

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**JULIA DUARTE DE OLIVEIRA**

**A INFLUÊNCIA DOS BIODIGESTORES NA GESTÃO DE RESÍDUOS  
ORGÂNICOS URBANOS NO BRASIL**

ALEGRE-ES

2025

JULIA DUARTE DE OLIVEIRA

**A INFLUÊNCIA DOS BIODIGESTORES NA GESTÃO DE RESÍDUOS  
ORGÂNICOS URBANOS NO BRASIL**

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Sávio da Silva Berilli.

ALEGRE-ES

2025

(Biblioteca do Campus Alegre)

O48i Oliveira , Julia Duarte de .

A influência dos biodigestores na gestão de resíduos orgânicos urbanos no Brasil / Julia Duarte de Oliveira . - 2025.  
29 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Sávio da Silva Berilli

TCC (Graduação) Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, Licenciatura em Ciências Biológicas, 2025.

1. Resíduos orgânicos - Reaproveitamento. 2. Economia circular . 3. Sustentabilidade. 4. Energia renovável. I. Berilli, Sávio da Silva . II.Título III. Instituto Federal do Espírito Santo.

CDD: 363.7282

Bibliotecário/a: Natália Gomes de Souza Mendes CRB-ES nº 993

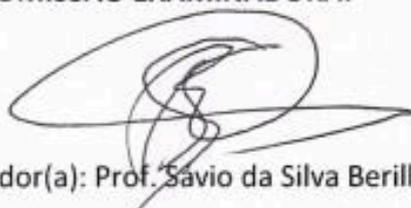
**JULIA DUARTE DE OLIVEIRA**

**A INFLUÊNCIA DOS BIODIGESTORES NA GESTÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS URBANOS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, como requisito parcial para obtenção de título de Licenciado em Ciências Biológicas.

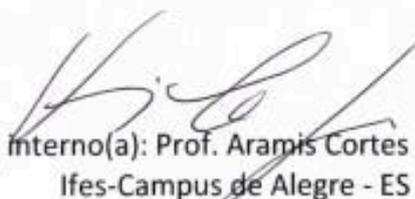
Aprovado em 14 de janeiro de 2025.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

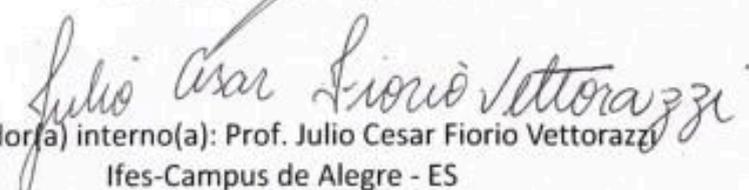


Orientador(a): Prof. Savio da Silva Berilli

Ifes-Campus de Alegre - ES



Avaliador(a) interno(a): Prof. Aramis Cortes de Araujo Junior  
Ifes-Campus de Alegre - ES



Avaliador(a) interno(a): Prof. Julio Cesar Fiorio Vettorazzi  
Ifes-Campus de Alegre - ES

## RESUMO

A gestão de resíduos orgânicos urbanos no Brasil enfrenta desafios significativos devido ao descarte inadequado e à alta emissão de gases de efeito estufa (GEE), como o metano. Este trabalho investiga o papel dos biodigestores como tecnologia sustentável para mitigar esses impactos, alinhando-se às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Por meio de revisão bibliográfica e análise de estudos de caso nacionais e internacionais, foi possível identificar o potencial dos biodigestores na transformação de resíduos orgânicos em biogás e biofertilizantes, promovendo benefícios ambientais, econômicos e sociais. O estudo destaca que, embora haja barreiras financeiras e culturais para sua implementação em larga escala, os biodigestores representam uma solução viável para reduzir emissões de GEE, gerar energia renovável e fomentar a economia circular. Assim, sua adoção ampla exige políticas públicas robustas, subsídios e programas de educação ambiental.

**Palavras-chave:** Economia circular. Sustentabilidade. Energia renovável.

## **ABSTRACT**

Urban organic waste management in Brazil faces significant challenges due to improper disposal and high greenhouse gas (GHG) emissions, particularly methane. This study investigates the role of biodigesters as a sustainable technology to mitigate these impacts, aligning with the guidelines of the National Solid Waste Policy (PNRS). Through a literature review and analysis of national and international case studies, the potential of biodigesters to transform organic waste into biogas and biofertilizers was identified, promoting environmental, economic, and social benefits. The study highlights that, despite financial and cultural barriers to large-scale implementation, biodigesters represent a viable solution to reduce GHG emissions, generate renewable energy, and foster a circular economy. Thus, their widespread adoption requires robust public policies, subsidies, and environmental education programs.

**Keywords:** Circular economy. Sustainability. Renewable energy.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
3.1	A história da Gestão de Resíduos Orgânicos Urbanos no Brasil .....	17
3.2	Como os biodigestores atuam no reaproveitamento de resíduos.....	21
3.2.1	Biodigestores nos resíduos agrícolas.....	22
3.2.2	Biodigestores nos resíduos industriais.....	24
3.2.3	Biodigestores nos resíduos urbanos.....	25
3.3	Economia circular.....	28
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	31
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) têm aumentado criticamente, impactando diretamente as mudanças climáticas globais. As atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e o descarte inadequado de resíduos, contribuem significativamente para esse cenário. Dentre os GEE, o metano (CH<sub>4</sub>) é cerca de 20 vezes mais potente que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o que torna seu controle ainda mais urgente. No Brasil, aproximadamente 50% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados em 2023 foram de origem orgânica, de acordo com a ABRELPE (2023), destacando a necessidade de soluções para a destinação adequada desse material. Esse aumento reflete a necessidade urgente de reduzir drasticamente as emissões para limitar o aquecimento a 1,5°C, como recomendado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e a Organização Meteorológica Mundial (Boehm; Schumer, 2023).

Visando isso, os biodigestores funcionam como uma alternativa para o correto descarte dos resíduos orgânicos, o tratamento de gases de efeito estufa e o controle da poluição do solo. Como produtos finais gerados pelos biodigestores, podemos destacar: o biogás (gerando biocombustível e bioenergia) e o biofertilizante.

