sup>1</sup>, referentes às condições de esgotamento sanitário nos municípios inseridos na bacia. Em seguida, foram analisados documentos técnicos obtidos no Sistema de Gestão de Ações (SIGA)<sup>2</sup>, contendo informações específicas sobre as localidades rurais atendidas pelos projetos dos Lotes 01 e 02.

#### **4.1. Área de estudo**

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, que é uma das mais importantes do Brasil, com uma extensão 2.863 km e uma área de drenagem de mais de 639.219 km<sup>2</sup>. Essa área percorre municípios, em seis estados que são Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, além do Distrito Federal. As localidades contempladas nos contratos para elaboração de projetos básico/executivo destinados à coleta, tratamento e destinação de esgotos domésticos por meio de módulos individuais em localidades rurais da bacia hidrográfica estão apresentadas na Figura 4.1.

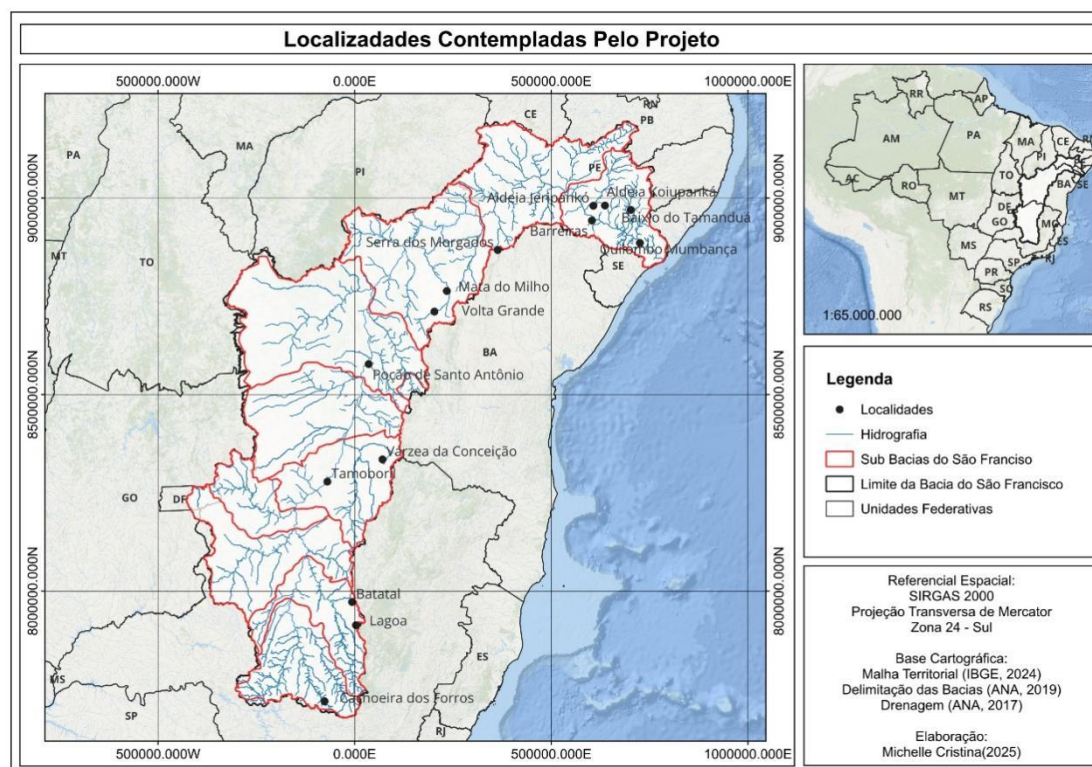
---

<sup>1</sup> <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/Q>

<sup>2</sup> <https://siga.cbhsaofrancisco.org.br/acomp-acoes.html>



**Figura 4.1 - Mapa geral das localidades.**



Fonte - Autora (2025).

Para ter um panorama geral das condições de esgotamento sanitário na bacia como um todo, permitindo compreender o contexto regional amplo foi utilizado dados secundários do IBGE referentes a todos os municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e identificar os critérios que caracterizam o esgotamento sanitário considerado adequado segundo as definições do PLANSAB e do próprio IBGE. A segunda etapa correspondeu ao estudo de caso, baseado no contrato analisado, que contempla localidades rurais específicas dentro da bacia. Nesse recorte, foram examinadas informações detalhadas sobre as localidades atendidas pelo projeto. Essas informações estão apresentadas na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** - Localidades contempladas pelo contrato e suas coordenadas de referência.

| Municípios              | Localidades                | Coordenadas de referência |           |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|
|                         |                            | Latitude                  | Longitude |
| Congonhas do Norte (MG) | Cachoeira dos Forros       | -18,812                   | -43,709   |
| Diamantina (MG)         | Batatal                    | -18,278                   | -43,787   |
| Inhapi (AL)             | Aldeia Koiupanká           | -9,215                    | -37,756   |
| Jaguarari (BA)          | Serra dos Morgados         | -10,238                   | -40,242   |
| Jaíba (MG)              | Tamboril                   | -15,506                   | -43,960   |
| João Dourado (BA)       | Mata do Milho              | -11,174                   | -41,431   |
| Lapão (BA)              | Volta Grande               | -11,645                   | -41,724   |
| Mamonas (MG)            | Várzea da Conceição        | -15,023                   | -42,989   |
| Paratinga (BA)          | Poção de Santo Antônio     | -12,831                   | -43,275   |
| Pariconha (AL)          | Aldeia Jeripankó           | -9,221                    | -38,025   |
| Passa Tempo (MG)        | Cachoeira dos Forros       | -20,534                   | -44,523   |
| Pedro Alexandre (BA)    | Povoado de Barreiras       | -9,562                    | -38,057   |
| Santana do Ipanema (AL) | Quilombo Baixo do Tamanduá | -9,313                    | -37,159   |
| Traipu (AL)             | Quilombo Tabuleiro         | -10,071                   | -36,942   |

Fonte - Autora (2025), segundo GEASA e COBRAPE (2024)

#### 4.2. Tratamento dos dados

Os dados secundários utilizados neste estudo foram obtidos por meio da plataforma SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), disponível no site do IBGE. A partir dessa base, foram extraídas informações do Censo Demográfico de 2022 referentes ao tipo de esgotamento sanitário e ao tipo de domicílio. Inicialmente, os dados brutos foram organizados e dispostos em planilhas no *Microsoft Excel*, possibilitando a organização das informações e a construção dos indicadores utilizados nas análises.

