



II-495 - PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA BIODIGESTÃO DE MELAÇO DE SOJA EM REATOR EM ESCALA PILOTO

Bruna Sampaio de Mello⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP/ Instituto de Química *Campus* de Araraquara/SP). Doutoranda em Química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP/ Instituto de Química *Campus* de Araraquara/SP).

Brenda Clara Gomes Rodrigues

Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal de Tocantins. Pesquisadora do IPBEN (Instituto de Pesquisa em Bioenergia/IQA). Doutoranda em Biotecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP/ Instituto de Química *Campus* de Araraquara/SP).

Francisco Raimundo da Silva

Químico pela Universidade de São Paulo. Mestre em Química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP/ Instituto de Química *Campus* de Araraquara/SP). Doutorando em Química pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP/ Instituto de Química *Campus* de Araraquara/SP).

Arnaldo Sarti

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de São Carlos. Pesquisador do IPBEN (Instituto de Pesquisa em Bioenergia/IQA). Professor Doutor do Departamento de Bioquímica e Tecnologia Química na Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP/ Instituto de Química de Araraquara/SP).

Endereço⁽¹⁾: Av. Francisco Degni, 55 - Quitandinha - Araraquara - São Paulo - CEP: 14.800-900 - Brasil - Tel: +55 (16) 3301-9867 - Fax: +55 (16) 3301-9707 - e-mail:brunamello30@gmail.com

RESUMO

A expansão das fronteiras agrícolas do Brasil está promovendo um crescimento sem precedentes do agronegócio brasileiro. O Brasil é considerado um dos maiores produtores e exportadores de soja do mundo, sendo que a partir do grão de soja são obtidos diversos produtos, tais como farinha, farelo, proteína texturizada, margarina e óleo. Porém, a cadeia produtiva da soja está vinculada a uma ampla quantidade de resíduos e subprodutos sem valor agregado, como o melaço de soja. Subproduto da produção de proteína concentrada de soja, o melaço de soja apresenta uma composição rica em carboidratos e outros macro e micronutrientes que o torna um atraente substrato para a digestão anaeróbia e produção de biogás. A partir de estudos preliminares, foi possível avaliar a produção de biogás rico em metano a partir do melaço de soja em um biodigestor de 1,2 m³ em bateladas alimentadas ao longo de 8 ciclos, nos quais variou-se a quantidade de melaço de soja alimentado ao reator e o tempo de duração do ciclo, alcançando até 1,5 m³ de biogás por ciclo de operação de sete dias e 3 L de melaço de soja.

PALAVRAS-CHAVE: bioenergia; biodigestor; digestão anaeróbia; proteína concentrada de soja; metano.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a economia brasileira, embora tenha ampliado e diversificado sua pauta de exportações de bens industriais, apresentou um declínio das vendas de produtos industriais ao mercado externo, ao mesmo tempo em que é o crescente aumento das exportações de commodities provenientes do agronegócio. O país é globalmente um importante produtor e exportador de produtos agroindustriais, desde grãos brutos até produtos finais como biocombustíveis (etanol e biodiesel) (NAVARRO, 2014).

Apesar dos grandes desafios gerados pela pandemia em 2020/22 e dos problemas com o clima vivenciados pelas lavouras, o Brasil ultrapassou os Estados Unidos como maior produtor, processador e exportador de soja, acumulando um volume de produção recorde de 135,4 milhões de toneladas durante a safra

2020/21, o que representa 36% da produção mundial e ocupa 38,5 milhões de hectares (FAO, 2021; STATISTA, 2021). Estima-se que aproximadamente 50 milhões de toneladas do grão serão consumidas no mercado interno, ao passo que 75, 1 e 17 milhões de toneladas do grão, óleo e de proteína, respectivamente, serão destinadas ao mercado de exportação (CONAB, 2022). Além disso, do total exportado, estima-se uma receita de mais de 32 bilhões de dólares (EMBRAPA, 2021).

