

# Produção de biogás de efluente da indústria de óleo de palma

Jhenifer Aline Bastos<sup>1</sup>, Felipe Orcelli Wojcieckowski<sup>2</sup>, Rafael Moreira Marques<sup>3</sup>, Rossano Gambetta<sup>4</sup>, Silvia Gonçalves Belém<sup>5</sup>

## Resumo

O efluente da indústria de óleo de palma (EIOP) tem ganhado destaque no meio científico como uma fonte de energia renovável para a produção de biogás. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de um reator de regime semicontínuo, utilizando o EIOP como substrato para a produção de biogás. Para isso, foi utilizado um reator de mistura completa com volume útil de 3,5 litros que recebeu diariamente uma carga orgânica volumétrica de 0,16 g SV/L.d de EIOP, operando em temperatura mesofílica (37 °C). Como principais resultados, a produção volumétrica de biogás foi de  $0,037 \pm 0,015 L_N$  biogás/L reator/dia, com teor de metano entre 63% e 68% e média de remoção de DQO de 55,4%. Observou-se que o sistema de digestão não foi estável ao longo do ensaio por causa da característica de acidez do EIOP (pH = 4,8), que reduziu a alcalinidade total no reator. Apesar disso, o EIOP ainda tem potencial para produção de biogás, desde que seja feita a correção do pH, antes de ser adicionado no reator, ou a codigestão com outros resíduos que promovam o equilíbrio do sistema.

**Termos para indexação:** digestão anaeróbia, regime semicontínuo, metano.

## Introdução

A extração de óleo de palma (dendê) é uma atividade de grande importância no País e vem crescendo ao longo dos últimos 20 anos. No Brasil, por volta de 236 mil hectares são utilizados para a plantação da palma, sendo o Pará o estado com maior área plantada (88%) no ano de 2018 (Ahmed et al., 2015). O processo de extração do óleo inclui várias etapas, que vão desde a esterilização dos cachos do fruto (dendê) até a clarificação e a purificação do óleo, para gerar como produto final o óleo de dendê encontrado no mercado (American Public Health Association, 2005).

Contudo, a produção industrial do óleo gera grande quantidade de efluentes que, se não tratados adequadamente, representam riscos ao meio ambiente. No caso específico, a cada tonelada de cachos de frutos frescos processado, são produzidos de 0,5 m<sup>3</sup> a 0,79 m<sup>3</sup> de efluente (Brasil, 2018). Como característica principal, esse efluente possui uma alta demanda química de oxigênio (DQO) até 50.000 mg/L, que deve ser reduzida por processos biológicos em sistemas de tratamento de efluentes (American Public Health Association, 2005). Entre os vários métodos de tratamento do efluente, a digestão anaeróbia é relativamente mais vantajosa por ter maior eficácia no tratamento e pela recuperação energética com o aproveitamento do biogás. O biogás é uma fonte de energia renovável, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, e pode ser utilizado para gerar energia térmica, elétrica ou como combustível veicular (Choong et al., 2018).

<sup>1</sup> Engenheira ambiental, doutorando em Sustentabilidade Ambiental Urbana, Universidade Tecnológica, Federal do Paraná, jhenifer.bastos@colaborador.embrapa.br

<sup>2</sup> Graduado em Química Tecnológica, Universidade de Brasília, felipe.orcelli@colaborador.embrapa.br

<sup>3</sup> Graduado em Química Tecnológica, Universidade de Brasília, rafael.marques@colaborador.embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheiro químico, doutor em Ciências da Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, rossano.gambetta@embrapa.br

<sup>5</sup> Engenheira química, doutora em Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, silvia.belem@embrapa.br

Logo, o desenvolvimento de projetos que visam ao uso do efluente da indústria de óleo de palma para a produção de biogás vai ao encontro das premissas do desenvolvimento sustentável, que busca mitigar os impactos ambientais atuais e promover o desenvolvimento de métodos e tecnologias sustentáveis para a geração futura. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar os parâmetros de monitoramento da monodigestão do efluente da indústria de óleo de palma, em reator anaeróbio de regime semicontínuo, para a produção de biogás.

