

ASPECTOS MULTIDIMENSIONAIS DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS: ECONOMIA E VANTAGENS SOCIOAMBIENTAIS COM SIMPLICIDADE

MULTIDIMENSIONAL ASPECTS OF BIOGAS PRODUCTION: ECONOMICS AND SOCIO-ENVIRONMENTAL ADVANTAGES WITH SIMPLICITY

HELENO ALEXANDRINO DE LIMA FILHO

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil
Graduado em Agronomia. E-mail: heleno.lima@universo.univates.br
<https://orcid.org/0009-0008-5941-962X>

JANE M. MAZZARINO

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil
Doutora em Ciências da Comunicação. E-mail: janemazzarino@univates.br
<https://orcid.org/0000-0002-6051-5116>

ODORICO KONRAD

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil
Doutor em Engenharia Ambiental e Sanitária. E-mail: okonrad@univates.br
<https://orcid.org/0000-0002-6968-7969>

Submissão: 06-08-2025 - Aceite 05-09-2025

RESUMO: Diante da importância estratégica do desenvolvimento de alternativas renováveis de geração de energia, torna-se necessário aprofundar a reflexão sobre diferentes aspectos envolvidos na geração de biogás. O objetivo do artigo foi contextualizar aspectos multidimensionais da produção de biogás, considerando sua relevância socioambiental. O artigo adotou a revisão integrativa como metodologia. Organiza as análises em três categorias: a) Tecnologia simples e acessível, b) Vantagens energética e ambiental, c) Viabilidade econômica e social. Conclui que trata-se de uma tecnologia simples e acessível, de baixo custo de instalação e manutenção, que possibilita a produção de energia renovável por pessoas não especializadas, oferece vantagens energética e ambiental, além de ser viável econômica e socialmente. Baseada na decomposição de resíduos orgânicos em um ambiente anaeróbico controlado, utilizando materiais de origem animal e vegetal, facilmente encontrados nas propriedades rurais, a produção de biogás ou biofertilizantes é uma forma de produção de energia limpa e de adubo orgânico, evitando o lançamento de dejetos e resíduos no ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás. Viabilidade. Vantagens. Análise integrativa.



ABSTRACT: Given the strategic importance of developing renewable energy generation alternatives, it is necessary to reflect more deeply on the different aspects involved in biogas generation. The aim of this article is to contextualize the multidimensional aspects of biogas production, considering its socio-environmental relevance. The article adopted an integrative review as its methodology. It organizes the analyses into three categories: a) Simple and accessible technology, b) Energy and environmental advantages, c) Economic and social viability. It concludes that this is a simple and accessible technology, with low installation and maintenance costs, which enables the production of renewable energy by non-specialists, offers energy and environmental advantages, and is economically and socially viable. Based on the decomposition of organic waste in a controlled anaerobic environment, using animal and plant materials that are easily found on rural properties, the production of biogas or biofertilizers is a way of producing clean energy and organic fertilizer, avoiding the release of waste and residues into the environment.

KEYWORDS: Biogas. Viability. Advantages. Integrative analysis.

Introdução

Toda matéria orgânica advinda de origem animal e vegetal é considerada como biomassa, uma fonte renovável que não causa acumulação de dióxido de carbono na atmosfera, diferentemente dos combustíveis fósseis. O biogás proveniente do processamento dos dejetos animais ou vegetais é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado, podendo ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural (SOUZA *et al.*, 2004, p. 127-33).

As fontes naturais de energia como carvão e petróleo foram mais exploradas em estudos, enquanto as biomassas mantiveram-se negligenciadas por um longo período. No entanto, a biomassa foi a principal fonte energética até o início do século XX (SOUZA *et al.*, 2004, p.127-133). Os biodigestores têm vantagens inquestionáveis: não necessitam de grandes áreas para sua construção, reduzem poluição ambiental, produzem energia e biofertilizante (LOPES *et al.*, 2020, p. 8-15).

Diante da simplicidade e da versatilidade desta tecnologia, além da importância estratégica do desenvolvimento de alternativas renováveis de geração de energia e da arriscada dependência do Brasil em relação aos combustíveis fósseis, como lembram Hauly; Oliveira; Popper (2004, p. 444-48), torna-se necessário refletir sobre diferentes aspectos envolvidos na produção de biogás.

O objetivo do artigo foi contextualizar aspectos multidimensionais da produção de biogás, considerando sua relevância socioambiental e a abundância de dejetos nas propriedades. A revisão integrativa possibilitou reconhecer aspectos históricos, energéticos, ambientais, econômicos e sociais da produção de biogás, avançando para além da óbvia abordagem tecnológica. Após a apresentação da metodologia do estudo, realizou-se uma contextualização para, no capítulo 4, serem apresentados os resultados em relação aos aspectos ressaltados nos estudos encontrados.

Contextualização

O início da produção de biogás deu-se com a descoberta do gás de pântano, em 1667, por Shirley, mas só no início do século XX foi criado o motor alimentado com seu uso. A Alemanha teve a primeira estação de tratamento de esgoto com produção de biogás, mas seu uso comercial foi atribuído a Luo, em 1921, na China. Com a deficiência energética durante a Segunda Guerra Mundial, a utilização de biogás no uso doméstico e nos motores a combustão interna assume importância renovada. Na década de 1960 a Alemanha construiu a primeira usina de biogás à base de materiais vegetais da agricultura, quando pesquisadores passaram a estudar mais aprofundadamente os processos biodigestores (FRANQUETO; SILVA, 2020, p. 451-477).

