



PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DOMICILIARES COM DEJETO DE AVES

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.XV-002>

Lara Furtado Barroso da Silva (*), Jeane de Almeida do Rosário, Juliana Ferreira Soares

* Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), larabarroso16@hotmail.com.

RESUMO

Os impactos ambientais negativos decorrentes da utilização de recursos não renováveis de energia, aliados ao aumento da demanda, tem gerado uma incessante busca por alternativas renováveis. Dentre os processos biológicos para produção de energia, a digestão anaeróbia destaca-se por resultar em dois produtos de valor agregado, o biogás, que apresenta em sua composição o metano, o qual pode ser amplamente utilizado devido seu alto potencial energético, e o digestato, que pode ser utilizado como biofertilizante. Neste contexto, o objetivo do estudo foi avaliar a produção de biogás a partir da codigestão de resíduo orgânico domiciliar (ROD) com dejetos de aves (DAV). O processo foi avaliado sob diferentes proporções de substrato:inóculo e diferentes temperaturas a partir do planejamento experimental fatorial. O teor de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) e o pH foram mensurados no início e final de cada ensaio. O volume de biogás foi quantificado a partir de um sistema de deslocamento de coluna d'água e os resultados expressos em termos de produção e rendimento. A maior produção de biogás foi 390 mL, com um rendimento de 38,39 mL/gST (41,94 mL/gSV), no ensaio com proporção 1:5 de substrato:inóculo à 35 °C. Neste ensaio, o percentual de remoção de ST e SV no meio foi de 54,06% e 56,73%, respectivamente. Com relação a análise estatística, não foi possível evidenciar influência significativa das variáveis estudadas na produção do biogás. Os valores de pH inicial e final foram baixos em todos os ensaios (entre 3,91 e 5,15), o que pode ter prejudicado o desempenho dos microrganismos. Portanto, estudos futuros serão importantes para avaliar a influência de diferentes condições de pH inicial no desempenho do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável, digestão anaeróbia, valorização de resíduos.

ABSTRACT

The negative environmental impacts resulting from the use of non-renewable energy resources, combined with the increase in demand, have generated an incessant search for renewable alternatives. Among biological processes for energy production, anaerobic digestion stands out for resulting in two value-added products, biogas, which has methane in its composition, which can be widely used due to its high energy potential, and digestate, which can be used as a biofertilizer. In this context, the objective of the study was to evaluate the production of biogas from the co-digestion of organic household waste (OHW) with poultry manure (PM). The process was evaluated under different substrate:inoculum proportions and different temperatures using the factorial experimental design. Total solids (TS) and volatile solids (VS) content and pH were measured at the beginning and end of each assay. The volume of biogas was quantified using a water column displacement system and the results expressed in terms of production and yield. The highest biogas production was 390 mL, with a yield of 38.39 mL/gTS (41.94 mL/gVS), in the assay with a 1:5 substrate:inoculum ratio at 35 °C. In this assay, the percentage of TS and VS removal in the medium was 54.06% and 56.73%, respectively. Regarding the statistical analysis, it was not possible to evidence a significant influence of the variables studied in the biogas production. The initial and final pH values were low in all assays (between 3.91 and 5.15), which may have harmed the performance of microorganisms. Therefore, future studies will be important to evaluate the influence of different initial pH conditions on the process.

KEY WORDS: Renewable energy, anaerobic digestion, waste valorization.



INTRODUÇÃO

A dependência de combustíveis fósseis para atender necessidades de energia é uma realidade no mundo todo. A necessidade em desenvolver fontes renováveis e ecológicas como alternativa ao uso dos combustíveis fósseis demonstra importância significativa para superar o esgotamento dos mesmos e para diminuir os efeitos negativos do consumo excessivo.

Dentre as fontes de energia renováveis tem-se o biogás que, apesar de sua baixa utilização, é uma alternativa promissora, pois faz uso de resíduos orgânicos que estão disponíveis em abundância e com baixo custo. Sua aplicabilidade é diversificada, podendo ser utilizado para produção de energia térmica, elétrica ou como combustível (RIOS; KALTSCHMITT, 2016). De acordo com o Balanço Energético Nacional 2021, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), 7,7% da matriz energética brasileira são de outras fontes renováveis, e desses apenas 1,4% correspondem ao biogás.

