

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA INSTALAÇÃO DE BIODIGESTORES EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES NA CIDADE DE MACAPÁ: uma solução sustentável na Amazônia¹

TECHNICAL FEASIBILITY STUDY OF THE INSTALLATION OF BIODIGESTERS IN SINGLE-FAMILY RESIDENCES IN THE CITY OF MACAPÁ: a sustainable solution in the amazon

Daniele de Lima Macedo²
Tarcísio Santiago Gomes Filho³

RESUMO: A carência de infraestrutura de saneamento básico nas áreas periféricas da Amazônia, com destaque para Macapá, exige a adoção de alternativas descentralizadas e sustentáveis. Nesse cenário, os biodigestores emergem como uma promissora tecnologia social para o tratamento de resíduos orgânicos e a geração de energia renovável. O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade técnica da instalação de biodigestores em residências unifamiliares em Macapá, considerando fatores operacionais, econômicos, ambientais e normativos. A pesquisa utilizou uma abordagem qualitativa, baseada em revisão bibliográfica sistemática e análise documental de dados institucionais recentes (2021–2025). Os achados indicam que a tecnologia é viável e apresenta baixo custo quando construída com materiais reaproveitados. Além de tratar efluentes, ela contribui para a mitigação da poluição hídrica, a redução de emissões de metano e o fortalecimento da bioeconomia. Em conclusão, os biodigestores representam uma alternativa estratégica ao saneamento convencional, e sua inserção em políticas públicas alinhadas aos ODS 6, 7 e 12 é recomendada.

Palavras-chave Biodigestores; Saneamento Ecológico; Amazônia; Energia Renovável.

ABSTRACT: The lack of basic sanitation infrastructure in the outlying areas of the Amazon, particularly in Macapá, requires the adoption of decentralized and sustainable alternatives. In this scenario, biodigesters emerge as a promising social technology for the treatment of organic waste and the generation of renewable energy. The objective of this study was to analyze the technical feasibility of installing biodigesters in single-family homes in Macapá, considering operational, economic, environmental, and regulatory factors. The research used a qualitative approach, based on a systematic literature review and documentary analysis of recent institutional data (2021–2025). The findings indicate that the technology is feasible and low-cost when built with reused materials. In addition to treating effluents, it contributes to the mitigation of water pollution, the reduction of methane emissions, and the strengthening of the bioeconomy. In conclusion, biodigesters represent a strategic alternative to conventional sanitation, and their inclusion in public policies aligned with SDGs 6, 7, and 12 is recommended.

Keywords Biodigesters; Ecological Sanitation; Amazônia; Renewable Energy

Data de Aprovação: 22/08/2026.

¹ Artigo apresentado ao curso de Pós-graduação em Processos Construtivos Residências do Instituto Federal do Amapá como requisito para a obtenção do título de Especialista em Processos Construtivos Residenciais.

² Acadêmica do curso de Pós-graduanda em Processos Construtivos Residenciais. E-mail: danielesfmacedo@gmail.com

³ Orientador, Doutor em Engenharia Civil. Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá. E-mail: tarcisio.filho@ifap.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos e o tratamento de efluentes domésticos representam um dos mais prementes desafios socioambientais no Brasil, notadamente em localidades caracterizadas pela infraestrutura de saneamento básico deficiente ou inexistente. Conforme dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Ana, 2025), aproximadamente 90 milhões de cidadãos brasileiros não possuem acesso a sistemas de coleta e tratamento de esgoto adequados, culminando em impactos diretos à saúde pública e à qualidade dos recursos hídricos.

Na Região Norte do país, essa problemática é ainda mais acentuada; conforme estatísticas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023) indica que ao menos de 15% dos municípios da região possuem sistemas eficientes de esgotamento sanitário, o que exacerba a contaminação do solo e da água, com consequentes prejuízos aos ecossistemas e à saúde humana. Este cenário demanda a formulação e implementação de políticas públicas e soluções tecnológicas robustas para mitigar os riscos associados à disposição inadequada de efluentes e à poluição hídrica.

Na região Amazônica, dando ênfase para a cidade de Macapá, capital do Amapá, a carência de cobertura da rede de esgoto e o descarte inadequado de resíduos orgânicos representam fatores que amplificam os riscos ambientais e sanitários (Instituto Escolhas; Cibiogás, 2023). Pesquisas recentes mostraram que Macapá detém um potencial de produção de biogás superior a 7,5 milhões de Nm^3/ano , gerado a partir de resíduos sólidos urbanos (RSU); essa quantidade energética seria suficiente para suprir a demanda de mais de 7 mil residências (Instituto Escolhas; Cibiogás, 2023).

Tais informações ressaltam a urgência de implementar soluções de saneamento descentralizadas e sustentáveis, em consonância com a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Especificamente, essas ações se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em especial o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), que visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos, e ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), que busca garantir acesso à energia limpa, confiável, sustentável e moderna para todos. A exploração do potencial de biogás emerge, portanto, como uma estratégia promissora para o avanço do saneamento e da matriz energética sustentável na região.

Nesse panorama, os biodigestores se destacam como uma tecnologia social e ambientalmente viável para o tratamento de resíduos orgânicos domésticos. Esses sistemas convertem a matéria orgânica em biogás e biofertilizante por meio de um processo de digestão anaeróbia.

Pesquisas realizadas no Brasil têm consistentemente demonstrado a eficiência desses sistemas na redução da carga poluidora de efluentes e na geração de energia renovável (Bezerra *et al.*, 2024; Bezerra *et al.*, 2025; Silva; Faustino, 2021). Estudos de caso conduzidos em diversas regiões brasileiras, incluindo a aplicação de biodigestores em áreas periurbanas (Proença; Machado, 2018) e em conjuntos habitacionais de interesse social (Ferreira *et al.*, 2023), confirmam que essa tecnologia pode substituir as fossas sépticas convencionais. Essa substituição resulta em redução dos custos de manutenção, mitigação das emissões de gases de efeito estufa – GEE e contribuição significativa para a saúde pública e a qualidade ambiental.

Em uma perspectiva global, a digestão anaeróbia é largamente reconhecida como uma solução eficaz para o manejo de resíduos, impulsionando a economia circular e a bioeconomia (Lampeert, 2021). No cenário brasileiro, apesar de ainda subutilizado, o potencial de produção de biogás é estimado em expressivos 84,6 bilhões de Nm^3/ano , configurando-se como o maior do mundo; no entanto, apenas cerca de 1,5% desse potencial é atualmente explorado (Bezerra *et al.*, 2025).

Iniciativas notáveis, como a implementação de biodigestores construídos a partir de bombonas reutilizadas (Silva; Faustino, 2021) e o desenvolvimento de projetos-piloto em ambientes urbanos (Falcão, 2018), demonstram a viabilidade técnica e econômica da implantação desses sistemas em escala residencial. Esses exemplos reforçam a premissa de que a expansão da digestão anaeróbia no Brasil pode catalisar avanços significativos na gestão de resíduos orgânicos, na geração de energia renovável e na mitigação de impactos ambientais.