Na década de 1970, o governo chinês promoveu o uso de biogás entre famílias rurais, gerando a instalação de mais de sete milhões de digestores. A alta do preço do petróleo impulsionou as pesquisas sobre energias com fontes alternativas (FRANQUETO; SILVA, 2020, p. 451- 477). No Brasil, o interesse pela energia gerada pelos biodigestores também data do início da década de 1970, no contexto da crise do petróleo, que estimulou a pesquisa e o consequente uso dessa tecnologia, segundo (WINCKLER; RENK; LESSA, 2017, p. 237–251).

A aposta permaneceu ao longo das décadas. Há 20 anos, Souza *et al.* (2004, p. 127-33), apontavam que o Brasil despontava no cenário mundial em relação à produção de energia de origens renováveis. As hidrelétricas ocupavam mais de 80% da geração e havia a aposta de que o etanol poderia substituir totalmente a gasolina ou ser misturado a ela. Ao mesmo tempo, a energia solar, eólica e a grande disponibilidade de biomassa gerada da produção agropecuária colocavam-se como fontes atrativas com vantagens ambientais e sociais.

Para Rivero (2009), o apoio à inovação tecnológica com uso de biogás, no final do século XX, de países como a Alemanha, ajudou a amenizar os problemas energéticos na América do Sul. Ele cita o caso da Bolívia, onde houve incentivo ao reuso de resíduos gerados nas propriedades rurais, com baixo custo. O autor cita o caso de um projeto criado em 2001, em que a ONG *Tecnologías en Desarrollo* lançou uma iniciativa piloto para implementação de biodigestores, visando: a promoção de energias renováveis e a gestão integral de resíduos sólidos com foco em áreas rurais. O trabalho envolveu a participação ativa da população e foi coordenado com participação dos municípios e de sindicatos, articulado às políticas de desenvolvimento nacional, regional e municipal (RIVERO, 2009).

Como os resultados alcançados pelo projeto foram satisfatórios, com sistemas instalados em diferentes regiões, Rivero (2009) recomendou investimentos na difusão e replicação desta tecnologia, a fim de melhorar a vida urbana e dos agricultores. O autor ressaltava, no entanto, que os resultados dependeriam de fatores como a localização (disponibilidade de combustível tradicional - esterco) e a forma de introdução e modificação da tecnologia para adaptá-la às condições locais.

Para Decunto e Caballero (2022, p. 189-206), assegurar fontes de energia de forma sustentável e disponível para toda população é ainda um grande desafio. Ao analisar o cenário argentino, os autores verificaram que a principal matriz energética ainda vem de fontes de combustíveis fósseis, mesmo com possibilidades de exploração de energia eólica, solares e de biomassa.

De acordo com os autores a matriz energética primária da Argentina é baseada em combustíveis fósseis (84%), com forte presença de gás natural (50%), seguido de petróleo (33%) e uma fração mínima de carvão (1%). Ainda, 9% é energia hidrelétrica, 4% outras fontes renováveis, além de 3% ser de energia nuclear. Decunto e Caballero (2022, p. 189-206) analisam que, nos últimos anos, foram concluídos vários projetos que aumentaram a participação das energias renováveis na matriz elétrica argentina. Citam que, em 2021, houve maior participação de fontes renováveis em relação aos anos anteriores, atendendo 13,1% da demanda, enquanto em 2018, por exemplo, apenas 3% foram atendidos. Os autores calculam que a matriz elétrica renovável é composta por 77% de energia eólica, 10% solar, 7,5% bioenergia e 4,5% hidráulica.

Decunto e Caballero (2022, p. 189-206), abordam dados da Agência Internacional de Energia, de 2022, segundo a qual a demanda global de energia ainda é atendida principalmente por fontes não renováveis: petróleo (31%), gás natural (23%) e carvão (27%). Outras fontes colaboram: biocombustíveis (9%), nucleares (5%), hidroelétricas (4%), outras renováveis (2%). São grandes os desafios para produzir uma energia renovável de forma limpa e que não agride os recursos naturais, além de contribuir para a segurança energética com impactos econômicos positivos, afirmam. O desafio é global, pela dependência dos combustíveis de fontes não renováveis.

O setor pecuário é responsável por emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) e, em menor escala, dióxido de carbono (CO_2), que apresentam um aumento sustentado ao longo do tempo, tendendo a elevar-se como o maior consumo de produtos de origem animal (DECUNTO; CABALLERO, 2022, p. 189-206). As quantidades dos gases gerados pelos animais ruminantes dependem da dieta da alimentação, forma de criação, categoria do animal, quantidade de ração, entre outros fatores. Portanto, a mitigação dos impactos depende da atuação em diferentes frentes: alimentação e nutrição, genética e melhoramento animal, modulação ruminal, sanidade animal, gestão das pastagens e dos estrumes (DECUNTO; CABALLERO, 2022, p. 189-206). Neste sentido, os biodigestores têm muito a contribuir.

Metodologia

A pesquisa é bibliográfica, decorrente de um conjunto de procedimentos realizados para identificar e selecionar estudos pertinentes ao tema de pesquisa (STUMPF, 2008). A busca se deu sobre artigos disponíveis no Portal de Periódicos da Capes, ocorrida no dia 8 de novembro de 2022, por título, usando como descritores “resíduo rural” e “biogás”, sem restrição de ano. Resultaram 67 artigos, após serem excluídos repetidos ou por não auxiliarem, nem de forma complementar, a pesquisa, ou por distanciamento da temática. Foram mantidos 14 artigos sobre aspectos de interesse do estudo, sobre os quais realizou-se a leitura completa, a fim de conduzir as análises.

