



## BARREIRAS E FACILITADORES NA INTERSECÇÃO DO USO DE BIODIGESTORES NA ECONOMIA CIRCULAR

DOI: 10.19177/rgsa.v9e01202094-120

Suzy Cristina Cortez<sup>1</sup>  
 Arthur Medeiros Figueiredo Barreto<sup>2</sup>  
 Adriana Cristina Cherri<sup>3</sup>  
 Daniel Jugend<sup>4</sup>



### RESUMO

Nos últimos anos as pesquisas sobre os benefícios do uso de biodigestores aumentaram consideravelmente. A implementação e uso de biodigestores, entre outras vantagens, contribui para a redução de gases do efeito estufa, melhor descarte de resíduos sólidos e autossuficiência energética. Os biodigestores são equipamentos compostos por um gasômetro e uma câmara fechada, sem a entrada de oxigênio, e que atuam como reatores químicos, transformando a matéria orgânica em biogás e biofertilizantes. Paralelamente a isso, a abordagem da Economia Circular (EC) visa o crescimento econômico contínuo, em um ciclo fechado, com maior aproveitamento dos recursos naturais e reaproveitamento dos resíduos, preservando os recursos disponíveis para as gerações futuras. O objetivo deste trabalho é identificar os principais artigos e autores que relacionam os temas Biodigestores e EC, além de enunciar as barreiras e os facilitadores apresentados por esses trabalhos. O método de pesquisa empregado foi o de revisão bibliométrica dos artigos filtrados seguida por uma análise detalhada de cada um deles. A pesquisa bibliométrica demonstrou um aumento na publicação dos dois temas de maneira integrada. Além disso, identificou-se aplicações dos biodigestores para a EC, tais como o uso de dutos para redução do custo de transporte, e a integração com mais fontes renováveis como meio para aumentar a eficiência energética.

**Palavras-chave:** Biogás. Biodigestor. Economia Circular. Sustentabilidade. Energia Renovável.

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharia de Produção na área de Biodigestores e Economia Circular, Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho. Graduada em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho. E-mail: [suzycortez@hotmail.com](mailto:suzycortez@hotmail.com)

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Bauru. Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Bauru. Graduado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Uberlândia – Campus Pontal. E-mail: [arthur.medeiros@unesp.br](mailto:arthur.medeiros@unesp.br)

<sup>3</sup> Graduação em Licenciatura em Matemática, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2001), Especialização em Matemática Aplicada com Ênfase à Aplicação de Recursos Computacionais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2003), Mestrado (2006) e Doutorado (2009) em Ciências da Computação e Matemática Computacional, Universidade de São Paulo. Professora Assistente Doutora (RDIDP) do Departamento de Matemática e docente permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Bauru e do Programa de Pós-graduação em Matemática Aplicada e Computacional da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Presidente Prudente. E-mail: [adriana.cherri@unesp.br](mailto:adriana.cherri@unesp.br)

<sup>4</sup> Graduação em Administração, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP (2003), mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos (2006), doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos (2010), pós-doutorado no Departamento de Engenharia e Gestão no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa (2016), e Livre-Docência em Gestão de Desenvolvimento de Produtos, UNESP (2018). É Professor Associado do Departamento de Engenharia de Produção da UNESP - Bauru. É docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da FEB - UNESP. E-mail: [daniel.jugend@unesp.br](mailto:daniel.jugend@unesp.br)

## BARRIERS AND FACILITATORS AT THE INTERSECTION OF THE USE OF BIODIGESTORS IN THE CIRCULAR ECONOMY



### ABSTRACT

In recent years, studies on the benefits of using biodigesters have increased considerably. The implementation and use of biodigesters, among other advantages, contributes to the reduction of greenhouse gases, better disposal of solid waste, and energy self-sufficiency. Biodigesters are equipment composed of a gasometer and a closed chamber with no oxygen input, which act as chemical reactors, transforming organic matter into biogas and biofertilizers. In parallel to this, the Circular Economy (CE) approach aims at continuous economic growth, in a closed cycle, with greater use of natural resources and reuse of waste, preserving the available resources to the next generations. This paper aims at identifying the main articles and authors that relate the topics of biodigesters and CE, besides advertising the barriers and the facilitators presented by these papers. The research method consisted of bibliometric research of the chosen articles, followed by a detailed analysis of each one. The bibliometric research showed an increase in the publications of both themes in an integrated way. Furthermore, it was identified applications of biodigesters for CE as the use of pipelines for reducing transportation costs, and the integration with more renewable sources as a strategy to increase the energetic efficiency.

**Keywords:** Biogas. Biodigester. Circular Economy. Sustainability. Renewable Energy.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico acelerado, o qual nem sempre ocorreu de maneira estruturada e devidamente dimensionada, vem provocando questionamentos na sociedade. O consumo excessivo de recursos naturais aliado a não coexistência com um desenvolvimento sustentável, não está mais se sustentando. Nesse contexto, muitos estudos mostram a necessidade de reavaliação desse paradigma. Soma-se a isso o fato de que os consumidores cada vez mais se mostram preocupados com um consumo consciente, com a extração dos recursos naturais e com um maior aproveitamento dos mesmos (MANZINI E VEZZOLI, 2002). Essas novas premissas são alinhadas a abordagem da Economia Circular (EC), que visa dar continuidade ao crescimento econômico, mas de uma maneira mais otimizada, com maior aproveitamento dos recursos extraídos em cada processo, criando um ciclo fechado, que se não for contínuo, é pelo menos mais proveitoso dos recursos disponíveis.

Diante desse cenário, a utilização de biodigestores para destinação correta dos resíduos orgânicos possui potencial para contribuir com a EC. Biodigestores são equipamentos compostos basicamente por um gasômetro e uma câmara fechada que impedem a entrada de oxigênio, para que esses funcionem como reatores químicos, transformando a matéria orgânica em biogás, a partir da digestão anaeróbica das bactérias. Segundo Deganutti *et al.* (2002), o biogás é basicamente composto de uma mistura de gases contendo principalmente metano e dióxido de carbono, encontrando-se ainda em menores proporções gás sulfídrico e nitrogênio. Para que haja um correto funcionamento do biodigestor são necessárias algumas precauções, como inexistência de ar, temperatura adequada e diluição correta do material orgânico utilizado para abastecimento. Devido a matéria prima utilizada para abastecimento dos biodigestores ser orgânica, de origem animal ou vegetal, o acesso é fácil, o custo é baixo, e ainda ajuda a diminuir os problemas ambientais de emissão dos GEE (gases do efeito estufa) na atmosfera, contaminação dos solos e rios e maior controle na proliferação de insetos e odores desagradáveis.

No Brasil, a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) possui diversos projetos de incentivo a implantação de biodigestores em fazendas de criação de aves, suínos e pecuária, com os quais incentiva a destinação adequada

dos dejetos animais e uma diminuição com o custo energético das fazendas, uma vez que o biogás produzido pelos biodigestores será aproveitado na autossuficiência energética da mesma. A EMBRAPA também conta com o apoio da Itaipu Binacional (operadora da usina hidrelétrica de Itaipu), no projeto “*Tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano ABC*”. O SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) também possui projetos de incentivo e apoio, para que pequenos produtores rurais possam instalar e usufruir de biodigestores de pequena escala, em suas propriedades. Com os quais são extraídos o biofertilizante para cultivo de hortas e retirada do biogás para utilização doméstica, como gerador de energia ou abastecimento do fogão a gás (OKONKWO, ONOKPITE e ONOKWAI, 2018).

O uso de biodigestores no Brasil ainda está em fase de iniciação e há poucos lugares que contam com esse recurso. Embora o Brasil apresente características geográficas naturais que favorecem e propiciem a geração de energia limpa e renovável, como a eólica, a solar e a maremotriz (PEREIRA *et al.*, 2012), a utilização de biogás se destaca devido estar também alinhada com a destinação adequada dos dejetos animais e vegetais.

Considerando que cada vez mais os órgãos governamentais e indústrias privadas encontram dificuldades em gerir uma destinação correta para os resíduos, os quais não possuem nenhuma serventia para a sociedade, ao contrário, o seu descarte incorreto pode acarretar diversos problemas ambientais e sociais e, sendo esses matéria-prima de abastecimento dos biodigestores, a sua utilização transforma um produto de fim de vida útil, em matéria-prima para início de um novo produto, gerando assim um ciclo fechado da EC.