No entanto, a cadeia produtiva da soja está vinculada à geração de uma gama de subprodutos e resíduos. Dentre muitos subprodutos e resíduos da soja, o melaço de soja, subproduto da produção de proteína concentrado de soja, impõe um desafio ambiental devido à sua crescente geração aliada a falta de mercado ou destinação sustentável (SIQUEIRA et al., 2008). Como opção de uma alternativa sustentável, a produção de biogás a partir de resíduos agroindustriais por meio da digestão anaeróbia tornou-se atraente, uma vez que recentemente se verificou potencial energético do melaço de soja por meio de testes de atividade metanogênica (CITELLI et al., 2017) e em reatores de escala de laboratório (DE MELLO et al., 2022; RODRIGUES et al., 2021). Esse resíduo agroindustrial, além de ser um subproduto com alta concentração de açúcares, contém nitrogênio, e outros macros e micronutrientes como o potássio, fósforo, magnésio, essenciais para a digestão anaeróbia (GERARDI, 2003; OBENDORF, R L. AND KOSINA, 2008).

Logo, este trabalho visou avaliar a produção de biogás a partir da biodigestão de melaço de soja em reator batelada em escala piloto, bem como avaliar e monitorar os seguintes indicadores de desempenho: estabilidade do processo de digestão, concentrações de compostos intermediários (AVT) e composição volumétrica/molar do biogás, e o fator de conversão entre o biogás produzido e a matéria orgânica alimentada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O reator consistiu em um tanque cilíndrico confeccionado em fibra de vidro e com volume total de 1,2 m³. A partir do volume total, é destinado cerca de 0,9 m³ para alocação do lodo biológico. O restante (0,3 m³) do volume total (1,2 m³) é destinado para a acumulação do biogás gerado. Na Figura 1 é apresentado o esquema de operação com recirculação do reator.

O sistema piloto foi mantido em temperatura ambiente (25±2°C). A produção de biogás foi medida por meio de medidor do tipo condominial acoplado a parte superior do reator. O biogás gerado foi avaliado quanto a concentração de metano. O inóculo biológico utilizado foi proveniente de reator UASB utilizado para o tratamento de esgoto sanitário (ETE Monjolinho – São Carlos).

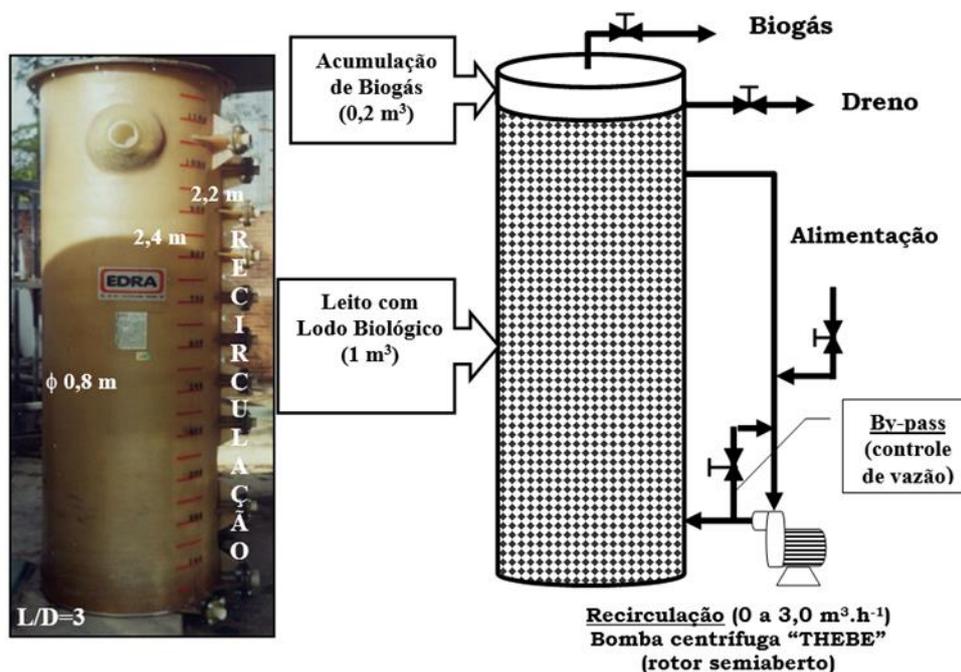


Figura 1. Reator anaeróbio em escala piloto operado em batelada (biodigestor).