Outro fator que impulsiona problemas ambientais é o descarte inadequado dos resíduos. No ano de 2023 foram gerados 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe, 2023), com cerca de 50% compostos por material orgânico, segundo estudos de Brink (2020). Estima-se que mais da metade dos alimentos produzidos para consumo humano sejam perdidos ou desperdiçados ao longo de toda a cadeia de produção, distribuição e consumo. Essa quantidade significativa de alimentos desperdiçados representa um grave problema global, com sérias consequências econômicas, sociais e ambientais, exigindo medidas eficazes para sua redução (Almeida, 2022).

A Lei Federal nº 12.305/2010, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece as diretrizes e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. A lei apresenta e estimula diversas vezes tecnologias e medidas para o tratamento e destinação final dos resíduos orgânicos.

A PNRS, em seu artigo 3º, inciso VII, define “*destinação final ambientalmente adequada como a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a*

*compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético*". Já em seu artigo 6º, §1º, "*permite a utilização de tecnologias para a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que atendidas determinadas condições*". E por final, em seu artigo 15º, inciso IV, estabelece "*metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos*" (Brasil, 2010).

Sendo assim, a implementação de biodigestores como ferramenta impulsionadora nos avanços tecnológicos para o tratamento de resíduos; é uma realidade possível e transformadora, para uma destinação adequada dos resíduos orgânicos.

Os biodigestores surgem como uma solução eficaz para transformar resíduos orgânicos em recursos valiosos, como biogás e biofertilizantes. Esses sistemas oferecem uma abordagem sustentável para tratar resíduos, evitar a liberação de GEE na atmosfera e gerar energia renovável. Além disso, o uso de biodigestores contribui para reduzir a poluição do solo e os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de resíduos, uma questão crítica considerando que cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil são de origem orgânica.

Outro aspecto central deste trabalho é o alinhamento às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que incentiva práticas como a compostagem, a reciclagem e o aproveitamento energético de resíduos. A PNRS estabelece metas claras para a recuperação energética e a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos, o que torna os biodigestores uma tecnologia essencial para cumprir tais objetivos. O biogás gerado pode ser utilizado como biocombustível, enquanto o biofertilizante serve como alternativa sustentável aos fertilizantes químicos, promovendo benefícios ambientais e econômicos.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo investigar o potencial dos biodigestores na mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e no tratamento de resíduos orgânicos, considerando a urgência de soluções para o aquecimento global e os impactos ambientais associados ao descarte inadequado. Além de contribuir para o avanço das políticas públicas, o trabalho destaca a importância de tecnologias inovadoras para enfrentar desafios ambientais globais e fortalecer práticas sustentáveis no Brasil.

## 2 METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento bibliográfico, utilizando-se as palavras-chave como: biodigestores; resíduos orgânicos; economia circular; resíduos industriais; resíduos agrícolas; gestão de resíduos no Brasil, em plataformas como Google Scholar, Periódico Capes, Scopus, Scielo. Esses trabalhos acadêmicos foram buscados em língua portuguesa e inglesa. A pesquisa foi baseada em uma análise documental e comparativa de estudos acadêmicos, relatórios institucionais e dados de experiências práticas com biodigestores. Foram investigados casos de implementação em cidades brasileiras; e em países como Alemanha e Índia, que possuem sistemas consolidados de biodigestão. A coleta de dados incluiu: Levantamento bibliográfico focado em publicações sobre biodigestão, economia circular e gestão de RSU; Estudos de caso comparando indicadores como custo-benefício, redução de GEE e produção de biogás em diferentes contextos; Análise de políticas públicas avaliando a adequação e os desafios das metas da PNRS para o uso de biodigestores.

Os dados foram organizados e analisados para identificar tendências e barreiras à adoção dessa tecnologia no Brasil.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 A história da Gestão de Resíduos Orgânicos Urbanos no Brasil**

O manejo de resíduos no Brasil, especialmente o orgânico, tem raízes na década de 1970, quando o país começou a enfrentar os problemas associados ao crescimento urbano acelerado e à ausência de infraestruturas adequadas para coleta e tratamento de lixo. As primeiras iniciativas focavam, predominantemente, na coleta e disposição final em aterros, muitas vezes sem qualquer tipo de tratamento prévio (Nascimento et al., 2015).

Com o passar do tempo, a crescente pressão ambiental e o aumento da conscientização sobre a importância da reciclagem e da compostagem começaram a influenciar as políticas públicas no Brasil. Em 1981, a promulgação da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei n.º 6.938/81) foi um marco importante, pois estabeleceu diretrizes gerais para o controle da poluição e manejo ambiental, incluindo resíduos sólidos urbanos (Brasil, 1981).

A partir dos anos 2000, um avanço significativo foi observado com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei n.º 12.305/2010, que trouxe um enfoque mais moderno e sustentável para a gestão de resíduos sólidos, com diretrizes específicas para a responsabilidade compartilhada e a logística reversa. A PNRS representou uma mudança paradigmática, ao instituir o princípio da responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e cidadãos, incentivando a redução, reutilização, reciclagem e compostagem dos resíduos orgânicos (Brasil, 2010).

A gestão de resíduos orgânicos urbanos (ROU) é um desafio crescente nas cidades brasileiras. Esses resíduos, que representam cerca de 50% do total de lixo urbano, são frequentemente destinados a aterros sanitários, onde contribuem para a emissão de gases de efeito estufa e a contaminação do solo e da água. A escolha da prática mais adequada para gestão de ROU depende de diversos fatores, como a quantidade de resíduos gerados, a infraestrutura disponível e o custo das tecnologias (Abrelpe, 2022).

Com base no portal da Câmara dos Deputados, a Rio-92 foi um marco histórico para as discussões sobre meio ambiente e desenvolvimento. Reunindo líderes mundiais, a conferência consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável, buscando conciliar crescimento econômico com a preservação ambiental. A Rio-92 destacou a necessidade de um modelo de desenvolvimento menos consumista e mais equilibrado ecologicamente, além de reconhecer a responsabilidade dos países desenvolvidos pelos danos ambientais e a importância de apoiar os países em desenvolvimento nessa transição. A conferência representou um avanço significativo nas negociações internacionais sobre o tema, embora seu impacto na opinião pública tenha sido menos evidente (Brasil, 2012).

