



Revisão sistemática sobre a evolução das pesquisas sobre digestão anaeróbia na agricultura e na agropecuária

A systematic review of the evolution of research on anaerobic digestion in farming

Roberta Pinheiro Santos (orientado)¹, Marcelo Bortoli (orientador)²,

Marina Celant De Prá³

RESUMO

O constante crescimento da digestão anaeróbia como tecnologia para a correta destinação de resíduos em produções rurais é de suma importância para o desenvolvimento sustentável, sendo o biogás uma forma de energia renovável e, conseqüentemente, substituição de combustíveis fósseis. Com isso, o presente estudo teve como objetivo demonstrar a evolução das pesquisas sobre o tema ao longo dos anos e a influência do Acordo de Paris e da Agenda 2030, com o estabelecimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nos avanços da área. Buscou-se as palavras-chaves *anaerobic digestion + methane potential + farming* na plataforma *ScienceDirect*, para análises dos números de artigos e suas abordagens. Como conclusão, foi possível verificar que após 2015 a quantidade de publicações dobrou em relação ao período anterior, além disso, os estudos tornaram-se mais sistêmicos, abordando sobre eficiência energética, redução dos gases geradores do efeito estufa e analisando os ciclos de vida dos produtos, diferente das pesquisas mais antigas, cujas observações eram mais específicas para os interesses e enfoques da época. Os resultados apontam a influência do estabelecimento dos ODS na expansão das pesquisas sobre digestão anaeróbia e utilização do biogás como energia renovável.

Palavras-chave: Biogás, *ScienceDirect*, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

The constant growth of anaerobic digestion as a technology for the correct waste disposal in rural production is paramount for sustainable development. Biogas is a form of renewable energy and, consequently, replaces fossil fuels. Thus, this study aimed to demonstrate the evolution of research on the subject over the years and the influence of the Paris Agreement and the 2030 Agenda, with the establishment of the Sustainable Development Goals (SDGs), on advances in the area. The keywords *anaerobic digestion + methane potential + farming* were searched on the *ScienceDirect* platform to analyze the number of articles and their approaches. In conclusion, it was possible to verify that after 2015 the number of publications doubled compared to the previous period. In addition, studies became more systemic, discussing energy efficiency, reducing greenhouse gases, and analyzing life cycles, different from older researches, whose observations were more specific to the interests and approaches of the time. The results show the influence of the SDGs' establishment on the research expansion on anaerobic digestion and the biogas use as renewable energy.

Keywords: Biogas, *ScienceDirect*, Sustainable Development Goals.

1 INTRODUÇÃO

A capacidade de resiliência e de fornecimento de serviços ambientais é uma preocupação mundial. A intensificação dos processos produtivos agrícolas e agropecuários convencionais, a proliferação de espécies

¹ Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR, Brasil; robertas@alunos.utfpr.edu.br

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão, PR, Brasil; marcelobortoli@utfpr.edu.br

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, PR, Brasil; marinapra@utfpr.edu.br



invasoras, a mudança na estrutura das cadeias alimentares e a maior geração de resíduos para descarte são impactos ambientais negativos que podem, e devem, ser mitigados (NETO et al., 2018). Sistemas de produção sustentável vêm sendo adotados pelo mundo, onde boas práticas são implementadas considerando os limites de recursos naturais e a capacidade de regeneração ambiental do meio. Atualmente, já existem tecnologias de gerenciamento adequado para os resíduos gerados por esses sistemas produtivos, portanto, é necessário esforço dos atores envolvidos para que a efetivação do manejo correto seja alcançada (NETO et al., 2018).

A digestão anaeróbia é uma dessas tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos e líquidos gerados na agricultura e na agropecuária. No processo, grande parte do material orgânico biodegradável é convertido em biogás, outra parte torna-se biomassa microbiana, o lodo do sistema, e o restante é retirado do reator como material não degradado, o digestato, também conhecido como biofertilizante (CALDEREIRO, 2015; RIZZONI et al., 2012). Além da baixa emissão de carbono e da mitigação da poluição que seria causada, o metano que iria para a natureza se torna uma fonte de energia, o que se tornou fator de segurança para distantes áreas do meio rural, que possuem dificuldades com o atendimento por energia elétrica (MILANEZ et al., 2018). Por isso, investir na infraestrutura de pesquisa, produção e uso de energias renováveis através da transformação de resíduos em bioenergia é necessário e essas iniciativas devem ser prioridades.