Melaço de soja “in natura” foi utilizado como única fonte de matéria orgânica para o processo de digestão anaeróbia. As principais características do melaço de soja estão apresentadas na Tabela 1. Tais características foram disponibilizadas pela Companhia Selecta S/A, produtora de proteína de soja que também forneceu o melaço de soja.

Tabela 1. Principais características do melaço de soja.

Composição Básica		Açúcares		Minerais	
Parâmetro	Valor (g/kg)	Parâmetro	Valor (g/kg)	Parâmetro	Valor (mg/kg)
Proteína bruta	50	Estaquiiose	119	Sulfito	500
Umidade	250	Rafinose	50	Manganês	5,5
Cinzas	150	Sacarose	199	Cálcio	100
Lipídios	5	Frutose	26	Ferro	462
Fibras	3	Galactose	0,4	Sódio	400
pH	5,45	Glicose	6	Cobalto	0,74
Densidade	1,35 g/cm ³	Açúcares totais	400	Magnésio	1300
Viscosidade	15 - 40 cSt	Carboidratos totais	5,32	Fósforo	4150

Fonte: Selecta S/A.

O reator foi alimentado com um volume fixo de melaço de soja diluído em água (a fim de facilitar a operação da bomba, devido ao melaço apresentar elevada viscosidade) por ciclo operacional (bateladas sequenciais). Uma vez atingida a estabilidade nas condições experimentais monitoradas (produção de biogás), são obtidos perfis ao longo do tempo de operação de um ciclo com coletas diárias de amostras. As variáveis de interesse que foram analisadas consistem em: a concentração de DQO após centrifugação, por 10 minutos a 4500 rpm, e filtração em membrana 0,45 µm; alcalinidade; ácidos voláteis totais (AVT); metabólitos intermediários; composição do biogás; pH; e concentração de sólidos. Desta forma, é possível obter uma melhor

compreensão do processo de digestão ao longo de um ciclo (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), 2005; DILALLO; ALBERTSON, 1961; RIPLEY; BOYLE; CONVERSE, 1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o momento, foram avaliados 8 ciclos, nos quais variou-se a quantidade de melação de soja alimentado ao reator e o tempo de duração do ciclo. Os ciclos 1 e 2 tiveram uma duração de 14 dias, e 1 L de melação de soja diluídos em 4 L de água foi alimentado ao reator por cada ciclo. Por meio das análises físico-químicas e perfis de produção de biogás, foi determinada uma redução da duração dos ciclos para 8 dias. Logo, os ciclos 3 e 4 foram alimentados 1 e 2 L de melação diluídos em 4 L de água, respectivamente. A partir dos ciclos seguintes, 5 a 8, a produção de biogás foi avaliada por 7 dias. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos ao longo dos perfis de produção de biogás a partir da biodigestão do melação de soja.

Tabela 2. Dados de produção de biogás a partir da biodigestão do melação de soja em reator em escala piloto.

Ciclo	Melaço de soja (L)	Duração do ciclo (dias)	Temperatura média (°C)	Acumulado (L)	Média diária (L/d)
1	1	14	28,0±9,0	1711	122,2
2	1	14	25,0±10	1605	114,6
3	1	8	26,5±13	796	99,5
4	2	8	28,0±6,0	1295	161,9
5	2	7	25,0±10	1390	198,6
6	2	7	20,0±6,0	1137	162,4
7	2	7	25,8±7,0	1617	231,0
8	3	7	24,8±6,5	1795	256,4

A fim de avaliar e comparar os efeitos do aumento da quantidade de melação de soja alimentada ao reator, são apresentados na Figura 2 os dados de produção específica de biogás de cada ciclo estudado.