## Materiais e métodos

### Caracterização do inóculo e substrato

O inóculo utilizado no presente estudo foi retirado de um reator anaeróbio próprio para ensaios de digestão anaeróbia, contendo 80% de digestato de biodigestor suíno e 20% de dejetos brutos bovinos (m/m). O reator estava em operação há 200 dias, sendo mantido em temperatura mesofílica (37 °C) e agitação intermitente. Para garantir a atividade microbiológica, o inóculo recebeu uma alimentação semanal com carga orgânica volumétrica de 0,16 g sólidos voláteis/Litro de reator/dia, contendo fubá de milho (10%), proteína de soja (4%), óleo vegetal (3%) e água destilada (83%).

Já o efluente da indústria de óleo de palma (EIOP) foi coletado de uma indústria localizada na região Nordeste do Brasil. O ponto de coleta foi da lagoa de equalização que recebe a água residuária do processo de clarificação do óleo, da esterilização dos cachos do fruto fresco e do processo de decapagem dos cachos e digestão do óleo. O armazenamento foi feito em bombonas de plástico, que foram mantidas em câmara fria a -20 °C para evitar a degradação do substrato por microrganismos.

O inóculo e o substrato foram caracterizados para quantificar o teor de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), pH e demanda química de oxigênio (DQO), de acordo com a metodologia descrita no American Public Health Association (2005).

### Monitoramento e produção de biogás em reatores de regime semicontínuo

Para avaliar a produção de biogás utilizando o EIOP como substrato, optou-se pelo uso de um reator de mistura completa (Marca Eppendorf) com volume útil de 3,5 L, agitação constante (100 rpm) e temperatura mesofílica (37 °C). Para a alimentação do reator com EIOP, foi calculada uma carga orgânica volumétrica (COV) de 0,16 g SV/L.d, sendo adicionada água destilada para garantir o tempo de retenção hidráulica de 120 dias e uma vazão de entrada de 29 mL por dia. A escolha da COV abaixo do valor reportado pela literatura (mínimo de 0,5 g SV/L.d) (Choong et al., 2018), foi feita para evitar problemas de acidificação do reator logo nos primeiros dias de ensaio.

A quantificação do volume de biogás foi realizada por meio de um tubo eudiômetro acoplado à saída do reator, contendo uma solução barreira (pH = 2,0) que se desloca verticalmente à medida que o biogás passa pelo tubo. O volume de biogás foi quantificado diariamente e corrigido conforme as condições normais de temperatura e pressão (CNTP). A composição do biogás foi realizada pelo método de cromatografia gasosa para obter o teor de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo, posteriormente, calculado o teor de metano seco. O cromatógrafo (marca Shimadzu GC-2014) possui duas linhas TCD a 180 °C com injeção manual e loop a 150 °C. A primeira linha possui uma coluna Porapak N 2 m x 3 mm com fluxo de 35 mL/min e gás hélio como gás de arraste. Já a segunda linha opera com uma coluna Carboxen 1000 4,6 m x 2,1 mm, fluxo de 45 mL/min e gás nitrogênio como gás de arraste. O monitoramento do reator foi realizado pelas análises de pH, DQO (Edwiges et al., 2018) e alcalinidade total (Holliger et al., 2016) do efluente, sendo calculada a eficiência de remoção da matéria orgânica pelo valor de DQO.

## Resultados e discussão

### Caracterização físico-química do inóculo e substrato

O teor de ST e SV do inóculo foi de 1,7% e 65,9% (% base seca), respectivamente, e o valor de pH foi de  $7,8 \pm 0,1$ , o que indica boa qualidade do inóculo para ensaios de produção de biogás (Kunz et al., 2019). Quanto à caracterização do substrato (EIOP), o teor de ST e SV foi de 10,4% e 92,6 (%bs), respectivamente, sendo o teor de ST próximo ao valor reportado por Ahmed et al. (2015) de 11,4% (American Public Health Association, 2005). O baixo valor de pH ( $4,8 \pm 0,2$ ) foi um ponto negativo para o tratamento via digestão anaeróbia, visto que os microrganismos metanogênicos atuam em uma faixa restrita de 6,8–7,5 (Ripley et al., 1986). Contudo, alguns estudos relataram a capacidade do inóculo de manter a produção de biogás com alguns substratos ácidos por um período de tempo, visto que os microrganismos criam mecanismos para se adaptar ao meio (Wadchasit et al., 2021).