Para o tratamento dos dados coletados na pesquisa bibliográfica foi utilizada a análise textual qualitativa (MORAES, 2007, p. 85-114), baseada na leitura, descrição e interpretação dos textos. Foram selecionados os trechos mais relevantes a partir da leitura dos materiais (unitarização), seguindo-se a categorização, a partir dos grandes temas que surgiam das seleções dos dados bibliográficos. A categorização é uma forma de organizar os materiais por aproximação.

Os resultados são apresentados nas seguintes categorias, além dos dados de contextualização: a) Tecnologia simples e acessível, b) Vantagens energética e ambiental, c) Viabilidade econômica e social.

Resultados e discussões

Os resultados do tratamento dos dados coletados na pesquisa bibliográfica são apresentados nesta seção, organizados em três categorias: a) Tecnologia simples e acessível, b) Vantagens energética e ambiental, c) Viabilidade econômica e social.

a) Tecnologia simples e acessível

Dentre as tecnologias de baixo custo para amenizar os problemas socioambientais salienta-se o uso de biodigestores nas propriedades rurais, com o reaproveitamento de dejetos bovinos, suínos, caprinos, humanos e resíduos vegetais, evitando seu descarte e impactos ambientais (ALCÓCER *et al.*, 2019, p. 1-15).

Segundo Rivero (2009), o biodigestor é um sistema simples de implementar, com materiais baratos, que estão sendo introduzidos em comunidades rurais isoladas e em países mais desiguais, podendo obter o duplo benefício de poder resolver o problema energético-ambiental, bem como realizar uma gestão adequada dos dejetos humanos e animais, com baixo custo.

O processo se dá por biodigestão ou fermentação anaeróbica da matéria orgânica, um processo de reciclagem das biomassas orgânicas normalmente existente na natureza, em solos encharcados, nos rios, nos oceanos, nas camadas mais profundas da terra, onde se encontram as camadas de carvão mineral e o petróleo (FRANQUETO; SILVA, 2020, p. 451-77). A biodigestão anaeróbia consiste em um processo microbiológico sem oxigênio, baseado em interações enzimáticas e metabólicas, com compostos orgânicos gerando matéria estabilizada: água, biofertilizante e gases. Daí a denominação biogás (GUERI *et al.*, 2015, p. 288-301).

Nem toda a decomposição se processa por fermentação anaeróbica, mas no caso da fermentação anaeróbica, esta, se divide em três estágios (HAULY; OLIVEIRA; POPPER, 2004, p. 444-448). O primeiro ocorre quando um conjunto de microrganismos anaeróbicos facultativos age sobre os resíduos orgânicos. Pela hidrólise enzimática os diferentes polímeros orgânicos de alto peso molecular são convertidos em monômeros solúveis, principalmente glicose.

A formação desses monômeros, que servirão de substrato iniciando o segundo estágio da biodigestão, é provavelmente a fase mais importante de toda a digestão, que se constitui no fator limitante para a continuidade da degradação anaeróbica. Através de uma flora bacteriana diferente, os monômeros solúveis são convertidos em ácidos orgânicos, que são os principais produtos desta degradação. A transformação de ácido acético, metanol, gás carbônico e hidrogênio em gás constitui o terceiro estágio da biodigestão¹.

1 Os materiais usados na biodigestão podem ser de origem animal, vegetal e humana. Resíduos vegetais são todos de origens de plantas, como palhadas, cascas, folhas e caules. A eficiência do emprego destas matérias-primas é dada pela disponibilidade ou digestibilidade dos componentes mais importantes: carbono e nitrogênio. Segundo Haully, Oliveira e Popper (2004), os dejetos de origem animal são: fezes, urina, sangue, restos de carcaças, pelo, gordura e demais sobras de mata-douros, frigoríficos e curtumes.

Haully, Oliveira e Popper (2004, p. 444-448) explicam que os microrganismos metanogênicos do terceiro estágio de fermentação são anaeróbicos restritos, ou seja, a formação de gás metano, principal componente do biogás, só ocorre em ausência completa de oxigênio, dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez.

Segundo Gueri *et al.* (2015, p. 288-301), o biogás gerado no processo da biodigestão anaeróbia é constituído basicamente de 60% de metano (CH₄), 35% de dióxido de carbono (CO₂) e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio. Além do biogás, outro produto gerado pelo processo da biodigestão é o biofertilizante.

Usos dos produtos da biodigestão, o biogás é um combustível renovável e limpo que pode ser utilizado para abastecimento de veículos, acionamento de motores estacionados para geração de energia, uso para queima em fogões para cozimento de alimentos (GUERI *et al.*, 2015, p. 288-301). Pode substituir bem o gás de cozinha GLP, sendo que sua queima não libera fumaça e não deixa resíduos nas panelas. Além de fogões, o biogás pode ser usado em aquecedores, para iluminação, campânulas, chocadeiras, secadores diversos, aparelhos de combustão interna, motobombas, geradores de energia elétrica (GUERI *et al.*, 2015, p. 288-301; ALCÓCER *et al.*, 2019, p. 1-15).

No caso do biofertilizante, pode ser usado na agricultura, para adubação das plantas e produção de alimentos, por ser riquíssimo em nutrientes orgânicos, fósforo e nitrogênio. Sua presença aumenta a capacidade de retenção da umidade no solo, melhorando sua estrutura e textura facilitando o desenvolvimento das raízes, resultando em economia de adubo industrializado e de insumos agrícolas, diminuição do odor exalado pelas decomposições de matérias orgânicas e danos ao meio ambiente e, ainda, melhora a qualidade de vida do produtor rural, sendo um incremento na renda. O biofertilizante pode ser disposto no solo *in natura* ou processado, seco e peletizado (WINCKLER; RENK; LESSA, 2017, p. 237-251; ALCÓCER *et al.*, 2020, p. 783-818).