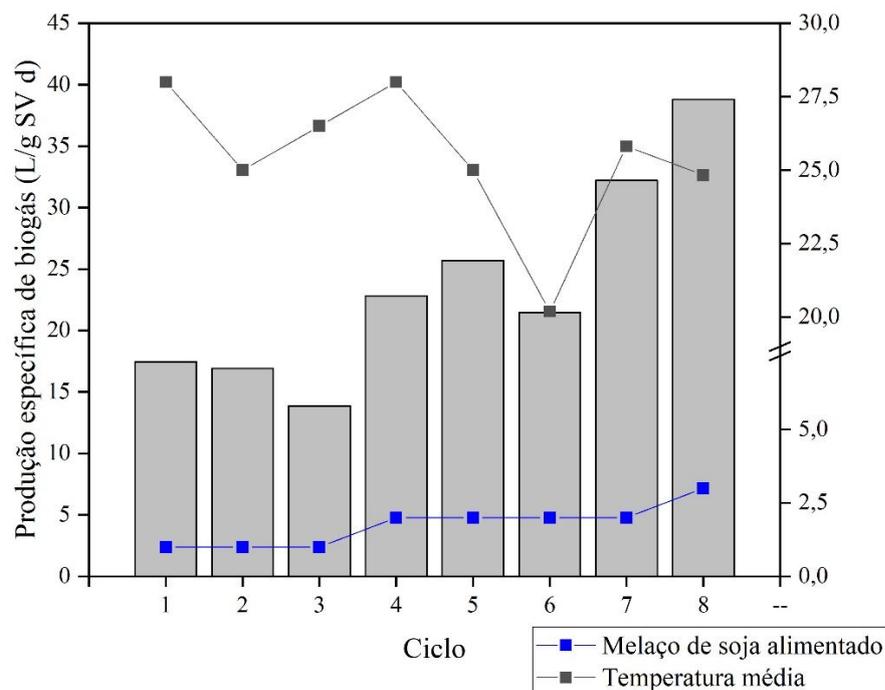


Figura 4. Produção específica de biogás por ciclo alimentado com crescente quantidade de melação de soja.

Os ciclos que apresentaram maiores produções acumulada e específica de biogás foram os ciclos 7 e 8, nos quais o volume de melão de soja adicionado ao reator foi de 2 e 3 L, respectivamente. Os ciclos 1 e 2, nos quais empregou-se 1 L de melão de soja, apesar de apresentar maiores produções acumuladas, obtiveram uma produção específica diárias menores. Isso se deve as elevadas concentrações de ácidos voláteis no sistema (Figura 4), decorrente da alimentação do reator que anteriormente era realizada com glicerol bruto, com elevado teor de ácidos graxos. Pode-se inferir que tais ciclos foram de transição de substrato a outro.

Os ciclos seguintes, 3 a 6, nota-se o aumento da produção específica diária de biogás com o aumento da quantidade de melão alimentada ao reator. No entanto, é possível observar uma leve diferença entre os ciclos 6 e 7, notavelmente a média de temperatura no ciclo 6 ($20,0 \pm 6,0$) foi relativamente menor do que no ciclo 7 ($25,8 \pm 7,0$), o que possivelmente afetou o consorcio microbiano e consequentemente a produção de biogás (TAVARES *et al.*, 2016).

Os dados referentes ao monitoramento do reator em termos de valores médios de concentração de DQO para cada ciclo ao longo do período de operação estão apresentados na Figura 3. Nela pode-se observar que a concentração de DQO foi levemente decrescente ao longo dos ciclos. Além disso, nota-se que a partir da alimentação do melão de soja ao sistema, em todos os ciclos, teve-se uma leve elevação da DQO do meio reacional, o que evidencia a grande carga orgânica do substrato, ou seja, uma pequena quantidade de melão de soja (1 a 3 L, ou relação 0,1 a 0,3% em volume) provocou o aumento da carga orgânica no sistema como um todo (1 m³ de meio reacional).