Por fim, o valor de DQO do EIOP sem a adição de água foi  $175.972 \pm 1.082$  mg/L, indicando alta quantidade de matéria orgânica quando comparado ao inóculo ( $16.511 \pm 1.430$  mg/L). Contudo, ao adicionar água para reduzir o TRH do ensaio e manter uma COV de 0,16 g SV/L.d, o valor da DQO caiu para  $31.011 \pm 1.502$  mg/L, enquanto o pH subiu para 4,8. Esses valores estão dentro da faixa encontrada na literatura, sendo de 15.000 mg/L–180.000 mg/L para DQO e 3,4–5,2 para o pH (Wongfaed et al., 2020).

### Produção de biogás em reator anaeróbio de regime semicontínuo

O reator foi operado por 51 dias, e as curvas de produção de biogás indicam instabilidade no processo de digestão anaeróbia, com produtividade média de  $0,037 \pm 0,015$  L<sub>N</sub> biogás/L reator/dia e coeficiente de variação de 39% (Figura 1). Portanto, observou-se que o inóculo estava consumindo a matéria orgânica até o quinto dia (pico de 0,062 L<sub>N</sub> biogás/L), mas após esse período, não suportou a quantidade de matéria orgânica adicionada, apesar de a COV estar abaixo do sugerido pela literatura (0,5 g SV/L.d) (Choong et al., 2018). As fases de aclimação e inicialização são cruciais para o sucesso de um sistema de digestão anaeróbia, visto que o inóculo deve ser pré-aclimatado ao ambiente com a temperatura de operação e tipo de substrato, para que o consórcio microbiano tenha tempo suficiente para se adaptar ao novo ambiente (Ripley et al., 1986). No entanto, a aclimação com o substrato antes do ensaio (período de sete dias) não ocorreu no presente estudo e pode ter sido um dos motivos para a instabilidade da produção de biogás.