Historicamente, a gestão de resíduos sólidos no Brasil era tratada como uma questão sanitária e de saúde pública, focando principalmente na coleta e disposição final do lixo. Mais recentemente, essa perspectiva se ampliou, reconhecendo o potencial dos resíduos orgânicos na geração de biogás, uma fonte de energia renovável capaz de reduzir as emissões de gases do efeito estufa, como aponta o estudo do Probiogas (2015).

A gestão de resíduos sólidos no Brasil é significativamente menos eficiente quando comparada a países no centro do capitalismo, como a Holanda. Enquanto a Holanda recicla e reaproveita energeticamente a maior parte de seus resíduos, o Brasil ainda deposita grande parte do lixo em lixões e aterros inadequados. A coleta seletiva e a recuperação energética são práticas pouco difundidas no país, o que demonstra a necessidade de investimentos e políticas públicas mais robustas para a gestão de resíduos sólidos (Godecke et al., 2013).

A gestão ambiental é um campo relativamente recente, que se desenvolveu em resposta à crescente degradação ambiental. Embora algumas iniciativas isoladas de proteção ambiental tenham surgido antes, foi somente após a Revolução Industrial, com a intensificação da atividade industrial e seus impactos, que a necessidade de uma gestão ambiental mais sistemática se tornou evidente. Os movimentos ambientalistas, que surgiram após as grandes guerras, foram fundamentais para a conscientização da sociedade sobre os problemas ambientais e para a criação de políticas públicas voltadas para a proteção do meio ambiente (Barbieri, 2011).

A Lei Federal nº 12.305/2010, em seu artigo 15º, inciso V estabelece metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (Brasil, 2010). Dito isso, a persistência de lixões a céu aberto é um grave problema global, com impactos significativos para a saúde humana e o meio ambiente. A ISWA (International Solid Waste Association), em 2016, lançou uma campanha para fechar os 50 maiores lixões do mundo, destacando a urgente necessidade de solucionar essa questão.

No Brasil, a situação não é diferente: milhões de toneladas de resíduos são descartados em locais inadequados anualmente, afetando a saúde de milhões de pessoas e causando prejuízos econômicos significativos. A falta de recursos financeiros e a capacidade técnica limitada das prefeituras são os principais obstáculos para a erradicação dos lixões no país (Abrema, 2017).

A compostagem, em particular, passou a ser reconhecida como uma alternativa viável e sustentável para o tratamento dos resíduos orgânicos urbanos. Estudos de Marchi e Gonçalves (2020) mostram que, em função da PNRS, muitas prefeituras começaram a implementar projetos de compostagem doméstica e comunitária, buscando reduzir a quantidade de resíduos orgânicos destinados a aterros sanitários.

Ainda assim, a gestão de resíduos orgânicos no Brasil enfrenta desafios, como a falta de infraestrutura adequada e a resistência cultural de parte da população. A implementação de programas de compostagem urbana em larga escala ainda é limitada, e a educação ambiental se revela essencial para promover mudanças efetivas no comportamento dos cidadãos. Por outro lado, nos últimos anos, iniciativas inovadoras, como a coleta seletiva de resíduos orgânicos e a instalação de usinas de biodigestão para produção de biogás, têm ganhado força, especialmente em grandes centros urbanos, como São Paulo e Rio de Janeiro. Essas práticas integram a economia circular, que visa reaproveitar os recursos e reduzir o desperdício (Antenor, 2020).

O marco regulatório que guia a gestão de resíduos orgânicos no Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), continua sendo uma referência essencial para os avanços na área. Um estudo de Maiello *et al.* (2018) destaca que a revisão e atualização de normativas e políticas, com foco em resíduos orgânicos, têm sido implementadas para dar suporte aos municípios no cumprimento das metas estabelecidas pela PNRS. Entre essas metas, destaca-se a necessidade de reduzir o volume de resíduos enviados para aterros, o que motiva o desenvolvimento de práticas de compostagem e o incentivo ao reaproveitamento de resíduos em escala municipal.

No Brasil, alguns municípios têm se destacado na implementação de biodigestores, demonstrando o potencial dessa tecnologia para promover soluções sustentáveis no tratamento de resíduos orgânicos. Em Horizonte, no Ceará, foram instalados biodigestores na zona rural, permitindo o tratamento de resíduos orgânicos e a produção de biogás para uso doméstico, contribuindo para o saneamento e a geração de energia local (Maxmuller *et al.*, 2021). Na região serrana do Rio de Janeiro, Petrópolis implementou seis biodigestores, com o objetivo de tratar resíduos e produzir biogás para iluminação pública e outros usos (Super User, 2013).

Na comunidade quilombola de Periperi, em Amarante, Piauí, a instalação de oito biodigestores trouxe melhorias no acesso ao gás de cozinha e ao saneamento básico, demonstrando o impacto positivo dessa tecnologia em comunidades rurais e tradicionais (Início, 2022). No norte de Minas Gerais, nove municípios, incluindo Ibiracatu e Varzelândia, adotaram biodigestores em escolas públicas, promovendo a sustentabilidade no ambiente escolar por meio do tratamento de resíduos e da produção de energia renovável (Em, 2023).

Chapecó, em Santa Catarina, é referência no uso de biodigestores, com a CETRIC liderando iniciativas para tratar resíduos orgânicos e produzir biogás. A usina local também utiliza compostagem para gerar adubo orgânico, integrando práticas de economia circular e aproveitamento de recursos (Machado, 2014).

A educação ambiental e a conscientização sobre a importância da separação e destinação correta dos resíduos orgânicos foram, e continuam sendo temas recorrentes na literatura recente. Programas educativos e campanhas de sensibilização são fundamentais para que a sociedade participe ativamente na gestão de resíduos orgânicos. Estudos apontam que a baixa adesão de parte da população ainda é um obstáculo significativo para a efetividade dos programas de compostagem e reciclagem orgânica (Almeida et al., 2019).