Os dados referentes ao estudo de caso foram obtidos no portal oficial do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (SIGA São Francisco), especificamente nos documentos dos contratos intitulados:

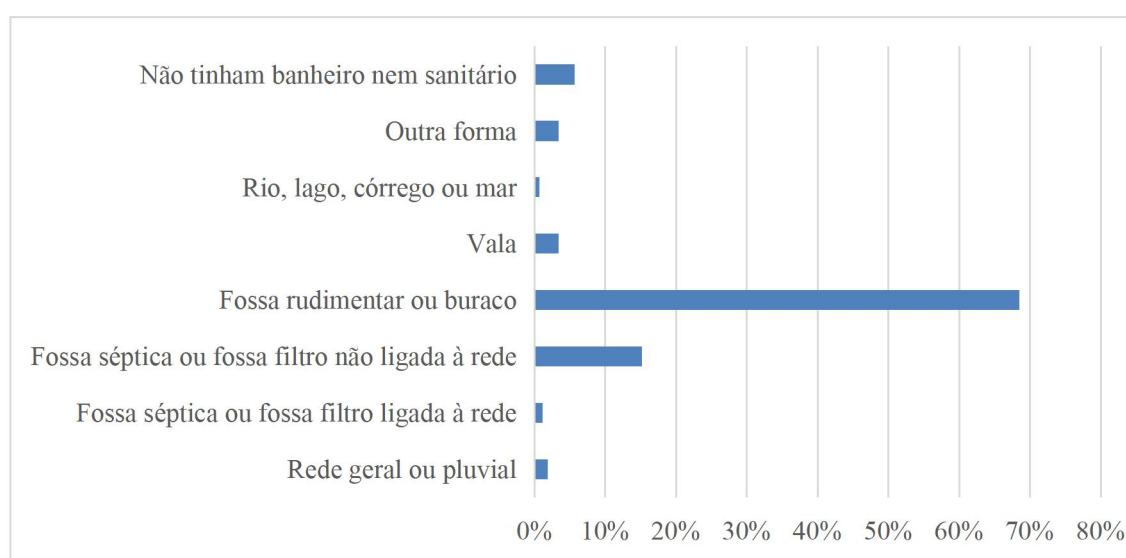
“Contratação de pessoa jurídica para elaboração de projetos básico/executivo para coleta, tratamento e destinação de esgotos domésticos em módulos individuais em localidades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Lote 01” e “Lote 02”.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Situação do Esgotamento Sanitário nos Municípios da bacia em estudo

Podemos observar na Figura 5.1 a distribuição da proporção de moradores por tipo de esgotamento sanitário em domicílios rurais particulares permanentes encontrados nos municípios que integram a área da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

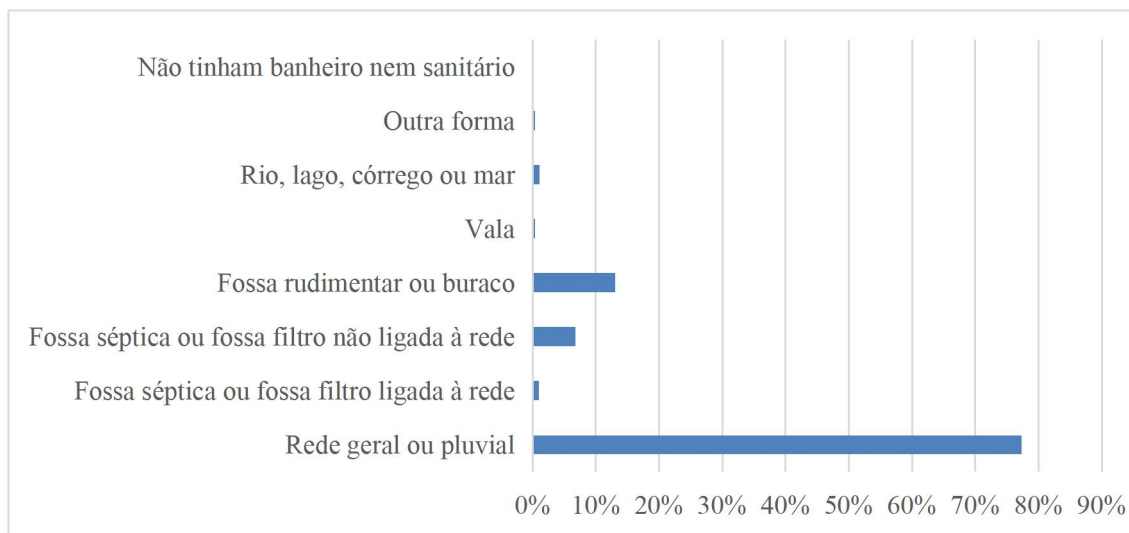
**Figura 5.1** - Proporção de moradores por tipo de esgotamento sanitário em domicílios rurais particulares permanentes nos municípios que integram da Bacia do Rio São Francisco.



Fonte - Autora (2025), segundo Censo Demográfico (2022).

Analisando a Figura 5.1 os domicílios da área rural o sistema mais utilizado é a fossa rudimentar ou buraco, atingindo cerca de 68% dos domicílios, enquanto no meio urbano o sistema predominante é a rede geral ou pluvial, presente em cerca de 77% dos domicílios como mostra na Figura 5.2, o que evidências que as áreas rurais dependem mais de soluções individuais, muitas vezes precárias.

**Figura 5.2** - Proporção de moradores por tipo de esgotamento sanitário em domicílios urbanos particulares permanentes nos municípios que integram a Bacia do Rio São Franscisco.

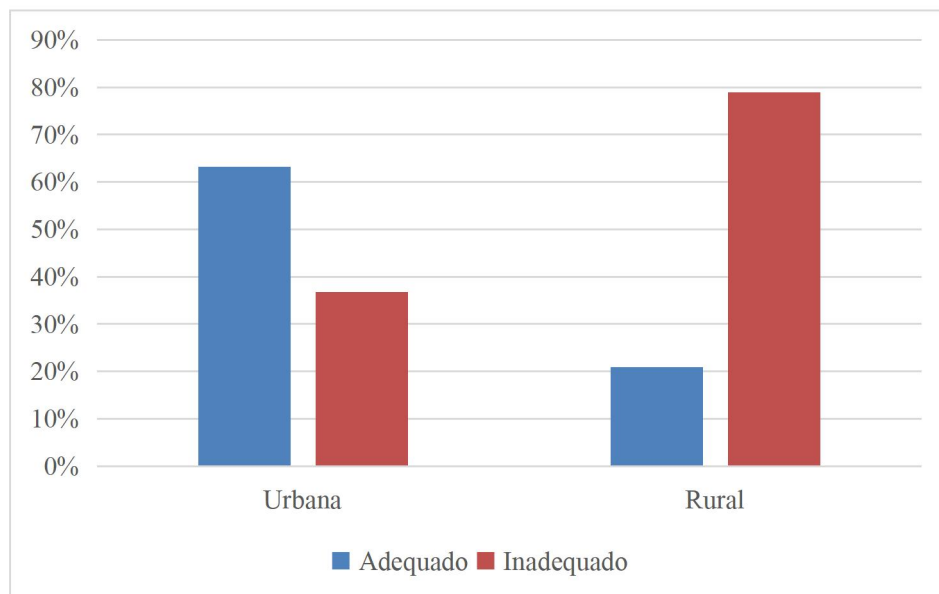


Fonte - Autora (2025), segundo Censo Demográfico (2022).

Os dados permitem identificar que a maior parte da população analisada é atendida de forma inadequada (79%). Dentre essa parcela, 69% possuem atendimento precário, ou seja, a maior parte o número de domicílios com soluções inadequadas é de atendimento considerados precários, então embora existam algum tipo soluções implantadas essas são classificadas como inadequadas, o que eleva os percentuais de inadequação.

A Figura 5.3 apresenta a média dos domicílios particulares permanentes conforme o número de moradores, a localização (urbana ou rural) e a adequação do esgotamento sanitário, destacando a diferença significativa entre as áreas.

**Figura 5.3** - Média dos domicílios particulares permanentes segundo a situação do domicílio e a adequação do esgotamento sanitário nos municípios que compõem a Bacia do Rio São Francisco.