Corroborando com esse conceito está Ellen Macarthur Foundation, uma das maiores apoiadoras e disseminadoras da EC da atualidade e em nível mundial, a qual atribui a teorias mais recentes, como projeto regenerativo, economia de desempenho, berço a berço, biométrica e economia azul, uma contribuição importante para o aprimoramento e desenvolvimento do conceito de EC (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Diante disso, o objetivo desse trabalho é identificar os principais trabalhos que integrem essas duas vertentes, EC e biodigestores, além de enunciar as barreiras

e os facilitadores apresentados por eles. Uma vez que os dois termos são relativamente novos e a simbiose dos dois ainda pouco explorada. Além disso, analisa-se a coexistência dos termos utilizados para que sirva de base para trabalhos futuros e propõe-se possíveis soluções para as barreiras encontradas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Recentemente, diversos estudos têm sugerido que a EC tende a contribuir com o crescimento econômico de maneira mais viável e perene ao meio ambiente, sem afetar as gerações futuras. Corroborando com isso Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), defende que a EC visa a desassociação do crescimento econômico com a pressão ambiental, implementando padrões radicalmente novos, os quais contribuem para que a sociedade alcance uma maior sustentabilidade e qualidade de vida, com baixos ou inexistentes custos de materiais, energia e danos ao meio ambiente em geral, aumentando a eficiência produtiva, por meio o uso apropriado, reutilização e troca de recursos.

Para Geissdoerfer *et al.* (2017), embora os termos EC e sustentabilidade estejam ganhando maior amplitude, as semelhanças e diferenças entre os dois conceitos permanecem ambíguas. A EC é um sistema regenerativo, no qual a entrada de recursos e os desperdícios são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento de loops de material e energia, sendo motivada principalmente pela observação de que os recursos poderiam ser melhores utilizados e os resíduos e emissões reduzidos com sistemas circulares, em vez de lineares, faça-use-descarte.

A EC tende a aprimorar o modelo atual e mais disseminado de economia linear, no qual pouco se preocupa com os recursos utilizados, ou com a disposição final do bem de consumo. Tal mudança está muito além de opcional ou sazonal, tornou-se essencial para dar continuidade a engrenagem do mundo no qual estamos inseridos. Para Blomsma e Brennan (2017), a EC fornece uma nova perspectiva para a gestão de resíduos e recursos, uma vez que espaço para debates e oportunidades de pesquisa para o ramo industrial são gerados. Para os autores, a definição e contextualização de EC fomenta a implantação e uso de biodigestores como uma das aplicabilidades da EC, em equilíbrio com a sustentabilidade,

conscientização e reaproveitamento dos recursos e resíduos, como se os biodigestores fossem o elo de ligação entre o fim e o início do ciclo de uma EC em relação aos resíduos orgânicos, a utilização de uma energia derivada de resíduos em toda a cadeia de valor do produto.

Conforme visto anteriormente, os principais produtos obtidos com a utilização de biodigestores é o biogás e o biofertilizante. Para Neves, Converti e Penna (2009), o biogás é uma fonte de energia renovável, produzida por um grande número de espécies microbianas anaeróbicas, que fermentam o material orgânico sob condições controladas de temperatura, umidade e acidez. Segundo eles, vários pesquisadores provaram que a construção de digestores teve efeitos positivos na economia, sociedade, ecologia e meio ambiente.

Outra vantagem considerável na utilização de biodigestores, é que ele é uma alternativa considerável para a redução dos gases do efeito estufa, ao mesmo tempo que uma fonte renovável de geração de energia limpa. Durante o processamento do biodigestor através da digestão anaeróbica, os biodigestores reduzem os compostos orgânicos em metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A captura e combustão subsequentes de  $\text{CH}_4$  podem resultar em uma redução nas emissões dos gases de efeito estufa (GEE) em comparação com o gerenciamento tradicional de resíduos (FLESCHE, DESJARDINS E WORTH, 2011).

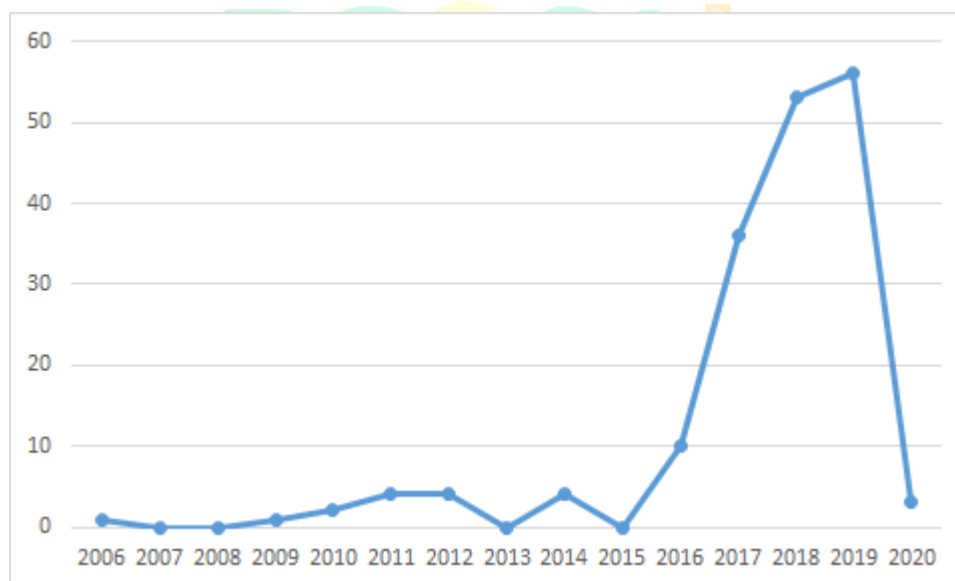
Atualmente a principal empregabilidade dos biodigestores está concentrada na agropecuária. Um modelo agrícola circular que utiliza o biogás como núcleo, pode conferir economia de energia e reduções de carbono, diminuindo assim o uso de energia derivada de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, redução da emissão de GEE (ZHAO *et al.*, 2016). Xue *et al.* (2019) traz uma analogia mais conceitualizada entre o uso de biodigestores e a EC, onde a apresenta aplicada ao modelo de ciclo da pecuária, principalmente na redução de carbono nos seguintes aspectos: redução na emissão de carbono à medida que os resíduos retornam ao sistema, uso de biogás na substituição de combustíveis fósseis e substituição dos fertilizantes tradicionais pelo biofertilizante.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Para realização da revisão sistemática e futura análise bibliométrica foi utilizada a base de dados SCOPUS, pois conforme mencionado por Falagas *et al.* (2008), a SCOPUS oferece cerca de 20% mais coberturas que o Web of Science, enquanto o Google Scholar oferece resultados de precisão inconsistente. A SCOPUS é a maior base de dados de literatura científica especializada (RODRIGUES, TAGA e PASSOS, 2016).

Com a utilização do software VOSviewer, gerou-se um mapa utilizando diversos termos relacionados com a pesquisa, onde pode-se observar que os temas mais mencionados são: *Biogas* e *Circular Economy*. Portanto, na SCOPUS foi realizada uma pesquisa de busca utilizando esses termos nas plataformas de Título, Resumo e Palavras-chave, obtendo 174 documentos. A Figura 1 foi obtida pela utilização da ferramenta *Analyze Search Results* da SCOPUS.

Figura 1: Quantidade de documentos por ano de publicação.



Fonte: elaborado pelos autores.

Com os resultados obtidos, observou-se que, embora o primeiro documento conste na data de 2006, é a partir de 2016 que o tema ganha maiores proporções, o que levou o desenvolvimento deste trabalho considerar apenas o período 2016-2020. Os trabalhos encontrados foram filtrados exclusivamente considerando: artigos, língua inglesa, pertencentes à Journals e áreas de pesquisa relevantes, sendo elas: *Environmental Science*, *Energy*, *Engineering*, *Agricultural and*

*Biological Sciences, Business, Management and Accounting e Economics, Econometrics and Finance*. Optou-se por estas áreas de pesquisa por serem mais condizentes com os temas analisados. Os resumos dos artigos foram analisados para selecionar apenas os artigos que apresentassem alguma congruência entre as duas vertentes: Biogás/Biodigestores e EC.

Mediante a leitura dos artigos, foram identificados os facilitadores e as barreiras apontados em cada um deles. Essas informações foram apresentadas em forma de tabelas, seguidas de uma discussão mais detalhada dos principais facilitadores e barreiras mencionados.

