

Produção de biogás e energia elétrica a partir do tratamento de efluente da palma de óleo por lagoas anaeróbias

Biogas and electricity production from the treatment of oil palm effluent by anaerobic lagoons

- **Data de entrada:** 23/04/2023
- **Data de aprovação:** 03/07/2023

Ana Rosa Bezerra Cardoso^{1*} | Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves² | Ernildo César da Silva Serafim¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.039>

ORCID ID

Cardoso ARB  <https://orcid.org/0000-0003-4875-6408>

Alves RGCM  <https://orcid.org/0000-0003-4505-7804>

Serafim ECS  <https://orcid.org/0009-0003-5726-8171>

Resumo

O resíduo líquido da extração de óleo de palma, chamado *palm oil mill effluent* (POME), tem alto acúmulo de matéria orgânica, sendo uma fonte de energia renovável. Por essa razão, objetiva-se avaliar a produção de biogás a partir do fruto do dendê em uma lagoa anaeróbia coberta, que foi implantada por uma indústria do estado do Pará para aproveitamento energético. Para isso, levantaram-se dados do processo industrial, do tipo de tratamento de efluente e da conversão do resíduo em um novo produto. Visitas foram feitas na indústria para que se tivesse uma noção da operação do sistema e da captação do biogás e sua conversão em energia elétrica. Os principais parâmetros para controle operacional da lagoa são: demanda química de oxigênio (DQO), pH e temperatura. O valor médio do pH foi de 7,43, e o da temperatura foi de 38,3°C, com uma carga orgânica volumétrica (COV) de 24,73 kgDQO/m³.dia, com eficiência de remoção de DQO de 91% e produção média de 139,04 m³/dia de metano. O metano gerou uma média de 28,01 MWh de energia elétrica, utilizada para alimentação da planta industrial.

Palavras-chave: Biogás. Digestão anaeróbia. Energia renovável.

Abstract

The liquid residue from palm oil extraction, called *palm oil mill effluent* (POME), has a high accumulation of organic matter (a source of renewable energy). Thus, the objective of this study is to evaluate the production of biogas from the palm fruit in a covered anaerobic lagoon implemented by a plant in the state of Pará for energy use. For this, data on the industrial process, the type of effluent treatment, and the conversion of waste into a new product were collected. Visits were made to the plant to understand the operation of the system, capturing biogas and converting it into electricity. The main parameters for operational control of the lagoon were chemical oxygen demand (COD), pH, and temperature. The average values obtained for pH totaled 7.43; for temperature, 38.30°C; and for organic volumetric loading, 24.73 kgCOD/m³.day, with a COD removal efficiency of 91% and an average methane production of 139.04 m³/day. The generated methane averaged 28.01 MWh of electricity that was used to power the industrial plant.

Keywords: Biogas. Anaerobic digestion. Renewable energy.

¹ Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS (SAGAT) – Belém – Pará – Brasil

² Universidade Federal do Pará – Belém – Pará – Brasil

* **Autor correspondente:** arosalopes@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A energia é um dos vetores básicos de infraestrutura necessária ao desenvolvimento humano (Oliveira, 2015). No Brasil, em função do crescimento populacional, a demanda por energia vem crescendo. Fontes de energia renováveis e de biocombustíveis recebem cada vez mais atenção como substitutos dos combustíveis fósseis. As biomassas vegetais e animais têm características semelhantes quando o assunto é aproveitamento energético. (Silva; Trevisan, 2019).

As principais formas de conversão energética são: (1) combustão direta – com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra; (2) processos termoquímicos – gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação; e/ou (3) processos biológicos – digestão anaeróbia e fermentação (Pereira *et al.*, 2015).

A Amazônia é uma grande produtora de biomassa, e, entre as culturas produzidas, o dendê (*Elaeis guineenses*), também conhecido como palma de óleo, é um destaque. Essa palmeira oleaginosa de origem africana foi introduzida no Brasil por volta do século XVI, por ocasião do tráfico negreiro (Pandolfo, 1981 *apud* Oliveira, 2015).

O biogás é uma alternativa viável de conversão energética e tem sido produzido a partir de biomassa e/ou da fração biodegradável de resíduos, que pode ser purificado até a qualidade do gás natural para utilização como biocombustível. Uma proposta moderna é o uso da biomassa proveniente do dendê para a produção de biogás, com altas probabilidades de efetiva implantação devido ao aumento da produção dessa palma no estado do Pará (Brown; Jacobson, 2005; FAO, 2015). O estado do Pará tem condições favoráveis à plantação de dendê, em função do clima, da umidade e da temperatura, que facilitam o desenvolvimento dessa planta, além de incentivos de políticas públicas à sua produção (Furlan Júnior, 2006; Müller; Alves, 1997).