Fonte - Autora (2025), segundo Censo Demográfico (2022).

De acordo com a Figura 5.3 é possível notar que a média da grande maioria dos domicílios urbanos da bacia, aproximadamente 63%, apresenta atendimento adequado de esgotamento sanitário, enquanto apenas cerca de 37% estão em condição inadequada. Já o cenário dos domicílios na área rural ocorre o inverso, cerca de 79% dos domicílios rurais apresentam esgotamento inadequado, contra apenas 21% com atendimento adequado. Esse resultado evidencia a diferença entre os meios urbano e rural.

## 5.2 Situação do Esgotamento Sanitário nos Municípios Contemplados pelo Contrato

Foram analisados os contratos de elaboração de projetos básico/executivo para coleta, tratamento e destinação de esgotos domésticos em módulos individuais em localidades rurais da bacia hidrográfica do rio São Francisco lotes 1 e 2, com o objetivo de observar quais soluções têm sido aplicadas, os contratos abordavam as seguintes localidades explicitadas na Tabela 5.1. Juntamente com às características territoriais e demográficas dos municípios e de adequação do esgotamento.

**Tabela 5.1** - Caracterização demográfica e condições de esgotamento sanitário nos municípios do contrato da Bacia do Rio São Francisco (MG).

| Município               | Área da unidade territorial (km²) | Densidade demográfica (Hab/km²) | População residente (Pessoas) | Situação do domicílio Rural |             | Atendimento de esgotamento |         |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|---------|
|                         |                                   |                                 |                               | População                   | % População | Adequado                   | Déficit |
| Inhapi (AL)             | 372,019                           | 40,77                           | 15167                         | 8589                        | 57%         | 9%                         | 91%     |
| Pariconha (AL)          | 254,719                           | 41,51                           | 10573                         | 7242                        | 68%         | 17%                        | 83%     |
| Santana do Ipanema (AL) | 436,16                            | 105,97                          | 46220                         | 15345                       | 33%         | 18%                        | 82%     |
| Traipu (AL)             | 681,577                           | 34,57                           | 23565                         | 16282                       | 69%         | 2%                         | 98%     |
| Jaguarari (BA)          | 2466,009                          | 13,26                           | 32703                         | 9148                        | 28%         | 38%                        | 62%     |
| Pedro Alexandre (BA)    | 889,572                           | 15,69                           | 13954                         | 8983                        | 23%         | 20%                        | 80%     |
| João Dourado (BA)       | 913,258                           | 27,21                           | 24854                         | 5789                        | 36%         | 25%                        | 75%     |
| Lapão (BA)              | 642,882                           | 40,03                           | 25736                         | 9284                        | 58%         | 24%                        | 76%     |
| Paratinga (BA)          | 2624,998                          | 11,14                           | 29252                         | 17001                       | 64%         | 15%                        | 85%     |
| Congonhas do Norte (MG) | 405,671                           | 11,91                           | 4831                          | 1220                        | 25%         | 8%                         | 92%     |
| Diamantina (MG)         | 3891,659                          | 12,26                           | 47702                         | 4407                        | 9%          | 10%                        | 90%     |
| Jaíba (MG)              | 2635,467                          | 14,29                           | 37660                         | 16161                       | 43%         | 5%                         | 95%     |
| Mamonas (MG)            | 284,365                           | 21,09                           | 5997                          | 2499                        | 42%         | 0%                         | 100%    |
| Passa Tempo (MG)        | 429,172                           | 19,74                           | 8473                          | 1525                        | 18%         | 21%                        | 79%     |

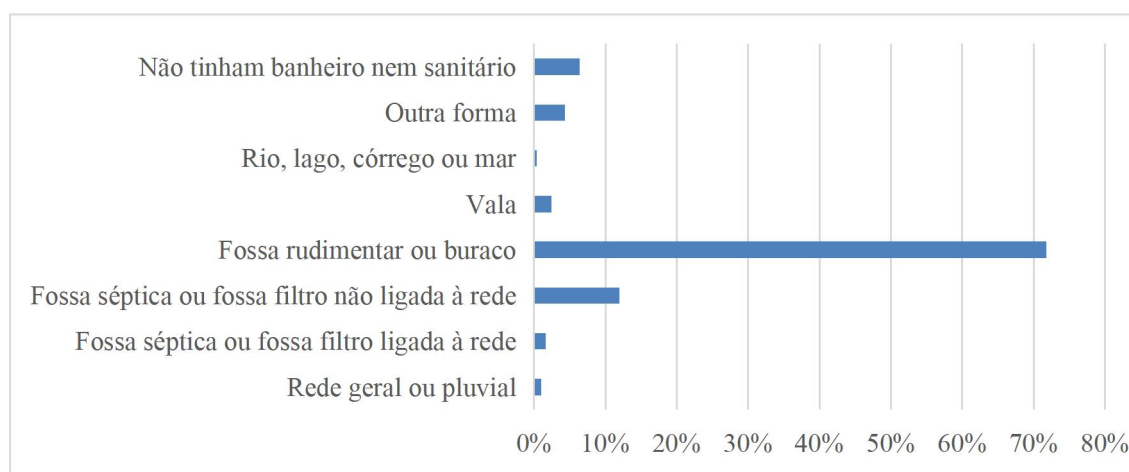
Fonte - Autora (2025), segundo Censo Demográfico (2022).

De acordo com a Tabela 5.1 é possível notar que alguns municípios como o Inhapi (AL), Pariconha (AL), Traipu (AL), Paratinga (BA), Pedro Alexandre (BA), apresentam uma expressiva parcela da população residente em áreas rurais. Desse modo, é possível perceber que há uma forte representatividade rural nessas localidades. Nesse contexto, as áreas rurais possuem grande representatividade e importância e exigem atenção diferenciada para que as metas de universalização sejam alcançadas.

Analisando a Tabela 5.1 observa-se que em todas as localidades é predominante o uso de soluções inadequadas de tratamento de esgotamento sanitário na área rural. O alto déficit é um dos fatores que pode ter justificado a escolha desses municípios da bacia para a implementação de soluções individuais de tratamento de esgotos domésticos.

De acordo com a Figura 5.4, é possível observar que os municípios rurais contemplados pelo contrato seguem um padrão semelhante ao verificado nos demais municípios que compõem a Bacia do Rio São Francisco. Nota-se a predominância do uso de fossas rudimentares ou buracos, que representam a principal forma de esgotamento sanitário nessas localidades.

**Figura 5.4** - Proporção de moradores por tipo de esgotamento sanitário em domicílios rurais específicos do contrato nos municípios da Bacia do Rio São Francisco – 2022.