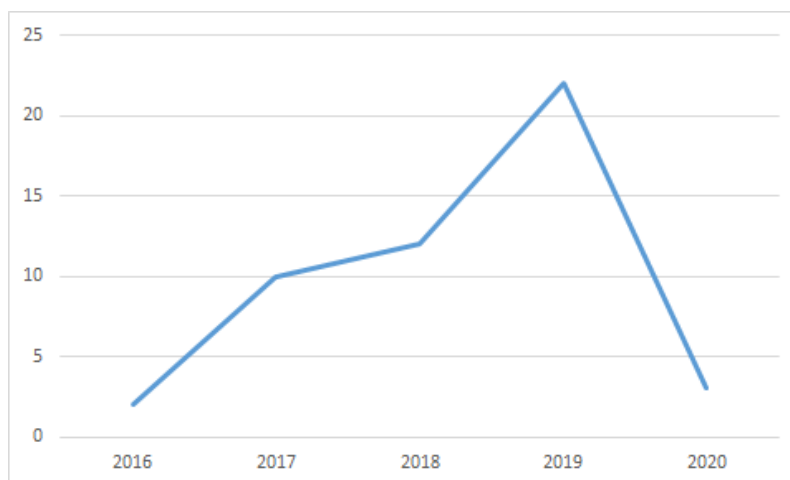
#### **4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A pesquisa realizada na SCOPUS com os termos “biogás” e “circular economy” obteve 158 documentos. Estes documentos foram filtrados para 97 artigos, considerando os filtros: artigos, língua inglesa, publicados em *Journals* e em áreas relevantes. Por fim, uma análise dos resumos resultou em apenas 49 artigos pertinentes.

A Figura 2 apresenta a quantidades de artigos publicados por ano após a aplicação dos filtros mencionados. Pode-se observar que em 2016 houve apenas 2 artigos, enquanto que em 2017 esse número aumentou 500%. Em 2018 também houve um aumento de 550% em relação a data inicial. Entre 2018 e 2019 o número de publicações dobrou. Isto reafirma a hipótese inicial de que o tema é atual, substancial e de relevância para futuros trabalhos, o qual vem despertando significativo interesse da comunidade acadêmica. A queda no ano de 2020 se deve a data de realização do levantamento dos dados.

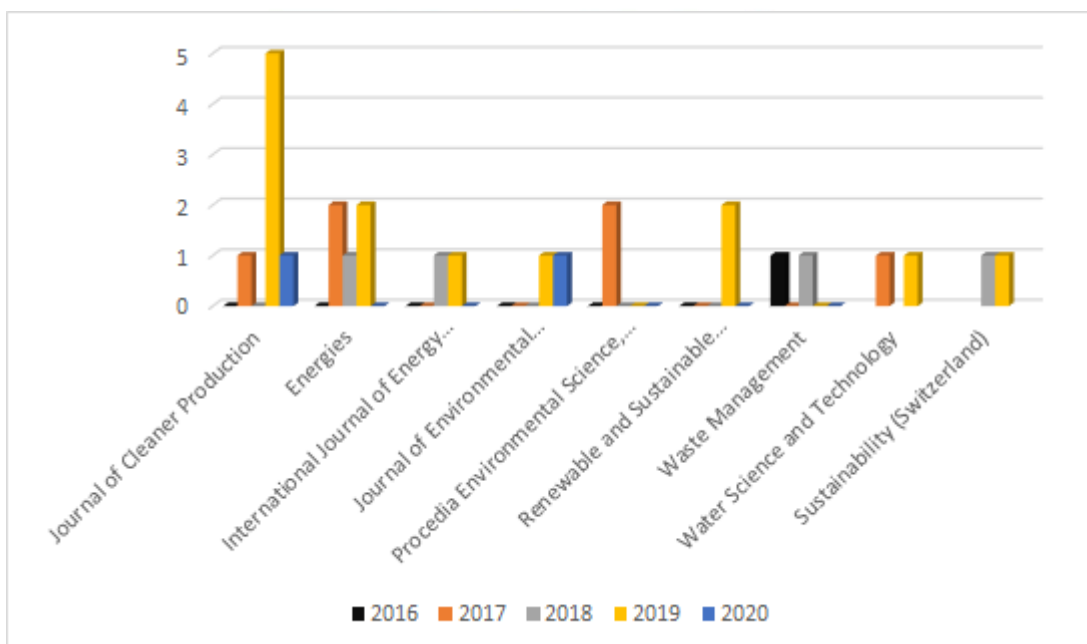


Figura 2: Quantidade de artigos publicados por ano.



Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 3 apresenta a quantidade de artigos publicados separadamente por cada *Journal*, em que o *Journal* de maior destaque na área é o *Journal of Cleaner Production*, seguido pelo *Energies*.

Figura 3: Quantidade de artigos publicados por *Journal*.

Fonte: elaborado pelos autores.

O *Journal of Cleaner Production* aparece com 7 artigos publicados, enquanto a revista *Energies* publicou 5 artigos. As revistas *International Journal of Energy Production and Management*, *Journal of Environmental Management*, *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Waste Management*, *Water Science and*

Technology e Sustainability (Switzerland) apresentaram 2 artigos durante o período considerado.

A Tabela 1 apresenta os principais autores da área, h-index de cada autor, a instituição e o país no qual atuam.

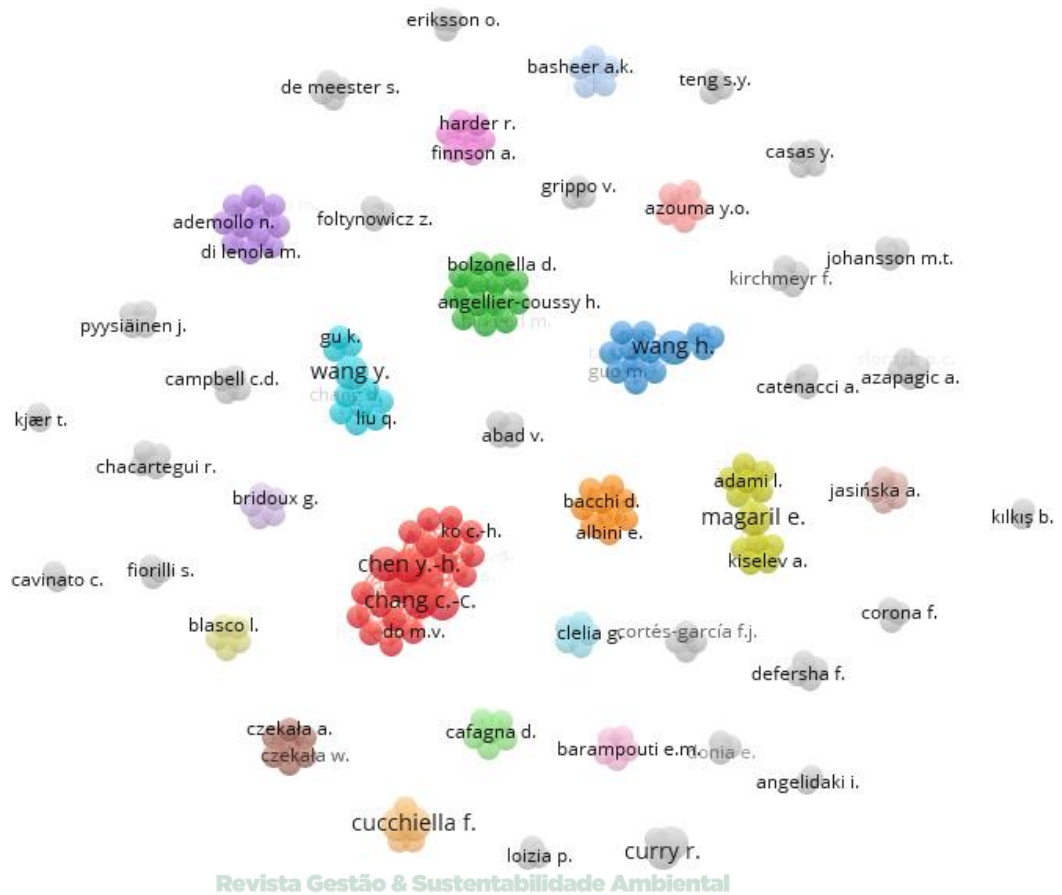
Tabela 1: Artigos publicados por autor, h-index, instituição e país.

<b>Autor</b>	<b>Nº de Publicações</b>	<b>h-index</b>	<b>Instituição</b>	<b>País</b>
Chia Chi Chang	2	13	National Taiwan University	China
Ching-Yuan Chang	2	3	Tzu Chi University	China
Yen Hau Chen	2	4	National Taiwan University	China
Yi Hung Chen	2	19	Asia University Taiwan	China
Francisco Joaquín Cortés-García	2	6	Universidad Autónoma de Chile	Chile
Federica Cucchiella	2	26	Università degli Studi dell'Aquila	Itália
Robin Curry	2	6	Centre for Advanced Sustainable Energy	Reino Unido
Idiano D'Adamo	2	23	Università degli Studi dell'Aquila	Itália
Tyge Kjaer	2	6	Roskilde University	Dinamarca
Juan Carlos Leyva-Díaz	2	14	Universidad de Oviedo	Espanha

Fonte: elaborado pelos autores.