O dendê se desenvolve bem em regiões tropicais, com clima quente e úmido (Furlan-Júnior, 2006). Em se tratando do mercado mundial, a Malásia representa o maior produtor de óleo de dendê, com cerca de 2,5 milhões de hectares de área cultivada, movimentando US\$ 9 bilhões/ano e gerando, na zona rural, mais de 250.000 empregos diretos.

O fruto do dendê produz dois tipos de óleos, que são obtidos através de processos físicos, pressão e calor: (1) o óleo de dendê ou de palma, que é extraído do mesocarpo, a parte externa do fruto; e (2) o óleo de palmiste, extraído da semente do fruto e que é similar aos óleos de coco e babaçu. Cada hectare de plantio de dendê produz, anualmente, de 0,4 a 0,6 toneladas desse óleo, o que representa um importante volume produtivo (Abrapalma, 2000).

O dendê pode ser utilizado em diversos processos industriais, como nas indústrias cosméticas e alimentícias (Müller; Alves, 1997) e para recursos energéticos, como na produção de biocombustível (Anderson, 2008; Kongsager; Reenberg, 2012; Alves *et al.*, 2013) a partir do POME (*Palm Oil Mill Effluent*), como é denominado o efluente do fruto do dendê após o processo industrial (Teixeira, 2019). Esse efluente contém uma elevada carga de matéria orgânica, condição ideal para a produção de biogás.

Após o processamento do fruto de dendê na indústria, gerando o POME, este é direcionado para o sistema de tratamento, momento em que se inicia o processo de produção de biogás, que consiste no seu isolamento, para que não ocorra o contato com o oxigênio presente na atmosfera. O POME é recebido em um biodigestor isolado, visto que os microrganismos anaeróbios são responsáveis pela produção dos gases e, como o próprio nome diz, trabalham na ausência do oxigênio. Durante esse processo é importante o controle de alguns parâmetros, como temperatura, pH, alcalinidade, quantidade de sólidos,

entre outros. Uma forma de melhorar as condições necessárias para a produção de biogás é a implantação de recirculação de lodos, agitação e remoção do excesso de lodo produzido ao longo do processo. Assim, todo o processamento deve ser acompanhado e controlado para ter as condições ideais ao desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios, resultando em equilíbrio dinâmico no sistema, o que gera maior eficiência na produção do biogás.

Esse biogás pode conter impurezas, como substâncias que conferem características corrosivas, que é o caso do sulfeto de hidrogênio (H_2S), comumente chamado de gás sulfídrico, e água (Roratto *et al.*, 2014), e por esse motivo precisa ser purificado para poder ser utilizado para gerar energia.

Ante a todos os fatores citados, sendo o Estado do Pará o maior produtor de frutos de palma no Brasil, tendo o efluente das indústrias produtoras de palma uma fonte de elevada matéria orgânica que é tratada como um problema de destinação adequada, há questionamentos se o resíduo líquido do dendê é realmente uma alternativa viável como fonte de energia renovável. Diante de tal questionamento, este estudo de caso propõe-se a verificar se o POME tem potencial de produção de biogás necessário para a geração de energia de uma indústria no estado do Pará.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o processo de produção de biogás, a partir do fruto do dendê, em uma lagoa anaeróbia coberta em uma indústria do estado do Pará, para aproveitamento energético.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a geração de biogás em relação ao tratamento realizado em uma lagoa anaeróbia coberta de uma indústria produtora de óleo de palma.

- Caracterização do efluente e do biogás obtido no sistema de produção adotado.
- Verificar a geração de energia elétrica produzida pela biomassa e a viabilidade de sua utilização a partir da geração de energia produzida.

3 METODOLOGIA

O sistema de tratamento de efluente com a finalidade de produzir biogás para aproveitamento energético estudado neste trabalho opera em escala real, tratando o efluente de uma indústria de extração de óleo de palma no Estado do Pará.

Para um melhor entendimento, apresenta-se o conceito do processo de digestão anaeróbia. A digestão anaeróbia é um processo biológico que ocorre na ausência de oxigênio molecular (O_2) e sob a ação de uma associação de microrganismos (fungos, protozoários e, principalmente, bactérias anaeróbias e facultativas) que transformam a matéria orgânica solubilizada, ou em estado semilíquido (lodo), em biogás, constituído, sobretudo, de gás metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) (Alves, 2007).