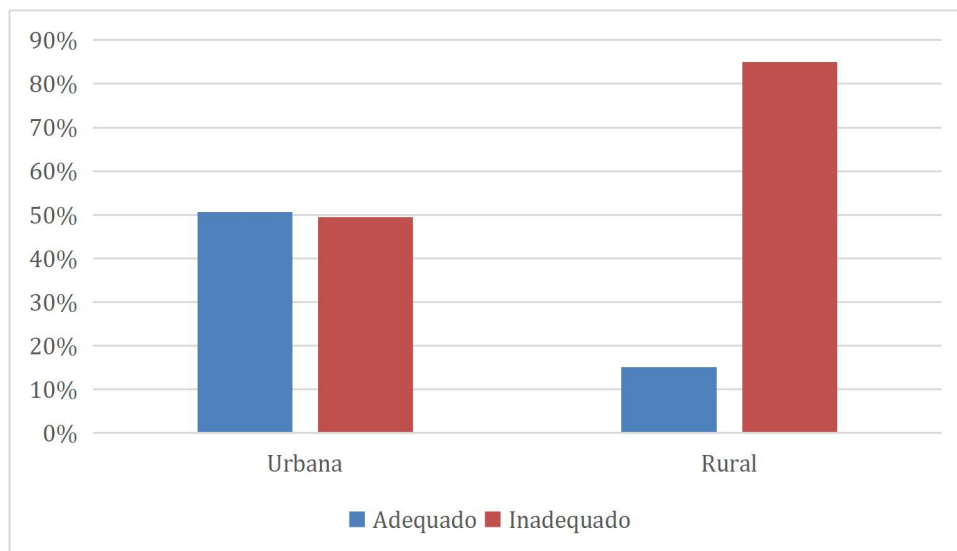


Fonte - Autora (2025), segundo Censo Demográfico (2022).

A Figura 5.5 apresenta a média de adequação do esgotamento sanitário nos domicílios urbanos e rurais dos municípios contemplados pelo contrato na Bacia do Rio São Francisco.



**Figura 5.5** - Média dos domicílios particulares permanentes, segundo a situação do domicílio e a adequação do esgotamento sanitário nos municípios contemplados pelo contrato na Bacia do Rio São Francisco.



Fonte - Autora (2025), segundo Censo Demográfico (2022).

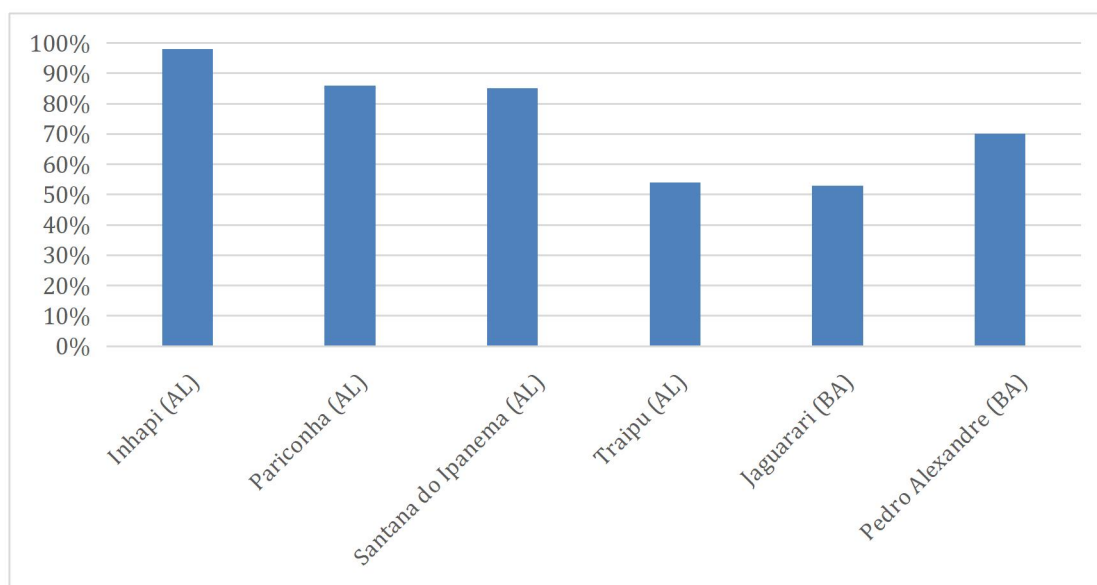
Observa-se pela Figura 5.5 que, nas áreas rurais, a proporção de domicílios com esgotamento inadequado é consideravelmente superior à de atendimento adequado, enquanto nas áreas urbanas as proporções de adequação e inadequação são mais equilibradas. Esses valores evidenciam um contraste significativo entre os dois contextos, indicando maior predominância de inadequação no meio rural nesses municípios contemplados pelo contrato o que justifica a iniciativa da elaboração do projeto na Bacia do Rio São Francisco.

Assim, é possível observar que, entre as soluções inadequadas, predomina o atendimento precário, ou seja, há uma forma de esgotamento sanitário, porém, ela não se enquadra nos padrões de adequabilidade. Além disso, conforme ilustrado na Figura 5.4 verifica-se que a maior parte desse atendimento precário corresponde ao uso de fossas rudimentares. Além disso, nas localidades específicas do contrato, verificou-se que apenas 10% das unidades utilizam tanque séptico, sendo esta a única solução considerada tecnicamente adequada entre os sistemas identificados.

O diagnóstico realizado nas comunidades do Lote 02, que engloba municípios em Alagoas e Bahia (Inhapi, Pariconha, Santana do Ipanema, Traipu, Jaguarari e Pedro Alexandre),

demonstra que essas áreas apresentam índices elevados de separação entre águas cinzas e águas fecais, conforme mostra na Figura 5.6.

**Figura 5.6** - Proporção de imóveis que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais nos municípios do contrato nos domicílios rurais - Localidade (Lote 02).



Fonte - Autora (2025), segundo COBRAPE (2023).

A Figura 5.6 apresenta a proporção de imóveis rurais que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais nos municípios avaliados, evidenciando um considerável predomínio dessa prática. Esse resultado revela a importância cultural da separação do esgoto nas comunidades rurais antes mesmo da implementação do projeto, configurando-se como uma prática intuitiva para os moradores no manejo de seus efluentes.

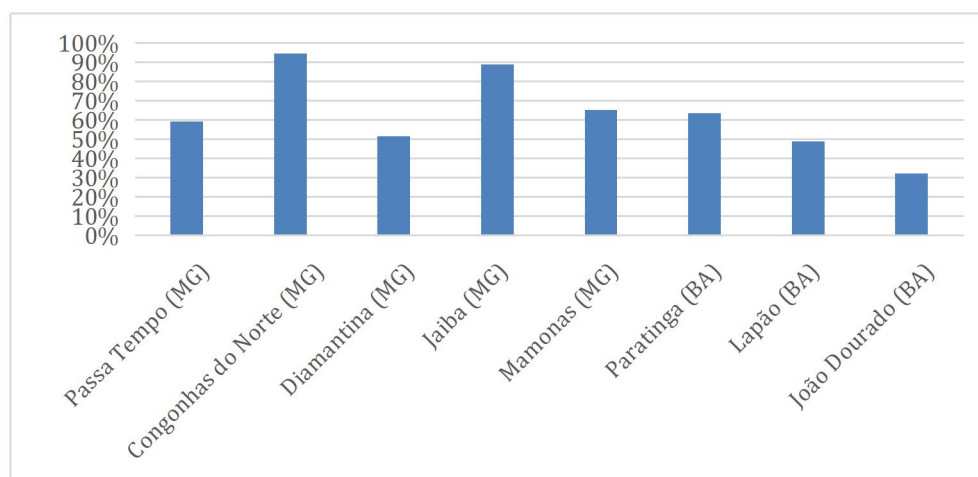
Nos documentos relativos às comunidades do Lote 01, não foram disponibilizados dados consolidados que indicassem a proporção de imóveis que realizavam a separação entre águas cinzas e águas fecais. No entanto, para fins de análise, observa-se que diversas soluções propostas nos projetos, como o Tanque de Evapotranspiração (TEvap) e o banheiro seco, pressupõem a existência de segregação prévia dos efluentes.