Pode-se observar na Tabela 1 que coincidentemente todos os autores apresentados possuem dois artigos, referentes aos temas, publicados no período analisado. Em complemento a Tabela 1, com a utilização do software VOSviewer, elaborou-se a Figura 4, sendo ela um gráfico de rede entre os principais autores e suas co-autorias. Pode-se observar uma dispersão grande entre os autores, com poucas intersecções entre eles. A maioria dos autores são chineses, apresentando correlações entre eles, seguidos de autores italianos e espanhóis.

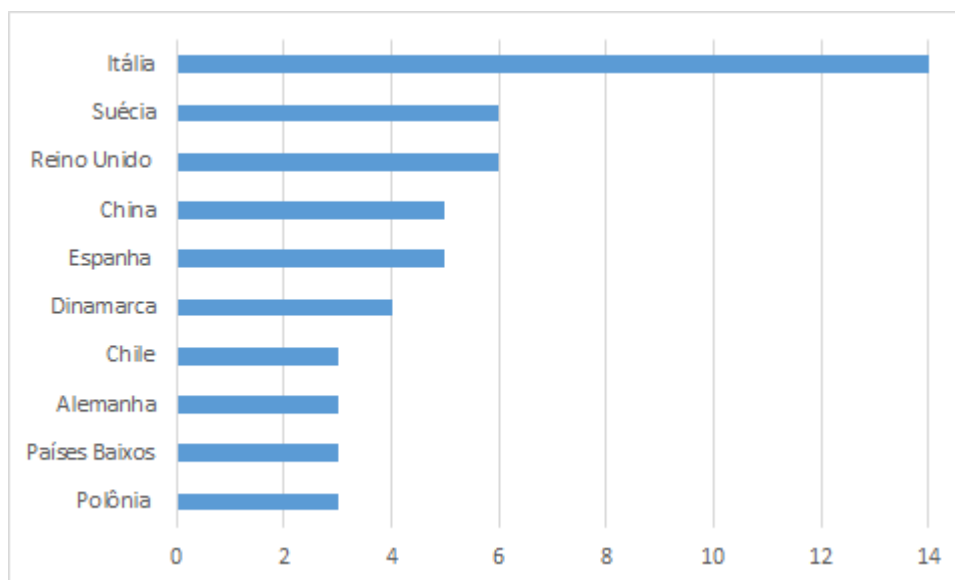
Figura 4: Gráfico de rede de co-autoria.



Fonte: elaborado pelos autores.

Ao analisarmos a Figura 5, se observa que ao desconsiderar os autores e levar em consideração apenas os países de publicação, temos uma perspectiva a divergente da Figura 4. Se pode observar que a Itália se encontra em primeiro lugar (com 14 artigos) e a China em quarto lugar (com 5 artigos).

Figura 5: Artigos publicados por países.



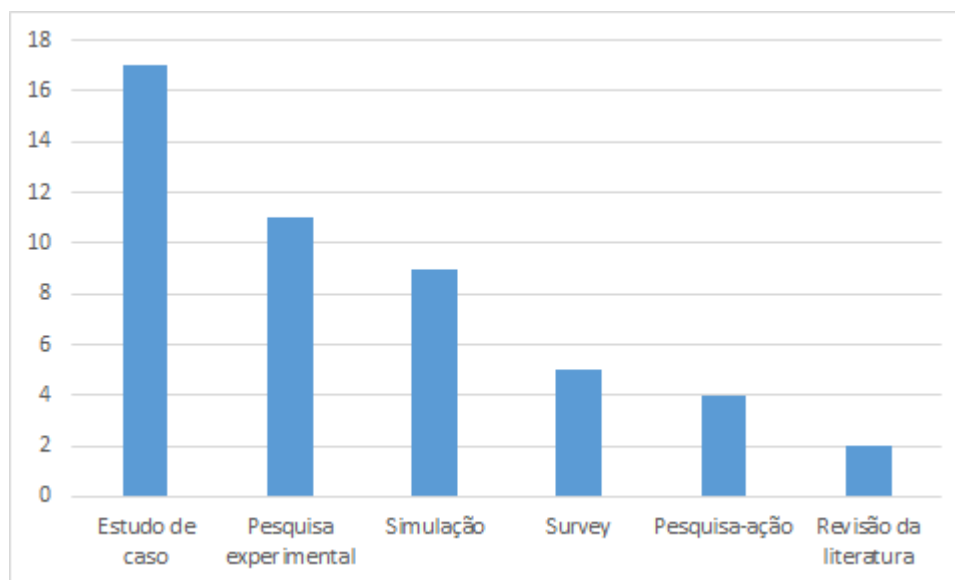
Fonte: elaborado pelos autores.

Magrí *et al.* (2017) realizaram uma pesquisa bibliométrica sobre as descobertas relacionadas aos nutrientes (fósforo e nitrogênio) oriundos do biogás entre 1995 e 2014. Os autores mostram que a maioria das publicações e patentes provém dos Estados Unidos, seguidos por China, Japão e Espanha. Isso ocorre, pois, a Itália apresentou a maior proporção de publicações nos últimos 5 anos em relação às duas últimas décadas (76,9%), seguida por China (74,6%) e Japão (60,3%), o que justifica o resultado da Figura 5. Além disso, os autores destacam que nos últimos 5 anos as publicações e patentes aumentaram em 45%, justificando o intervalo de tempo escolhido entre 2016-2020.

A maioria dos trabalhos analisados empregou uma abordagem quantitativa (73%), contra 14,5% qualitativa e 12,5% para abordagem mista. A maioria dos pesquisadores aplicou abordagem quantitativa, pois é comum demonstrarem o retorno financeiro incluindo o custo de aquisição dos equipamentos, o tempo de retorno do investimento, a eficiência energética, e etc. Em Donia, Mineo e Sgroi (2018), por exemplo, a viabilidade econômica da implantação de uma usina de biogás é analisada na Sicília a partir de restos da produção de vinho. Em Dahlin *et al.* (2016) os autores medem a concentração de cádmio no trigo após o uso de biofertilizante.

Os artigos também foram classificados quanto aos métodos aplicados. A Figura 6 apresenta os tipos de métodos de pesquisas utilizados pelos autores.

Figura 6: Tipos de métodos de pesquisa.

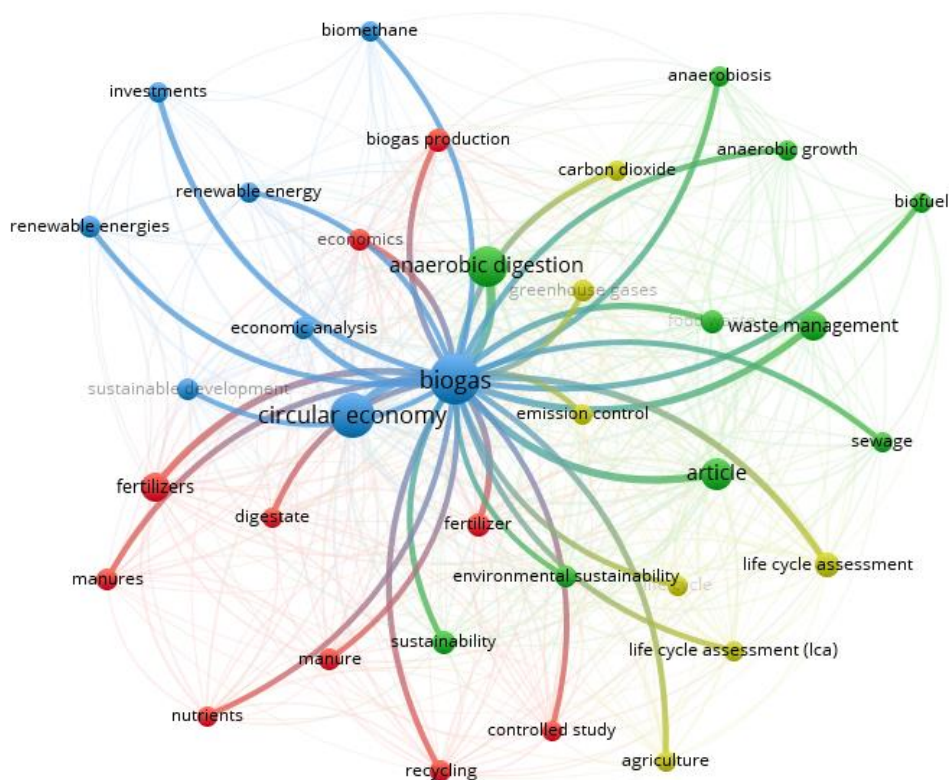


Fonte: elaborado pelos autores.