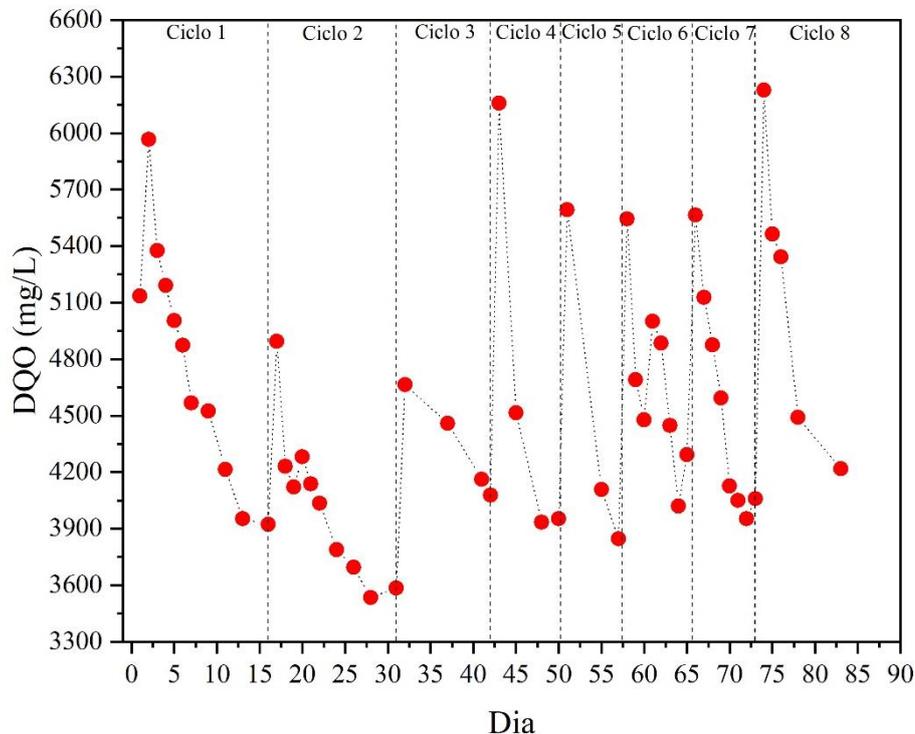


Figura 3: Perfil de DQO ao longo dos ciclos de operação do reator em escala piloto.

O comportamento da concentração de AVT ao longo dos ciclos avaliados está apresentado na Figura 4. De modo geral, a concentração de AVT aumenta ligeiramente ao longo dos dias até um valor máximo, entre os

dias 1 e 2 de operação, e partir disso, começa a diminuir até retornar ao valor do lodo inicial (lodo 0, antes de alimentar o sistema). Com o aumento da quantidade de melação de soja alimentada (3 L), houve um aumento significativo da concentração de AVT do meio, atingindo valores superiores a 1800 mgHAc/L durante o ciclo 8, quando comparado aos ciclos 1 - 4, nos quais a concentração não ultrapassou 1000 mgHAc/L.