Essa inferência decorre das características dos projetos executivos, os quais não preveem intervenções nas tubulações internas das edificações e determinam que a conexão da residência ao novo sistema deve ocorrer diretamente a partir da tubulação de saída existente

na parte externa da propriedade. Dessa forma, nas situações em que o TEvap ou outras soluções que operam exclusivamente com águas fecais foram selecionadas, é possível deduzir que já havia, no sistema predial, algum nível de separação entre águas cinzas e águas fecais.

Além disso, soluções como o banheiro seco, também previstas nos projetos, operam obrigatoriamente de forma segregada. Assim, embora os relatórios do Lote 01 não apresentem dados numéricos consolidados sobre segregação, essa condição foi considerada na análise da proporção de domicílios rurais que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais nos municípios avaliados são apresentados na Figura 5.7.

**Figura 5.7** - Proporção de imóveis que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais nos municípios do contrato nos domicílios rurais - Localidade (Lote 01).

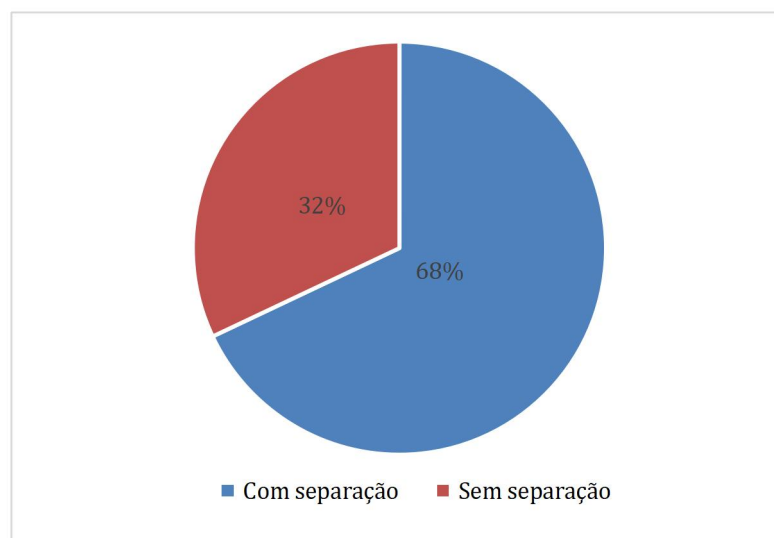


Fonte - Autora (2025), segundo GEASA (2024).

Os dados na Figura 5.7 apresentam diferentes graus de separação entre águas cinzas e águas fecais nas localidades do Lote 01. Sendo destaque para municípios como Congonhas do Norte e Jaíba, onde a prática é majoritária. Em outras localidades, como Diamantina, Mamonas, Paratinga e Passa Tempo, os percentuais também são expressivos, ainda que inferiores aos valores máximos observados. Já em João Dourado, embora a segregação não seja predominante, aproximadamente 32% dos domicílios apresentam essa prática.

Na Figura 5.8 apresenta o panorama geral das localidades do contrato em relação à segregação do esgoto sanitário, considerando a proporção de domicílios que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais.

**Figura 5.8** - Proporção de domicílios que realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais nas localidades avaliadas.



Fonte - Autora (2025), segundo GEASA e COBRAPE (2024).

A Figura 5.8 evidencia que 68% dos domicílios avaliados realizam algum nível de separação entre águas cinzas e águas fecais, enquanto 32% não adotam essa prática. Esses dados mostram que a segregação do esgoto sanitário ocorre na maior parte das residências analisadas, o que indica que essa prática está presente nas dinâmicas locais de manejo de efluentes nessas regiões. Essa evidência contribui para corroborar a importância da segregação como parâmetro na escolha das soluções de esgotamento sanitário em áreas rurais.

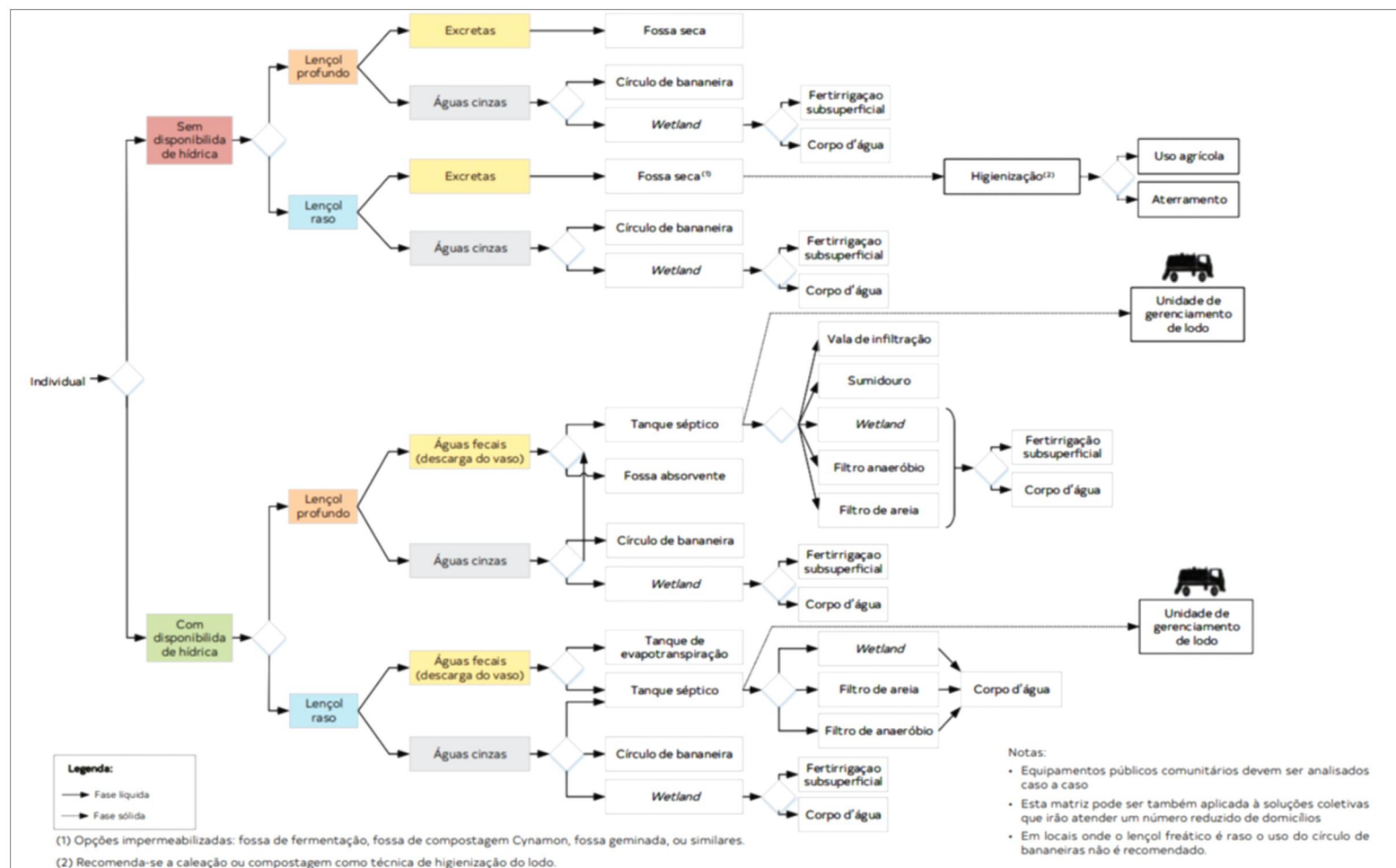
### 5.3 Relação entre os Resultados Observados e as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Rural

De acordo com a manual orientativo sobre a norma de referência ANA nº 8/2024, cabe às entidades reguladoras infranacionais definir a adequação das soluções alternativas de esgotamento sanitário, observando as condições locais e as diretrizes do PLANSAB. No entanto, para soluções alternativas individuais e coletivas de esgotamento sanitário, é permitido consultar matriz tecnológica e requisitos operacionais do PNSR. (ANA, 2023).