Outra importante razão para o investimento na área são os compromissos internacionais fechados em 2015, no Acordo de Paris e da Agenda 2030 das Nações Unidas (plano para erradicação da pobreza, onde se estabeleceu dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS), onde o Brasil se comprometeu, para o período de 2019 a 2028, em diminuir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), tendo como principal política a ampliação do uso de biocombustíveis para substituição de combustíveis fósseis, como descrito no ODS 7 (MORAIS, 2019). Porém esses compromissos não são atuais, discussões a respeito da importância da sustentabilidade para o planeta acontecem desde a revolução industrial, sendo a primeira conferência internacional organizada pela Unesco em 1968 (UNESCO, 2020).

Com isso, o biogás se difundiu como alternativa para tratamento de resíduos na década de 1980 e desde então pesquisas sobre o tema foram sendo desenvolvidas (KARLSSON et al., 2014). Uma pergunta importante que se faz é: a Agenda 2030 da ONU, com o estabelecimento dos ODS, teve influência no número de pesquisas relacionadas ao tema biogás? Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi demonstrar a evolução das pesquisas sobre digestão anaeróbia para produção de biogás nas últimas décadas e sua importância no desenvolvimento sustentável.

2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA

A revisão sistemática foi realizada na base de dados da plataforma *ScienceDirect*, buscando por artigos de pesquisa e de revisão, em duas etapas: inicialmente, foi realizada a busca pelos termos *anaerobic digestion + methane potential + farming*, onde encontrou-se todos os trabalhos que citam esses termos; em um segundo momento, no campo “Título, resumo ou palavras-chave especificadas pelo autor” buscou-se os mesmos termos, porém a pesquisa tornou-se mais específica.

A análise dos resultados quanto ao número de artigos por ano de publicação, deu-se por meio de tabela e gráficos. Por fim, realizou-se a leitura e demonstração dos principais pontos de cada estudo, afim de avaliar a evolução do tema após as conferências do Acordo de Paris e da Agenda 2030 (ODS).



3 RESULTADOS

Após a pesquisa realizada no portal *ScienceDirect*, elaborou-se a Tabela 1 que demonstra de maneira cumulativa os artigos de pesquisa e de revisão encontrados.

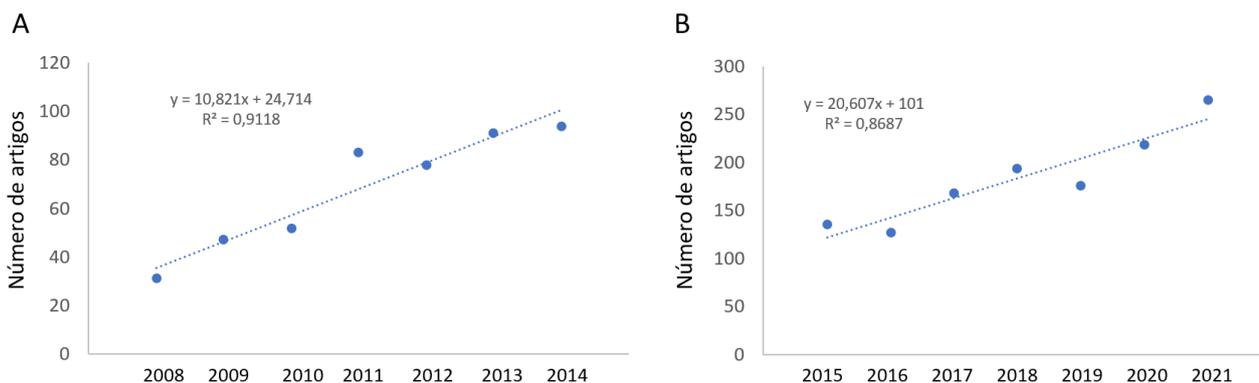
Tabela 1 – Artigos encontrados com as palavras-chaves *anaerobic digestion + methane potential + farming*

Anos de publicação	Quantidade de artigos
1998 – 2000	11
2001 – 2005	45
2006 – 2010	184
2011 – 2015	482
2016 – 2020	883
2021	265

Fonte: Autoria própria (2021).