É fundamental mudarmos a forma como lidamos com o lixo. Segundo Waldman (2010), a cultura do descarte deve ser substituída por uma cultura de valorização dos resíduos como recursos a serem reaproveitados. A legislação brasileira, como a Resolução CONAMA Nº 283/2001, corrobora essa ideia ao estabelecer que os geradores de resíduos são responsáveis por todo o processo de gestão, desde a geração até a destinação final, garantindo assim um tratamento adequado e ambientalmente correto.

### **3.2 Como os biodigestores atuam no reaproveitamento de resíduos**

De acordo com Fracaroli e Santos (2005), o biodigestor é um sistema no qual ocorre a decomposição anaeróbica de matéria orgânica, resultando na produção de biogás e biofertilizante. Além dos biodigestores naturais, como o solo e os corpos d'água, existem aqueles construídos pelo homem para otimizar esse processo.

Há mais de dois séculos, os biodigestores são utilizados para transformar resíduos orgânicos em energia e fertilizantes, demonstrando ser uma tecnologia confiável e sustentável (Ferreira; Silva, 2009). A estrutura básica de um biodigestor consiste em uma câmara para a digestão da matéria orgânica e um gasômetro para armazenar o biogás produzido (Pinto, 2008). Definimos assim que os biodigestores anaeróbios são reatores biológicos fechados nos quais a matéria orgânica é decomposta por microrganismos em um ambiente sem oxigênio. Esse processo resulta na produção de biogás, que pode ser utilizado como combustível, e de um efluente líquido rico em nutrientes, que serve como fertilizante (Filho, 2014).

A utilização de biodigestores no campo é uma solução eficiente e sustentável. A fartura de matéria orgânica nas propriedades rurais, como esterco e restos de culturas, serve como insumo para a produção de biogás. Esse biogás pode ser utilizado diretamente nas propriedades, reduzindo a dependência de outras fontes de energia e gerando economia. Além disso, os biodigestores tratam os dejetos animais, transformando-os em biofertilizantes e reduzindo a poluição ambiental (Fundação Banco Do Brasil, 2019).

O biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, é um combustível de origem biológica que pode ser queimado em diferentes tipos de motores para gerar energia elétrica. Além do biogás, o processo de produção também gera um biofertilizante rico em nitrogênio, um nutriente essencial para as plantas. Essa tecnologia é considerada uma alternativa sustentável para a geração de energia em propriedades rurais, pois aproveita resíduos orgânicos e reduz a dependência de combustíveis fósseis (Balmant, 2009).

### **3.2.1 Biodigestores nos resíduos agrícolas**

Os biodigestores são dispositivos que desempenham um papel crucial na gestão sustentável de resíduos e na produção de energia renovável. Eles operam por meio da decomposição anaeróbica de matéria orgânica, como esterco, resíduos agrícolas e resíduos alimentares, para gerar biogás e biofertilizantes. O interesse em biodigestores tem crescido em várias partes do mundo, especialmente em áreas rurais e setores que lidam com a agricultura e pecuária, dada a sua capacidade de reduzir o impacto ambiental e fornecer soluções energéticas sustentáveis (Machado, 2014).

Segundo Cestari e Silva (2012), os biodigestores são essenciais para a geração de energia renovável, pois convertem resíduos orgânicos em biogás, composto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esse biogás pode ser utilizado diretamente para geração de calor, eletricidade ou como combustível veicular, dependendo do nível de purificação e compressão. Além disso, o uso de biodigestores pode reduzir a emissão de gases de efeito estufa, principalmente metano, que seria liberado diretamente na atmosfera em sistemas de manejo de resíduos tradicionais.

Além da produção de biogás, os biodigestores oferecem outra vantagem significativa: a produção de biofertilizante, um subproduto do processo de digestão anaeróbica. Esse biofertilizante é rico em nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, elementos essenciais para a agricultura. Costa *et al.* (2015) apontam que o uso de biodigestores em propriedades agrícolas melhora a eficiência no ciclo de nutrientes e reduz a dependência de fertilizantes químicos, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

O desenvolvimento de biodigestores para comunidades rurais também tem implicações sociais importantes. Em áreas sem acesso confiável a eletricidade ou a combustíveis fósseis, os biodigestores oferecem uma fonte de energia acessível e renovável. Silva e Pereira (2017) destacam que em regiões remotas do Brasil, a implantação de biodigestores em pequenas propriedades familiares contribui significativamente para a melhoria da qualidade de vida, garantindo acesso à energia e ajudando na mitigação de problemas relacionados ao saneamento básico. Machado e Oliveira (2020) discutem as barreiras tecnológicas e financeiras para a implementação mais ampla de biodigestores. Eles enfatizam que, embora os benefícios sejam claros, os custos iniciais de instalação, especialmente para sistemas de maior escala, podem ser proibitivos para pequenos produtores. No entanto, iniciativas de políticas públicas e subsídios governamentais têm sido fundamentais para incentivar o uso dessa tecnologia, tanto em nível local quanto nacional.

Outro aspecto relevante mencionado por Santos (2019) é a questão da durabilidade e manutenção dos biodigestores. Devido às condições ambientais adversas em certas regiões, como áreas com altas temperaturas ou escassez de água, é fundamental que os biodigestores sejam projetados de maneira robusta para operar de forma eficiente a longo prazo. Isso requer treinamento adequado dos operadores e manutenção regular dos equipamentos.

Os biodigestores representam uma tecnologia promissora para a gestão sustentável de resíduos e a produção de energia renovável. Eles oferecem múltiplos benefícios ambientais e econômicos, desde a redução de emissões de gases de efeito estufa até a melhoria da eficiência agrícola. Contudo, conforme salientado por Cestari e Silva (2012), é essencial que sejam superados os desafios de implementação, como os custos iniciais e as barreiras tecnológicas, para que essa tecnologia possa ser amplamente adotada em diversas regiões do mundo.