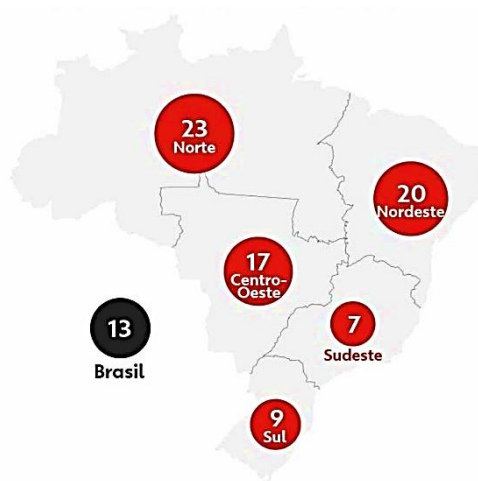
Diante do cenário apresentado, este estudo propõe-se a analisar a viabilidade técnica da instalação de biodigestores em residências unifamiliares na cidade de Macapá. Nosso objetivo é elucidar os benefícios ambientais, sociais e econômicos que essa tecnologia pode proporcionar. A pesquisa empregará uma revisão de literatura recente (2021–2025), combinada com a análise de dados institucionais e casos práticos, para desenvolver um modelo sustentável de saneamento descentralizado; esse modelo visa aprimorar a qualidade de vida da população, mitigar os impactos ambientais e fomentar a geração de energia limpa na Amazônia.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Saneamento Básico no Brasil

O saneamento básico no Brasil manifesta profundas desigualdades regionais; segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023), apenas 53% da população brasileira tem acesso a sistemas de coleta e tratamento de esgoto. A concentração de investimentos e infraestrutura é notadamente maior nas regiões Sul e Sudeste do país. A carência de cobertura adequada em esgotamento sanitário acarreta impactos diretos e significativos na saúde pública, elevando a incidência de doenças de veiculação hídrica e gerando custos adicionais para o sistema de saúde, conforme evidenciado por estudos como os do Instituto Trata Brasil (2024). Tal cenário reforça a urgência de políticas públicas que visem a equidade na distribuição dos recursos e na expansão dos serviços de saneamento para todo o território nacional.

Figura 1 – Taxa de internações por doenças de veiculação hídrica (por 10 mil habitantes) por região no Brasil (2019)



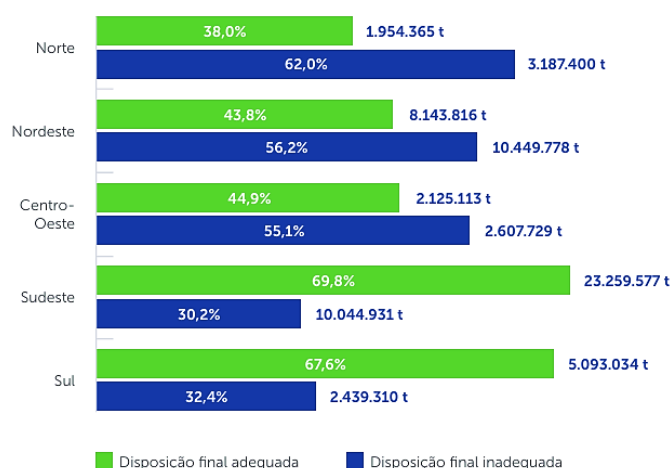
Fonte: Adaptado de instituto trata brasil (2019)

O mapa da figura 1, ilustra com clareza os impactos regionais na saúde pública, tornando evidente a maior vulnerabilidade da Região Norte, reforçando a urgência do tema.

Em análises recentes, Bezerra *et al.* (2025) ressaltam que a implementação de biodigestores tem o potencial de reduzir substancialmente o passivo ambiental do saneamento. A conversão de dejetos orgânicos em biogás e biofertilizante previne o descarte inadequado, contribuindo diretamente para o avanço da economia circular (Bezerra *et al.*, 2025).

O Relatório Nacional de Resíduos Sólidos da Abrelpe (2023) aponta que 40% dos resíduos gerados no Brasil não recebem tratamento apropriado. Essa lacuna infraestrutural sublinha a urgência de soluções descentralizadas e de baixo custo, especialmente para atender a demandas de áreas periféricas e rurais.

Figura 2 – Comparativo regional da destinação final de resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2023: adequada versus inadequada.



Fonte: Abrema (2024)

O gráfico da figura 2 compara, por região, a parcela de resíduos enviados para disposição ambientalmente adequada versus inadequada. Destaca-se que, na Região Norte, apenas cerca de 38% dos resíduos tiveram destinação adequada, evidenciando desigualdade e carência de infraestrutura sanitária.

Pesquisas recentes (Ferreira *et al.*, 2023; Silva; Faustino, 2021) confirmam a viabilidade dos biodigestores domésticos como alternativa tecnológica, uma vez que promovem o tratamento de esgoto e a produção de energia renovável de forma simultânea.

O Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) estabelece metas ambiciosas para a universalização dos serviços até 2033. No entanto, estudos indicam que desafios estruturais e financeiros podem dificultar a consecução desse objetivo, principalmente em municípios de pequeno porte e nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (Proença; Machado, 2018). Nesse cenário, a adoção de tecnologias sociais — como as fossas biodigestoras e os sistemas de saneamento ecológico — emerge como uma estratégia complementar eficaz para suprir as deficiências dos sistemas convencionais (Lampeert, 2021).

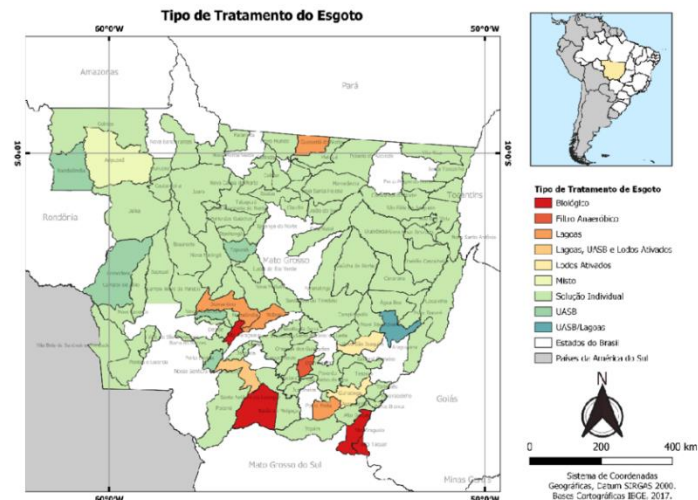
2.2 Saneamento Básico na Amazônia

A região amazônica impõe desafios singulares à implementação de sistemas tradicionais de esgotamento sanitário. Características como a baixa densidade populacional em áreas rurais, a vasta extensão territorial e a dispersão de comunidades ribeirinhas dificultam a instalação de redes coletoras e estações de tratamento convencionais (Instituto Escolhas; Cibiogás, 2023).

Dados do SNIS (2023) revelam que apenas 13% dos municípios amazônicos dispõem de tratamento de esgoto adequado. Em muitos desses casos, o esgoto é descartado in natura em

corpos hídricos, comprometendo ecossistemas sensíveis e a qualidade da água potável, o que acentua a necessidade de soluções adaptáveis e descentralizadas para a região.

Figura 3 – Mapa do tipo de tratamento de esgoto em 120 municípios, com destaque para áreas sem tratamento ou com sistemas simplificados.



Fonte: turini *et al.* (2021).