Elaborou-se os Gráficos 1A e 1B para demonstrar a evolução dos estudos sobre o tema no período entre 2008 até 2021, levando em consideração os últimos sete anos (1B) e em igual período antes de 2015 (1A).

Gráfico 1 – Evolução das pesquisas entre 2008 e 2021 para as palavras-chaves selecionadas



Fonte: Autoria própria (2021).

Nos Gráficos 1A e 1B, a velocidade com que foram publicados resultados de novos estudos, com os temas abordados nesse trabalho, dobrou quando comparados os dois períodos. Esses resultados apontam para uma provável influência do estabelecimento dos ODS, apresentados em 2015 na conferência da ONU sobre mudanças climáticas (COP21) em Paris, e um possível impacto no direcionamento das pesquisas após o ano de 2015.

Além disso, realizou-se a leitura dos 9 (nove) artigos apresentados na busca específica, onde os conceitos *anaerobic digestion + methane potential + farming* foram encontradas somente em títulos, resumos e palavras-chaves de cada estudo. Após a leitura pode-se observar os principais enfoques de cada artigo:

Em 2006, Weiske et al., realizam um estudo em fazendas de cinco regiões europeias para encontrar medidas de mitigação para emissão de gases de efeito estufa, metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), da produção de leite que ocorre na área. Os autores indicam que a eficiência da digestão anaeróbica varia conforme a quantidade e qualidade da matéria orgânica que é utilizada para a co-digestão e conforme a exploração da energia térmica produzida, mas ainda é considerada uma opção eficiente e econômica para redução dos GEE.



Por fim, conseguiram demonstrar que o biogás foi uma das melhores medidas de mitigação adotadas, por custo-benefício e diminuição de diversos GEE em toda cadeia produtiva, além da viabilidade quanto as políticas europeias.

Já em 2011, Rico et al. demonstraram que o biogás de esterco de leite poderia auxiliar com 2% de energia elétrica para a região da costa norte da Espanha, sendo os ácidos graxos voláteis bons indicadores de potencial de metano e o digestato produtor de quantidades significativas de gás. Os autores citam a importância da boa gestão dos resíduos de estrume consequentes da intensa produção animal no país, pois essa ameaça ambiental em áreas úmidas com declividade acentuada, por exemplo, tem como resultado o excesso de nitrogênio para regiões com agricultura intensiva, devido ao escoamento da fração líquida do esterco e a ausência de terra para disposição. Assim, os autores concluíram que a produção de biogás a partir de esterco de gado leiteiro é uma oportunidade em potencial para a região, devido ao auxílio dos 2% de eletricidade produzidas numa correta manipulação dos biodigestores.

Oleskowicz-Popiel et al., no ano de 2012, encontraram meios de produzir biogás, etanol, ração e fertilizante numa fazenda de agricultura orgânica. A base de estudos é a alternativa sustentável e economicamente viável da produção da bioenergia na fazenda, já que a biomassa é produzida diariamente e, se corretamente gerida, poderia contribuir com a autossuficiência energética do local e, por consequência, reduziria a necessidade pelos combustíveis fósseis. Ao final do estudo, avaliaram o potencial do biogás por ensaios de digestão anaeróbia e consideraram o efluente dos teste um fertilizante natural. Com a vida útil do projeto de 25 anos e o etanol à 10% de desconto, concluíram que a biorrefinaria tornaria autossuficiente de duas a quatro fazendas orgânicas de 1000 ha, dependendo da necessidade de combustível e eletricidade.

Em 2016, Zarkadas et al. exploraram o potencial da digestão anaeróbia para diferentes resíduos derivados de uma fazenda de *visons* (*Neovison vison*) é um mamífero semiaquático carnívoro, sua agricultura gera resíduos de ração e esterco –, sendo eles: estrume fresco e intemperizado, farinha de carne e ossos derivados, e resíduos de ração. Os autores apontam estudos que indicam que esses resíduos possuem alto teor de sólidos orgânicos e nitrogênio, descartando os tratamentos por processos aeróbicos, e sendo necessária, então, a alternativa da digestão anaeróbia para a valorização desses resíduos do cultivo de peles de *vison* – o primeiro estudo com essa avaliação. Identificaram, por fim, que os resíduos avaliados poderiam oferecer produções elevadas de metano e serem considerados economicamente viáveis se manejados corretamente, porém as análises do estudo falharam por um acúmulo de ácidos graxos voláteis.