### 3.2.2 Biodigestores nos resíduos industriais

Os biodigestores processam resíduos industriais de forma semelhante à digestão animal, decompondo a matéria orgânica por meio da ação de bactérias em condições anaeróbicas. Esse processo resulta na produção de biogás, composto majoritariamente por metano, e biofertilizante, que possui aplicações agrícolas significativas (Gupta et al., 2020).

Apesar de seu potencial, a aceitação dessa tecnologia ainda enfrenta desafios. A implementação de sistemas mais inovadores e eficientes pode superar essas limitações, incentivando uma adoção mais ampla. Esse avanço é crucial, considerando que o uso de biodigestores contribui diretamente para a redução de emissões de gases de efeito estufa, ao transformar resíduos que, de outra forma, seriam descartados de forma inadequada no ambiente (Saraf; Hastings, 2010).

Além do impacto ambiental, os biodigestores representam uma fonte de energia renovável capaz de gerar benefícios econômicos para comunidades locais, por meio da produção e comercialização de biogás e biofertilizantes. Essas iniciativas não apenas reforçam a sustentabilidade, mas também fomentam a conscientização ambiental e o envolvimento comunitário na busca por soluções ecológicas. O investimento em educação e capacitação sobre o uso de biodigestores é, portanto, indispensável para maximizar seus benefícios, permitindo que mais pessoas compreendam seu funcionamento e reconheçam seu potencial transformador (Röder et al., 2020).

A biodigestão anaeróbica é amplamente reconhecida como uma solução eficaz e sustentável para o tratamento de resíduos líquidos industriais com alta carga orgânica, como os gerados em usinas de laticínios. Esse processo é baseado em três estágios microbiológicos principais, onde diferentes populações de microrganismos atuam para degradar o substrato orgânico, transformando-o em biogás, predominantemente metano ( $\text{CH}_4$ ), e em efluentes com menor impacto ambiental (Manfron, 1991).

Embora eficiente, a biodigestão anaeróbica é sensível a variações nas condições ambientais, como temperatura e pH, que podem comprometer a estabilidade das populações bacterianas e, conseqüentemente, a eficiência do processo. No entanto, sua aplicação em laticínios é promissora, pois oferece uma alternativa viável tanto para o tratamento de resíduos quanto para a geração de energia renovável por meio do biogás produzido (Manfron, 1991).

Segundo Manfron (1991), a biodigestão anaeróbica não apenas reduz a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) dos resíduos, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental ao mitigar a poluição gerada por efluentes líquidos industriais. Essa abordagem integra tratamento de resíduos e produção de energia, posicionando-se como uma ferramenta estratégica para indústrias que desejam alinhar eficiência econômica e responsabilidade ambiental.

### **3.2.3 Biodigestores nos resíduos urbanos**

Os resíduos sólidos urbanos (RSU), gerados em menor quantidade em relação aos resíduos industriais, são provenientes de fontes como residências, estabelecimentos comerciais, escritórios, lojas, hotéis, supermercados, restaurantes e serviços relacionados à limpeza urbana. Esses resíduos incluem materiais resultantes da varrição de ruas, limpeza de galerias, terrenos, córregos, praias, feiras e atividades de poda (Tenório; Espinosa, 2005).

O aumento contínuo na geração de resíduos, aliado à sua ampla variedade, representa um desafio significativo para a sociedade e os municípios no que diz respeito ao gerenciamento adequado. O crescimento na produção desses materiais impacta diretamente as estratégias de tratamento e destinação final, demandando pesquisas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias mais avançadas e eficientes. Essas tecnologias devem priorizar a redução de emissões de carbono, a adaptação a diferentes tipos de resíduos e o máximo aproveitamento energético dos produtos e subprodutos resultantes do processo (Ferreira, 2015).

De acordo com Tenório e Espinosa (2005), o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos envolve um conjunto de medidas normativas, operacionais, financeiras e de planejamento implementadas pela administração municipal. Essas ações são orientadas por critérios sanitários, ambientais e econômicos, com o objetivo de realizar a coleta, o tratamento e a destinação adequada dos resíduos no município. Além disso, incluem o manejo e questões ligadas à regulamentação e à fiscalização. De acordo com a Abnt (1992), os aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos são uma técnica de disposição no solo que busca evitar prejuízos à saúde pública e garantir a segurança, além de minimizar os impactos ambientais. Essa abordagem, baseada em princípios de engenharia, consiste em confinar os resíduos em uma área reduzida, compactando-os para diminuir seu volume e cobrindo-os com terra ao final de cada jornada de trabalho ou em intervalos menores, quando necessário. Amplamente adotada em diversas regiões do mundo, essa técnica oferece vantagens como baixo custo em comparação a métodos como a incineração, o uso de equipamentos acessíveis e fáceis de operar, além de prevenir a proliferação de vetores de doenças. Entretanto, também apresenta desvantagens, incluindo a perda do potencial energético e de materiais recicláveis, custos associados ao transporte para locais distantes, riscos de contaminação do lençol freático, geração de chorume e líquidos percolados, além da necessidade de monitoramento contínuo após o encerramento das atividades (Tenório; Espinosa, 2005).

Os biodigestores desempenham um papel crucial na reciclagem de resíduos orgânicos, transformando-os em biogás, uma fonte de energia renovável, e aprimorando a gestão de resíduos urbanos. Sua eficiência varia de acordo com o nível de desenvolvimento das regiões. Em países do centro do capitalismo, predominam modelos avançados que otimizam a produção de biogás e o reaproveitamento energético. Já em regiões em desenvolvimento, os projetos geralmente são mais básicos, o que limita o potencial de recuperação de energia e a eficiência do processo. A introdução de tecnologias mais sofisticadas pode ampliar o aproveitamento dos recursos disponíveis, beneficiando comunidades em desenvolvimento e promovendo um futuro mais sustentável (Neres *et al.*, 2021).

Além de reduzir impactos ambientais, os biodigestores oferecem uma solução ecológica para o gerenciamento de resíduos urbanos, reciclando nutrientes de forma eficiente. Isso facilita o uso sustentável do desperdício de alimentos e resulta na produção de fertilizantes ricos em nutrientes, que podem impulsionar práticas agrícolas urbanas e ecológicas (Cigarroa *et al.*, 2018).