O biodigestor é normalmente construído com um tanque revestido com cimento, alvenaria ou geomembrana de PVC e coberto com uma lona, a qual possibilita a sua expansão para armazenar biogás. Precisa ter uma caixa de entrada para a biomassa e outra para saída do biofertilizante. Sua estrutura é de acordo com o tipo de resíduo produzido (ALCÓCER *et al.*, 2020, p. 783-818). Os materiais para construção devem ter uma boa resistência para evitar que o gás escape para a atmosfera (GUERI *et al.*, 2015, p. 288-301).

Existe uma diversidade de modelos de biodigestores anaeróbicos, sendo caracterizados para cada atividade e ambiente ou resíduo de origem animal ou vegetal (GUERI *et al.*, 2015, p. 288-301). Rivero (2009) explica que um dos modelos testados na Bolívia foi o biodigestor tubular, de polietileno, o qual deixou o equipamento mais acessível à população rural de baixo poder aquisitivo, que logo se estendeu às áreas urbanas.

Santos *et al.* (2017, p. 35-39) analisaram três modelos de biodigestores: batelada, indiano e chinês. No caso do modelo indiano, se o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro se desloca verticalmente, aumentando o volume e mantendo a pressão no interior constante. Já o biodigestor chinês tem uma câmara cilíndrica com teto de alvenaria impermeável, que é apropriado para fermentação e armazenamento do biogás. O biodigestor do modelo batelada é bastante simples e não requer muita exigência operacional. Abastecido de

uma única vez, não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, para só ao término o material ser descarregado.

No caso de biodigestores de fluxo contínuo, que comumente são indianos, chineses e canadenses, há uma carga contínua de resíduos e uma produção constante de biofertilizante e biogás. Este modelo possui caixa de entrada de dejetos e saída de biofertilizante, sendo que o próprio substrato no biodigestor é responsável por parte da vedação do sistema. Este tipo é mais usado com dejetos suínos e bovinos (ALCÓCER *et al.*, 2019, p. 1-15).

Estudos sobre a codigestão, que se refere à digestão simultânea de dois ou mais resíduos orgânicos, indicam que, na comparação com a digestão aeróbica, a associação entre resíduos (AcoD) oferece várias vantagens como o balanço de nutrientes e a relação Carbono/Nitrogênio, equilíbrio de umidade, redução o efeito inibitório, devido a substâncias tóxicas da diluição e aumento da cinética de produção de metano (FRANQUETO; SILVA, 2020, p. 451-477).

b) Vantagens energéticas e ambientais

A procura por fontes renováveis de geração de energias tem crescido muito no Brasil e no mundo devido à restrição de espaço e à necessidade de produção de energia de fontes limpas, segundo Lopes *et al* (2020, p. 8-15). Por outro lado, os autores analisam que a exploração agropecuária em busca de produção de alimentos gera um volume muito grande de resíduos, os quais causam danos irreversíveis ao meio ambiente. O biodigestor é uma forma de transformar dejetos em energia renovável e, também, de desenvolver comunidades com ganhos ambientais.

Quanto ao potencial energético, diferentes autores concordam que o potencial de uso da biomassa para geração de energia no Brasil é grande. Segundo Franqueto e Silva (2020, p. 451-477), a inserção do biometano na matriz energética brasileira permitirá aos agentes de governo e planejamento energético (EPE) flexibilidade na elaboração de planos e políticas para o aproveitamento dos recursos fósseis e renováveis, com otimização da exploração e uso dos recursos naturais. A produção de biogás gera saneamento ambiental, além de reduzir os custos com energia e contribuir para a redução do efeito estufa e do aquecimento global, pois os gases que seriam emitidos na atmosfera com a decomposição orgânica passam a ser adotados na geração de energia, analisam.

Conforme Winckler; Renk e Lessa (2017, p. 237-251), o Brasil tem necessidade de diversificar a matriz energética para assegurar o abastecimento residencial e industrial e elidir a dependência dos combustíveis fósseis e da hidroeletricidade. Para os autores, as fontes renováveis de energia passaram a ter maior relevância no cenário energético brasileiro na última década e seu uso diminuirá a dependência de combustíveis convencionais e das hidrelétricas.

O avanço da agroenergia, segundo Winckler, Renk e Lessa (2017, p. 237-251), tem peso significativo na matriz energética brasileira e constitui uma nova forma de disponibilidade baseada em fontes renováveis, mas há necessidade de um marco regulatório específico para a geração e a distribuição do biogás oriundo de dejetos de animais e produzido pelo pequeno produtor rural. Os autores explicam que os produtores rurais geralmente não têm lastro financeiro para subsidiar a instalação de biodigestores em sua propriedade, sendo essencial que haja uma contrapartida do poder público garantida por marco regulatório. Dessa forma, pode-se tornar interessante para as instituições financeiras subsidiar projetos para geração de energia renováveis oriundos de

fontes de biomassa, geradas pelas atividades agropecuárias, o que pode garantir a permanência do homem no campo com melhores condições de renda.