Purdy et al., em 2018, destacaram a importância da redução de combustíveis fósseis para diminuir a emissão de GEE e, conseqüentemente, parar de impulsionar as mudanças climáticas, e adotar energias sustentáveis é uma maneira potencialmente estratégica de incentivar e permitir o alcance dessas metas. Os autores selecionaram uma fazenda leiteira na Irlanda do Norte para o estudo de caso, onde utilizaram um software para verificar a viabilidade da produção de biogás e seu uso como biocombustível, por calor e energia combinada, para geração de energia elétrica e calor em uma fazenda leiteira, utilizando, para isso, os resíduos locais. Com isso, concluíram que as tecnologias estudadas são suficientes para suprir as demandas de eletricidade e aquecimento da fazenda e mais três moradias, com mais de 70 toneladas de CO₂ impedidos de serem emitidas em um ano, porém com a necessidade de rápida utilização dos resíduos de esterco de vaca para que a produção de biogás e a redução da perda de metano sejam significativas.

Também em 2018, Jeswani et al., avaliaram o ciclo de vida das produções (arvenses, silagem, palha, gado e relacionados) de uma fazenda, para estimar a emissão de GEE e o potencial de aquecimento global. Com isso, os autores verificaram que o gado contribui com cerca de 40%, o cultivo agrícola com 10%, e ovinos e suínos com menos de 6%, sendo a aplicação de estrume na terra e o uso de diesel em máquinas agrícolas os pontos críticos devido as emissões de óxido nitroso, além do metano proveniente da fermentação entérica. Por



fim, destacaram que as fazendas orgânicas consideradas pelo estudo já realizaram práticas de reciclagem e redução de impactos ambientais, como a digestão anaeróbia para redução da emissão de metano, a substituição do diesel por biodiesel, a otimização da composição da ração e o cultivo consorciado.

Mais recente, em 2020, Tolessa et al., abordaram sobre a produção de biogás com resíduos da agricultura familiar em províncias da África do Sul, destacando a importância da digestão anaeróbia no fornecimento de energia limpa e na destinação sustentável dos nutrientes da produção agroecológica. O potencial da biomassa para a digestão anaeróbia foi demonstrado pelos autores, que apontaram uma média de mais de 100 toneladas por ano para cada produtor das províncias, ou seja, a tecnologia tem potencial para o fornecimento de energia elétrica nessas regiões rurais do país, além de potencial para resolver problemas de higiene e saneamento, e de aumentar a produtividade da colheita, fertilidade e qualidade do solo, já que o digestato é um fertilizante orgânico estabilizado.

Esse ano, 2021, os autores O'Connor et al., realizaram uma revisão de literatura sobre tecnologias de digestão anaeróbia em pequena escala pela Europa, com ênfase nos resíduos agrícolas de produções de pequeno e médio porte, para verificar as aplicações comerciais e a influência política para essa tecnologia de bioenergia. Após o desenvolvimento do estudo, os autores relataram que esses sistemas são eficazes, porém seu custo-benefício é variável e são necessárias análises específicas para cada local implementado. Concluíram que é esperado um aumento na adoção dessas tecnologias de pequena escala para a agricultura europeia, já que o investimento em energia renovável vem avançando junto com a pressão pela redução de impactos ambientais, principalmente os GEE, até 2050.

Também em 2021, os autores Orrico et al. demonstraram a melhoria da eficiência energética da digestão anaeróbia com resíduos líquidos de incubação e tempo de retenção hidráulica a níveis diferentes, utilizando biodigestores com esterco ovino, e que a tecnologia é economicamente viável. Os autores realizaram o estudo no Mato Grosso do Sul, Brasil, com um nível ideal de resíduos líquidos e 17 dias de tempo de retenção hidráulica, chegando a aumentar em mais de 25% a produção de metano se comparado com a digestão isolada de esterco ovino, e da avaliação econômica que teve probabilidade zero de o valor presente líquido ser negativo, ou seja, um baixo risco de investimento.