Segundo Cabral (2016), na digestão anaeróbia, diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia e novas células bacterianas. Para que os processos metabólicos da digestão anaeróbia ocorram, é necessária a atividade conjunta de ao menos três grupos de microrganismos distintos: as bactérias fermentativas ou acidogênicas, as bactérias sintróficas acetogênicas e os microrganismos metanogênicos. Esses grupos microbianos e os processos metabólicos podem ser visualizados na Figura 1.

Para a fundamentação dos estudos a serem apresentados nesta obra, foram realizados levantamentos bibliográficos em revistas científicas, artigos, sites especializados e livros no que concerne ao tema

a ser discutido, além das informações referentes ao processo de licenciamento ambiental consultado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) para a implantação do sistema em operação, a partir do qual foram levan-

tadas informações como: dados sobre a empresa a ser estuda, o processo industrial, o tipo de tratamento de efluente utilizado, a transformação de resíduo líquido em um novo produto, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

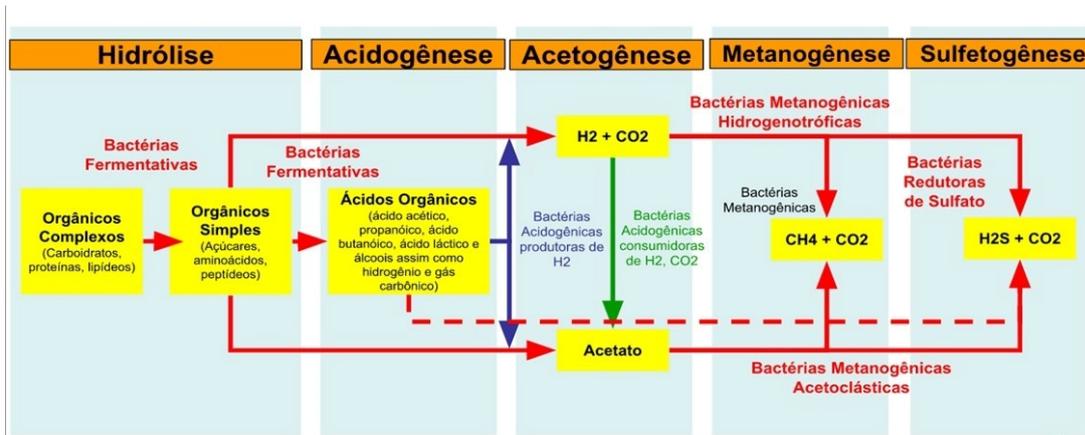


Figura 1 – Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (com redução de sulfato).

Ocorreram ainda visitas à indústria para conhecimento das instalações e acompanhamento da operação do sistema com o funcionamento dos equipamentos utilizados para a captação do biogás e transformação em energia.

Foram analisados os dados referentes aos parâmetros DQO, pH, temperatura e acompanhado o controle operacional realizado. O período analisado é de maio de 2021 a abril de 2022.

A indústria em estudo está localizada no Município de Moju, no estado do Pará, nas coordenadas geográficas 1°59'21.01”S e 48°36'23.17”O, como apresentado na Figura 2. Ela produz, em média, 165 ton/dia de óleo; tem uma área total de 13.000 ha e 9.069,75 km² de área construída; e funciona 12 meses/ano, 25 dias/mês e 16 a 20 horas/dia, em sistema de turnos. O sistema de tratamento ocorre através de lagoa anaeróbia coberta, como complemento ao tratamento de efluentes e com a finalidade de produção de biogás para geração

de energia, visto que anteriormente o efluente era destinado somente à fertirrigação.

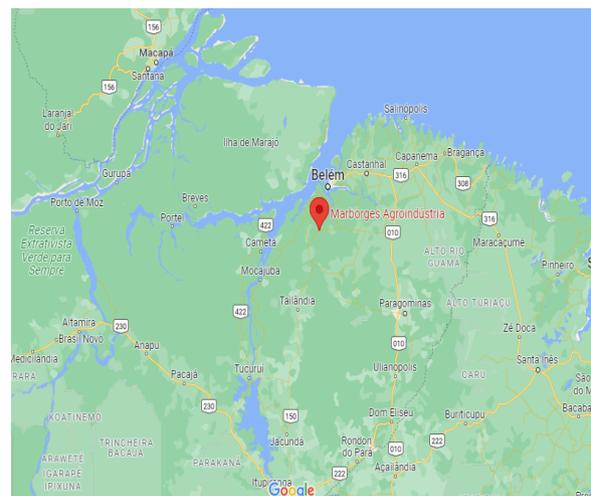


Figura 2 – Localização geográfica da indústria.