O Mapa da figura 3 mostra, por município, os diferentes tipos de tratamento de esgoto existentes, incluindo lagos, fossas, sistemas coletivos ou ausência de tratamento. Embora se refira ao estado de Mato Grosso, ele oferece uma representação visual ampliada das disparidades regionais e destaca a complexidade da implementação de sistemas convencionais em áreas extensas e de baixa densidade populacional, características também marcantes na Amazônia. Proença e Machado (2018) analisaram que,

“a aplicabilidade de tecnologias sociais em áreas de difícil acesso, concluindo que os biodigestores são instrumentos capazes de tratar resíduos orgânicos e gerar energia de forma descentralizada, sendo adaptáveis a pequenas comunidades e famílias.”

Relatórios técnicos, por sua vez, sugerem que a adoção desses sistemas tem o potencial de reduzir em até 70% a carga poluidora de esgotos domésticos despejados em corpos hídricos da região (Bezerra *et al.*, 2025)

Figura 4 – Biodigestor instalado em ambiente amazônico, exemplar de tecnologia sustentável adaptável a comunidades isoladas.



Fonte: juma lodge (2022).

A imagem 4 mostra um biodigestor instalado em área de floresta amazônica, provavelmente em contexto de ecoturismo ou comunidade ribeirinha (como no Juma Lodge, Amazonia). Ela evidencia a aplicabilidade prática da tecnologia em ambientes isolados, alinhando-se com a discussão sobre soluções descentralizadas para saneamento na Amazônia.

A precariedade do saneamento básico na Amazônia tem uma correlação direta com a saúde pública, estando associada a elevados índices de doenças como diarreia e parasitoses. Essas enfermidades chegam a representar até 60% dos atendimentos de saúde em comunidades ribeirinhas (Who, 2024). Nesse contexto, a implementação de soluções de saneamento ecológico e descentralizado torna-se crucial para a promoção da saúde e a conservação dos recursos naturais da região.

2.3 Saneamento Básico no Amapá

O estado do Amapá enfrenta um cenário particularmente crítico no que se refere à infraestrutura de saneamento. O Relatório de Biogás do Instituto Escolhas (2023) aponta que a capital, Macapá, possui apenas um aterro sanitário com um sistema incipiente de aproveitamento energético.

Apesar disso, a cidade detém um significativo potencial de produção de biogás a partir de seus resíduos sólidos urbanos, estimado em 7,5 milhões de Nm³/ano. Esse volume seria suficiente para abastecer aproximadamente 7.800 residências, mas o recurso permanece substancialmente subaproveitado (Instituto Escolhas; Cibiogás, 2023).

Figura 5 – Mapa do estado do Amapá identificando os municípios abrangidos pela concessão dos serviços de saneamento básico (água e esgoto).



Fonte: boletim do saneamento (2021).

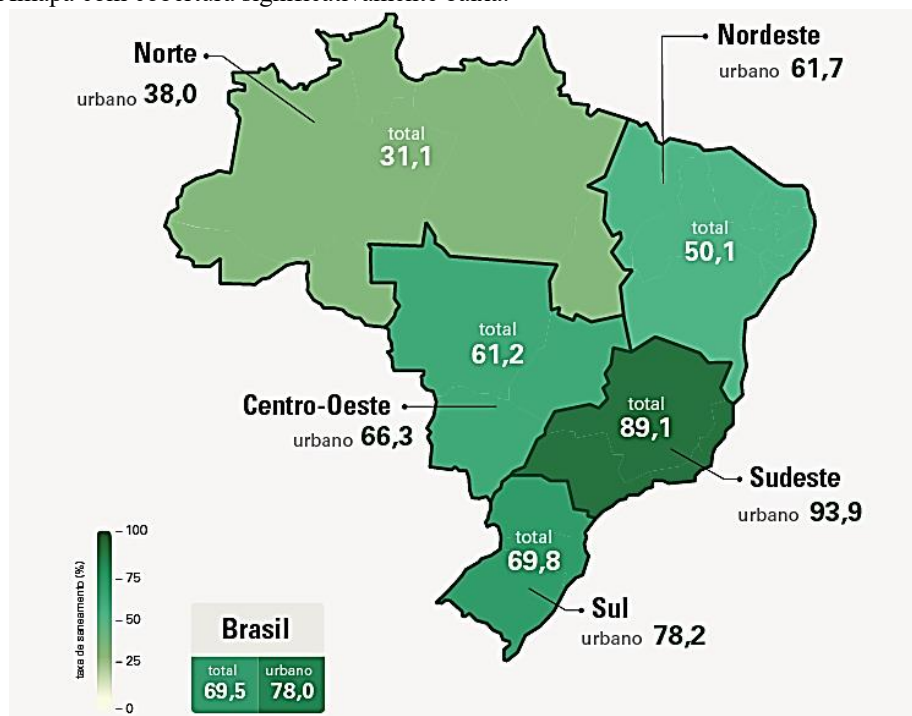
O mapa da Figura 5, oferece uma representação visual da insuficiente cobertura de saneamento no Amapá, com foco na cidade de Macapá, e demonstra a dependência de modelos de concessão para a expansão dos serviços, conforme desatado pelo Cibiogás (2023):

A imagem ilustra a concessão dos serviços de saneamento básico em 16 municípios do estado, englobando o abastecimento de água e o esgotamento sanitário.

Essa visualização reforça a urgência por soluções descentralizadas, como a adoção de biodigestores. Tais alternativas são propostas para complementar as abordagens convencionais, alinhando-se à argumentação sobre o déficit estrutural e o aproveitamento energético subótimo em Macapá (Instituto Escolhas; Cibiogás, 2023).

Estudos locais apontam que mais de 50% da população não tem acesso a sistemas de coleta de esgoto, e boa parte utiliza fossas rudimentares ou descarta resíduos diretamente no solo (SNIS, 2023); isso contribui para a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, agravando problemas de saúde pública.

Figura 6 – Percentual de domicílios urbanos com acesso à rede coletora de esgoto no Brasil em 2022, destacando o Amapá com cobertura significativamente baixa.



Fonte: Adaptado de Brasil (2023)

Segundo dados do IBGE e nas estatísticas sociais levantadas por Brasil (2023) representados visualmente na Figura 06, destacou que:

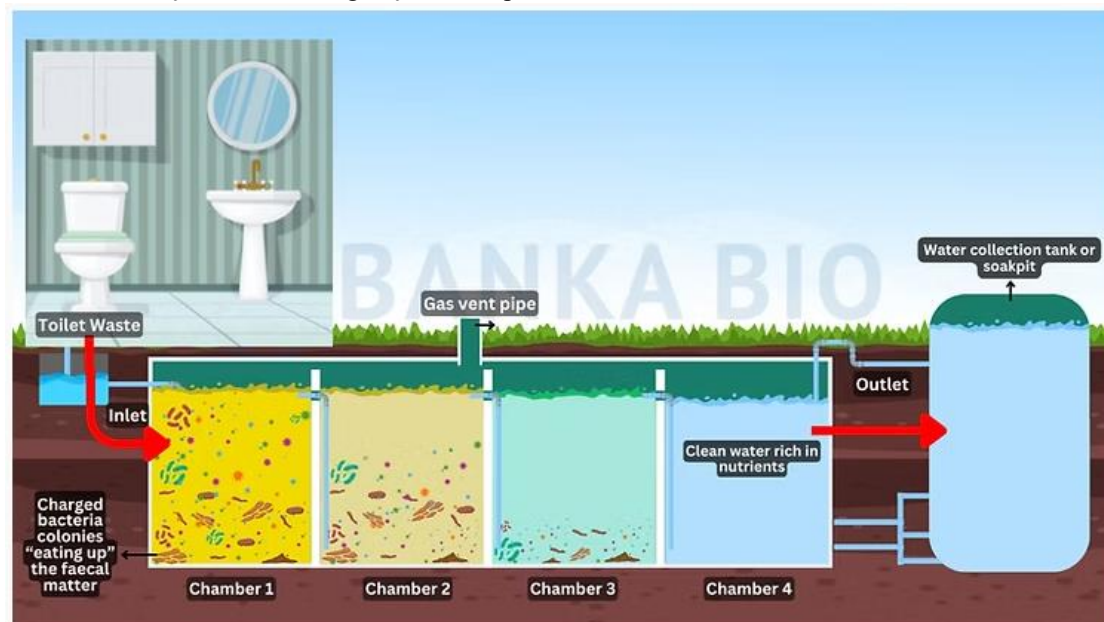
O estado do Amapá apresentou em 2022 apenas 23,1% dos domicílios urbanos conectados à rede de esgoto, situando-se entre os estados com menor cobertura nacional. Esse dado evidencia um sério déficit de infraestrutura de saneamento básico, refletido no uso predominante de fossas rudimentares ou no descarte inadequado de resíduos domésticos. Tal panorama fortalece a argumentação quanto à urgência de soluções sustentáveis e descentralizadas, como os biodigestores, especialmente em contextos urbanos periféricos da região Norte (Brasil, 2024, online).

Pesquisas recentes (Ferreira *et al.*, 2023) demonstram que a implementação de biodigestores domésticos, construídos com materiais reutilizados, é uma alternativa técnica e economicamente viável para áreas urbanas e periurbanas de Macapá.

Esses sistemas podem ser instalados com custos até 40% menores em comparação com as fossas sépticas convencionais, enquanto oferecem benefícios adicionais substanciais, como

a geração de biogás e biofertilizantes. Essa abordagem alinha a redução de custos à promoção de soluções de saneamento mais sustentáveis.

Figura 7 – Estrutura comparativa entre biodigestor doméstico e fossa séptica convencional, evidenciando fluxo de resíduos, retenção de sólidos e geração de subprodutos.



Fonte: Adaptado de Banka (2025)

Este diagrama da figura 7, ilustrado a comparação estrutural entre um biodigestor e uma fossa séptica, destacando as diferenças funcionais, de retenção de resíduos e de reaproveitamento do conteúdo orgânico. Ainda que não apresente valores específicos, serve como representação visual clara das vantagens técnicas e potenciais melhorias em custos e gestão de resíduos.

Os dados analisados demonstram a relevância de políticas públicas que incentivem a adoção de soluções inovadoras de saneamento. A implementação de biodigestores em escala residencial surge como uma estratégia de mitigação eficaz para a deficiência estrutural do setor.

Essa abordagem está alinhada às diretrizes do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especificamente o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível).

2.4 Saneamento Ecológico

O saneamento ecológico é um conceito que abrange sistemas descentralizados para o tratamento integrado de resíduos. Seu objetivo é promover a reutilização segura de subprodutos, como o biofertilizante, e mitigar os impactos ambientais. Conforme definem Proença e Machado (2018), esse modelo representa uma alternativa à infraestrutura pesada das redes convencionais, priorizando a eficiência, a participação comunitária e o fechamento do ciclo de nutrientes.

No contexto amazônico, tecnologias como tanques de evapotranspiração, banheiros secos e biodigestores emergem como práticas sustentáveis aplicáveis em comunidades isoladas. Essas soluções dispensam grandes obras de engenharia, apresentam custos reduzidos e são

altamente adaptáveis às condições geográficas e culturais da região (Lampeert, 2021; Bezerra *et al.*, 2025).

Figura 8 – Esquema funcional de um banheiro seco com câmara de compostagem e fluxo de nutrientes, representativo de tecnologia de saneamento ecológico.



Fonte: Biletska (2018)

A figura 08, trata-se de um desenho técnico explicativo do funcionamento de um banheiro seco com termocompostagem: a estrutura mostra uma câmara subterrânea onde ocorre a compostagem dos resíduos orgânicos e sua posterior transformação em fertilizante, sem uso de água ou redes de esgoto; ou seja, ilustra visualmente a descrição das tecnologias ecológicas, facilitando a compreensão da estrutura funcional do banheiro seco e reforçando sua aplicabilidade prática em contextos isolados e de baixa infraestrutura, como comunidades na Amazônia.

Pesquisas internacionais indicam que o saneamento ecológico pode reduzir os custos de instalação e manutenção de sistemas de esgoto em até 50%, especialmente em áreas de difícil acesso (Who, 2024).

Além do tratamento de efluentes, esses sistemas permitem o reaproveitamento de água e nutrientes, que podem ser utilizados na agricultura familiar. Essa abordagem cria uma sinergia entre o saneamento, a produção de alimentos e a conservação ambiental, alinhando-se aos princípios da bioeconomia e às estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

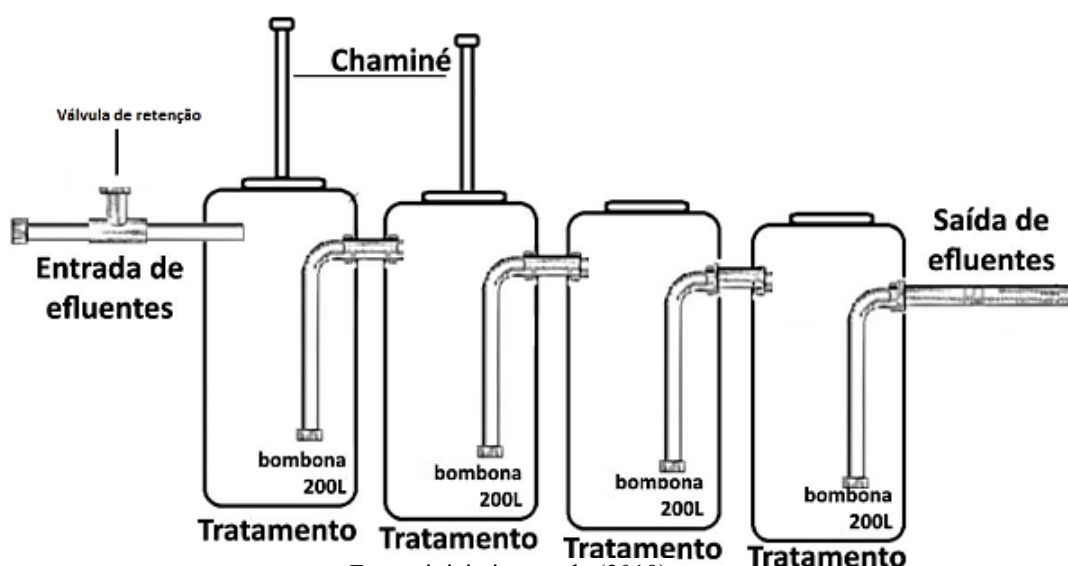
2.5 Fossa Séptica Biodigestora

As fossas sépticas biodigestoras são sistemas híbridos que integram a digestão anaeróbia da matéria orgânica com processos simplificados de separação de sólidos. Pesquisas de Ferreira *et al.* (2023) demonstram que essas unidades são altamente eficazes, alcançando uma eficiência de remoção de carga orgânica superior a 80%.