Segundo Alcócer *et al.* (2020, p. 783–818), apesar de ser mais vantajoso economicamente o uso desta energia na propriedade rural, substituindo ou reduzindo a aquisição da energia elétrica distribuída pela concessionária, é necessário que a propriedade rural tenha equipamentos e instalações para a produção em quantidade de energia, assim como resíduos em volume que justifique os investimentos para a geração do biogás. Desta forma, Franqueto e Silva (2020, p. 451-477), ressaltam a necessidade de estudos sobre formas de agregar valor aos resíduos da produção agropecuária.

Os ganhos ambientais são grandes, haja vista que muitos dos impactos nesta área derivam da falta do manejo adequado dos resíduos sólidos e líquidos que caracterizam-se pela alta carga orgânica, muitas vezes lançadas em mananciais de água, afetando os recursos hídricos; aumentam a ocorrência de verminoses e alergias; causam a morte de peixes e animais e a proliferação de insetos; exalam odores e emissão de gás metano e óxido nitroso; sem falar na toxicidade em plantas e eutrofização dos recursos hídricos (ALCÓCER *et al.*, 2020, p. 783-818).

Para Dallin *et al.* (2019) é necessário a realização de testes de fitotoxicidade. Em seu estudo avaliaram que há um potencial positivo na construção de grandes instalações para reciclar resíduos agropecuários, já que o digestato apresenta características favoráveis como fertilizante. Silva *et al.* (2023) salientam que fatores como temperatura e agitação também influenciam a produção de biogás, sendo que alguns estudos indicam que biodigestores sem agitação podem ser mais eficientes.

Para Rivero (2009), o biogás seria uma alternativa sustentável e de baixo custo, que oferece ganhos ambientais, pois ajuda a diminuir a poluição ambiental devido à emissão de gases de efeito estufa como o Metano CH_4 , refletindo-se na proteção da saúde. Além de reduzir a descarga de dejetos no ambiente, amplia a oferta de fontes alternativas de energia para pequenas propriedades, com a gestão adequada dos resíduos. Seu estudo incluiu as populações rurais na Bolívia, que enfrentam a falta de energia pelo distanciamento das comunidades, utilizam muito dos recursos naturais (lenha) para preparação de alimentos, o que faz com que a destruição das matas se torne um problema.

Rivero (2009) ressalta que as vantagens da produção do biogás refletem-se em saúde, conforto, segurança e simplificação do trabalho, com mais qualidade de vida. Além do baixo custo, produz-se biofertilizantes na produção agrícola, possibilitando mais autonomia para os produtores.

A popularização dos biodigestores e o domínio da técnica do processamento deve ser difundida de forma fácil e acessível à população. Também os materiais para sua construção devem ser de baixo custo e encontrados nos comércios locais, para serem projetados de acordo com a necessidade de cada propriedade, defende Rivero (2009), para quem o biodigestor é uma tecnologia ambientalmente correta, socialmente justa, economicamente viável e culturalmente aceitável.

c) Viabilidade econômica e social

As atividades agropecuárias do Brasil têm papel importante no contexto mundial, sendo responsável pelo fornecimento das principais fontes de proteínas de origem animal. O agronegócio é responsável direto pela geração de postos de trabalhos e influência de forma positiva na balança comercial brasileira, em contrapartida deixa a desejar quanto ao investimento em tecnologias para melhorar a produtividade, para diminuir a pressão sobre os recursos naturais e a dependência de energia elétrica (CASTRO; SALVADOR; OLIVEIRA FILHO, 2020, p. 558–562).

Alguns autores debruçaram-se sobre as vantagens econômicas dos investimentos em biodigestores, em contextos e com metodologias diversas. Castro; Salvador; Oliveira Filho (2020, p. 558-562) avaliaram economicamente a externalidade relacionada às emissões da geração de eletricidade com base no seu valor, por meio da queima de biogás de dejetos da pecuária brasileira, proveniente da digestão anaeróbia dos resíduos para geração de energia elétrica. A análise econômica foi realizada considerando que a queima do biogás pode reduzir o impacto ambiental da emissão de poluentes.

Para a redução de emissão ser equacionada e calculada economicamente é preciso conhecer o preço dos créditos de carbono e o impacto social do dióxido de carbono, assim, os autores tomaram como base a capacidade da queima do biogás em reduzir as emissões da pecuária, quantificando o valor percentual dessa externalidade, fundamentado no preço da energia elétrica com base no valor do crédito de carbono no período do estudo.

Como resultados, Castro; Salvador; Oliveira Filho (2020, p. 558-562) demonstraram que a externalidade das emissões pode representar 69,4% do preço da energia elétrica sem impostos, resultado que demonstra que, mesmo com o alto valor da energia elétrica no Brasil, a externalidade em questão pode representar um produto de valor equivalente a aproximadamente metade da quantidade de energia gerada.

Também foi quantificada a externalidade em relação ao impacto social das emissões de gases de efeito estufa. Castro; Salvador; Oliveira Filho (2020, p. 558-562) concluíram que a externalidade das emissões do uso do biogás para geração de energia elétrica pode corresponder a 49,6% do preço da energia elétrica gerada pela queima do biogás, chegando a 408,4%, reforçando a importância do uso do biogás para a geração de energia no meio rural, oportunizando a produção pecuária com sustentabilidade.

Gadotti *et al.* (2018, p. 120-128), dimensionaram biodigestores para a produção de biogás e biofertilizante, em busca de alternativas de melhorias para o produtor, utilizando novas tecnologias, sustentabilidade e agregando renda para o produtor. O projeto foi desenvolvido no município de Nova Bréscia, Rio Grande do Sul, em uma propriedade com 500 suínos, sem tratamento dos dejetos da atividade.