Fonte: Google Maps, 2022.

A Figura 3 apresenta um layout de locação da indústria, com destaque para a localização do sistema de tratamento por lagoa anaeróbia coberta para a produção de biogás.

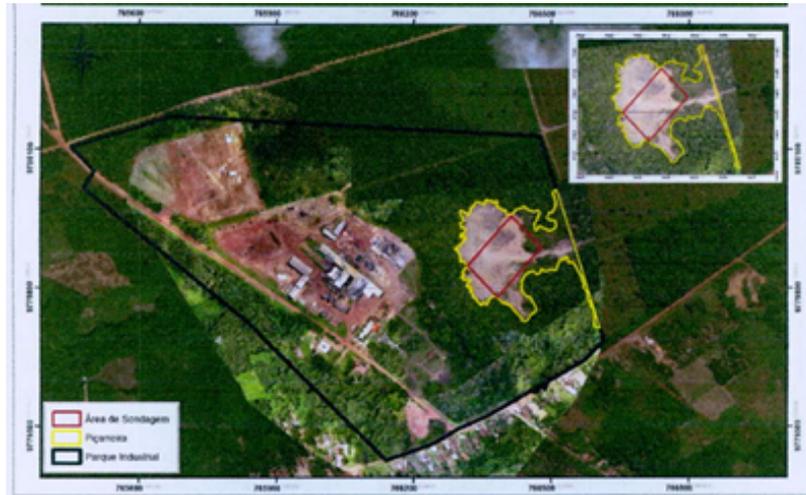


Figura 3 – Visualização da área industrial. Em destaque, a localização da Lagoa Anaeróbia no sítio da indústria.

Fonte: Pará, 2018.

O sistema da Unidade Produtora de Biogás (UPB) é composto por uma torre de resfriamento, pois o efluente vem do processo em temperatura entre 60 e 90 °C (Figura 4); uma lagoa anaeróbia impermeabilizada e coberta (Figura 5), com um sistema de agitação e recirculação do efluente e monitorada por uma central de controle automatizada que acompanha o funcionamento da lagoa, a geração de biogás e a geração e distribuição de energia;

sensores de leitura instantânea registram os parâmetros pH e temperatura (Figura 6); um aparelho de leitura do biogás, por meio do equipamento portátil denominado analisador de gás, marca LANDTEC, modelo GA5000 (Figura 7), que acompanha a eficiência do lavador de gases para o controle do gás sulfídrico ou Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), bem como realiza a leitura da produção dos outros gases que compõem o biogás (CO_2 , O_2 , CH_4) e o teor de H_2O .



Figura 4 – Torre de resfriamento.



Figura 5 – Lagoa coberta.



Figura 6 – Leitor instantâneo.



Figura 7 – Analisador de gás.

O sistema apresenta ainda um dessulfurizador, que é uma torre de lavagem biológica que permite a remoção dos compostos corrosivos, também chamado de lavador de gases (Figura 8). A purificação do gás foi acompanhada e controlada através de registros realizados diariamente em uma planilha que continha informações referentes

a esses gases, antes e depois da lavagem, com registro dos seus percentuais. Após a purificação o biogás é direcionado por tubulação ao gerador de energia (Figura 9), que segue ao transformador, para redução de tensão, sendo posteriormente a energia levada à linha de transmissão que segue até alimentação para a indústria.



Figura 8 – Lavador de gases.



Figura 9 – Geradores de energia.

A lagoa anaeróbia construída apresenta dimensões de 84x32x5 metros de profundidade, com volume de 13.000 m³ e capacidade para tratamento de 40 m³/h; é coberta e revestida com

geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) com espessura de 1,5 mm, com ancoragem na lateral de ambas as mantas em um sistema de vala perimetral, e as membranas são soldadas

juntas sob pressão e tensão, garantindo a hermeticidade do biodigestor. A cobertura é para o aprisionamento do biogás gerado, e o revestimento é para evitar a percolação do efluente para o solo; tem ainda um sistema de drenagem da água pluvial que circunda todo o perímetro da lagoa. Apresenta tubulações hidráulicas internas em PEAD de 125 mm para realizar a recirculação e agitação do material para a mistura do efluente

bruto com o recirculado em digestão. O bombeamento é controlado por sensores de pressão manejados por um sistema de supervisão por radiofrequência, o qual tem supervisão de operação em campo, tendo, no sistema de agitação e recirculação, o alcance de uma performance de redução de DQO bruta do POME em 85%. (Pará, 2018). Nas Figuras 10 e 11 mostra-se um desenho esquemático da lagoa anaeróbia coberta.