Além do tratamento de efluentes, esses sistemas produzem biogás e um efluente líquido que é rico em nutrientes. Este efluente pode ser utilizado na agricultura após passar por um tratamento secundário, o que contribui para a economia circular e a sustentabilidade.

A pesquisa de Silva e Faustino (2021), demonstrou a viabilidade da construção de biodigestores de baixo custo utilizando bombonas recicladas. Essa abordagem, especificamente projetada para famílias de baixa renda, alcança uma redução de até 60% nos custos de implantação quando comparada a biodigestores comerciais. Os autores garantem que esses sistemas oferecem desempenho satisfatório e vida útil prolongada (Silva; Faustino, 2021), tornando-os uma solução particularmente adequada para regiões onde a manutenção e o esgotamento de fossas convencionais são economicamente inviáveis ou logisticamente complexos.

Figura 9 – Esquema funcional de uma fossa séptica biodigestora de bombonas recicladas, mostrando o trânsito dos resíduos, a camada de digestão e pontos de saída de biogás e efluente.



A figura 9, mostra o esquema apresenta o funcionamento de uma fossa séptica biodigestora construída com bombonas de 200 L interligadas por tubulações. Ele enfatiza o caminho do esgoto proveniente do vaso sanitário, a digestão anaeróbia que ocorre nas bombonas, o mecanismo de saída dos gases (metano) pelos respiros e o encaminhamento do efluente líquido rico em nutrientes para tratamento ou infiltração.

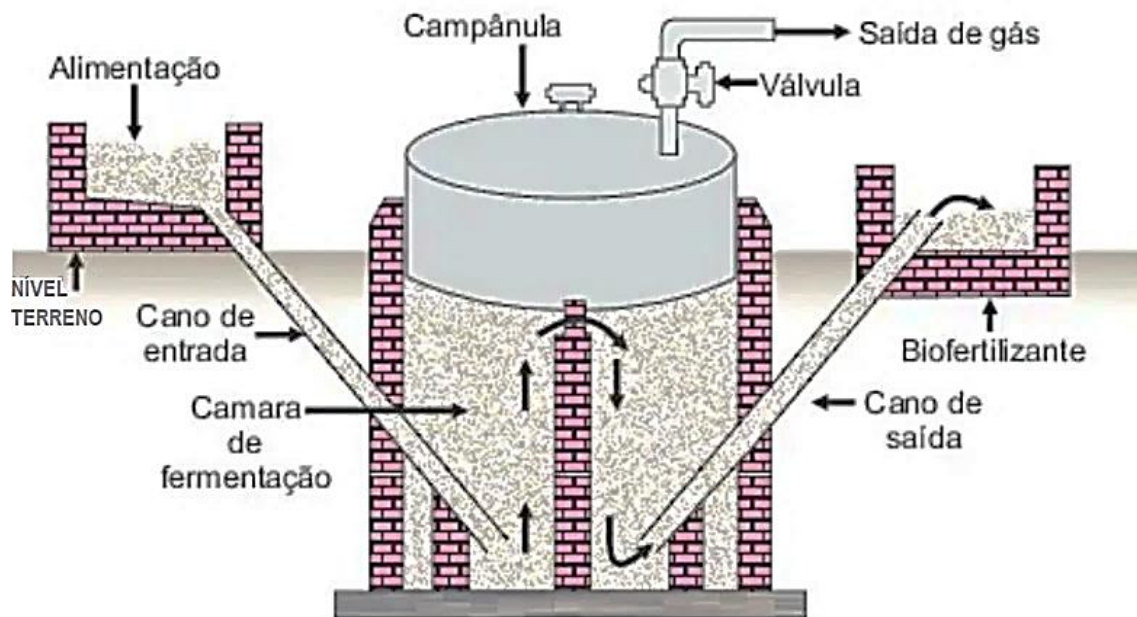
A implementação de fossas biodigestoras no Amapá representa uma estratégia promissora para mitigar o lançamento de esgoto bruto em corpos hídricos e atender comunidades sem acesso à rede de saneamento.

Especialistas defendem essa solução como parte de uma política de saneamento inclusiva e sustentável, capaz de promover a geração descentralizada de energia renovável (BEZERRA *et al.*, 2025). Essa abordagem contribui para a melhoria da saúde pública e a proteção ambiental na região.

2.6 Biodigestores: Definições, Tipos e Benefícios

Um biodigestor é um reator anaeróbio onde a matéria orgânica é decomposta por microrganismos, resultando na produção de biogás e biofertilizante. De acordo com Lampert (2021), os modelos mais comuns no Brasil são os dos tipos indiano e chinês, ambos caracterizados por sua operação contínua e adaptabilidade a pequenas propriedades.

Figura 10 – Esquema funcional do biodigestor modelo indiano com campânula metálica e sistema de digestão contínua.



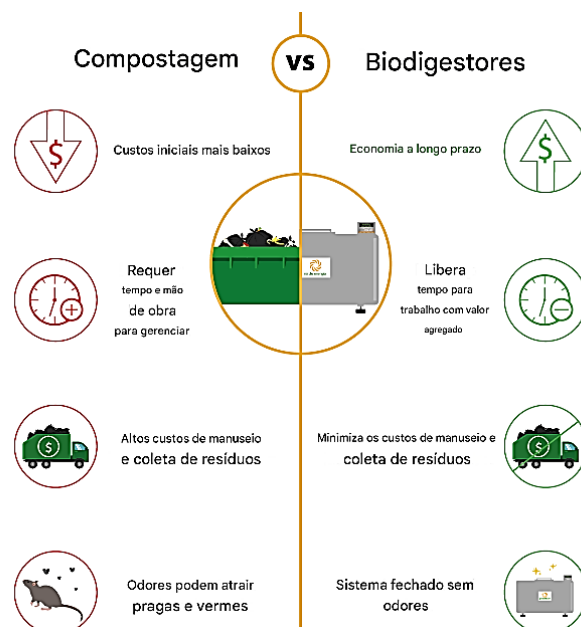
Fonte: Adaptado de Milkpoint (2021).

Na figura 10, temos a representação técnica do biodigestor modelo indiano, com campânula metálica (gasômetro), demonstrando a entrada de resíduos, a câmara de digestão e a saída de biogás e biofertilizante.

Esses sistemas são particularmente eficazes na mitigação de gases de efeito estufa, podendo reduzir as emissões de metano em até 70% quando comparados ao descarte aberto de resíduos (Bezerra *et al.*, 2025).

A adoção de biodigestores oferece múltiplos benefícios que se estendem para além do saneamento; incluem a economia no consumo de gás, a redução de custos com fertilizantes químicos e a mitigação dos impactos ambientais decorrentes do manejo inadequado de resíduos.