O estudo de caso foi aplicado em 48,5% das abordagens quantitativas, seguido por 31,4% de pesquisa experimental e 25,7% da simulação. A revisão de literatura foi aplicada apenas em 4% das situações totais. Em Magrí *et al.* (2017) os autores investigaram o crescimento do número de publicações e patentes, relacionando fósforo, nitrogênio e amônia com biogás. A revisão bibliográfica foi aplicada em Barampouti *et al.* (2019) para analisar os biocombustíveis gerados a partir de restos de comida municipais.

A Figura 7 apresenta um gráfico de rede sobre a coocorrência das palavras-chave utilizadas pelos autores. Pode-se observar no centro da rede, como principais palavras e interligadas: *anaerobic digestion*, *biogas* e *circular economy*. Essas são as palavras que mais aparecem nos artigos analisados, as demais palavras possuem interligações, mas com menor ênfase. As palavras periféricas são as menos citadas. A rede de coocorrência é apresentada partindo do termo “biogas”.

Figura 7: Rede de coocorrência de palavras-chave.



Fonte: elaborado pelos autores.

O biogás está fortemente interligado com fertilizantes, pois a venda do biofertilizante resultante do processo de biodigestão, aumenta a rentabilidade dos produtores de biogás (Czekala *et al.*, 2020). Em relação ao uso do termo biofertilizante, observou-se que embora diversos autores refiram-se ao resíduo do processo de biodigestão como biofertilizante. Stürmer *et al.* (2020) criticaram essa nomenclatura caso a composição de carbono e o conteúdo de macronutrientes não atinjam as quantidades mínimas esperadas. A produção do biogás tem o potencial de mitigar as mudanças climáticas e a eutrofização (WINQUIST *et al.*, 2019), o que explica a correlação com o termo controle de emissão e dióxido de carbono. Exemplificando um modelo de energia renovável, Picardo *et al.* (2019) apresentaram um modelo de produção de água quente para abastecimento municipal, utilizando as águas residuais para a produção do biogás.

Outro cluster de forte ligação é o termo “biogás” com o termo “anaerobic digestion”, uma vez que o biogás é resultado de um processo que se inicia pela digestão anaeróbica. Hadin, HILLMAN e ERIKSSON (2017) exibiram o custo para os produtores realizarem a transição da compostagem local para a digestão

anaeróbica, complementando com suas vantagens e desvantagens. Kougias e Angelidaki (2018), realizaram uma revisão do estado da arte para poder apresentar futuras perspectivas da digestão anaeróbica para produção de biogás.

Segundo Abad *et al.* (2019), a co-digestão anaeróbica dos resíduos é uma forma de promover a EC, pois há uma valorização dos resíduos complementares, ampliando o seu reuso. Em geral, todos os artigos analisados correlacionam o “biogás” com a “circular economy”, por exemplo (CZEKALA *et al.*, 2020, XUE *et al.*, 2019, KISELEV *et al.*, 2019, LOIZIA, NEOFYTOU e ZORPAS, 2019, RAUSEO *et al.*, 2019, PAUL *et al.*, 2018, YAZAN *et al.*, 2018, MOLINA-MORENO *et al.*, 2017, LYBAEK e KJAER, 2017), o que justifica a forte ligação de coexistência entre os dois termos.

Os facilitadores dos artigos analisados são apresentados na Tabela 2. O artigo de Yang *et al.* (2017) foi removido das análises a seguir devido a impossibilidade de acesso completo ao documento. Sendo assim, ele permanece incluído nas classificações anteriores.

Tabela 2: Principais facilitadores.

<b>Facilitadores (Economia Circular e Biodigestores)</b>	<b>Referências</b>
Sustentabilidade	Czekala <i>et al.</i> (2020), Kiselev <i>et al.</i> (2019), Slorach <i>et al.</i> (2019), Ferella <i>et al.</i> (2019), Donia, Mineo e Sgroi (2018)
Aumento do poder econômico	Czekala <i>et al.</i> (2020), Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona, (2019), Francesco <i>et al.</i> (2017), Ferella <i>et al.</i> (2019), Donia <i>et al.</i> (2018), Xu <i>et al.</i> (2018), Paul <i>et al.</i> (2018), Ferella <i>et al.</i> (2019), Grippo, Romano e Vastola (2019), Xue <i>et al.</i> (2019)
Uso de biofertilizantes	Czekala <i>et al.</i> (2020), Stoknes <i>et al.</i> (2016), Lybæk e Kjær (2017), Svanström <i>et al.</i> (2017), Hadin, Hillman e Eriksson (2017), Paul <i>et al.</i> (2018), Chang <i>et al.</i> (2018), Azouma <i>et al.</i> (2019), Dahlin <i>et al.</i> (2016), Molina-Moreno (2017)
Redução dos GEE	Xue <i>et al.</i> (2019), Picardo <i>et al.</i> (2019), Francesco <i>et al.</i> (2017), Ferella <i>et al.</i> (2019), Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018), Paul <i>et al.</i> (2018), Cucchiella, D’Adamo e Gastaldi (2019), Cecchi e Cavinato (2019). Rada <i>et al.</i> (2019), Chang <i>et al.</i> (2019), Ferella <i>et al.</i> (2019), Grippo, Romano e Vastola (2019), Winqvist <i>et al.</i> (2019)

Leis e subsídios governamentais	Dahlin <i>et al.</i> (2016), Francesco <i>et al.</i> (2017), Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017), Kılıç e Kılıç (2017), Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018), Xu <i>et al.</i> (2018), Ferella <i>et al.</i> (2019), Barampouti <i>et al.</i> (2019)
Reúso dos resíduos	Xue <i>et al.</i> (2019), Winqvist <i>et al.</i> (2019), Francesco <i>et al.</i> (2017), Abad <i>et al.</i> (2019), Stoknes <i>et al.</i> (2016), Kiselev <i>et al.</i> (2019), Lybæk e Kjær (2017), Loizia, Neofytou e Zorpas (2019), Svanström <i>et al.</i> (2017), Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017), Pérez-Camacho <i>et al.</i> (2018), Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019), Chang <i>et al.</i> (2018), Grippo, Romano e Vastola (2019), Kougiass e Angelidaki (2018)
Matéria-prima em abundância	Pecorini <i>et al.</i> (2017), Chang <i>et al.</i> (2018), Tampio <i>et al.</i> (2019), Xu <i>et al.</i> (2018), Paul <i>et al.</i> (2018), Osman <i>et al.</i> (2019), Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017), Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019), Papurello, Santarelli e Fiorilli (2018), Grippo, Romano e Vastola (2019)
Uso de codigestão	Pecorini <i>et al.</i> (2017), Abad <i>et al.</i> (2019), Lybæk e Kjær (2017), Papurello, Santarelli e Fiorilli (2018), Cecchi e Cavinato (2019), Osman <i>et al.</i> (2019), Stoknes <i>et al.</i> (2016), Muradin, Joachimiak-Lechman e Foltynowicz (2018), Lybæk e Kjær (2017)
Energia renovável	Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019), Winqvist <i>et al.</i> (2019), Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona (2019), Picardo <i>et al.</i> (2019), Francesco <i>et al.</i> (2017), Paul <i>et al.</i> (2018), Kougiass e Angelidaki (2018), Azouma <i>et al.</i> (2019), Barampouti <i>et al.</i> (2019)

Fonte: elaborado pelos autores.

Muitos trabalhos apontam o aumento do poder econômico como uma vantagem no uso de biodigestores, o qual pode ser obtido por diversas maneiras, seja pelo comércio de carbono (XUE *et al.*, 2019), economia de combustível fóssil (AZOUMA *et al.*, 2019), aproveitamento de água e energia (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017), venda de biofertilizante, entre outros. No estudo de caso realizado por Czekala *et al.* (2020) é apontado um aumento considerável de lucro para as plantas de biogás, as quais vendem o biofertilizante para as fazendas de áreas adjacentes à usina.

A análise de viabilidade realizada por Donia, Mineo e Sgroi (2018) apresenta dados claros que a produção de energia através do biogás proporciona retornos financeiros satisfatórios. A transformação do desperdício em recurso energético torna-se autossustentável, e a venda do excedente aumenta o poder econômico da planta. A produção de energia renovável pela queima do biogás é uma das principais vantagens apontadas pelos autores. Segundo Cucchiella, D'Adamo e



Gastaldi (2019) os resíduos animais são recursos para a geração de energia renovável, reduzindo a dependência em energias de combustíveis fósseis, reduzindo a emissão dos GEE e aumentando seu desempenho ambiental. Leis e subsídios governamentais é outro facilitador apontado pelos autores. Para Barampouti *et al.* (2019), a implantação de leis que obriguem a utilização de biocombustíveis e a redução de impostos sobre os mesmos, favorecem a implantação das usinas de biogás. Embora alguns autores ainda apontem a falta de subsídio como uma barreira, outros já visualizam a existência de subsídios que favorecem a utilização de biodigestores (FERELLA *et al.*, 2019, KILKIŞ e KILKIŞ, 2017 e WINQUIST *et al.*, 2019).