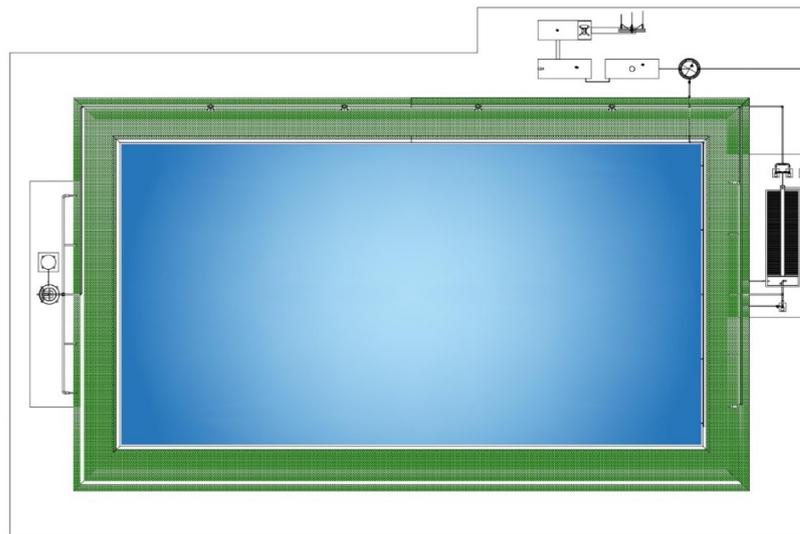


Figura 10 – Desenho esquemático da lagoa coberta, vista superior.



Figura 11 – Desenho esquemático da lagoa coberta, corte longitudinal.

A partida da lagoa foi realizada no mês de fevereiro/2021, com a inoculação de 3.000 m³ de efluente advindo do tratamento por lagoas de outra indústria que desenvolve a mesma atividade na vizinhança, sendo essa inoculação realizada em duas etapas: primeiro um volume inicial de

1.500 m³ e, posteriormente, mais 1.500 m³, sendo o volume útil da lagoa de 13.000 m³ e o tempo de detenção hidráulica de 45 dias. Após a inoculação total do esgoto já em processo de digestão, foi iniciado o teste de comissionamento dos equipamentos (Pará, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Visto que na indústria estudada ocorre a extração tanto do óleo bruto como o de palmiste, que é o óleo da amêndoa do fruto do dendê, descrever-se-á uma pequena redação para o entendimento do processo. Para extrair o óleo de Palma, os cachos de frutos são recebidos e levados até o esterilizador, a uma temperatura de 143 °C, permanecendo lá por 20 a 45 minutos para o seu completo cozimento/esterilização. No debulhador é realizada a retirada do fruto do cacho. Os frutos são encaminhados a três digestores (aqui entra a água aquecida para auxiliar na formação da pasta que será prensada) e, posteriormente, são direcionados às prensas, que fazem a extração do óleo bruto do fruto, que passa por duas peneiras (uma circular e outra retangular). O óleo é bombeado para o tanque pulmão, seguindo para as centrífugas de três fases (tridecanter),

sendo esta fase denominada de clarificação – que separa o óleo, o líquido e o sólido (borra). O produto, o óleo bruto de palma, é armazenado para comercialização; o sólido é vendido para a produção de ração animal; e o líquido é destinado ao *fatpit* (tanque com chicanas) para reaproveitar o óleo que possa ter passado; posteriormente, esse líquido (denominado POME) vai para o sistema de tratamento de efluentes. (Pará, 2018). Já o óleo de palmiste, após a separação das amêndoas e seu polimento, segue para os quebradores de nozes (que separam as cascas das amêndoas). Posteriormente, as amêndoas são cozidas e prensadas, e ocorre a separação da torta de amêndoa e o óleo de palmiste; neste processo de extração do óleo de palmiste não são geradas águas residuárias (Pará, 2018). A Figura 12 apresenta o fluxograma do processo de produção da indústria.