Em particular, os biodigestores anaeróbicos são altamente eficazes no tratamento de resíduos orgânicos urbanos, empregando consórcios microbianos que podem ser provenientes de estações de tratamento de águas residuais de indústrias, como cervejarias. Estudos demonstram que esses sistemas têm um potencial significativo para a produção de biogás, destacando a importância da dinâmica da comunidade microbiana durante a inicialização para alcançar rendimentos ideais de metano. Dessa forma, os biodigestores representam uma ferramenta essencial para promover a sustentabilidade urbana e enfrentar desafios ambientais de maneira eficiente (Alcántara-Hernández *et al.*, 2017).

Estudos anteriores indicam que a eficiência dos biodigestores depende diretamente da composição dos resíduos tratados e das condições operacionais, como pH, carga orgânica volumétrica (COV) e alcalinidade (Chernicharo, 2007; GAO *et al.*, 2010). Em uma pesquisa realizada por Santos *et al.* (2017), foram avaliados três sistemas distintos de biodigestores, variando as proporções de matéria orgânica, rejeitos e recicláveis. O sistema que continha 30% de matéria orgânica apresentou os melhores resultados no que se refere à remoção de matéria orgânica, com uma eficiência de 24%. Esse desempenho está alinhado com recomendações da legislação que estipula limites de 30% para resíduos orgânicos em aterros sanitários de pequeno porte (Brasil, 2010).

Embora a eficiência observada tenha sido superior nos sistemas com maior equilíbrio na composição dos resíduos, os níveis de remoção alcançados não foram satisfatórios para atender às normas de disposição ou reuso dos efluentes. Esse resultado evidencia a necessidade de incorporar etapas adicionais de pós-tratamento para adequação do efluente às exigências ambientais (Santos *et al.*, 2017; Chernicharo, 2007). Além disso, ressalta-se a relevância do controle de parâmetros operacionais, como o pH, que influencia diretamente o equilíbrio entre os processos de fermentação ácida e metanogênica, essenciais para o funcionamento adequado dos reatores anaeróbios (Barcelos, 2009).

Assim, a digestão anaeróbia continua a ser uma técnica promissora, porém limitada por fatores operacionais e pela necessidade de maior controle e padronização. Pesquisas como as de Santos *et al.* (2017) contribuem para a compreensão das variáveis que afetam o desempenho dos biodigestores, evidenciando a importância de sua adequação às realidades locais para minimizar o impacto ambiental causado pelos RSU.

### **3.3 Economia circular**

Segundo o Fórum Econômico Mundial, a 'economia circular' apresenta uma alternativa promissora para minimizar o impacto ambiental da produção e do consumo. Nesse modelo, os resíduos deixam de ser descartados e passam a integrar novamente a cadeia produtiva, diminuindo a pressão sobre os recursos naturais (Leitão, 2015).

O Brasil possui um potencial significativo para aumentar a produção de biometano a partir dos resíduos sólidos, impulsionado por fatores como a legislação ambiental mais rigorosa, a crescente demanda por energias renováveis e a implementação de mecanismos como o CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism). O CBAM é um instrumento da União Europeia que visa incentivar a redução das emissões de gases do efeito estufa, impondo um custo adicional aos produtos importados que tenham alta intensidade de carbono. Essa medida beneficia diretamente produtos brasileiros que utilizam fontes de energia renováveis, como o biometano, conferindo-lhes uma vantagem competitiva no mercado europeu. Essa transição para uma economia mais circular e sustentável pode transformar os aterros sanitários em grandes centros de aproveitamento de resíduos, gerando energia limpa e contribuindo para a redução dos impactos ambientais (Abrema, 2024).

Segundo Cooper (1999), a economia circular é a única alternativa para superar os limites da economia linear, que baseia-se na exploração desenfreada dos recursos naturais. A transição para esse novo modelo exige uma mudança radical, que envolve a reestruturação de sistemas produtivos e de consumo, com o objetivo de minimizar o desperdício e promover a circularidade dos materiais.

Atualmente, a busca por fechar o ciclo de produção se tornou essencial, pois os recursos naturais estão cada vez mais escassos e a natureza não consegue se recuperar na mesma velocidade que consumimos (Berndtsson, 2015). A Economia Circular abrange todas as etapas da produção, desde o design até a disposição final dos produtos. O objetivo é criar produtos mais duráveis e reparáveis, que possam ser reutilizados ou reciclados no final de sua vida útil, em contraste com a economia linear, que se baseia em um modelo de produção e consumo descartável (Florin Bonciu, 2014).

Estudos recentes indicam que a Economia Circular promove um crescimento econômico mais sustentável, minimizando os impactos ambientais e garantindo recursos para as próximas gerações. Essa visão é compartilhada por Ghisellini *et al.* (2016), que afirmam que a EC busca desacoplar o crescimento econômico da degradação ambiental, adotando práticas inovadoras que otimizam o uso de recursos, reduzem a geração de resíduos e melhoram a qualidade de vida.

A literatura atual destaca o papel dos biodigestores na gestão sustentável de resíduos. Esses sistemas são capazes de transformar resíduos orgânicos, que de outra forma seriam descartados, em insumos valiosos para a produção de energia e para a agricultura, fechando o ciclo de recursos e evitando o desperdício (Holm-Nielsen *et al.*, 2009). A produção de biogás a partir de biodigestores também reduz a dependência de combustíveis fósseis, contribuindo para a descarbonização da economia.

Outro benefício importante é a redução de resíduos em aterros sanitários, diminuindo a quantidade de lixo orgânico enviado para esses locais e evitando a produção de gases de efeito estufa como o metano, que é um subproduto da decomposição anaeróbica em aterros (Mata-Alvarez *et al.*, 2000). Além disso, o uso do biofertilizante na agricultura promove práticas de agricultura regenerativa, melhorando a qualidade do solo sem a necessidade de fertilizantes químicos.