Figura 11 – Comparativo gráfico entre compostagem e biodigestores, destacando vantagens operacionais do biodigestor.



Fonte: Adaptado de Power Knot (2022)

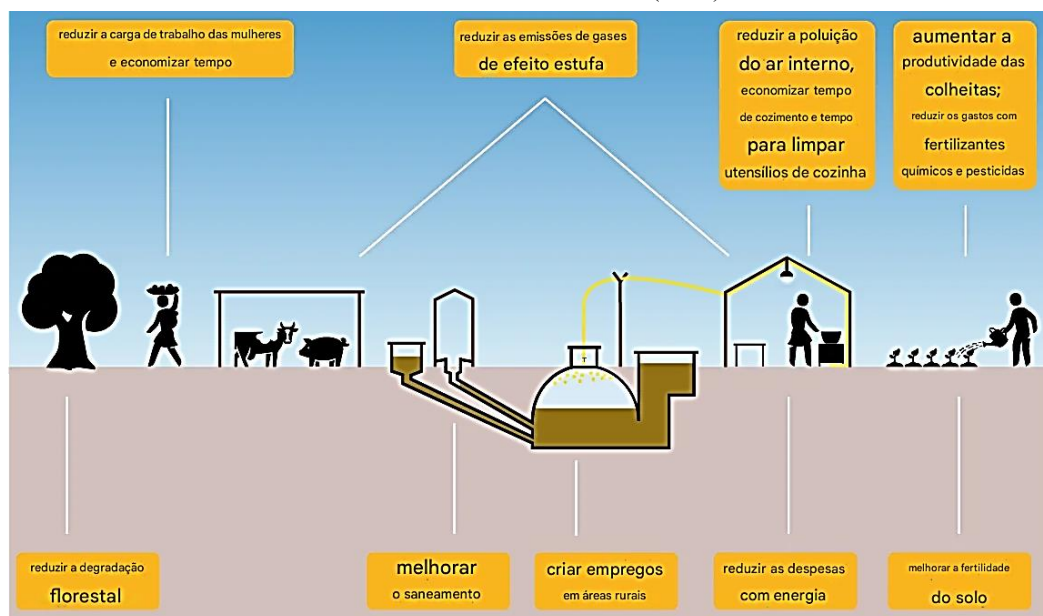
A figura 11 nos mostra o comparativo visual entre compostagem e biodigestores, evidenciando as vantagens do biodigestor, como economia no longo prazo, menor custo de manuseio de resíduos e ausência de odores, em contraste com compostagem tradicional. Um estudo de caso em Curitiba demonstrou que a instalação de biodigestores em residências poderia desviar 20,5 toneladas de resíduos sólidos diários de aterros sanitários, reduzindo as emissões de metano em 1.471 toneladas por ano (Falcão, 2018).

Na região amazônica, a implementação dessa tecnologia pode ser adaptada com materiais locais e de baixo custo para atender pequenas comunidades e famílias. O CIBiogás e o Instituto Escolhas (2023) recomendam a inclusão dos biodigestores em políticas públicas de bioeconomia regional, reconhecendo-os como uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento sustentável da região.

2.7 Políticas Públicas e Incentivos para Biodigestores

A implementação de biodigestores em território brasileiro enfrenta barreiras significativas, principalmente a carência de políticas públicas e incentivos financeiros. Pesquisas apontam que subsídios, linhas de crédito específicas e programas de capacitação técnica são cruciais para ampliar a adoção dessa tecnologia em escala doméstica (Lampeert, 2021; Bezerra *et al.*, 2025). No Amapá, a ausência de programas estruturados de incentivo à biodigestão limita a aplicação dessa solução, mesmo em contextos onde sua viabilidade econômica seria alta.

Figura 12 – Infográfico dos benefícios dos biodigestores, relacionando-os com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).



Fonte: Adaptado de Netherlands (2023).

Infográfico da figura 12, ilustra os múltiplos benefícios dos biodigestores, incluindo redução de trabalho doméstico para mulheres, diminuição de emissões de gases de efeito estufa, melhor qualidade do ar interno (menos uso de lenha), aumento da produtividade agrícola e melhora na fertilidade do solo. Os benefícios estão associados a vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), evidenciando o impacto multipropósito dessa tecnologia.

Em contraste, estados como Paraná e Minas Gerais apresentaram sucesso na promoção de biodigestores por meio de financiamentos subsidiados e assistência técnica (Abiogás, 2024). Tais experiências demonstram que políticas públicas eficazes podem impulsionar a adoção da tecnologia em áreas rurais e urbanas. Essa abordagem é essencial para que municípios amazônicos possam cumprir as metas de universalização do saneamento e os compromissos climáticos internacionais.

2.8 Biodigestores e Bioeconomia na Amazônia

A bioeconomia é um conceito em ascensão na Amazônia que busca gerar valor econômico por meio do uso sustentável dos recursos naturais, em harmonia com a conservação ambiental. A produção de biogás a partir de resíduos orgânicos é identificada como uma das principais oportunidades para consolidar essa abordagem na região (Instituto Escolhas; Cibiogás, 2023). Essa estratégia facilita a transição para matrizes energéticas renováveis, diminui a dependência de combustíveis fósseis e estimula a criação de empregos locais.

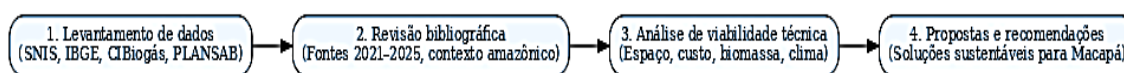
Estudos recentes indicam que a integração de biodigestores em sistemas agroflorestais e de agricultura familiar pode aumentar a eficiência energética das propriedades, reduzir os custos de produção e fortalecer a segurança alimentar (Bezerra *et al.*, 2025). No contexto amazônico, essa prática também contribui para a preservação de ecossistemas sensíveis, prevenindo a contaminação de rios e solos por resíduos domésticos e agroindustriais.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa de natureza aplicada, com abordagem exploratória-descritiva, fundamentada na análise de viabilidade técnica da instalação de biodigestores em residências unifamiliares na cidade de Macapá, estado do Amapá. A metodologia adotada busca compreender, por meio da revisão bibliográfica e de dados secundários, as condições infraestruturais, socioeconômicas, ambientais e normativas que envolvem a aplicação de tecnologias sustentáveis de saneamento na Amazônia urbana.