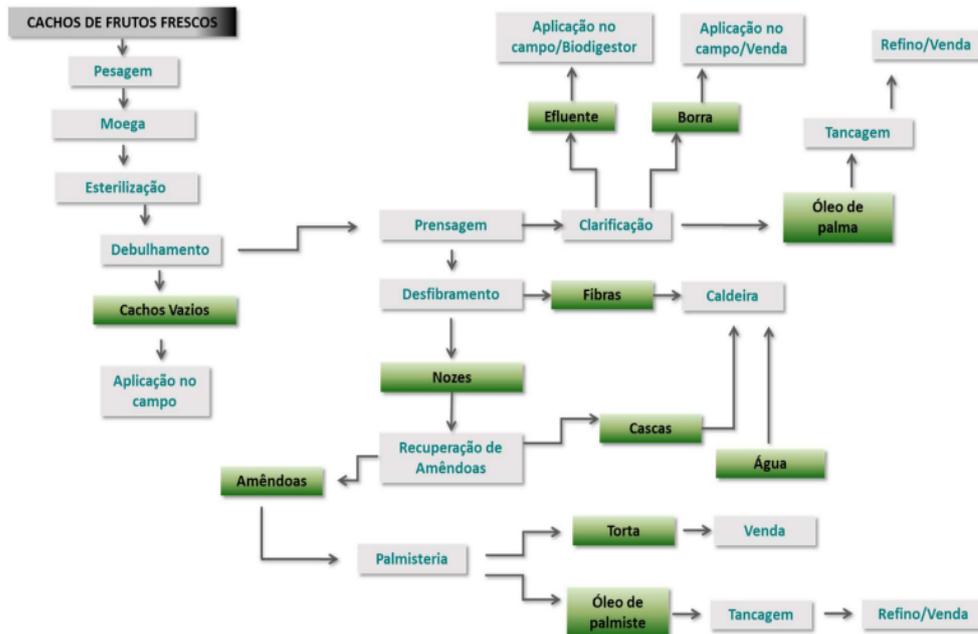


Figura 12 – Fluxograma do processo produtivo.

Fonte: Indústria, 2022.

Todo o efluente líquido, após passar pelo aproveitamento de óleo no *fatpit* que é um tanque com chicanas, é enviado para o sistema de tratamento

de efluente por meio das lagoas, para captura do biogás e geração de energia, conforme mostra a Figura 13.

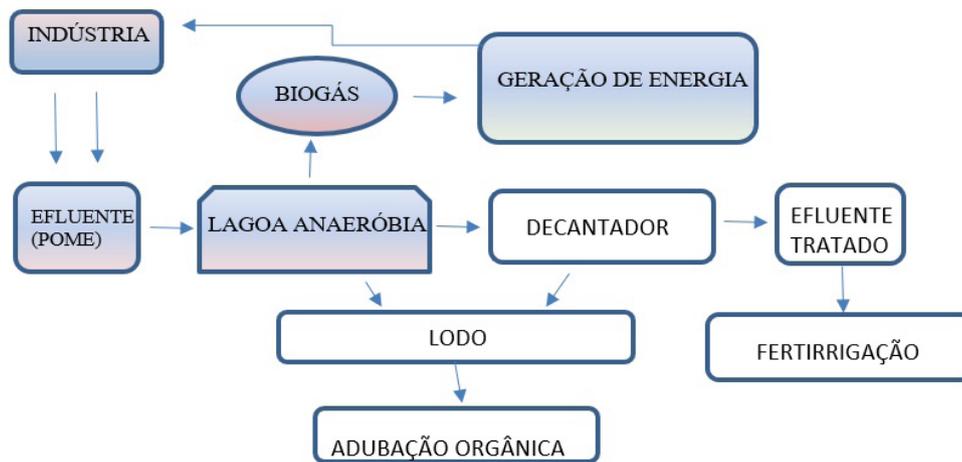


Figura 13 – Fluxograma do processo de tratamento na lagoa anaeróbia e a utilização dos subprodutos.

Os valores médios da caracterização do efluente bruto que alimenta a lagoa anaeróbia são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios dos parâmetros da caracterização do efluente bruto (mais relevantes ao processo de digestão anaeróbia).

PARÂMETROS	VALORES
Temperatura	60 °C
pH	4,28
DBO	22.230,00 mg/L
Óleos e graxas vegetais mais gorduras animais	3.139,00 mg/L
Sólidos sedimentáveis	850 mL/L

Fonte: Pará, 2018.

Destaca-se o registro da temperatura de 60 °C, pH de 4,2 e DBO₅ 22.230,00 mg/L, sendo possível observar que nas análises físico-químicas do efluente bruto encontra-se um pH ácido e uma temperatura elevada, o que precisa ser corrigido para que haja condições favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios que irão realizar a produção do biogás.