No setor agrícola, os biodigestores têm se mostrado eficazes para tratar resíduos de animais e culturas agrícolas, gerando energia e biofertilizantes que podem ser utilizados nas próprias fazendas. Essa prática é particularmente comum em cooperativas agrícolas, onde o uso dos biodigestores melhora a eficiência energética e reduz os custos com fertilizantes (Holm-Nielsen *et al.*, 2009). Em áreas urbanas, a utilização de biodigestores para tratar resíduos alimentares e esgoto também tem ganhado atenção, já que além de reduzir o volume de resíduos, esses sistemas produzem energia localmente.

A indústria alimentícia também tem explorado os biodigestores para gerenciar resíduos orgânicos gerados durante o processamento de alimentos. A implementação dessa tecnologia não apenas ajuda a empresa a reduzir o descarte de resíduos, mas também a gerar biogás que pode ser utilizado internamente para energia, promovendo o conceito de reciclagem, onde resíduos são transformados em novos recursos com valor agregado (Gollakota *et al.*, 2018).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os biodigestores emergem como soluções promissoras para a gestão de resíduos orgânicos no Brasil, alinhando-se às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos e contribuindo para uma economia circular e de baixo carbono. Ao promoverem a reutilização de resíduos para a produção de biogás e biofertilizantes, esses sistemas não apenas reduzem o impacto ambiental do descarte inadequado, mas também contribuem significativamente para a descarbonização da matriz energética nacional. Eles representam uma alternativa viável para reduzir emissões de gases de efeito estufa, melhorar a gestão de resíduos urbanos e gerar energia renovável.

No entanto, a adoção em larga escala enfrenta desafios significativos, como altos custos iniciais, resistência cultural e barreiras tecnológicas. Para superar esses obstáculos, é fundamental que governos, iniciativa privada e sociedade civil trabalhem de forma integrada. A adoção de políticas públicas mais robustas, como a ampliação de subsídios e incentivos fiscais, a realização de campanhas de educação ambiental e o fomento à inovação tecnológica, pode impulsionar o uso de biodigestores no país, tornando-os mais acessíveis e eficientes.

Por fim, destaca-se que os biodigestores possuem um papel estratégico na transição para uma economia mais sustentável e resiliente. Recomenda-se que futuros estudos explorem modelos de integração entre biodigestores e outras soluções sustentáveis, como a compostagem e o reaproveitamento de água, além de investigar mais profundamente os impactos socioeconômicos dessa tecnologia. Esses esforços podem oferecer conhecimentos valiosos para guiar políticas públicas e investimentos, contribuindo para o avanço de um modelo de desenvolvimento mais sustentável no Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 1992.
- ABREMA. **Papel do biogás e biometano no desenvolvimento econômico do Brasil.** ABREMA, [S.I.], 16 ago. 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/2024/08/16/papel-do-biogas-e-biometano-no-desenvolvimento-economico-do-brasil/>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- ABREMA. **Roteiro para encerramento de lixões.** ABRELPE, [S.I.], 28 jul. 2017. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/roteiro-para-encerramento-de-lixoes/>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- ALCÁNTARA-HERNÁNDEZ, R. J., TAŞ, N., CARLOS-PINEDO, S., DURÁN-MORENO, A., & FALCÓN, L. I. (2017). **Microbial dynamics in anaerobic digestion reactors for treating organic urban residues during the start-up process.** Letters in Applied Microbiology. <https://doi.org/10.1111/LAM.12734>
- ALMEIDA, N. C. C. et al. Educação ambiental: a conscientização sobre o destino de resíduos sólidos, o desperdício de água e o de alimentos no município de Cameté/PA. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 100, p. 481–500, 12 set. 2019.
- ALMEIDA, C. M. C. de; MOL, M. P. G. Avaliação da coleta seletiva no município de Belo Horizonte, Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.I.], v. 13, n. 3, p. 1032–1047, 2020. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.69460. Disponível em: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/69460>. Acesso em: 27 out. 2024.
- ALMEIDA, Cláudio de Souza. **Estudo da capacidade de geração de biogás para as cidades de Barra Mansa, Resende e Volta Redonda para a implantação de uma usina de biodigestor anaeróbico.** 2022. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2022.
- ANTENOR, S. **Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA (ABRELPE). **Panorama da gestão de resíduos sólidos no Brasil.** São Paulo: ABRELPE, 2023.

BALMANT, W. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica**. Dissertação (Mestrado em Processos Térmicos e Químicos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BARCELOS, B. R. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão ambiental empresarial**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011. 376 p.

BERNDTSSON, M. **Circular Economy and Sustainable Development**. Disponível em: <<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-259772>>.

BOEHM, S.; SCHUMER, C. 10 conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023. **WRI Brasil**, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br>. Acesso em: 25 mar. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1.

BRINK, Rosiani. Compostagem: ferramenta sustentável de educação ambiental e redução de resíduos sólidos. In: **Congresso Online Internacional de Sementes Crioulas e Agrobiodiversidade**, I, 2020, Dourados, Mato Grosso do Sul. **Cadernos de Agroecologia**, Dourados, 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Rio-92**. Portal da Câmara dos Deputados. Brasília, [s. d.]. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos aterros sanitários nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil**. Relatório técnico. Piracicaba, 2004. 280 p.

CESTARI, A.; SILVA, R. **Tecnologias para a produção de biogás em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Rural, 2012.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007. 380 p.

CIGARROA, E., CARRASQUILLA, L. C., JARQUÍN, N. H., & RAMÍREZ, L. V. (2018). **Biodigester bales: method for the ecological management of organic residues.** <https://doi.org/10.7251/AGRENG1703108C>

COOPER, Tim. Creating an economic infrastructure for sustainable product design. **Journal of Sustainable Product Design**, p. 7–17, 1999.

COSTA, P.; SILVA, J.; PEREIRA, M. Uso de biofertilizantes na agricultura sustentável. **Revista Agroecologia**, 2015.

EM. **Biodigestores estão sendo implantados em 20 escolas de nove municípios da região.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/grande-minas/noticia/2023/10/26/biodigestores-estao-sendo-implantados-em-20-escolas-de-nove-municipios-da-regiao.ghtml?>>>.