A pesquisa foi estruturada em quatro etapas principais:

Figura 13 – Etapas macro da metodologia adotada na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

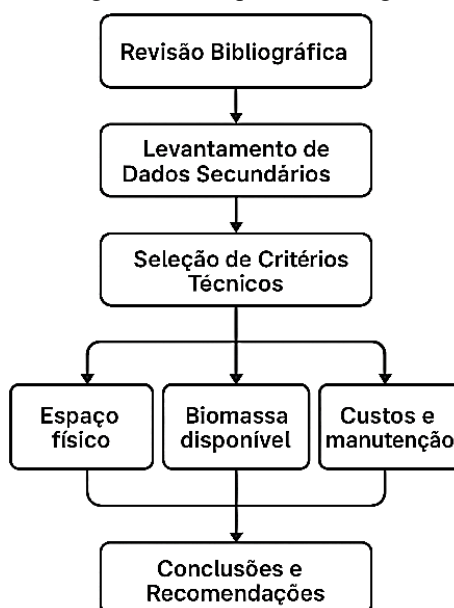
- I. Levantamento de dados secundários:** Foram analisados documentos oficiais do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Escolhas, CIBiogás e planos setoriais (como o Plansab), além de relatórios técnicos e estudos de caso relacionados ao uso de biodigestores no Brasil, com ênfase na região Norte e, especificamente, no município de Macapá.
- II. Revisão bibliográfica sistemática:** Foram selecionados artigos científicos publicados entre 2021 e 2025, de base nacional e regional, que tratam de saneamento básico descentralizado, tecnologias sociais, biodigestores, políticas públicas de saneamento e bioeconomia. As fontes de dados incluíram: SciELO, BDTD, Google Acadêmico, CIBiogás, Embrapa, ABES, BVS e portais institucionais. Os artigos foram previamente filtrados por critérios de pertinência temática, qualidade metodológica e relevância para a realidade amazônica.

- III. *Análise de viabilidade técnica:*** A partir da literatura revisada, foram mapeadas as variáveis técnicas críticas para a instalação de biodigestores em ambientes urbanos, incluindo: tipo e volume de resíduos orgânicos gerados por domicílio; espaço físico necessário; materiais de construção alternativos (ex: bombonas recicladas); custos médios de implantação e manutenção; condições climáticas; infraestrutura sanitária existente; e normativas ambientais e urbanísticas vigentes no município de Macapá. A análise foi organizada com base em critérios de adaptabilidade, eficiência, durabilidade e custo-benefício.
- IV. *Síntese crítica e proposição de diretrizes:*** Com base na análise anterior, foram propostas recomendações técnicas e estratégicas para a viabilização da implementação de fossas sépticas biodigestoras em residências unifamiliares em Macapá, considerando a articulação com políticas públicas, programas de bioeconomia regional e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 e 7). Esta etapa também se ampara em experiências exitosas documentadas em estados como Paraná, Minas Gerais e no semiárido nordestino, sendo adaptadas ao contexto sociogeográfico do Amapá.

O método adotado não envolveu coleta de dados primários (entrevistas ou visitas técnicas), limitando-se à análise documental e à revisão da literatura. Contudo, os resultados esperados contemplam uma avaliação crítica das condições locais para o uso de biodigestores e a identificação de potencialidades técnicas que justifiquem sua adoção como solução complementar ao saneamento básico convencional. A metodologia adotada neste estudo foi estruturada para analisar a viabilidade técnica da instalação de biodigestores em residências unifamiliares no ambiente urbano de Macapá; a pesquisa articula fundamentos teóricos, dados empíricos e critérios operacionais para avaliar a adaptabilidade da tecnologia às condições locais.

A Figura 14, a seguir, apresenta um fluxograma ilustrativo das etapas metodológicas desenvolvidas ao longo do estudo, sintetizando o encadeamento lógico das ações e suas respectivas funções dentro do processo investigativo.

Figura 14 – Fluxograma das etapas metodológicas adotadas na pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4 RESULTADOS

Com base na análise técnica e documental, conclui-se que a instalação de biodigestores em residências unifamiliares em Macapá é uma solução viável e estratégica para mitigar os déficits históricos de saneamento básico na região. Considerando que mais de 50% da população urbana da cidade não tem acesso à rede de esgoto (Snis, 2023), Macapá apresenta um cenário ideal para a adoção de tecnologias descentralizadas e de baixo custo, especialmente em áreas periféricas e periurbanas. Os resultados esperados deste estudo incluem a validação técnica da aplicação de biodigestores de pequeno porte, com ênfase em modelos simplificados construídos a partir de bombonas recicladas. A viabilidade desses sistemas já foi comprovada em diversas regiões do Brasil (Silva; Faustino, 2021).

Além de reduzirem os custos de implantação em até 40% quando comparados às fossas sépticas convencionais, esses biodigestores oferecem benefícios ambientais e econômicos significativos. Eles possuem potencial para aproveitamento energético e produção de biofertilizantes, ampliando os ganhos para as famílias que os adotam (Ferreira *et al.*, 2023).

A adoção de biodigestores tem o potencial de reduzir significativamente a carga orgânica nos corpos hídricos de Macapá, que atualmente estão comprometidos pelo despejo irregular de efluentes domésticos. Estudos na Amazônia (Bezerra *et al.*, 2025) indicam que a digestão anaeróbia pode reduzir em até 70% a carga poluente de resíduos líquidos. Além disso, a tecnologia mitiga as emissões de metano e promove o reaproveitamento de recursos energéticos, contribuindo para um sistema de saneamento mais sustentável.

A proposta de uso de biodigestores está alinhada com os princípios da bioeconomia regional. Ao integrar práticas de saneamento ecológico com estratégias de reaproveitamento energético e agricultura urbana, essa tecnologia é coerente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Especificamente, a iniciativa contribui para os seguintes ODS (Instituto Escolhas; Cibiogás, 2023): ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ao tratar resíduos líquidos de forma descentralizada; ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), pela produção de biogás e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao transformar resíduos em recursos valiosos.

A partir dos resultados esperados, pretende-se formular diretrizes técnicas e operacionais que possam guiar as políticas públicas locais para incentivar a adoção de soluções como os biodigestores em escala residencial. Essa proposição é sustentada por experiências exitosas em outros estados brasileiros, como Paraná e Minas Gerais, onde políticas de incentivo e assistência técnica resultaram em uma crescente adesão à tecnologia (Abiogás, 2024). No contexto de Macapá, essa estratégia pode se mostrar uma alternativa eficaz para superar as limitações estruturais do modelo tradicional de saneamento.

5 DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos demonstra que a viabilidade técnica dos biodigestores em residências unifamiliares em Macapá é consistente com experiências relatadas em outras regiões do Brasil. Estudos de Ferreira *et al.* (2023) evidenciaram que o custo de implantação pode ser até 40% menor em relação às fossas sépticas convencionais, enquanto Lampert (2021) destacou a disseminação progressiva da tecnologia no país. Já Bezerra *et al.* (2025) apontaram os ganhos socioeconômicos e ambientais associados à agricultura familiar. A comparação desses achados reforça que os biodigestores se configuram como alternativa sólida e adaptável ao contexto amazônico, embora ainda enfrentem barreiras ligadas à ausência de políticas públicas locais e incentivos financeiros específicos.

6 CONCLUSÕES

A análise deste estudo evidenciou que a instalação de biodigestores em residências unifamiliares na cidade de Macapá é tecnicamente, economicamente e ambientalmente viável. Essa tecnologia emerge como uma alternativa sustentável para mitigar o déficit histórico de saneamento básico na região.

Em um contexto urbano onde a infraestrutura pública é limitada e a disposição inadequada de esgoto impacta a saúde pública e os recursos hídricos, soluções descentralizadas como os biodigestores demonstram um elevado potencial de aplicação.

Ao longo da pesquisa, constatou-se que modelos simplificados de biodigestores, especialmente aqueles construídos com materiais reaproveitados, possuem baixos custos de implantação e operação. Além disso, oferecem benefícios múltiplos, como a geração de biogás, a produção de biofertilizantes e a redução da carga poluidora em corpos hídricos. Esses sistemas são particularmente adequados para áreas urbanas periféricas e comunidades de baixa renda, contribuindo para o fortalecimento da bioeconomia e da autonomia energética local.