A produção do biogás ocorre por meio da decomposição de substratos orgânicos na ausência de oxigênio, processo que se denomina digestão anaeróbia (DA). A DA é composta por quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (BURAGOHAİN et al., 2021). O biogás é constituído, principalmente, por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), sendo que seus percentuais podem variar de acordo com o tipo de biomassa utilizada e com as condições operacionais da DA.

Toneladas de resíduos orgânicos domiciliares (ROD) são gerados anualmente, os quais não possuem uma efetiva forma de reciclagem e valorização. Os ROD e resíduos orgânicos de indústrias de processamento de alimentos são bastante promissores quando se refere a produção de biogás (RIOS; KALTSCHMITT, 2016). Esses materiais podem ser utilizados pela tecnologia da DA como uma alternativa aos combustíveis fósseis. A DA representa um processo comercialmente viável quando se trata em converter resíduos de frutas, vegetais e demais ROD em biogás (BOUALLAGUI et al., 2005).

Os dejetos de aves têm sido comumente utilizados como fertilizante orgânico devido ao seu alto índice nutricional. No entanto, essa utilização não é sustentável, visto que a aplicação desse material no solo pode gerar a longo prazo deterioração da qualidade do mesmo, além de degradar a qualidade das águas e do ar como resultado de poluentes químicos (amônia) e biológicos (patógenos), podendo levar a efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana (RAHMAN et al., 2017).

Devido à alta concentração orgânica presente nos dejetos de aves (DAV), uma alternativa atraente é sua utilização como matéria prima para a produção de biogás a partir da DA. No entanto, este resíduo dificilmente pode ser digerido e utilizado como fonte única devido presença de algumas substâncias que podem causar a inibição do processo (PARANHOS et al., 2020). A codigestão de dejetos com outro tipo substrato pode superar esses problemas (RAHMAN et al., 2017).

Os tipos de materiais utilizados na codigestão e suas concentrações influenciam no processo de digestão e geração do biogás. A produção do metano por codigestão apresenta diferentes resultados quando utilizadas diferentes proporções de substrato e inóculo (PARANHOS et al., 2020). Além disso, outro fator que implica no processo de DA e na otimização da produção é a temperatura em que o sistema opera (CALBRY-MUZYKA et al., 2022), uma vez que interfere diretamente no comportamento da comunidade microbiana.

Nesse contexto, o objetivo do estudo foi investigar a produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos domiciliares e dejetos de aves, avaliando diferentes proporções de substrato:inóculo e diferentes condições de temperatura. Além disso, foi realizado o monitoramento do pH inicial e final de cada ensaio, bem como os teores de sólidos totais e sólidos voláteis.

METODOLOGIA

Neste estudo foi utilizado ROD como substrato e DAV como fonte de inóculo para a produção de biogás a partir do processo de codigestão. Os RODs foram obtidos a partir de restos de alimentos de uma residência do município de Lages/SC. O material foi triturado e homogeneizado em um processador com adição de parte de quantidade de água que havia sido previamente separada para a inserção no reator de 400 mL para o processo de digestão. Após o preparo, o substrato foi fracionado em recipientes plásticos e mantido em refrigeração à $-4^{\circ}C$ até o momento de uso.

O DAV foi coletado em uma propriedade rural localizada no interior do município de Lages/SC, onde as aves vivem em confinamento e são suplementadas a partir de uma mistura de farelo de soja e milho moído produzido na própria propriedade. Após a coleta, o dejetos foi fracionado em recipientes plásticos e mantido sob refrigeração à $4^{\circ}C$. Ambos os



materiais foram caracterizados quanto ao teor de umidade, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF) e teor de cinzas, de acordo com a metodologia padrão da *American Public Health Association* (APHA, 1999).

O sistema de digestão anaeróbia para produção de biogás foi composto por reatores de 500 mL, com meio de digestão de 400 g, imersos em banho maria (CenlaB, CE-160/6), e por sistemas de deslocamento de coluna d'água (Figura 1). Os ensaios foram realizados a partir da codigestão de ROD com DAV, com diferentes proporções de substrato:inóculo (1:1-1:5, g:g) e temperatura (35-55 °C), seguindo o planejamento experimental fatorial (Tabela 1).



Figura 1: Sistema de produção de biogás por codigestão anaeróbia. Fonte: Autora do trabalho.

Tabela 1. Planejamento experimental fatorial para produção de biogás a partir da codigestão de ROD com DAV. Fonte: Autora do trabalho.