FERREIRA, B. O. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás.** 2015. 117f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

FERREIRA, J. C. B.; SILVA, J. N. Biodigestor: aplicações e potencialidades. Um estudo de caso do IFMG campus Bambuí. In: **Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG campus Bambuí**, 2. Jornada Científica, 2. Bambuí, 2009.

FILHO, I. O. S. **Avaliação da toxicidade e remoção de matéria orgânica de efluente de biodigestor de resíduos sólidos orgânicos tratado em wetlands.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Caruaru, 2014.

FLORIN BONCIU. **The European Economy: From a Linear to a Circular Economy.** Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/289891523\\_The\\_European\\_Economy\\_From\\_a\\_Linear\\_to\\_a\\_Circular\\_Economy](https://www.researchgate.net/publication/289891523_The_European_Economy_From_a_Linear_to_a_Circular_Economy)>.

FRACAROLI, Igor; COLNAGO, Kenyo. **Avaliação do potencial energético de biodigestor para instalação na usina de lixo de Vitória.** Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

**FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL.** Disponível em: <https://www.fbb.org.br/ptbr/ra/tag/biodigestor>.

GAO, W. J.; LIN, H. J.; LEUNG, K. T. et al. **Influence of elevated pH shocks on the performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor.** *Process Biochemistry*, Oxford, v. 45, n. 8, p. 1279–1287, 2010.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. **A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems.** *Journal of Cleaner Production*, v. 114, p. 11-32, 2016.

GODECKE, M. V.; NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. **O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 8, n. 8, p. 1700-1712, 2013. DOI: 10.5902/223611706380. Disponível em:

<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/6380>. Acesso em: 15 ago. 2024.

GOLLAKOTA, A. R.; KISHORE, N.; GU, S. **A review on anaerobic digestion of biowaste.** *Bioresource Technology Reports*, 2018.

GUPTA, M.; PANPATTE, D.; JHALA, Y.; VYAS, R. **Biogas: an effective and common energy tool – Part II**, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-8637-4\_4.

HOLM-NIELSEN, J. B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. **The future of anaerobic digestion and biogas utilization.** *Bioresource Technology*, 2009.

INÍCIO. **Biodigestor: tecnologia sustentável garante acesso a gás de cozinha e saneamento básico.** Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2022/03/17/biodigestor-tecnologia-e-alternativa-para-acesso-a-gas-de-cozinha-e-saneamento-basico?>>>.

LEITÃO, A. **Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI.** *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, v. 1, n. 2, p. 149-171, 2015. ISSN 2183-3826.

MACHADO, G. B. **O mercado de biodigestores no Brasil.** Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/o-mercado-de-biodigestores-no-brasil/>>>.

MAIELLO, A. et al. **Implementation of the Brazilian National Policy for Waste Management** Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos Implementación de la Política Nacional Brasileña de Gestión de Resíduos, 2018.

MANFRON, M. P. Biodigestão anaeróbica: uma alternativa para usinas de laticínios. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 65-69, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781991000100015>.

MARCHI, C. M. D. F.; GONÇALVES, I. de O. **Compostagem: a importância da reutilização dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior.** *Revista Monografias Ambientais*, v. 1, p. e1, 2020. DOI: 10.5902/2236130841718. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/41718>. Acesso em: 29 out. 2024.

MARQUES, R. F. P. V. **Tratamento biológico de percolados de resíduos sólidos urbanos pela associação entre reator anaeróbico de baixa carga e wetlands.** 2014. Tese – Universidade Federal de Lavras (UFLA).

MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. **Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives.** *Bioresource Technology*, 2000.

MAXMULLER, M. et al. **Biodigestores: a implementação de diferentes modelos na zona rural de Horizonte-CE.** Disponível em: <https://www.sisgeenco.com.br/anais/endhas/2021/arquivos/ED05215553378-01.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2024.

**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.** Resolução nº 283, de 12 de julho de 2001, que dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res28301.html>. Acesso em: 11 ago. 2024.

NASCIMENTO, V. F. et al. **Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.** *Revista Ambiente & Água*, v. 10, p. 889-902, 2015.

NERES, L.; RAMOS, H.; RÉGIS, M. **Biodigester models used worldwide in the context of intelligent cities,** 2021. DOI: 10.17271/2318847296920212802.

OLIVEIRA, A. M. G.; AQUINO, A. M.; CASTRO NETO, M. T. **Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005. 6p. (Circular Técnica, 16).

PINTO, P. H. M. **Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

**PROBIOGÁS.** O estado da arte da tecnologia de metanização seca. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015.

REIS, A. S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio.** Recife: O autor, 2012.

RÖDER, M.; MOHR, A.; LIU, Y. **Sustainable bioenergy solutions to enable development in low- and middle-income countries beyond technology and energy access.** *Biomass & Bioenergy*, 2020. DOI: 10.1016/j.biombioe.2020.105876.

SANTOS, R. C. V.; MARQUES, R. F. P. V.; SILVA, A. M.; RIBEIRO, A. G. C.; VICTÓRIA, L. C. **Avaliação dos parâmetros de um biodigestor para tratar lixiviados de resíduos sólidos urbanos.** *Sustentare*, Três Corações, v. 1, n. 1, p. 45-56, ago./dez. 2017.

SARAF, M.; HASTINGS, A. **Biofuels: the role of biotechnology to improve their sustainability and profitability.** *Springer Science*, 2010. DOI: 10.1007/978-90-481-9513-8\_4.

TENÓRIO, J. A. S., ESPINOSA, D. C. R. **Controle Ambiental de Resíduos.** In: PHILIPPI JR., A., ROMÉRO, M. A., BRUNA, G. C. (Ed.). Curso de Gestão Ambiental. Barueri: Ed. Manole, 2004, p.155-211.

VALÉRIO, D. et al. Redução da geração de resíduos sólidos: uma abordagem econômica. **36º Encontro Nacional de Economia, Salvador (BA)**, 9-12 dez. 2008.

WALDMAN, M. **Lixo: cenários e desafios**. São Paulo: Editora Cortez, 2010.