Conforme estabelecido no PNSR, desenvolvido pela FUNASA (2019), o planejamento do saneamento rural no país busca orientar ações que promovam a universalização do acesso, pautadas em princípios como equidade, integralidade, sustentabilidade e participação social. O documento incorpora, entre seus instrumentos, uma matriz tecnológica de soluções

individuais para o esgotamento sanitário mostrado na Figura 5.9. Essa matriz reúne um conjunto de alternativas voltadas às especificidades do meio rural, contemplando também tecnologias que dependem da separação entre águas cinzas e águas fecais. Ao incluir tais opções, o PNSR reconhece a segregação como uma configuração tecnicamente aplicável em áreas rurais, especialmente naquelas caracterizadas pela dispersão domiciliar e pela necessidade de soluções descentralizadas.

**Figura 5.9 - Matriz tecnológica de soluções individuais para o esgotamento sanitário.**



Fonte – FUNASA (2019)

Observa-se pela Figura 5.9 que boa parte das alternativas apresentadas opera mediante a segregação dos efluentes. Assim, a matriz demonstra que o PNSR reconhece formalmente tanto sistemas segregados quanto não segregados, oferecendo um conjunto mais diversificado de opções que podem ser compatibilizadas com as condições ambientais e estruturais diferentes do que é adotado pelo IBGE e PLANSAB.

A Tabela 5.2 apresenta um conjunto de tecnologias individuais ou de pequeno porte utilizadas para o tratamento e a disposição final de esgoto doméstico, conforme descrito em diferentes referências técnicas.

**Tabela 5.2** - Soluções individuais ou de pequeno porte para o esgotamento sanitário.

| <b>Solução</b>                                      | <b>Efluente Tratado</b>                              | <b>Segregação necessária?</b> | <b>Referência</b> |
|---|--|-------------------------------|-------------------|
| Tanque séptico                                      | Águas fecais ou esgoto doméstico combinado           | Não                           | PNSR, IBGE, NBR   |
| Fossa seca / banheiro seco                          | Excretas (fezes e urina)                             | Sim                           | PNSR              |
| Círculo de bananeira                                | Águas cinzas   | Sim                           | PNSR              |
| Wetland construído                                  | Águas cinzas ou esgoto doméstico previamente tratado | Variável                      | PNSR, NBR         |
| Tanque de evapotranspiração                         | Águas do vaso sanitário (fecais)                     | Sim                           | PNSR              |
| Filtro anaeróbio                                    | Pós-tratamento (secundário ou complementar)          | Variável                      | PNSR, NBR         |
| Sumidouro / vala de infiltração                     | Pós-tratamento (disposição final)                    | Não se aplica                 | PNSR, NBR         |
| Equipamento compacto de tratamento de esgoto (ECTE) | Esgoto doméstico combinado                           | Não                           | NBR               |
| Reator anaeróbio compartimentado (RAC)              | Esgoto doméstico combinado                           | Não                           | NBR               |
| Vermifiltro   | Pós-tratamento primário                              | Variável                      | NBR               |
| Filtro de areia                                     | Pós-tratamento secundário                            | Sim                           | PNSR              |

Fonte - Autora (2025).



A partir da Tabela 5.2, observa-se que o PNSR prioriza soluções individuais voltadas ao contexto rural, adotando métodos e tecnologias que consideram as especificidades socioambientais dos territórios. Essa abordagem estimula o uso de alternativas sustentáveis e de baixo custo, favorecendo o acesso da população de baixa renda e valorizando a segregação dos efluentes como critério de eficiência e de potencial reaproveitamento de água e nutrientes.

As diretrizes da NBR 17076:2024, por outro lado, estabelecem requisitos técnicos para sistemas de tratamento de esgoto de menor porte, incorporando tecnologias mais robustas, padronizadas e com maior controle operacional, especialmente nas etapas de pós-tratamento. O IBGE, por sua vez, apresenta uma perspectiva mais simplificada, reconhecendo principalmente o tanque séptico como solução adequada para ser usada.

A NBR 17076:2024 consolida as diretrizes técnicas para os sistemas de tratamento de esgoto de menor porte, abrangendo tanto as soluções individuais quanto as descentralizadas de baixa vazão. Já o IBGE, por meio da PNSB de 2017, concentra-se em caracterizar o acesso domiciliar às soluções de esgotamento, com destaque para a tanque séptico, e em mensurar o déficit de saneamento, apresentando menor detalhamento tecnológico. Assim, observa-se que, enquanto o IBGE e as normas técnicas priorizam sistemas padronizados de tratamento combinado, o PNSR valoriza a diversificação tecnológica e a segregação dos efluentes, promovendo alternativas mais sustentáveis e adequadas às realidades do meio rural.

Pela Tabela 5.3 é possível perceber que uma variedade cultural e de identidade dessas áreas rurais, o que interfere na seleção da solução de esgotamento sanitário, pois o sucesso dessa solução depende da adesão da população e o bom uso dessas tecnologias.

**Tabela 5.3** - Característica cultural principal das localidades.

| <b>Localidade</b> | <b>Município</b>        | <b>Característica Cultural Principal</b> |
|-------------------|-------------------------|--|
| <b>Lote 01</b>    | Jaíba (MG)              | Comunidade remanescente Quilombola       |
|                   | Paratinga (BA)          | Comunidade Quilombola                    |
|                   | Lapão (BA)              | Comunidade Quilombola                    |
|                   | João Dourado (BA)       | Comunidade Rural                         |
|                   | Passa Tempo (MG)        | Comunidade Quilombola                    |
|                   | Congonhas do Norte (MG) | Comunidade Rural                         |
|                   | Diamantina (MG)         | Comunidade Rural                         |
|                   | Mamonas (MG)            | Comunidade Rural                         |
| <b>Lote 02</b>    | Inhapi (AL)             | Etnia Indígena Koiupanká                 |
|                   | Pariconha (AL)          | Etnia Indígena Jeripankó                 |
|                   | Santana do Ipanema (AL) | Comunidade Quilombola e Povoado Rural    |
|                   | Traipu (AL)             | Comunidade Quilombola                    |
|                   | Jaguarari (BA)          | Povoado Rural                            |
|                   | Pedro Alexandre (BA)    | Povoado Rural                            |

Fonte - Autora (2025) segundo GEASA e COBRAPE (2024)

De acordo com o FUNASA (2019), a diversidade cultural é um fator decisivo na matriz de seleção de tecnologias, influencia diretamente a aceitação, o uso adequado e a manutenção dos sistemas de esgotamento sanitário. Assim, as condicionantes culturais que são associadas à diversidade social, religiosa, étnica e regional, moldam o modo de vida, a organização comunitária e a forma de interação com o ambiente. Por isso, a escolha da tecnologia deve considerar o princípio da aceitabilidade social e cultural, garantindo que as soluções propostas estejam alinhadas aos hábitos e às práticas locais, para não correr o risco de não serem utilizadas ou incorporadas ao cotidiano da população.