Ensaio	Temperatura (°C)	Substrato:Inóculo (g:g)
1 ¹	55 (+1)	1:1 (-1)
2 ¹	55 (+1)	1:5 (+1)
3 ¹	35 (-1)	1:1 (-1)
4 ¹	35 (-1)	1:5 (+1)
5 ²	45 (0)	1:3 (0)

Nota: ¹ Duplicata, ² Triplicata.

A temperatura foi controlada no banho maria e monitorada com a utilização de termômetro. O pH foi monitorado no início e final de cada ensaio. Além da produção de biogás, foram quantificados os teores de ST e SV do meio de digestão antes e após cada ensaio, seguindo a metodologia padrão da *American Public Health Association* (APHA, 1999). Todos os ensaios foram conduzidos pelo período de 156 horas e monitorados a cada 6 horas.

A produção de biogás foi quantificada a partir do sistema de deslocamento de coluna d'água em uma proveta invertida conectada ao reator por uma, sendo a produção expressa em mL e o rendimento em mL/gST e mL/gsv. O planejamento experimental fatorial foi avaliado estatisticamente a partir do gráfico de Pareto utilizando o *software* Statistica 8, considerando um nível de significância de 90%.

RESULTADOS

O ROD e o DAV utilizados, respectivamente, como substrato e inóculo, foram caracterizados quanto ao teor de umidade, ST, SF, SV e cinzas, conforme os dados apresentados na Tabela 2. Cabe ressaltar que a composição dos materiais influencia diretamente nos valores obtidos de produção de biogás.

Tabela 2. Caracterização física dos substratos utilizados para produção de biogás. Fonte: Autora do trabalho.

Composição (%)	Dejeto de aves	Resíduo orgânico domiciliar
Umidade	53,36 ± 0,25	91,15 ± 0,28
Sólidos totais	46,63 ± 0,25	8,84 ± 0,28
Sólidos fixos	5,83 ± 0,20	1,26 ± 0,17
Sólidos voláteis	40,80 ± 0,45	7,58 ± 0,19
Cinzas	4,57 ± 0,25	0,87 ± 0,17



Os resultados da produção (mL) e rendimento (mL/g_{ST}, mL/g_{SV}) de biogás a partir da codigestão anaeróbia do ROD com DAV nos diferentes ensaios estão apresentados na Tabela 3. Nas condições de proporção de substrato:inóculo e temperatura analisadas a produção de biogás variou de 75 mL a 390 mL, e o rendimento de 8,60 a 38,39 mL/g_{ST} e 9,66 a 41,94 mL/g_{SV}, sendo a melhor condição experimental a de proporção substrato:inóculo 1:5 e temperatura de 35 °C.

Tabela 3. Produção e rendimento de biogás a partir da codigestão anaeróbia de ROD com DAV.
Fonte: Autora do trabalho.

Ensaio	Temperatura (°C)	Substrato:Inóculo (g:g)	Produção (mL)	Rendimento	
				(mL/g _{ST})	(mL/g _{SV})
1	55 (+1)	1:1 (+1)	340	38,3331	41,0833
2	55 (+1)	1:5 (-1)	75	8,6016	9,6638
3	35 (-1)	1:1 (+1)	205	24,2810	26,5548
4	35 (-1)	1:5 (-1)	390	38,3908	41,9405
5	45 (0)	1:3 (0)	130	14,5318	17,2103

Em ensaios realizados por Fang et al. (2011), que utilizou resíduo orgânico na DA para produção de biogás em condição mesofílica, foi obtido uma produção de 470 mL. Li et al. (2013) avaliaram a digestão anaeróbia de resíduo orgânico com esterco de aves em condições mesofílicas e obtiveram rendimento de 218,8 mL_{biogás}/g_{sv}. Esses valores são superiores aos encontrados nesse estudo, o que pode ser explicado pela composição química do resíduo orgânico utilizado, que está diretamente relacionada a quantidade de biogás produzido, e, também, às diferentes condições operacionais da DA.