Após a análise dos artigos foi possível perceber que a abordagem dos trabalhos de pesquisa passou a ser mais sistêmica nos últimos 5 anos, trazendo análises de ciclo de vida e abordagens das propriedades, eficiência energética e redução da emissão de GEE, frente a estudos mais específicos observados nos anos anteriores.

4 CONCLUSÃO

A digestão anaeróbia tem papel crucial na diminuição dos resíduos de agricultura e agropecuária no mundo, além disso a geração de biogás auxilia na redução dos GEE e no aumento da matriz elétrica renovável, gerando um maior interesse de estudo sobre o tema. Após a primeira etapa da pesquisa foi possível perceber uma evolução na publicação de resultados de pesquisas, presentes na plataforma *ScienceDirect*, sobre o tema, com destaque para os anos após 2015 onde o número de publicações teve forte incremento, com a velocidade de publicação de artigos dobrando em comparação à anos anteriores. Com a leitura dos artigos selecionados pela segunda etapa, observou-se que a maioria enfatiza a prioridade em diminuir a geração e emissão dos GEE, porém, mesmo após assinados os acordos mundiais, apenas um artigo citou as conferências e suas metas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil.



REFERÊNCIAS

- CALDEREIRO, G.M.B. **Caracterização da digestão de resíduos agroindustriais em biodigestor de fluxo contínuo operado em escala real**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Medianeira, 2015. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1277/1/MD_PPGTAMB_M_Caldereiro%2C%20Gisele%20Maria%20Brod_2015.pdf>. Acesso em: 05 de ago. 2021.
- JESWANI, H. et al. **Life cycle greenhouse gas emissions from integrated organic farming: A systems approach considering rotation cycles**. *Produção e Consumo Sustentáveis*, (2018), 60-79, 13.
- KARLSSON, T. et al. **Manual básico de biogás**. Univates, 2014. Disponível em: <https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/pdf_71.pdf>. Acesso em: 20 de ago. 2021.
- MILANEZ, A. Y. et al. **Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial 47. 2018. p. 221-276.
- MORAIS, J.M. **Caderno ODS 7: O que mostra o retrato do Brasil?** Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/190502_cadernos_ODS_objetivo_7.pdf>. Acesso em: 10 de ago. 2021.
- NETO, A.G.V. et al. **Produção e consumo sustentável: bem-estar, equidade social e equilíbrio ambiental**. Embrapa, 2018.
- O'CONNOR, S. et al. **Biogas production from small-scale anaerobic digestion plants on European farms**. *Revisões de energia renovável e sustentável*, (2021), 110580, 139.
- OLESKOWICZ-POPIEL, P. et al. **Co-production of ethanol, biogas, protein fodder and natural fertilizer in organic farming – Evaluation of a concept for a farm-scale biorefinery**. *Bioresource Technology*, (2012), 440-446, 104.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). **O programa MAB**. 2020. Disponível em: <<https://rbma.org.br/n/mab-unesco/o-programa/>>. Acesso em: 01 de ago. 2021.
- ORRICO, A. et al. **Can adding liquid hatchery waste to sheep manure potentialize methane production and add value to sheep farming?** *Tecnologia Ambiental e Inovação*, 2021.
- PURDY, A. et al. **Towards sustainable farming: Feasibility study into energy recovery from bio-waste on a small-scale dairy farm**. *Journal of Cleaner Production*, (2018), 899-904, 174.
- RICO, C. et al. **Anaerobic digestion of the liquid fraction of dairy manure in pilot plant for biogas production: Residual methane yield of digestate**. *Waste Management*, (2011), 2167-2173, 31 (9-10).
- RIZZONI, L.B. et al. **Biodigestão Anaeróbia no Tratamento de Dejetos de Suínos**. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, Garça, n°18, ano 9. 2012. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/W34ebZOEZuzvEvG_2013-6-28-18-12-37.pdf>. Acesso em: 31 de jul. 2021.
- TOLESSA, A. et al. **Estimation of biomass feedstock availability for anaerobic digestion in smallholder farming systems in South Africa**. *Biomass and Bioenergy*, (2020), 105798, 142.
- WEISKE A. et al. **Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming**. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, (2006), 221-232, 112 (2-3).
- ZARKADAS, I. et al. **Exploring the potential of fur farming wastes and byproducts as substrates to anaerobic digestion process**. *Energia renovável*, (2016), 1063-1070, 96.