O estudo das operações necessárias incluiu o cálculo do volume de produção de dejetos, o dimensionamento dos equipamentos para a geração do biogás e de biofertilizante, assim como o estudo para transformação em energias térmica e elétrica. Gadotti *et al.* (2018, p. 120-128) concluíram que em um projeto de suinocultura com 500 suínos nas fases de crescimento e terminação necessita-se de dois biodigestores de 55 m³. Calcula-se que a produção de 83,63 m³ de biogás e 37,02 kg de fertilizante, mostra-se econômica e sustentável, agregando renda para o

produtor rural. Todos os cenários estudados apresentaram viabilidade econômica e um *payback* de um ano.

Souza *et al.* (2004, p. 127-133) avaliaram o custo de produção do biogás e a geração de eletricidade em uma propriedade rural com resíduos da suinocultura, assim como o tempo de retorno do investimento em função da tarifa de energia. Duas opções para aproveitamento energético foram estudadas para esses tipos de resíduos na Europa: a digestão anaeróbia dos resíduos de suinocultura e a combustão direta, aproveitando-se a cama de aviário. Conforme o artigo as propriedades de suinocultura variam de pequenas propriedades até grandes propriedades, o que influi na maior ou menor produção de biogás, dado que o índice teórico de produção de resíduo (chorume) é de 72 litros/dia cabeça, resultando em 0,775 m³ de biogás/cabeça de suíno dia.

O custo de produção da eletricidade com aproveitamento do biogás, segundo Souza *et al.* (2004, p. 127-133), é composto do capital investido na construção e manutenção do biodigestor e do sistema motor/gerador. O equipamento, quando gera o biogás, pode ser utilizado diretamente no gerador de energia, podendo operar durante dez horas diárias ou nos horários de maior pico. Os autores concluem que a viabilidade do sistema depende da tarifa paga pelo proprietário rural à concessionária local de energia.

Já Pereira *et al.* (2012, p. 51-74) avaliaram os custos e investimentos para transporte de dejetos suínos com posterior geração de bioenergia no município de Toledo/PR, uma das regiões que mais exploram a atividade suinícola do Brasil. Segundo os autores, o biogás é um subproduto altamente poluidor, que se adequadamente manipulado, além de ser fonte de energia para variadas aplicações, pode ser comercializado no mercado de carbono. O foco do estudo foram os elementos envolvidos nos custos de transporte, que devem considerar tipos de tráfego, região de abrangência, porte do veículo, assim como as características do produto (volume, densidade, valor, formato etc.) e do mercado (localização, concorrência, sazonalidade, tráfego de cargas, etc.), além dos custos diretos (embalagens utilizadas, quilogramas de material, horas de mão-de-obra, entre outros) e indiretos (aluguel, salários administrativos, entre outros).

A apuração correta de todos os custos envolvidos no transporte é de fundamental importância para o bom desempenho do investimento, afirmam, o que requer técnicas diversas (quantitativas, analíticas e estatísticas) e a projeção de cenários (presentes e futuros).

Quando Pereira *et al.* (2012, p. 51-74) analisaram informações de 380 propriedades rurais, produzindo diariamente 1.515,4 toneladas de dejetos, verificaram que apenas 11% das propriedades contavam com biodigestor. A baixa adesão ao uso da tecnologia de biodigestores se justificava pelos custos elevados e pela pouca divulgação do funcionamento do sistema. Segundo os autores, as esterqueiras correspondiam a 88% do total das propriedades pesquisadas.

Os autores concluíram que o retorno do investimento na instalação do sistema de biodigestores, quando todas as despesas foram pagas e a empresa começou a ter lucros, foi de um ano e sete meses. Eles consideraram que outra receita que pode advir da implantação do investimento é a venda de créditos de carbono. Eles concluem que é viável a elaboração e a implementação de projeto desta natureza na região estudada, por existir matéria-prima (dejetos) em grande quantidade.

Anis *et al.* (2020) compararam dois cenários de investimento: I) 20% de patrimônio e 80% de financiamento; e II) 100% do patrimônio líquido. Concluíram que os investimentos também são sustentáveis e economicamente viáveis nas duas situações. Por sua vez, Capitani *et al.* (2022) realizaram um estudo de caso em uma pequena propriedade produtora de leite e milho localizada no Noroeste do estado de São Paulo. Os autores evidenciaram que o investimento é viável, gera eficiência energética na propriedade, incrementando a receita do produtor, o que reduz riscos e incertezas financeiras.

Para Haully, Oliveira e Popper (2004, p. 444-448) o investimento inicial para instalação de biodigestores pode parecer alto, dada a necessidade de material de custo relativamente alto para a construção, porém a economia de energia e a substituição de adubos químicos pelo biofertilizante, além da descontaminação ambiental através da utilização de resíduos agrícolas e caseiras, são fatores altamente favoráveis em prazos relativamente curtos. Os ganhos ambientais, energéticos e econômicos somam-se à possibilidade de autonomia e empoderamento comunitário, decorrentes da organização para a construção do biodigestor.

O trabalho comunitário sustentou o processo de construção de biodigestor no assentamento Itamarati, no município de Ponta-Porã, MS, implantado em 2002, que, no momento da pesquisa possuía 2.835 famílias assentadas, instaladas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O projeto foi realizado com 26 produtores rurais com conhecimento básico em construção de estruturas e alvenarias. O grupo foi contemplado com uma unidade de biodigestor. Os produtores participaram da construção e implantação do equipamento, observando o funcionamento e o processo da biodigestão. O biofertilizante gerado no biodigestor foi utilizado na produção de hortaliças no sistema orgânico e o biogás destinado ao consumo do produtor assentado, conforme relataram Gandra *et al.* (2021, p. 21-32).