Conforme observado na Tabela 3, o ensaio 4 resultou na maior produção de biogás (390 mL), o qual foi conduzido sob condição de temperatura mesofílica (35 °C) e com maior concentração de inóculo do que substrato. Por outro lado, o ensaio 1, que foi realizado sob condição termofílica (55 °C) e com concentração de substrato igual a de inóculo, obteve uma produção de biogás de 340 mL, sendo a segunda maior produção. De acordo com a literatura, a digestão anaeróbia termofílica geralmente apresenta um melhor desempenho de inicialização do que sob temperaturas mesofílicas devido ao processo de hidrólise acelerado, a principal etapa que limita a produção durante a digestão (GE et al., 2016). Porém, com os valores obtidos nesse estudo não é possível afirmar que a temperatura tenha influenciado nesses resultados.

Por outro lado, sob a condição de temperatura termofílica (55 °C) e com proporção de inóculo maior que a de substrato resultou na menor produção obtida. De acordo com a literatura, alguns fatores como o conteúdo de ST e proporção substrato:inóculo podem influenciar a produção de biogás de maneira desfavorável, mesmo em condições termofílicas, resultando em efeitos inibidores devido à alta atividade de microrganismos sob altas temperaturas (GE et al., 2016).

A Figura 2 apresenta as curvas cinéticas da produção de biogás. Diferentes comportamentos podem ser observados nas curvas, o primeiro é a produção acelerada no início do ensaio 3. No entanto, em, aproximadamente, 36 h a produção cessa, chegando ao volume máximo de 205 mL. Nas curvas dos ensaios 2 e 5 observa-se que a produção de biogás foi lenta durante todo o período monitorado, mantendo-se praticamente constante. Já a curva do ensaio 4, mostra que o início da produção de biogás foi lento, semelhante ao ensaio 5 até 84 h, no entanto, teve um crescimento expressivo, chegando a 390 mL de biogás em 138 h.

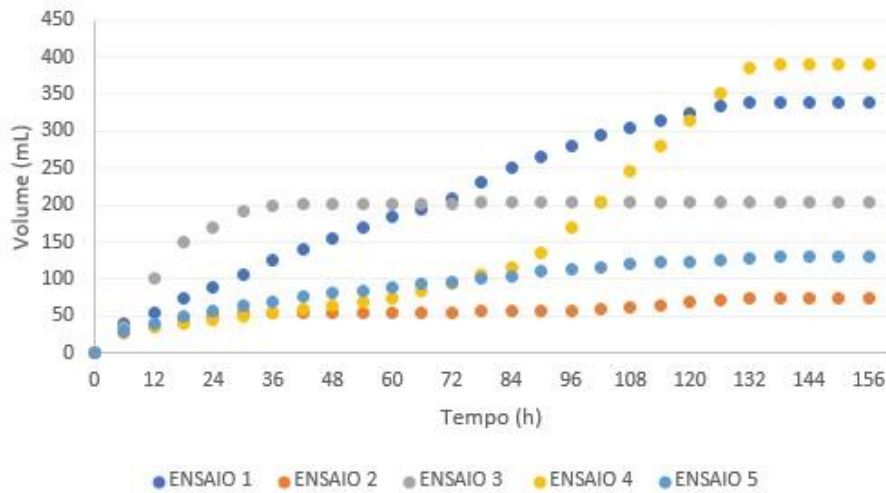


Figura 2: Produção acumulada de biogás a partir da codigestão anaeróbica de resíduo orgânico domiciliar com dejetos de aves em 156 h. Fonte: Autora do trabalho.

A figura 3 apresenta o Gráfico de Pareto, referente a análise estatística do efeito das variáveis temperatura e proporção substrato:inóculo, e suas interações, na produção de biogás. Considerando 90% de confiança, observa-se que tanto a produção como o rendimento de biogás não foram influenciados estatisticamente pela proporção substrato:inóculo e nem pela temperatura, o que confirma os dados apresentados anteriormente. Geralmente, esses desequilíbrios são causados por relação C/N inadequada, baixo pH, alto teor de amônia-nitrogênio total e concentração de amônia livre (HANSEN et al., 1998).