A dificuldade ao se relacionar biodigestor e EC é apresentada na maioria dos artigos seja por questões financeiras, seja por desconhecimento da população ou até mesmo falta de conscientização. A Tabela 3 apresenta as principais barreiras identificadas para EC e biodigestor. A seguir apresenta-se também possíveis soluções para alguns destes empecilhos.

A necessidade de pré-tratamento pode ser algo intrínseco ao processo de digestão anaeróbica. Em Osman *et al.* (2019), as algas são coletadas nas costas marinhas para produção de biogás e carregam pedras, areias e outras substâncias indesejáveis. Abad *et al.* (2019) afirmam que em um cenário de codigestão, o custo de tratamento de materiais rejeitados é mais importante que a eficiência energética obtida. No entanto, em alguns casos, isto poderia ser evitado. Em Paul *et al.* (2018) os autores afirmam que a população coloca resíduos impróprios no lixo orgânico, o que dificulta a obtenção do resíduo desejado. A conscientização da população deveria ser a solução destes problemas, mas, enquanto isto não ocorre, a aceitação de produtos de base biológica é reduzida (BARAMPOUTI *et al.*, 2019).

A alta disponibilidade de resíduos, embora seja naturalmente um facilitador, também pode ser vista como uma barreira. Em Rada *et al.* (2019) os autores apontam que caso o volume orgânico seja alto são necessárias estações de tratamento de águas adicionais, gerando novos custos para o empreendimento. Além disso, muitos resíduos também podem aumentar o mau odor, como em Xu *et al.* (2018) e Rada *et al.* (2019). A contaminação pelo uso do biogás pode ocorrer por inúmeros motivos.

Tabela 3: Principais barreiras.

<b>Barreiras (Economia Circular e Biodigestores)</b>	<b>Referências</b>
Custo de transporte	Czekala <i>et al.</i> (2020), Vondra, Tous e Teng (2019), Abad <i>et al.</i> (2019), Lybæk e Kjær (2017), Ferella <i>et al.</i> (2019), Lindkvist, Johansson e Rosenqvist (2017), Hadin, Hillman e Eriksson (2017), Yazan <i>et al.</i> (2018), Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018), Muradin, Joachimiak-Lechman e Foltynowicz (2018), Picardo <i>et al.</i> (2019)
Desconhecimento do potencial energético do setor	Czekala <i>et al.</i> (2020), Winqvist <i>et al.</i> (2019), Stürmer <i>et al.</i> (2020), Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019)
Contaminação do solo, ar e eutrofização marinha, etc	Dahlin <i>et al.</i> (2016), Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona (2019), Francesco <i>et al.</i> (2017), Slorach <i>et al.</i> (2019), Svanström <i>et al.</i> (2017), Hadin, Hillman e Eriksson (2017), Chang <i>et al.</i> (2018), Rauseo <i>et al.</i> (2019), Xue <i>et al.</i> (2019), Papurello, Santarellie e Fiorilli (2018)
Etapas de pré tratamento	Dahlin <i>et al.</i> (2016), Pecorini <i>et al.</i> (2016), Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona (2019), Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017), Xu <i>et al.</i> (2018), Tampio <i>et al.</i> (2019), Osman <i>et al.</i> (2019)
Custo/dificuldade de armazenagem	Vondra, Tous e Teng <i>et al.</i> (2019), Abad <i>et al.</i> (2019), Gontard <i>et al.</i> (2018)
Inviabilidade de pequenas plantas / pequenos produtores	Sfez <i>et al.</i> (2019), Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019), Yazan <i>et al.</i> (2018), Donia, Mineo e Sgroi (2018)
Falta de apoio financeiro	Winqvist <i>et al.</i> (2019), Ferella <i>et al.</i> (2019), Donia, Mineo e Sgroi (2018)
Insuficiência energética / baixo teor de rendimento do biogás	Stoknes <i>et al.</i> (2016), Pecorini <i>et al.</i> (2016), Lybæk e Kjær (2017), Chang <i>et al.</i> (2018), Picardo <i>et al.</i> (2019)
Custo/falta de infraestrutura	Picardo <i>et al.</i> (2019), Slorach <i>et al.</i> (2019), Cecchi e Cavinato (2019), Kiselev <i>et al.</i> (2019)
Coleta seletiva adequada	Loizia, Neofytou e Zorpas (2019), Cecchi e Cavinato (2019), Barampouti <i>et al.</i> (2019)
Falta de padronização da literatura/termos	Magrí <i>et al.</i> (2017), Tao <i>et al.</i> (2020), Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018)
Alto custo de investimento	Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018), Hadin, Hillman e Eriksson (2017), Gontard <i>et al.</i> (2018), Kougias e Angelidaki (2018), Tampio <i>et al.</i> (2019), Ferella <i>et al.</i> (2019)
Conscientização da população	Paul <i>et al.</i> (2018), Azouma <i>et al.</i> (2019), Barampouti <i>et al.</i> (2019)
Mau odor	Xu <i>et al.</i> (2018), Rada <i>et al.</i> (2019)

Fonte: elaborado pelos autores

O biofertilizante resultante pode ser fonte de bactérias conforme em Rauseo *et al.* (2019), pode ocorrer a *emissão* de gás carbônico na construção do biodigestor como em Xue *et al.* (2019) ou ainda vestígios de substâncias indesejáveis no biogás, como enxofre e composto carbonílico (PAPURELLO, SANTARELLI e FIORILLI, 2018). Slorach *et al.* (2019) afirmam que o biogás apresenta maior potencial de aquecimento global se comparado com outras fontes renováveis, mas se comparado com a rede atual do Reino Unido ele apresenta um potencial de aquecimento global 43% menor.

A barreira insuficiência energética pode ser ultrapassada pelo uso de codigestão e catalisadores para aumentar a eficiência da geração de metano, e pelo uso de outras fontes renováveis para casas verdes. A integração entre fontes de energia e o biogás pode ser a solução para a insuficiência energética, conforme descrito em Picardo *et al.* (2019). Pecorini *et al.* (2017) afirmam que o lodo possui baixo teor de rendimento, enquanto Gontard *et al.* (2018) mencionam que materiais orgânicos ricos em lignina, apesar de abundantes, possuem baixa conversão na digestão anaeróbica para produção de biogás.

O custo de transporte é citado na maioria dos artigos como uma das principais dificuldades. Abad *et al.* (2019) realizam um estudo da viabilidade da mudança em uma planta de digestão anaeróbica para codigestão. Eles concluíram que 29% do custo total do tratamento dos resíduos provém do transporte. Em Lybæk e Kjær (2017) as algas que seriam descartadas devido ao mau cheiro são aproveitadas para produção de biogás, o que causa redução nos custos de transporte.

Uma possibilidade de diminuição dos custos de transporte é a aplicação de dutos para locomoção do resíduo da fazenda para o biodigestor. Muradin, Joachimiak-Lechman e Foltynowicz (2018) analisam a eficiência da produção de biogás através dos custos de transporte, calor gerado e tipo do input. Eles concluem que a localização da planta de biogás deve ser próxima a uma usina de processamento agroalimentar, sendo o resíduo transportado através de dutos de transmissão.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi analisar a integração entre a EC e os biodigestores nos últimos cinco anos. Para isso, foi conduzida a identificação dos principais artigos e autores que relacionam os dois temas, além de enunciar as barreiras e os facilitadores apresentados por eles. Uma pesquisa bibliométrica foi executada seguida pela análise detalhada de todos os artigos apresentados.

Analisando as barreiras e facilitadores, foi possível observar que os principais facilitadores mencionados são: sustentabilidade, leis e subsídios governamentais, reúso dos resíduos, redução dos gases do efeito estufa, aumento do poder econômico, uso de biofertilizantes, matéria-prima abundante, uso de codigestão e energia renovável. A Europa definiu o consumo de energia renovável para 2030 em 32 %, que será possível apenas com a presença dos subsídios governamentais. O aumento do poder econômico é citado por diversos autores, através da autossuficiência energética gerada pelo uso do biogás, sendo possível até a venda do excedente, comercialização de biofertilizante e o próprio comércio de carbono. A utilização dos dejetos animais para abastecimento dos biodigestores, contribui de maneira significativa para a redução dos gases de efeito estufa. Mesmo alguns autores considerando que há uma liberação de carbono para a construção dos biodigestores e na própria queima do biogás, ainda assim há uma redução na emissão dos gases na atmosfera.