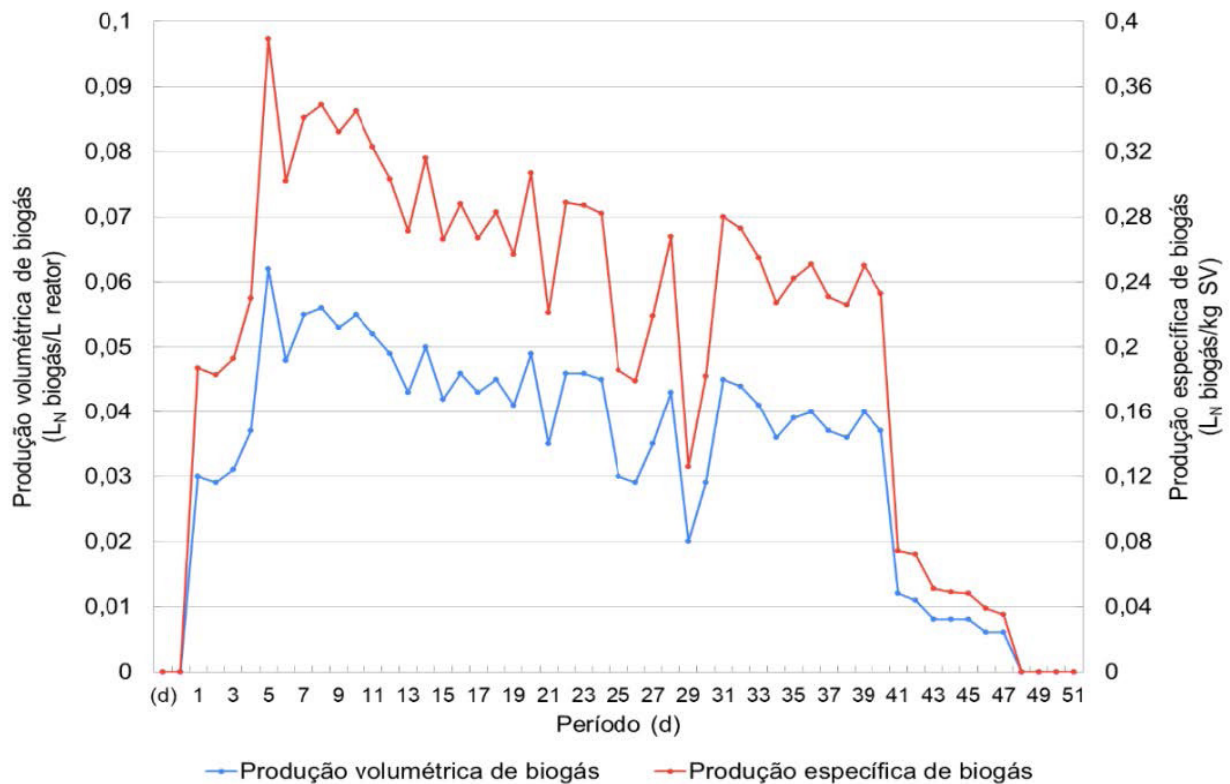
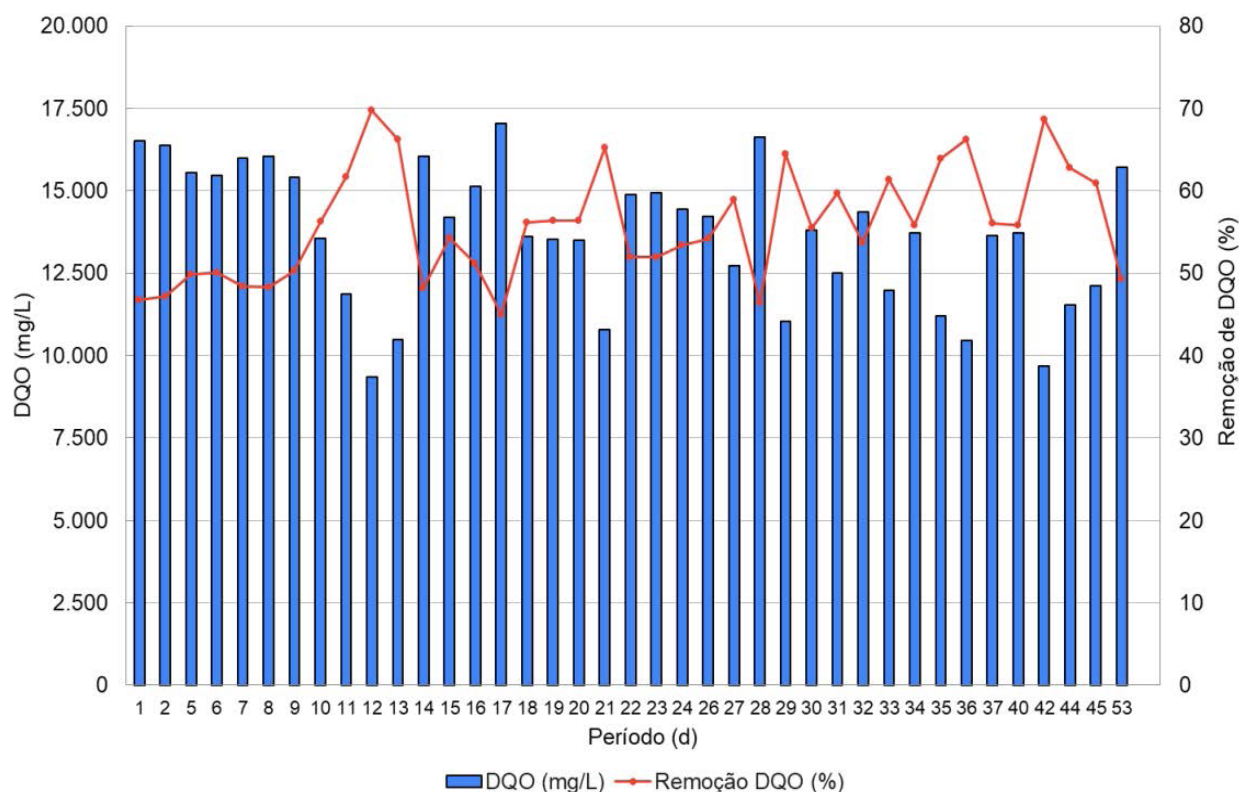