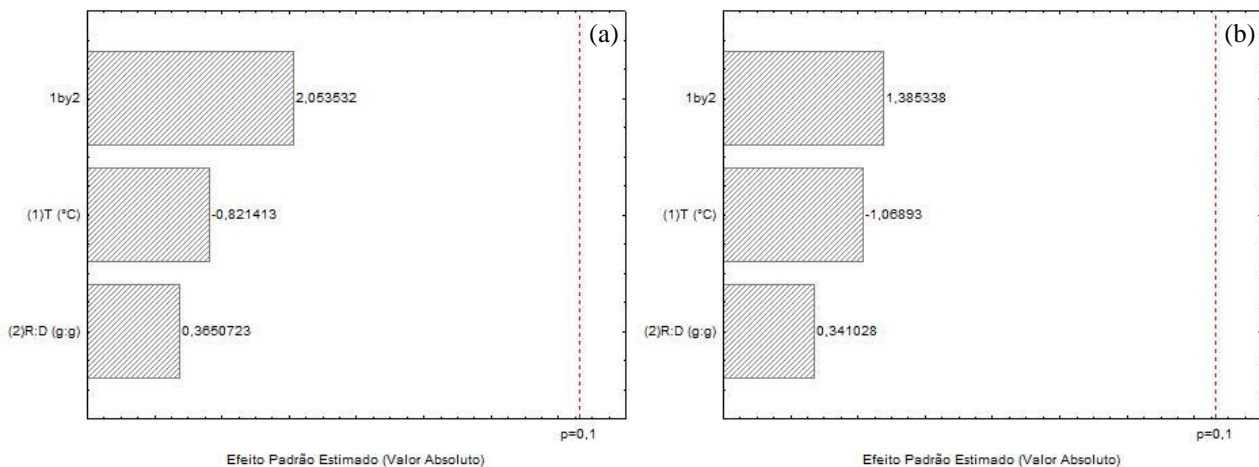


Figura 3: Efeito das variáveis temperatura e proporção substrato:inóculo, na produção (a) e no rendimento (b) de biogás obtido a partir da codigestão anaeróbica do ROD com DAV.

Fonte: Autora do trabalho.

Para cada ensaio foi realizada a caracterização física do meio de digestão antes e após o processo, obtendo-se os dados dispostos na tabela 4. Conforme demonstra a tabela 3, a maior eficiência de remoção foi observada no ensaio 4 o qual apresentou a maior produção de biogás.

**Tabela 4. Caracterização física dos meios antes e após os ensaios de codigestão anaeróbia de ROD com DAV.**

Fonte: Autora do trabalho.

Ensaio	Composição					
	ST			SV		
	Inicial (g)	Final (g)	% de remoção	Inicial (g)	Final (g)	% de remoção
1	18,49	9,62	47,95	16,02	7,74	51,64
2	18,79	10,07	46,40	16,38	8,62	47,35
3	18,49	10,05	45,65	16,02	8,30	48,17
4	18,79	8,63	54,06	16,38	7,10	56,73
5	18,70	9,75	47,80	16,29	8,73	46,36

De acordo com Bouallagui et al. (2009) e Callaghan et al. (2002), a degradação da matéria orgânica está relacionada a um eficiente desempenho na produção de biogás. Os valores obtidos por estes autores demonstraram que a diminuição no teor de SV da amostra resultante da digestão anaeróbia apresentou melhores desempenhos da produção de biogás, o que se confirmou no estudo, já que os ensaios 4 e 1 que apresentaram a maior produção de biogás foram os ensaios os quais obtiveram o maior percentual de remoção.

O pH inicial está relacionado ao tempo de adaptação das bactérias no sistema e equilíbrio ácido-base do composto, que afetam a taxa de produção de biogás. A faixa de pH ideal na digestão anaeróbia é de 6,4 a 8,2. Se o valor de pH for inferior ou superior ao intervalo ideal a taxa de produção de biogás será menor (IQBAL et al., 2018). Os valores de pH inicial observados nesse estudo foram baixos (Tabela 5) o que indica que a correção do pH poderia favorecer a obtenção de maiores valores de produção.

Tabela 5. Média dos pH iniciais e finais dos meios de codigestão anaeróbia de resíduo orgânico domiciliar (ROD) com dejetos de aves (DAV). Fonte: Autora do trabalho.

Ensaio	pH inicial	pH final
1	4,89	4,30
2	4,61	4,52
3	4,51	3,91
4	5,14	4,52
5	4,77	4,21

Segundo Callaghan et al. (2002), que analisou a produção de biogás a partir de estrume de aves com resíduos de frutas e vegetais, os valores de pH de cada material foram de pH 7,3 e 4,2, respectivamente, o que pode indicar que os baixos valores de pH inicial observados tenham sido influenciados pelo ROD utilizado na codigestão. Li et al. (2015) afirmam que o acúmulo de ácidos orgânicos pode resultar em inibição e menor rendimento de biogás. Da mesma forma que o pH inicial, os valores de pH final também foram baixos (3,91-4,52), o que pode ter prejudicado o desempenho dos microrganismos. Portanto, estudos futuros serão importantes para avaliar a influência de diferentes condições de pH inicial no desempenho do processo.