Apesar da cultura do dendê ser perene, acontecem variações na produtividade ao longo do ano, tendo meses com mais frutos e outros meses

com menos frutos disponíveis para a utilização na indústria, ocorrendo, assim, uma oscilação na geração de efluentes, visto que a indústria terá períodos com volume de produção variada, o que ocorrerá também na produção de seus resíduos, incluindo a geração do efluente bruto, influenciando na produção do biogás e na geração de energia. A Figura 14 mostra a variação da geração de efluentes da indústria estudada no período de maio/2021 a abril/2022.

A caracterização do biogás é importante para conhecer a composição do gás gerado a partir do POME. Na figura 15, apresenta-se a caracterização do biogás a partir do POME, com a média da geração dos gases presentes nos últimos 12 meses a partir do início da operação.

A presença do sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico pode interferir na metanogênese e, conseqüentemente, na formação de metano, comprometendo a produção de biogás, gerando menos energia. A produção do gás sulfídrico também interfere na vida útil dos equipamentos por ser corrosivo. A indústria promove a sua remoção através de um lavador de gases (desulfurizador) e utiliza o enxofre para adubar a plantação de dendê.

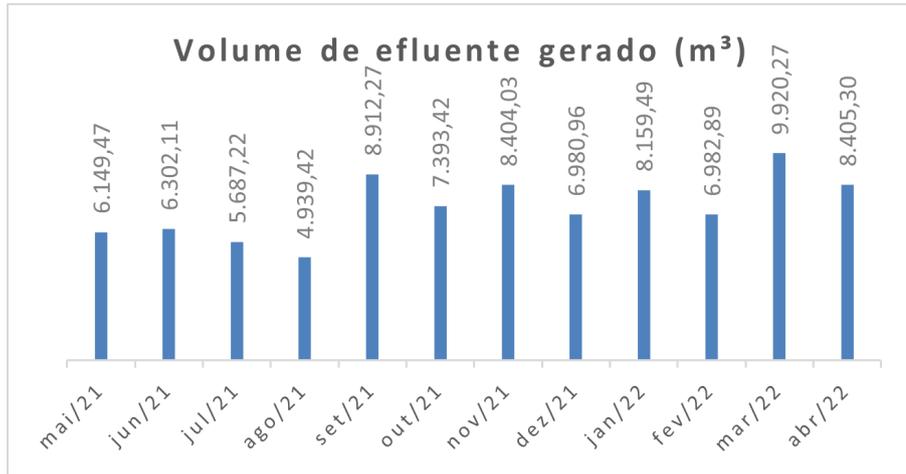


Figura 14 – Volume de efluentes gerados no período de maio/2021 a abril/2022.

Fonte: Indústria, 2022.

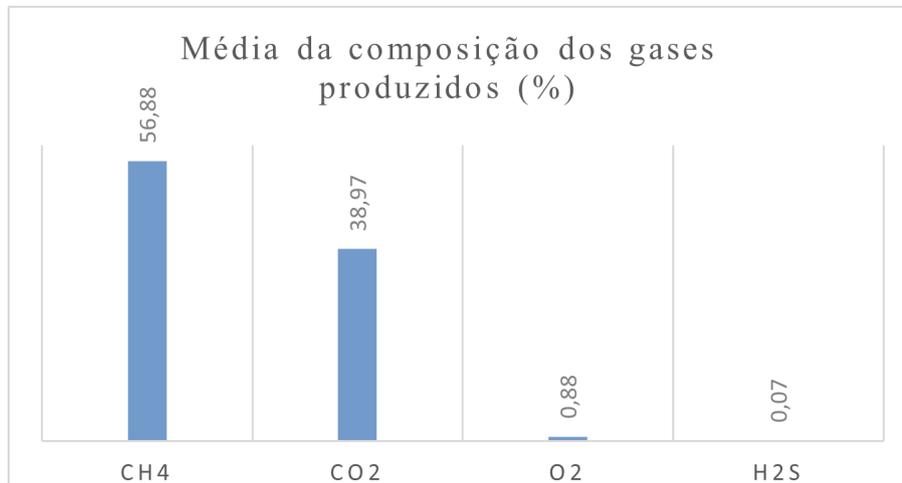


Figura 15 – Caracterização do biogás a partir do POME, com a média da geração dos gases presentes nos últimos 12 meses.

Fonte: Indústria, 2022.