Figura 1. Produção volumétrica e específica de biogás do EIOP.

A média da produtividade específica de biogás foi de  $0,23 \pm 0,09$  LN biogás/kg SV, com maior valor obtido no quinto dia de ensaio ( $0,389$  LN biogás/kg SV) e teor de metano seco de  $68,4 \pm 0,2\%$ , o que indica a presença de microrganismos metanogênicos. Contudo, observou-se que a produtividade e o teor de metano reduziram ao longo do ensaio, chegando a  $0,0350$  LN biogás/kg SV e  $63,5 \pm 0,1\%$  no 47º dia. Alguns ácidos que compõem o EIOP, como ácidos palmítico, oleico e esteárico, são considerados ótimos substratos para a produção de metano, mas que, em grande quantidade, podem ser tóxicos para os microrganismos metanogênicos e acetogênicos (Wongfaed et al., 2020).

O pH variou entre 7,3 e 7,9 e, em alguns momentos, ultrapassou o limite máximo para um processo ideal de digestão anaeróbia (6,8–7,8) (Ripley et al., 1986). Quanto à alcalinidade total, houve uma diminuição ao longo do ensaio, com maior valor obtido na primeira semana ( $4.382$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) e menor valor obtido na última semana ( $3.125$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ). Embora o valor esteja dentro da faixa relatada na literatura ( $2.500$  mg/L– $5.000$  mg/L) (Kunz et al., 2019), esse declínio indica consumo de alcalinidade no processo, principalmente na forma de carbonato e bicarbonato de cálcio, em razão da acidez do EIOP (pH = 4,8). Portanto, a característica do substrato afetou drasticamente a capacidade dos microrganismos de tamponar o sistema, visto que eles convertem os ácidos em biogás enquanto o pH se mantém próximo da neutralidade (Choong et al., 2018).

Quanto à eficiência de remoção da DQO, a média encontrada no estudo foi de  $55,9 \pm 6,7\%$  com CV de 12% (Figura 2). Ao se comparar esse valor com os dados encontrados na literatura, observou-se que a eficiência de remoção está abaixo do esperado para um bom processo de digestão anaeróbia em reatores de mistura completa ( $63,5\%$ – $93,6\%$ ) (American Public Health Association, 2005). Entretanto, foram identificados valores de remoção acima de 60%, sendo obtido o maior valor no 12º dia, com 69,8%. Apesar da instabilidade do processo, os microrganismos consumiram a matéria orgânica presente no EIOP, mantendo uma taxa de remoção acima de 60% para treze pontos durante o ensaio.



**Figura 2.** Eficiência de remoção da demanda química de oxigênio do processo.

Portanto, o sistema de digestão anaeróbia com EIOP requer baixa taxa de carga orgânica e tempo de retenção hidráulica longo (40 dias–60 dias) em razão da dificuldade dos microrganismos de digerir lipídios e ácidos graxos de cadeia longa (Wongfaed et al., 2020). A codigestão é uma alternativa para suprir a demanda e equilibrar o sistema, podendo incluir resíduos da própria indústria, como os cachos vazios do fruto dendê (Brasil, 2018). Além disso, a correção do pH do EIOP antes de adicioná-lo nos reatores também é uma maneira de reduzir a instabilidade do processo, garantindo o efeito tampão dentro do reator.