CONCLUSÕES

A melhor condição observada no estudo foi com proporção 1:5 de substrato:inóculo em condição mesofílica, o que resultou em uma produção de 390 mL de biogás, rendimento de 38,39 mL/gST e 41,34 mL/gSV, com uma remoção de 54,06% de ST e 56,73% de SV. De acordo com a análise estatística não foi possível encontrar evidências plausíveis da relação entre diferentes proporções substrato:inóculo e temperatura na produção de biogás nos ensaios realizados.

A codigestão de ROD com DAV resultou em um bom desempenho para a produção de biogás, ainda que a correção de pH não tenha sido realizada, o que sugere que se estabelecido um pH dentro de uma faixa considerada ideal, a produção poderá ser maior. Dessa forma o estudo demonstra a oportunidade de valorização econômica tanto de resíduos orgânicos domiciliares quanto do dejetos de aves devido a boa produção de biogás a partir destes materiais.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington, 1999.
2. Bouallagui, H.; Lahdheb, H.; Romdan, E.B.; Rachdi, B.; Hamdi, M. **Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition**. Journal of Environmental Management, v. 90, p. 1844-1849, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.002>>.
3. Bouallagui, H.; Touhami, Y.; Cheikh, R. B.; Hamdi, M. **Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes**. Process Biochemistry, v. 40, p. 989-995, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.03.007>>.
4. Buragohain, S.; Mahanta, P.; Mohanty, K. **Biogas production from anaerobic mono- and co-digestion of lignocellulosic feedstock: Process optimization and its implementation at community level**. Environmental Technology & Innovation, v. 24, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101981>>.
5. Calbry-Muzyka, A.; Madi, H. Rüsç-Pfund, F.; Gandiglio, M.; Biollaz, S. **Biogas composition from agricultural sources and organic fraction of municipal solid waste**. Renewable Energy, v. 181, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.100>>.
6. Callaghan, F.J.; Wase, D.A.J.; Thayanithy, K.; Forster, C.F. **Continuous co digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure**. Biomass and Bioenergy, v. 22, p.71-77, 2002.
7. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2021 - Relatório Síntese/Ano Base 2020**. Rio de Janeiro-RJ, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>.
8. Fang, C.; Boe, K.; Angelidaki, I. **Biogas production from potato-juice, a by-product from potato-starch processing, in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) and expanded granular sludge bed (EGSB) reactors**. Bioresource Technology, v. 102, p 5734-5741, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.03.013>>.
9. Ge, X.; Xu, F.; Li, Y. **Solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: recent progress and perspectives**. Bioresource Technology, v. 205, p. 239-249, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.050>>.
10. Hansen, K. H.; Angelidaki, I.; Ahring, B. K. **Anaerobic Digestion Of Swine Manure: Inhibition By Ammonia**. Water Research, v 32, p. 5-12, 1998.
11. Iqbal, S.; Putri, K. V.; Nabilah, N.; Rusdi, R. **Effect of sulfuric acid pretreatment on biogas production from *Salvinia molesta***. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 7, 2019. Disponível em: <<https://www.scinapse.io/papers/2905962334>>.
12. Li, K.; Liu, R.; Sun, C. **Comparison of anaerobic digestion characteristics and kinetics of four livestock manures with different substrate concentration**. Bioresource Technology, v. 198, p.133-140, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415012675>>.
13. Paranhos, A. G. De O.; Adarme, O. F. H.; Barreto, G. F.; Silva, S. De Q.; Aquino, S. F. de. **Methane production by co-digestion of poultry manure and lignocellulosic biomass: Kinetic and energy assessment**. Bioresource Technology, v. 300, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122588>>.
14. Rahman, M. A; Møller, H. B.; Saha, C. K.; Alam, M. M.; Wahid, R.; Feng, L. **Optimal ratio for anaerobic co-digestion of poultry droppings and lignocellulosic-rich substrates for enhanced biogas production**. Energy for Sustainable Development, v. 39, p. 59-66, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.04.004>>.
15. Rios, M; Kaltschmitt, M. **Electricity generation potential from biogas produced from organic waste in Mexico**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, v. 54, p. 384-395, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.033>>.