As principais barreiras são: custo de transporte, desconhecimento do potencial energético do setor, contaminação do solo, ar e eutrofização marinha, etapas pré-tratamento, custo/dificuldade de armazenagem, inviabilidade de pequenas plantas e pequenos produtores, falta de apoio financeiro, insuficiência energética e baixo teor de rendimento do biogás, custo/falta de infra-estrutura, coleta seletiva adequada, falta de padronização da literatura/termos, alto custo de investimento, conscientização da população e mau odor. A conscientização da população reduziria as etapas de pré tratamento, o uso de produtos a partir de fontes biológicas, coleta seletiva adequada e poderia contribuir até mesmo para que os pequenos produtores tivessem seu lugar no mercado. Sendo assim, é de fundamental importância a integração entre toda a cadeia de suprimentos, conforme descrito em Yazan *et al.* (2018). Essa integração reduziria também problemas com demanda excedente, conforme em Chang *et al.* (2019) em que os produtores precisam descartar o biogás excedente por ausência de demanda e

impossibilidade de armazenamento, o que gera uma perda de 74,2% do volume produzido.

Além disso, os resultados também demonstraram que o termo mais utilizado na academia é o biogás ao se referir a trabalhos sobre biodigestores e que a Itália é o país com maior número de artigos publicados sobre o tema. No entanto, a pesquisa bibliométrica revelou que a principal nacionalidade dos autores envolvidos com o tema é chinesa. Os governantes chineses compreenderam que não é mais viável um desenvolvimento contínuo linear, o qual se inicia com a retirada dos recursos naturais até a geração de resíduos que serão descartados na natureza, pois trata-se de um processo economicamente e ecologicamente ineficiente (MATHEWS e TAN, 2011).

Através da análise realizada se pode observar além da intersecção entre o biogás e a EC outras intersecções importantes, como: digestão anaeróbica, fertilizantes, energia renovável e desenvolvimento sustentável. O interesse da academia pelos dois temas é condizente com a preocupação ambiental de escassez dos recursos naturais e destinação inadequada dos resíduos, efeito este agravado com o consumo acentuado de bens de consumo. Dessa maneira, o objetivo proposto por esse trabalho foi alcançado de maneira satisfatória através da identificação dos principais trabalhos e autores que estejam realizando estudos com a sinergia da EC e o uso de Biodigestores. Foi possível observar também que o tema analisado está em plena ascensão, justificando a realização do trabalho. Para trabalhos futuros recomenda-se analisar uma maior quantidade de trabalhos e verificar a evolução do conhecimento integrando as duas áreas.

Como limitação, por se tratar de um trabalho teórico não foi possível avaliar na prática as intersecções dessas duas vertentes, seus pontos fortes e pontos ainda a serem desenvolvidos. Vale destacar também que a escolha da Scopus como base de pesquisa pode limitar os trabalhos analisados. O Google Scholar apresenta uma base de busca maior, o que poderia influenciar positivamente nas análises. A filtragem executada, embora necessária para a execução do trabalho, também pode omitir pesquisas que relacionem as duas áreas.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), através do financiamento 001 (Portaria 206/2018) e do projeto CAPES-PrInt-UNESP (Edital 2/2019).

## REFERÊNCIAS

ABAD, V.; AVILA, R.; VICENT, T; FONT, X. Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion treatment plant: Biogas production impact and economic factors. **Bioresource technology**, v. 283, p. 10-17, 2019.

AZOUMA, Y.; DRIGALSKI, L.; JEGLA, Z.; REPPICH, M.; TUREK, V., WEIB, M. Indirect Convective Solar Drying Process of Pineapples as Part of Circular Economy Strategy. **Energies**, v. 12, n. 15, p. 2841, 2019.

BARAMPOUTI, E. M.; MAI, S.; MALAMIS, D.; MOUSTAKAS, K.; LOIZIDOU, M. Liquid biofuels from the organic fraction of municipal solid waste: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 110, p. 298-314, 2019.

BLOMSMA, F.; BRENNAN, G. The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 603-614, 2017.

CECCHI, F.; CAVINATO, C. Smart Approaches to Food Waste Final Disposal. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 16, p. 2860, 2019.

CHANG, C.; CHEN, Y.; LIN, Y.; HUNG, Z.; YUAN, M.; CHANG, C.; LI, Y; SHIE, J.; CHEN, Y; WANG, Y.; KO, C.; LIN, F.; HO, C.; LIU, B.; LIU, K.; WANG, S. A Pilot Plant Study on the Autoclaving of Food Wastes for Resource Recovery and Reutilization. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3566, 2018.

CHANG, C.; DO, M.; HSU, W.; LIU, B.; CHANG, C.; CHEN, Y.; YUAN, M.; LIN, C.; YU, C.; CHEN, Y.; SHIE, J.; WU, W.; LEE, C.; TUYEN, T. A Case Study on the Electricity Generation Using a Micro Gas Turbine Fuelled by Biogas from a Sewage Treatment Plant. **Energies**, v. 12, n. 12, p. 2424, 2019.

CORBELLINI, V.; CATENACCI, A.; MALPEI, F. Hydrogenotrophic biogas upgrading integrated into WWTPs: enrichment strategy. **Water Science and Technology**, v. 79, n. 4, p. 759-770, 2019.

CUCCHIELLA, F; D'ADAMO, I; GASTALDI, M. An economic analysis of biogas-biomethane chain from animal residues in Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 888-897, 2019.

CZEKAŁA, W.; LEWICKI, A.; POCHWATKA, P.; CZEKAŁA, A.; WOJCIESZAK, D.; JÓZWIAKOWSKI, K.; WALISZEWSKA, H. Digestate management in polish farms as an element of the nutrient cycle. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, p. 118454, 2020.

DAHLIN, A.; ERIKSSON, J.; CAMPBELL, C.; ÖBORN, I. Soil amendment affects Cd uptake by wheat—are we underestimating the risks from chloride inputs? **Science of the Total Environment**, v. 554, p. 349-357, 2016.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. Proceedings of the 4th **Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

DONIA, E.; MINEO, A.; SGROI, F. A methodological approach for assessing business investments in renewable resources from a circular economy perspective. **Land Use Policy**, v. 76, p. 823-827, 2018.

FALAGAS, M.; PITSOUNI, E.; MALIETZIS, G.; PAPPAS, G. Comparison of PubMed, Scopus, web of science, and Google scholar: strengths and weaknesses. **The FASEB journal**, v. 22, n. 2, p. 338-342, 2008.

FERELLA, F.; CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I.; GALLUCCI, K. A techno-economic assessment of biogas upgrading in a developed market. **Journal of cleaner production**, v. 210, p. 945-957, 2019.

FLESCHE, T.; DESJARDINS, R.; WORTH, D. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 9, p. 3927-3935, 2011.

FRANCESCO, M.; CLELIA, G.; MARTINA, Z.; CAETANO, G.; GIACOMO, D. F. BIOGAS PRODUCTION BY MEANS OF LIVESTOCK COMPOST. **Procedia Environmental Science, Engineering and Management**. v. 2, p. 127-133, 2017.  
 GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N.; HULTINK, E. The Circular Economy—A new sustainability paradigm? **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

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.

GONTARD, N.; SONESSON, U.; BIRKVED, M.; MAJONE, M.; BOLZONELLA, D.; CELLI, A.; ANGELLIER-COUSSY, H.; JANG, G.; VERNIQUET, A.; BROEZE, J.; SCHAER, B.; BATISTA, A.; SEBOK, A. A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 48, n. 6, p. 614-654, 2018

GONZÁLEZ, P.; RIVEROS, S.; CONCHA, S.; CASAS, Y. Waste-to-energy options within a circular economy strategy in a developing country: the case of the Bio Bio region in Chile. **International Journal of Energy Production and Management**, v. 3, n. 2, p. 144-156, 2018.

GRIPPO, V.; ROMANO, S.; VASTOLA, A. Multi-criteria evaluation of bran use to promote circularity in the cereal production chain. **Natural Resources Research**, v. 28, n. 1, p. 125-137, 2019.

HADIN, Å.; HILLMAN, K.; ERIKSSON, O. Prospects for increased energy recovery from horse manure—A case study of management practices, environmental impact and costs. **Energies**, v. 10, n. 12, p. 1935, 2017.

HIDALGO, D.; MARTÍN-MARROQUÍN, J.; CORONA, F. A multi-waste management concept as a basis towards a circular economy model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 481-489, 2019.

KILKIŞ, Ş.; KILKIŞ, B. Integrated circular economy and education model to address aspects of an energy-water-food nexus in a dairy facility and local contexts. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1084-1098, 2017.

KISELEV, A.; MAGARIL, E.; MAGARIL, R.; PANEPINTO, D.; RAVINA, M.; ZANETTI, M. Towards circular economy: Evaluation of sewage sludge biogas solutions. **Resources**, v. 8, n. 2, p. 91, 2019.