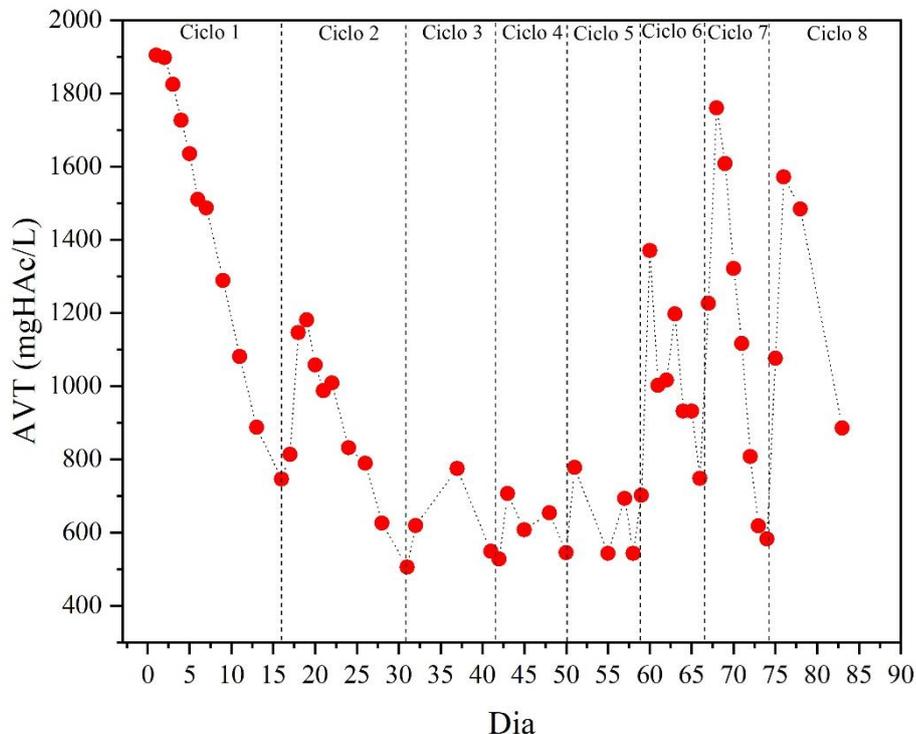


Figura 4: Perfil de AVT ao longo dos ciclos de operação do reator em escala piloto.

CONCLUSÕES

O presente trabalho se encontra em pleno desenvolvimento. Até o momento, foram obtidas elevadas produções de biogás, alcançando até 1,5 m³ de biogás por ciclo de operação de sete dias. Ao mesmo tempo, o reator, de acordo com as análises de monitoramento, se encontra em equilíbrio dinâmico e em condições estáveis de operação, sem o acúmulo de ácidos voláteis, geração de alcalinidade e produção constante de biogás.

As próximas etapas do trabalho irão consistir em alimentar maiores quantidade de melação, além de análises de biologia molecular para avaliar o consórcio microbiano presente no reator.

REFERÊNCIAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Washington, DC, USA.: American Public Health Association, Washington, DC, USA., 2005.
2. CITELLI, I. R.; SARTI, A.; MAINTINGUER, S. I.; PIRES, L. O. Avaliação Da Geração De Metano Por Diferentes Inóculos Utilizando Glicerol E Melação De Soja Como Substrato. XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, p. 1503–1508, 2017.
3. CONAB, C. N. de A. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2021/2022 Boletim da Safra 2021. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/>>.
4. DE MELLO, B. S.; CLARA GOMES RODRIGUES, B.; DUSSÁN MEDINA, K. J.; SARTI, A. Biological Degradation of Soybean Molasses by Modified Anaerobic–Aerobic Baffled Reactor. BioEnergy Research, 2022.

5. DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile Acids By Direct Titration. *Water Pollution Control Federation*, v. 33, n. 4, p. 356–365, 1961.
6. EMBRAPA. Soja em números (safra 2019/2020).
7. FAO, F. and A. O. of the U. FAOSTAT: Crops. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/>>.
8. GERARDI, M. H. *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. 177 p.
9. NAVARRO, Z. *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola*. Brasília: Embrapa, 2014. 1182 p.
10. OBENDORF, R L. AND KOSINA, S. M. Soluble carbohydrates in soybean. *Soybean-biochemistry, chemistry and physiology*. Rijeka, Croatia, InTech Open Access Publisher, p. 201–228, 2008.
11. RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, v. 58, n. 5, p. 406–411, 1986. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0022719568&partnerID=40&md5=65c67053b44c574e475e827d35f3810e>>.
12. RODRIGUES, B. C. G.; DE MELLO, B. S.; GONSALES DA COSTA ARAUJO, M. L.; RIBEIRO DA SILVA, G. H.; SARTI, A. Soybean molasses as feedstock for sustainable generation of biomethane using high-rate anaerobic reactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 4, p. 105226, 1 ago. 2021
13. SIQUEIRA, P. F.; KARP, S. G.; CARVALHO, J. C.; STURM, W.; RODRÍGUEZ-LEÓN, J. A.; THOLOZAN, J. L.; SINGHANIA, R. R.; PANDEY, A.; SOCCOL, C. R. Production of bio-ethanol from soybean molasses by *Saccharomyces cerevisiae* at laboratory, pilot and industrial scales. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 17, p. 8156–8163, 2008.
14. STATISTA. Leading soybean producing countries worldwide from 2012/13 to 2020/21. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/263926/soybean-production-in-selected-countries-since-1980/#statisticContainer>>.
15. TAVARES, S. G.; FEIDEN, A.; CORREIA, A. F.; SOARES, C. M. T.; GREGOLIN, M. R. P. Influência das Variações Térmicas e Climáticas na Produção de Biogás. *Nativa*, v. 4, n. 5, p. 287–295, 31 out. 2016.