## Conclusão

A digestão anaeróbia é uma opção atraente para tratar o EIOP. Porém, é necessário monitorar os parâmetros físico-químicos do processo. No estudo, a produção volumétrica de biogás do EIOP foi, em média,  $0,037 \pm 0,015 L_N$  biogás/L reator/dia e indicou instabilidade do processo de digestão anaeróbia por causa da variação do volume produzido diariamente (CV = 39%). Um dos motivos dessa instabilidade é a presença de ácidos na composição do substrato (pH = 4,8), que impacta diretamente na alcalinidade total do processo e na remoção da matéria orgânica pelos microrganismos (média de remoção de DQO = 55,9%). Além disso, a queda do teor de metano seco de 68,4% para 63,5% indica que o pH do substrato precisa ser corrigido antes de ser adicionado ao reator, para que os microrganismos metanogênicos possam converter os ácidos em metano.

## Referências bibliográficas

AHMED, Y., JACOB, Z., AKHTAR, P., SOPIAN, K. Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 42, p. 1260-1278, fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.073>

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **N-20: Standard Methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 2005. Não paginado.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Diagnóstico da produção sustentável da palma de óleo no Brasil**. Brasília, DF: MAPA/ACE, 2018. 58 p. Disponível em: [https://aprobio.com.br/novosite/wp-content/uploads/2018/08/Diagn%C3%B3stico-Prod-Sust-da-Palma-de-%C3%93leo\\_MAPA\\_2018.pdf](https://aprobio.com.br/novosite/wp-content/uploads/2018/08/Diagn%C3%B3stico-Prod-Sust-da-Palma-de-%C3%93leo_MAPA_2018.pdf). Acesso em: 28 set. 2023.

CHOONG, Y. Y., CHOU, K. W., NORLI, I. Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: a critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 3, p. 2993-3006, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.036>

EDWIGES, T.; FRARE, L. M.; MAYER, B; LINS, L.;TRIOLO, J. M.; FLOTATS, X.; COSTA, M. S. S. M. Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste. **Waste Management**, v. 71, p. 618-625, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.030>

HOLLIGER, C.; ALVES, M.; ANDRADE, D.; ANGELIDAKI, I.; ASTALS, S.; BAIER, U.; BOUGRIER, C.; BUFFIÈRE, P.; CARBALLA, M.; WILDE, V.; EBERTSEDER, F.; FERNÁNDEZ, B.; FICARA, E.; FOTIDIS, I.; FRIGON, J.; LACLOS, H. F.; GHASIMI, D. S. M.; HACK, G.; HARTEL, M.; HEERENKLAGE, J.; HORVATH, I. S.; JENICEK, P.; KOCH, K.; KRAUTWALD, J.; LIZASOAIN, J.; LIU, J.; MOSBERGER, L.; NISTOR, M.; OECHSNER, H.; OLIVEIRA, J. V.; PATERSON, M.; PAUSS, A.; POMMIER, S.; PORQUEDDU, I.; RAPOSO, F.; RIBEIRO, T.; PFUND, F. R.; STRÖMBERG, S.; TORRIJOS, M.; EEKERT, M.; LIER, J.; WEDWITSCHKA, H.; E WIERINCK, I. Towards a standardization of biomethane potential tests. **Water Science and Technology**, v. 74, n. 11 p. 2515–2522, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>

KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., DO AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019, 209 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197183/1/Livro-Biogas.pdf>. Acesso em: 28 set. 2023.

RIPLEY, L. E., BOYLE, W. C., CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 58, n. 5, p. 406-411, mai. 1986. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25042933>. Acesso em: 28 set. 2023.

WADCHASIT, P., SUKSONG, W., O-THONG, S., NUIHITIKUL, K. Development of a novel reactor for simultaneous production of biogas from oil-palm empty fruit bunches (EFB) and palm oil mill effluents (POME). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 3, p. 105 - 209, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105209>.

WONGFAED, N., KONGJAN, P., PRASERTSAN, P., O-THONG, S. Effect of oil and derivative in palm oil mill effluent on the process imbalance of biogas production. **Journal of Cleaner Production**, v. 247, n. 20, p. 110-119, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119110>.