A análise demonstrou que a adoção eficaz da tecnologia de biodigestão em escala residencial depende de políticas públicas específicas. Tais políticas devem contemplar incentivos financeiros, como linhas de crédito, e programas de capacitação técnica para a população. A colaboração entre órgãos ambientais, prefeituras, instituições de ensino e agentes comunitários é fundamental. Essa articulação é crucial não apenas para a implementação dos biodigestores, mas também para garantir que permaneçam operacionais e plenamente integrados à realidade socioterritorial da Amazônia.

Conclui-se que os biodigestores são uma solução viável e estratégica para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível).

Para consolidar essa proposta como uma política pública estruturante no âmbito do saneamento ecológico urbano na Amazônia, recomenda-se a realização de novos estudos técnicos no município de Macapá; estes devem incluir levantamentos de campo, a implementação de projetos-piloto e uma análise detalhada dos impactos sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO. **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano**. São Paulo: ABIOGÁS, 2018. Disponível em: <https://abiogas.org.br/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS. **Relatório de Mercado de Biogás 2024**. São Paulo: ABIOGÁS, 2024. Disponível em: <https://abiogas.org.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. São Paulo: ABRELPE, 2023. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/12/panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2024.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

BANKA BIO. Comparação entre biodigestor e fossa séptica: estruturas e vantagens comparativas. **Blog Banka Bio**, 2025. Disponível em: <https://www.bankabio.com/blog-post/biodigester-vs-septic-tank>. Acesso em: 05 ago. 2025.

BEZERRA, Dulce Maria Diniz *et al.* Biodigestores: produção de biogás e sua utilização na agricultura familiar. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 4, 2025. Disponível em: <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/download/3607/3603/12658>. Acesso em: 30 jul. 2025.

BEZERRA, Marcelo Toledo *et al.* Utilização de dejetos orgânicos da indústria sucroalcooleira para produção de biometano. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, v. 41, 2024. Disponível em: <https://www.oswaldocruz.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

BILETSKA, Irina. **Como funciona um banheiro seco, sistema alternativo de saneamento**. ArchDaily Brasil, 17 out. 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/904009/como-funciona-um-banheiros-seco-sistema-alternativo-de-saneamento>. Acesso em: 05 ago. 2025.

BOLETIM DO SANEAMENTO. Concessão dos serviços de saneamento no Amapá atende 16 municípios. **Boletim do Saneamento**, 2021. Disponível em: <https://boletimdosaneamento.com.br/concessao-do-saneamento-no-amapa-atende-16-municipios/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

BRASIL. Amapá, Piauí, Rondônia e Pará tiveram menos de 30% dos domicílios urbanos conectados à rede coletora de esgoto em 2022. **Agência IBGE**, 16 jun. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/en/agencia-news/2184-news-agency/news/37181-amapa-piaui-rondonia-and-para-had-less-than-30-of-urban-households-connected-to-sewage-collection-network-in-2022>. Acesso em: 20 ago. 2025.

FALCÃO, Luiz Prado. **Avaliação preliminar teórica e prática do uso de biodigestores residenciais em Curitiba**. Curitiba: UFPR, 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/82133>. Acesso em: 30 jul. 2025.

FERREIRA, K. C.; *et al.* Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso de biodigestor no tratamento de esgoto doméstico de residências populares. **Revista Mundo Tecnológico**, v. 15, n. 17, 2023. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2023/05/revista-mundo-tecnologico-v15-n17-artigo08.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.

INICIATIVA VERDE. **Manual de instalação da fossa de bombonas – Esquema da Fossa Séptica Econômica**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.iniciativaverde.org.br/noticias/manual-de-instalacao-da-fossa-de-bombonas>. Acesso em: 05 ago. 2025.

INSTITUTO ESCOLHAS; CIBIOGÁS. **Potencial de produção de biogás na região amazônica: oportunidades da bioeconomia.** São Paulo: Instituto Escolhas, 2023. Disponível em: <https://www.escolhas.org/wp-content/uploads/Relatorio-Final-Biogas.pdf>. Acesso em: 01 set. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Falta de saneamento:** taxa de internações por doenças de veiculação hídrica em 2019 e percentual de acesso à coleta de esgoto por região. Infográfico elaborado em 04 out. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/bemestar/noticia/2021/10/04/falta-de-saneamento-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 13 ago. 2025.

JUMA LODGE. Biodigestor instalado em área florestal da Amazônia para tratamento de resíduos e produção de biogás. **Blog Juma Lodge, 2022.** Disponível em: <https://jumalodge.com.br/blog/mais-sustentabilidade-na-amazonia-biodigestor/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LAMPERT, Clarissa de Moura. **Um estudo sobre o uso de biodigestores no Brasil.** Belo Horizonte: UFMG, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/45158>. Acesso em: 30 jul. 2025.

MILKPOINT / EDUCAPOINT. **Biodigestor:** modelos e viabilidade econômica. 2021. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/educapoint/modelos-de-biodigestores-e-viabilidade-economica-211848/>. Acesso em: 05 ago. 2025.

NETHERLANDS ENTERPRISE AGENCY. **African Biodigester Component (ABC):** benefícios dos biodigestores em múltiplas dimensões socioambientais e econômicas. RVO Netherlands, 2023. Disponível em: <https://english.rvo.nl/subsidies-financing/see-clean-cooking/abc>. Acesso em: 01 ago. 2025.

POWER KNOT. **Composting vs biodigesters: long-term savings and reduced waste handling.** Disponível em: <https://powerknot.com/2022/04/11/why-biodigesters-are-the-future-of-food-waste-management>. Acesso em: 01 ago. 2025.

PROENÇA, Claudio; MACHADO, Gustavo. **Biodigestores como tecnologia social para promoção da saúde:** estudo de caso para saneamento residencial em áreas periféricas. Saúde em Redes, v. 4, n. 3, p. 87-99, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18310/2446-4813.2018v4n3p87-99>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SILVA, V. R.; FAUSTINO, R. **Biodigestores por bombonas para tratamento de esgoto doméstico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – IFPE, Recife, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br>. Acesso em: 20 ago. 2025.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto.** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2023. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2023.** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2023. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 20 ago. 2025.

TRATA BRASIL – INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento 2024: panorama do esgotamento sanitário no Brasil**. São Paulo: Trata Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2020**: taxa de internações por doenças de veiculação hídrica no Brasil. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2020. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/estudo-do-trata-brasil-expoe-os-impactos-da-falta-de-saneamento-nos-estados-brasileiros-em-relacao-a-saude/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

TURINI, Larissa; ABREU, Victor Hugo; RONDON LIMA, Eliana Beatriz Nunes. **Panorama geral do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em 120 municípios do Mato Grosso**. Congresso Nacional de Engenharia Sanitária, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-9-Tipo-de-tratamento-de-esgoto-nos-120-municipios_fig9_357864648. Acesso em: 15 ago. 2025.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global report on water, sanitation and hygiene 2024**. Geneva: WHO, 2024. Disponível em: <https://www.who.int/publications>. Acesso em: 30 jul. 2025.