FUNASA (2019) destaca que, em determinadas realidades, o uso de água para afastamento das excretas não é culturalmente aceito, reforçando a necessidade de soluções compatíveis com as percepções locais de higiene e manejo de resíduos. Dessa forma, evidencia-se que o fator cultural é determinante tanto na escolha da solução técnica quanto no sucesso de sua implementação, sendo indispensável para garantir adesão, sustentabilidade e continuidade do serviço no meio rural.

Segundo Pedro et al. (2025), a apropriação de tecnologias sociais no saneamento rural está fortemente relacionada à aceitação comunitária, à educação não formal e às contrapartidas dos moradores. Desse modo, os processos educacionais, sobretudo os não formais, devem ser valorizados, e que políticas públicas de saneamento considerem as especificidades ambientais, culturais e sociais de cada região para aumentar o sucesso das intervenções. (Pedro *et al.*, 2025).

A adoção de uma tecnologia, isoladamente, não garante a solução dos problemas locais. Por isso, o envolvimento direto das comunidades é um elemento central nas tecnologias sociais, desde a discussão inicial da proposta até a gestão e o acompanhamento dos sistemas descentralizados. Assim é importante reconhecer e valorizar características culturais, práticas educacionais, formas de comunicação e lideranças presentes no território, de modo que a solução seja compreendida e incorporada de forma adequada (EMBRAPA, 2021).

Os resultados encontrados anteriormente evidenciam que 68% dos domicílios contemplados pelo contrato realizam a separação entre águas cinzas e águas fecais, enquanto o Censo Demográfico aponta que 85% dos imóveis rurais do país possuem soluções consideradas inadequadas para o manejo do esgoto. Esses resultados evidenciam a necessidade de adotar soluções descentralizadas, apropriadas ao contexto sociocultural e capazes de promover melhorias progressivas nas condições de saneamento.

A taxa de segregação identificada nas comunidades atendidas indica uma prática pré-existente e culturalmente assimilada de manejo diferenciado dos efluentes. Nas áreas rurais, conforme apontado pela empresa GEASA, além do lançamento *in natura*, é comum que os sistemas de esgotamento sejam construídos pelos próprios moradores, utilizando recursos e conhecimentos locais. Esse cenário reforça que as intervenções em áreas rurais devem partir do entendimento dos hábitos e práticas já consolidadas, valorizando tecnologias socialmente aceitas, de fácil operação e manutenção. Contudo, a adoção dessas práticas precisa ser orientada, de modo a garantir que sejam implementadas de forma segura e em conformidade com diretrizes como as estabelecidas pelo PNSR.

Além disso, observa-se um contraste em relação ao dado nacional do IBGE, que aponta 85% de inadequação no esgotamento sanitário rural. Embora a predominância da segregação nos municípios analisados indique um cenário favorável à implantação de tecnologias individuais

baseadas na separação de águas cinzas e fecais, a ausência de um portfólio mais amplo e oficialmente reconhecido de soluções faz com que essas práticas continuem sendo classificadas como inadequadas pelo Censo. Assim, mesmo existindo potencial local, a falta de reconhecimento formal prejudica a visão do diagnóstico real da situação e limita o avanço do saneamento rural.

Portando o PNSR, como documento oficial do governo federal, reconhece a necessidade de estratégias que respeitem a diversidade cultural e ambiental, estimulando uma matriz tecnológica ampla que contemple tanto soluções para o esgoto doméstico misto quanto sistemas baseados na segregação das águas cinzas. Essa abordagem flexível é importante, pois quando as condições físicas locais são favoráveis, como a adequação do solo e a distância segura do lençol freático, tecnologias ecológicas e descentralizadas se tornam viáveis e desejáveis.

A ampliação desse portfólio de soluções favorece a sustentabilidade local, promovendo a economia de água, o reaproveitamento de nutrientes (transformando o esgoto em biofertilizante ou utilizando-o nas plantas, como no Círculo de Bananeiras), e a melhoria ambiental nas comunidades rurais, ao reduzir a poluição do solo e de corpos hídricos, alinhando o saneamento com a saúde e o desenvolvimento rural e sustentável (Tonetti *et al.*, 2018).

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar o cenário atual do esgotamento sanitário na área rural e avaliar as possíveis contribuições da segregação de esgotos para a adoção de soluções de tratamento. Nesse sentido, investigou-se a situação do esgotamento sanitário em áreas rurais da Bacia do Rio São Francisco, com foco na prática de separação entre águas cinzas e águas fecais. A pesquisa buscou compreender, a partir do diagnóstico de projetos de soluções de esgotamento implantados em algumas localidades da bacia, como a segregação pode contribuir para o saneamento rural, especialmente em comunidades rurais e de difícil acesso. Logo, os resultados evidenciaram a importância de se ampliar o portfólio de tecnologias reconhecidas, de modo a incorporar soluções compatíveis com as realidades socioculturais e territoriais dessas localidades.

A relevância do tema se evidencia diante do ainda expressivo déficit de saneamento rural no país e das metas de universalização previstas no novo Marco Legal do Saneamento. Considerando fatores como a dispersão geográfica, o isolamento político e físico das localidades em relação às sedes municipais, a baixa densidade populacional, as limitações financeiras e de pessoal dos municípios, além da diversidade cultural existente, torna-se evidente que as áreas rurais demandam uma abordagem diferenciada. Nesse contexto, é fundamental adotar soluções de esgotamento sanitário adaptadas às especificidades de cada comunidade, de modo a garantir um atendimento mais adequado, eficiente e alinhado às suas realidades sociais, ambientais e culturais.

Os resultados mostraram que 68% das comunidades contempladas empregam algum tipo de separação entre águas cinzas e fecais, prática que se mostra coerente com soluções individuais e descentralizadas previstas em diretrizes como o PNSR. Então a hipótese inicial de que a segregação de esgotos poderia representar uma alternativa tecnicamente viável e culturalmente adequada para ampliar o portfólio de soluções no meio rural foi confirmada.