Para os autores, Gandra *et al.* (2021, p. 21-32), os produtores envolvidos não visavam apenas lucros. A experiência estimulou e incentivou alguns produtores a preservar o meio ambiente e a buscar melhoria de vida para a família. Além disso, a experiência promoveu o fortalecimento da agricultura pela ação cooperativa entre as famílias e pela ação extensionista, contribuindo para o desenvolvimento da comunidade.

Oliveira *et al.* (2024) testaram biodigestores em um espaço educativo utilizando resíduos picados, esterco bovino e água. A iniciativa promoveu maior autonomia, conscientização ambiental, práticas agrícolas responsáveis, além de beneficiar estudantes e melhorar a qualidade de vida dos agricultores, fortalecendo parcerias entre a universidade, a prefeitura e os produtores. Neste sentido, Chiarello *et al.* (2023) salientam que é importante ter apoio público para a adoção dessa tecnologia, assim, os gestores públicos devem se alinhar com as necessidades dos agricultores. Por fim, Souza *et al.* (2022) salientam que é necessário o desenvolvimento de estudos voltados à caracterização e ao aproveitamento dos resíduos em cada localidade, visando desenvolver soluções inovadoras, particulares e viáveis para cada realidade.

Considerações finais

O objetivo do artigo foi contextualizar aspectos multidimensionais da produção de biogás, considerando sua relevância socioambiental. A revisão integrativa, organizada em três categorias, evidenciou que no Século XX (no Brasil a partir da década de 1970), se estabelece a

tecnologia dos biodigestores, mas sua adoção ainda não está amplamente disseminada, apesar das vantagens demonstradas por pesquisas científicas.

Trata-se de uma tecnologia simples e acessível, de baixo custo de instalação e manutenção, que possibilita a produção de energia renovável por pessoas não especializadas, oferece vantagens energética e ambiental, além de ser viável econômica e socialmente. Baseada na decomposição de resíduos orgânicos em um ambiente anaeróbico controlado, utilizando materiais de origem animal e vegetal, facilmente encontrados nas propriedades rurais, a produção de biogás ou biofertilizantes é uma forma de produção de energia limpa e de adubo orgânico, evitando o lançamento de dejetos e resíduos no ambiente. Sua implantação requer parcerias entre a universidade, a prefeitura e os produtores e a contextualização adequada às características de cada realidade.

Referências

ALCÓCER, Juan Carlos Alvarado *et al.* **Uso do biodigestor na suinocultura:** uma alternativa à sustentabilidade ambiental na região do Maciço de Baturité, Ceará. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 783–818, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e22020783-818>. Acesso em: 30 nov. 2022.

ALCÓCER, Juan Carlos Alvarado *et al.* **Utilização de biodigestores, cisternas e dessalinizadores:** tecnologias sociais como alternativas sustentáveis de convivência com o semiárido. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v. 23, n. 24, p. 1–15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236117036472>. Acesso em: 24 nov. 2022.

ANIS, Cintia Ferreira; PIETRAMALE, Rita Therezinha Rolim; GIMENES, Régio Márcio Toesca; RIBEIRO, Vinícius de Oliveira. **Viabilidade econômica para implantação de um biodigestor:** uma alternativa para o pequeno produtor rural suinocultor. *Multitemas, [S. l.]*, v. 21, n. 59, p. 147–168, 2020. DOI: 10.20435/multi.v21i59.2733. Disponível em: <https://multitemasucdb.emnuvens.com.br/multitemas/article/view/2733>. Acesso em: 5 set. 2025.

CAPITANI, D.H.D. E FARINA, J.V. 2022. **Viabilidade energética e econômica da produção de biogás a partir de dejetos bovinos em um sistema de integração lavoura-pecuária.** *REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade*. 12, 3 (out. 2022), 14-29. DOI:<https://doi.org/10.18696/reunir.v12i3.1004>.

CASTRO, Pedro Henrique Gonçalves Rigueira Pinheiro; SALVADOR, Iago Barbosa do Nascimento; OLIVEIRA FILHO, Delly. **Methodology for economic evaluation of externality emissions in relation to the value of electric power generated by the burning of biogas in the rural environment.** *Revista Engenharia na Agricultura – REVENG*, Viçosa, MG, v. 28, p. 558–562, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.13083/reveng.v29i1.11493>. Acesso em: 20 dez. 2022. CHIARIELLO, C. L., MAUAD, J. C., DUBLIM, J. A Percepção dos agricultores familiares do assentamento Itamarati-MS na aplicação de biodigestores: **debate teórico e empiria sobre uma tecnologia social.** *Retratos de Assentamentos*, 26(2), 125-140. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2023.v26i2.574> Acesso em: 5 ago. 2025.

DALLIN, C. M. P., DE BRAGA, J. P., SOMENSI, C. A. Tratamento e Valorização de Resíduos Avícolas Via Produção de Fertilizantes Renováveis e Biogás: Utilização de conceitos da economia circular na agropecuária. *Anais da Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI)*-e-ISSN 2316-7165,1(12).2019 Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/micti/article/view/1790> Acesso em: 5 ago 2025

DECUNTO, Elias Valentin; CABALLERO, Graciela. **Proyectos de producción de biogás en la Región Pampeana y su contribución a los desafíos energéticos del Siglo XXI.** *Huellas*, Santa Rosa, La Pampa, Argentina, v. 26, n. 2, p. 189–206, 2022. Disponível em: <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas/article/view/6913>. Acesso em: 03 dez. 2022.