KOUGIAS, P.; ANGELIDAKI, I. Biogas and its opportunities—A review. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 12, n. 3, p. 14, 2018.

LINDKVIST, E.; JOHANSSON, M.; ROSENQVIST, J. Methodology for analysing energy demand in biogas production plants—A comparative study of two biogas plants. **Energies**, v. 10, n. 11, p. 1822, 2017.

LOIZIA, P.; NEOFYTU, N.; ZORPAS, A. The concept of circular economy strategy in food waste management for the optimization of energy production through anaerobic digestion. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 15, p. 14766-14773, 2019.

LYBÆK, R.; KJÆR, T. Enhancing identified circular economic benefits related to the deployment of the Solrød biogas plant. **Engineering and Applied Science Research**, v. 44, n. 2, p. 97-105, 2017.

MACARTHUR, E. Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition. **Ellen MacArthur Foundation**: Cowes, UK, 2013.

MAGRÍ, A.; GIOVANNINI, F.; CONNAN, R.; BRIDOUX, G.; BÉLINE, F. Nutrient management from biogas digester effluents: a bibliometric-based analysis of publications and patents. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 8, p. 1739-1756, 2017.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. **Edusp**, 2002.



MATHEWS, J.; TAN, H. Progress toward a circular economy in China: The drivers (and inhibitors) of eco-industrial initiative. **Journal of industrial ecology**, v. 15, n. 3, p. 435-457, 2011.

MOLINA-MORENO, V. LEYVA-DÍAZ, J.; LLORENS-MONTES, F.; CORTÉS-GARCÍA, F. Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. **Water**, v. 9, n. 9, p. 653, 2017.

MURADIN, M.; JOACHIMIAK-LECHMAN, K.; FOLTYNOWICZ, Z. Evaluation of eco-efficiency of two alternative agricultural biogas plants. **Applied Sciences**, v. 8, n. 11, p. 2083, 2018.

NEVES, L.; CONVERTI, A.; PENNA, T. Biogas production: new trends for alternative energy sources in rural and urban zones. **Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology**, v. 32, n. 8, p. 1147-1153, 2009.

OKONKWO, U.; ONOKPITE, E.; ONOKWAI, A. Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, v. 30, n. 2, p. 123-129, 2018.

OSMAN, M.; SHAO, X.; ZHAO, D.; BASHEER, A.; JIN, H.; ZHANG, Y. Methane Production from alginate-extracted and non-extracted waste of *Laminaria japonica*: Anaerobic mono-and synergetic co-digestion effects on yield. **Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1269, 2019.

PAUL, S.; DUTTA, A.; DEFERSHA, F.; DUBEY, B. Municipal food waste to biomethane and biofertilizer: a circular economy concept. **Waste and biomass valorization**, v. 9, n. 4, p. 601-611, 2018.

PAPURELLO, D.; SANTARELLI, M.; FIORILLI, S. Physical activation of waste-derived materials for biogas cleaning. **Energies**, v. 11, n. 9, p. 2338, 2018.

PECORINI, I; FERRRA, G.; GALLOPI, G.; BALDI, F.; BACCHI, D.; ALBINI, E.; SUSINI, C.; SCAPPINI, A.; LOMBARDI, L. Optimization of hydrogen and methane production in two-phase anaerobic digestion. **Proced Environ Sci Eng Manag**, v. 4, p. 163-171, 2017.

PEREIRA, M.; CAMACHO, C.; FREITAS, M.; SILVA, N. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3786-3802, 2012.

PÉREZ-CAMACHO, M.; CURRY, R. Regional assessment of bioeconomy options using the anaerobic biorefinery concept. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management**. Thomas Telford Ltd, 2018. p. 104-113.

PÉREZ-CAMACHO, M.; CURRY, R.; CROMIE, T. Life cycle environmental impacts of substituting food wastes for traditional anaerobic digestion feedstocks. **Waste Management**, v. 73, p. 140-155, 2018.

PICARDO, A.; SOLTERO, V.; PERALTA, M.; CHACARTEGUI, R. District heating based on biogas from wastewater treatment plant. **Energy**, v. 180, p. 649-664, 2019.

RADA, E.; COSTA, L.; PRADELLA, C.; ADAMI, L.; SCHIAVON, M.; MAGARIL, E.; TORETTA, V. Unconventional small-scale biogas production with reduced local impact. **International Journal of Energy Production and Management**, v. 4, n. 3, p. 198-208, 2019.

RAUSEO, J.; CARACCILO, A.; ADEMOLLO, N.; CARDONI, M.; DI LENOLA, M.; GAZE, W.; STANTON, I.; GRENNI, P.; PESCATORE, T.; SPATARO, F.; PATROLECCO, L. Dissipation of the antibiotic sulfamethoxazole in a soil amended with anaerobically digested cattle manure. **Journal of hazardous materials**, v. 378, p. 120769, 2019.

RODRIGUES, R.; TAGA, V.; PASSOS, M. Research articles about open access indexed by Scopus: **A content analysis**. *Publications*, v. 4, n. 4, p. 31, 2016.

SFEZ, S.; MEESTER, S.; VLAEMINCK, E.; DEWULF, J. Improving the resource footprint evaluation of products recovered from wastewater: A discussion on appropriate allocation in the context of circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 148, p. 132-144, 2019.

SLORACH, P.; JESWANI, H.; FRANCA, R.; AZAPAGIC, A. Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste. **Journal of environmental management**, v. 236, p. 798-814, 2019.

STOKNES, K.; SCHOLWIN, F.; KRZESIŃSKI, W.; WOJCIECHOWSKA, E.; JASIŃSKA, A. Efficiency of a novel "Food to waste to food" system including anaerobic digestion of food waste and cultivation of vegetables on digestate in a bubble-insulated greenhouse. **Waste management**, v. 56, p. 466-476, 2016.

STÜRMER, B.; PFUNDTNER, E.; KIRCHMEYR, F.; USCHNIG, S. Legal requirements for digestate as fertilizer in Austria and the European Union compared to actual technical parameters. **Journal of environmental management**, v. 253, p. 109756, 2020.

SVANSTRÖM, M.; HEIMERSSON, S.; PETERS, G.; HARDER, R.; I'ONS D.; FINNISON, A.; OLSSON, J. Life cycle assessment of sludge management with phosphorus utilisation and improved hygienisation in Sweden. **Water Science and Technology**, v. 75, n. 9, p. 2013-2024, 2017.

TAMPIO, E.; BLASCO, L.; VAINIO, M.; KAHALA, M.; RASI, S. Volatile fatty acids (VFAs) and methane from food waste and cow slurry: Comparison of biogas and VFA fermentation processes. **GCB Bioenergy**, v. 11, n. 1, p. 72-84, 2019.

TAO, Y.; ERSAHIN, M.; GHASIMI, D.; OZGUN, H.; WANG, H.; ZHANG, X.; GUO, M.; YANG, Y.; STUCKEY, D.; LIER, J. Biogas productivity of anaerobic digestion process is governed by a core bacterial microbiota. **Chemical Engineering Journal**, v. 380, p. 122425, 2020.

VONDRA, M.; TOUŠ, M.; TENG, S. Digestate evaporation treatment in biogas plants: A techno-economic assessment by Monte Carlo, neural networks and decision trees. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117870, 2019.

WINQUIST, E.; RIKKONEN, P.; PYYSAINENC, J.; VARHOLS, V. Is biogas an energy or a sustainability product? Business opportunities in the Finnish biogas branch. **Journal of cleaner production**, v. 233, p. 1344-1354, 2019.

XU, X.; MA, Z.; CHEN, Y.; GU, X.; LIU, Q.; WANG, Y.; SUN, M.; CHANG, D. Circular economy pattern of livestock manure management in Longyou, China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 2, p. 1050-1062, 2018.

XUE, Y.; LUAN, W.; WANG, H.; YANG, Y. Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117968, 2019.

YANG, L.; XIAO, X.; GU, K.; WANG, Y. Optimization of Circular Economy of Large-scale Pig Farm Based on Material Flow Cost Accounting. **Boletín Técnico, ISSN: 0376-723X**, v. 55, n. 17, 2017.

YAZAN, D.; CAFAGNA, D.; FRACCASCIA, L.; MES, M. PONTRANDOLFO, P.; ZIJM, H. Economic sustainability of biogas production from animal manure: a regional circular economy model. **Management research review**, 2018.

ZHAO, G.; SHUANG, J.; LAN, J.; TING, Z.; FANG, M. Research and application of circular economy mode based on biogas energy as a significant technique. *Kezaisheng Nengyuan/Renewable Energy Resources*, v. 34, n. 10, p. 1574-1580, 2016.