Além disso, os resultados mostram um cenário rural marcado por elevada inadequação segundo os critérios nacionais, 87% na área rural dos municípios do contrato. Contudo, essas localidades também evidenciaram uma forte presença de soluções individuais que envolviam algum nível de segregação evidenciando que a separação do esgoto é algo que culturalmente é assimilado, e possui grande potencial para ampliação. A segregação se destaca como uma

estratégia alinhada à realidade territorial e sociocultural, contribuindo para o uso de tecnologias simples, de baixo custo e ambientalmente seguras. Contudo, a falta de reconhecimento formal faz com que essas práticas continuem sendo classificadas como inadequadas, mesmo apresentando grande potencial para serem executadas de forma satisfatória. Essa lacuna institucional dificulta a construção de diagnósticos mais fiéis à realidade vivenciada pelas comunidades rurais.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se que pesquisas futuras aprofundem a análise sobre as diferenças culturais e seus impactos na escolha e na aceitação das soluções de esgotamento sanitário. Os sistemas individuais tem como desafio a manutenção, por isso, é importante a participação efetiva dos usuários para a eficiência das ações de saneamento. Nesse sentido, seria relevante analisar como os condicionantes culturais, como aceitabilidade social, práticas tradicionais e formas de organização comunitária, e a Educação Ambiental influenciam a operação e manutenção das soluções individuais instaladas em comunidades rurais e tradicionais, incluindo populações quilombolas e indígenas. Esse aprofundamento permitiria mapear quais soluções apresentam melhor desempenho e adequação em cada comunidade.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Guia de tecnologias de saneamento**. Brasília, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Manual orientativo da Norma de Referência nº 8/2024**: metas progressivas de universalização de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/Normativos-publicados-pela-ANA/ManualNR8.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 17076:2024 – Projeto de sistema de tratamento de esgoto sanitário em edificações residenciais unifamiliares e soluções coletivas de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [1988]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm). Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Seção 1, p. 1. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm). Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. **Manual de Orientações Técnicas para Elaboração e Apresentação de Projetos de Saneamento Rural**. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), 2019. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL\\_PNSR\\_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb). Acesso em: 16 set. 2025.

Ministério das Cidades. **Painel Indicadores de Acesso ao Saneamento Básico**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/painel-indicadores-de-acesso-ao-saneamento-basico/>. Acesso em: 15 set. 2025.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)**. Ministério do Desenvolvimento Regional; Ministério da Cidadania; Ministério do Meio Ambiente; Governo Federal, 2019. Disponível em: [https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/arquivos/Versao\\_Conselhos\\_Resoluo\\_Alta\\_Capa\\_Atualizada.pdf](https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/arquivos/Versao_Conselhos_Resoluo_Alta_Capa_Atualizada.pdf). Acesso em: 16 set. 2025.

COBRAPE – COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. **Elaboração de projetos básico/executivo para coleta, tratamento e destinação de esgotos domésticos em módulos individuais em localidades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (Lote 02)**: Agência de Bacia Hidrográfica Peixe Vivo, 2023. Em atendimento ao Ato Convocatório nº 003/2023. Disponível em: [https://siga.cbhsaofrancisco.org.br/relatorio\\_de\\_projeto.html?id=432](https://siga.cbhsaofrancisco.org.br/relatorio_de_projeto.html?id=432). Acesso em: 24 nov. 2025.



COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). **SIGA – Acompanhamento das Ações**. Disponível em: <https://siga.cbhsaofrancisco.org.br/acomp-acoas.html>. Acesso em: 25 out. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS – CBH Rio das Velhas. **Revista Velhas nº 13: Saneamento básico feito pelas mãos de quem precisa**. Belo Horizonte, 21 maio 2021. Disponível em: <https://cbhvelhas.org.br/novidades/revista-velhas-no-13-saneamento-basico-feito-pelas-maos-de-quem-precisa/>. Acesso em: 06 jan. 2026.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS – EMATER-MG. **Bananeiras: aproveitamento de águas cinzas pelo sistema de círculo de bananeiras**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2017. Disponível em: <https://www.emater.mg.gov.br/download.do?id=17588>. Acesso em: 29 jun. 2025.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Cadernos temáticos – Esgotamento sanitário**. Brasília: Ministério da Saúde, 2015.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Impactos na saúde e no Sistema Único de Saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2010. Disponível em: [https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/estudosPesquisas\\_ImpactosSaude.pdf](https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/estudosPesquisas_ImpactosSaude.pdf). Acesso em: 12 maio 2025.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de saneamento**. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR**. Brasília, DF: FUNASA, 2019. Disponível em: [https://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL\\_PNSR\\_2019.pdf](https://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf). Acesso em: 13 abr. 2024.

GALBIATTI, José Antonio; DIAS, Nídia Marina P. **Tratamento de águas negras por tanque de evapotranspiração**. In: SIMPÓSIO SOBRE REUSO DE ÁGUA, 2., 2009, Campinas. *Anais [...]* Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2009.

GEASA ENGENHARIA LTDA. **Elaboração de Projetos Básico/Executivo para Coleta, Tratamento e Destinação de Esgotos Domésticos em Módulos Individuais em Localidades Rurais da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (Lote 01)**. Agência de Bacia Hidrográfica Peixe Vivo, 2024. Disponível em: [https://siga.cbhsaofrancisco.org.br/relatorio\\_de\\_projeto.html?id=429](https://siga.cbhsaofrancisco.org.br/relatorio_de_projeto.html?id=429). Acesso em: 24 nov. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>. Acesso em: 16 set. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA: Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/Q>. Acesso em: 24 nov. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Mensal (PNAD-CM)**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadcm>. Acesso em: 17 set. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Proposta metodológica para classificação dos espaços do rural, do urbano e da natureza no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102019.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Guia do saneamento**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2022.

LEAL, Jane Terezinha da Costa Pereira; FERNANDES, Maurício Roberto; PEREIRA, Ricardo Tadeu Galvão. **Boas práticas ambientais na cafeicultura**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2012. 64 p.

PEDRO, João Paulo Borges; OLIVEIRA, Cassio Augusto da Silva; FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; MAGALHÃES, Taína Martins; NEU, Vania; TONETTI; Adriano Luiz; von SPERLING, Marcos. Apropriação de tecnologia social no saneamento rural: reflexões teóricas e estudo de caso na Amazônia. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 28, 2025. Tema em Destaque: Amazônia.

SALVADOR, Nemésio Neves Batista; FRIGO, Fernando. Alternativas sustentáveis para esgotamento sanitário de residências e assentamentos rurais. **Retratos de Assentamentos**, v. 24, n. 2, p. 117-137, 2021. Disponível em: <https://www.retratosdeassentamentos.com/index.php/retratos/article/view/405/426>. Acesso em: 5 jul. 2025.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

von SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

von SPERLING, M.; SEZERINO, I. Dimensionamento de *wetlands* construídos no Brasil. **Boletim Wetlands Brasil – Edição Especial**, 2018. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2018/12/Boletim-Wetlands-Brasil-Edi%C3%A7%C3%A3o-Especial-Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdos-no-Brasil-von-Sperling-Sezerino-2018-2.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2025.

TONETTI, Adriano Luiz; BRASIL, Ana Lúcia; MADRID, Francisco José Peña y Lillo; FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; SCHNEIDER, Jerusa; CRUZ, Luana Mattos de Oliveira; DUARTE, Natália Cangussu; FERNANDES, Patrícia Moreno; COASACA, Raúl Lima; GARCIA, Rodrigo Sanches; MAGALHÃES, Taína Martins. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. 1. ed. Campinas, SP: Biblioteca Unicamp, 2018. 153 p.

VIANA, Ingrid Luna Baia; CASTRO, Denize Mendes de; BATISTA, Jamile Caroline Moreira; SOUSA, Juliana Melo de; SOUSA, Lais Victoria Ferreira de. Banheiro seco como

alternativa sanitária e ecológica: levantamento das implementações no Brasil. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 4, p. 84–104, 2020. ISSN 2675-3065.