FRANQUETO, Rafaela; SILVA, Joel Dias da. **Desenvolvimento histórico da valorização de biomassa do agronegócio para produção de biogás no âmbito rural.** *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, SC, v. 9, n. 2, p. 451–477, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020451-477>. Acesso em: 21 dez. 2022.

GADOTTI, Gizele Ingrid *et al.* **Biodigestores para tratamento de dejetos suínos e alternativas para o desenvolvimento sustentável da propriedade.** *Colloquium Agrariae*, Presidente Prudente, SP, v. 14, n. 1, p. 120–128, 2018. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1085>. Acesso em: 27 dez. 2022.

GANDRA, Jefferson Rodrigues *et al.* **Utilização de biodigestor no assentamento Itamarati: sustentabilidade para a comunidade rural.** *Revista On-line de Extensão e Cultura – Realização*, v. 8, n. 16, p. 21–32, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/realizacao.v8i16.15340>. Acesso em: 25 nov. 2022.

GUERI, Matheus Vitor Diniz *et al.* **Sustentabilidade rural: o uso do biogás como alternativa energética para os produtores de leite.** *Revista Gestão & Sustentabilidade Rural*, Florianópolis, SC, v. 4, p. 288–301, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v4e02015288-301>. Acesso em: 18 dez. 2022.

HAULY, Maria Célia de Oliveira; OLIVEIRA, Antonio Sérgio de; POPPER, Irene. **Digestão microbiana de matéria orgânica, produção de biogás e biofertilizante.** *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, Londrina, PR, v. 4, n. 14, p. 444–448, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0383.1983v4n14p444>. Acesso em: 20 dez. 2022.

LOPES, L. A. *et al.* **Desenvolvimento de um biodigestor de baixo custo aplicado na agricultura familiar.** *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, Tupã, SP, v. 14, n. 1, p. 8–15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18011/bioeng2020v14n1p8-15>. Acesso em: 20 dez. 2022.

MORAES, Roque. **Mergulhos discursivos: análise textual qualitativa entendida como processo integrado de aprender, comunicar e interferir em discursos.** In: GALIAZZI, Maria do C.; FREITAS, José V. (org.). *Metodologias emergentes de pesquisa em Educação Ambiental*. Ijuí, RS: INIJUÍ, 2007. p. 85–114.

OLIVEIRA SILVA, L. DE, PORTO, P. P., DA SILVA, M. A. A. (2024). Fortalecimento da agricultura familiar através da implementação de biodigestores caseiros: uma abordagem sustentável e tecnológica para o manejo de resíduos orgânicos. *Caderno Pedagógico*, 21(13), 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-353>. Acesso em: 5 ago 2025.

PEREIRA, Sandra Mara *et al.* **Bioenergia e resíduos na cadeia de suínos: uma análise de custos e investimentos para transporte de dejetos suínos com posterior geração de bioenergia no município de Toledo/PR.** *Revista Tecnologia e Sociedade*, Curitiba, PR, v. 8, n. 14, p. 51–74, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rts.v8n14.2586>. Acesso em: 18 dez. 2022.

RIVERO, Oliver Campero. **Biogás na Bolívia:** programa Viendas Auto-Energía uma nova forma de ver o futuro energético-ambiental do país, em áreas rurais. *DELLOS: Revista Desenvolvimento Local Sostenible*, Málaga, Espanha, v. 2, n. 4, 2009. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/dellos/article/view/31/28>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SANTOS, Diego Felipe dos; GUIMARÃES, William Franklin Ferreira; GONÇALVES, Claudio Ubiratan. **Biodigestores como alternativa à sustentabilidade ambiental no campo brasileiro:** um balanço bibliográfico acerca dos modelos indiano, chinês e batelada. *Revista Ciência Agrícola*, Rio Largo, AL, v. 15, p. 35–39, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.28998/rca.v15i0.3769>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SILVA NOGUEIRA, M. C. DA, SOARES, R. B., PARAÍSO, B. S. A., DE SOUZA LIBÓRIO, J. B., DE JESUS, L. S., PINTO, L. I. F., ALVES, R. N. Produção de Biogás a Partir de Resíduos Lignocelulósicos e de Manipueira. *Científic@-Multidisciplinary Journal*, 10(1), 1-6. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.37951/2358-260X.2023v10i1.6454>. Acesso em: 5 ago 2025.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de *et al.* **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura.** *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, PR, v. 26, n. 2, p. 127–133, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v26i2.1510>. Acesso em: 26 nov. 2022.

SOUZA, Sulma Vanessa; GIMENES, Régio Marcio Toesca; ORRICO, Ana Carolina Amorim; ALMEIDA, Marcel Gonçalves de; SABBAG, Omar Jorge. Desenvolvimento da sustentabilidade avícola a partir do uso de biodigestores. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 237–254, 2022. DOI: 10.17765/2176-9168.2022v15n1e8883. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/8883>. Acesso em: 5 set. 2025.

STUMPF, Ida Regina C. **Pesquisa bibliográfica.** In: DUARTE, Jorge; BARROS, Antônio (org.). *Métodos e técnicas de pesquisa em comunicação*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

WINCKLER, Silvana Teresinha; RENK, Arlene; LESSA, Lizete. **Impactos socioambientais da suinocultura no oeste catarinense e a iniciativa de implantação de biodigestores pelo Projeto Alto Uruguai.** *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, PR, v. 41, p. 237–251, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v41i0.47977>. Acesso em: 22 dez. 2022.