Os registros dos dados operacionais apresentam os parâmetros controlados e acompanhados no sistema automatizado. Os parâmetros controlados e acompanhados diariamente são: pH e temperatura, sendo dois fatores preponderantes de controle para produção do biogás. Os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio DBO (somente na entrada) e DQO (na entrada e na

saída da lagoa anaeróbia coberta) são realizados uma vez por semana nas dependências do laboratório que faz parte da estrutura da UPB. Esses registros são apresentados na Tabela 2.

Para o controle da temperatura, o efluente passa por uma torre de resfriamento antes de adentrar na lagoa, visto sua elevada temperatura ao sair do

processo produtivo; o pH é controlado por meio da recirculação com o substrato do interior do digestor fazendo uma mistura e agitação no interior da lagoa, melhorando as condições do substrato para a realização da digestão anaeróbia e tentando

chegar ao máximo às condições mesofílicas, para melhor produzir o biogás. Como já mencionado, as análises de determinação de DBO e DQO são realizadas uma vez por semana, para acompanhar o desenvolvimento da eficiência no interior da lagoa.

Tabela 2 – Valores médios mensais dos parâmetros controlados.

Parâmetro/ Período	DQO Entrada (mg/L)	DQO Saída (mg/L)	DBO Entrada (mg/L)	pH Entrada	Temperatura Entrada (°C)
Maio/2021	109.510,00	-	36.503,33	7,00	37,59
Junho/2021	98.614,00	2.938,00	32.871,33	7,23	38,36
Julho/2021	104.545,00	3.366,00	34.848,33	7,36	39,87
Agosto/2021	105.590,00	8.064,67	35.196,67	7,49	41,72
Setembro/2021	100.097,00	15.065,33	33.365,67	7,76	40,80
Outubro/2021	144.756,00	11.295,00	48.252,00	7,81	39,85
Novembro/2021	107.782,00	10.980,00	35.927,33	7,47	38,53
Dezembro/2021	124.424,00	19.266,33	41.474,67	7,48	38,91
Janeiro/2022	109.340,00	9.710,00	36.446,67	7,50	36,96
Fevereiro/2022	112.345,00	7.083,00	37.448,33	7,46	36,54
março/2022	110.254,00	5.273,33	36.751,33	7,38	34,85
Abril/2022	84.517,00	15.950,00	28.172,33	7,18	35,65

Fonte: Indústria, 2022.

Nos valores de DBO e DQO apresentados na Tabela 2, observa-se que a relação DQO/DBO_5 para o POME consta de 3,0, e, segundo Von Sperling, 2017, essa relação está em uma faixa intermediária, que varia entre 2,5 e 4,0 e são consideradas fração de biodegradável não elevada, mas ainda assim com significativa porção de material biodegradável. Contudo, a finalidade do uso do efluente após o tratamento (digestado) não será para lançamento em corpo hídrico e sim para utilização no projeto de fertirrigação da plantação da palma.

A Figura 16 nos traz uma comparação da média dos valores registrados no controle operacional, relacionando-os com os valores de pH na faixa considerada ótima para as condições de desenvolvimento das arqueas metanogênicas, que variam entre 6,6 e 7,4 e produzem um biogás com maiores teores de metano. Observa-se que no acompanhamento do parâmetro pH a operação da lagoa se manteve nas proximidades do pH neutro (7) e numa média de 7,43, permanecendo dentro das faixas de pH ótimo para o crescimento dos microrganismos produtores de metano.

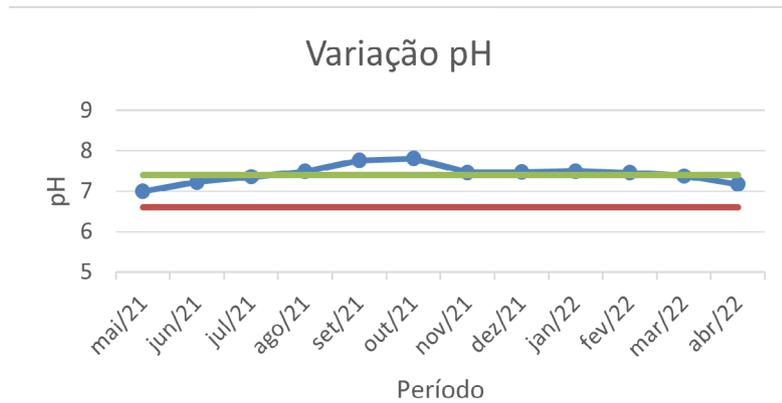


Figura 16 – Valores do pH médio no período de 12 meses comparando com o valor ótimo para operação da lagoa coberta.

No mesmo entendimento, a Figura 17 apresenta os valores médios registrados ao longo de 12 meses da lagoa em operação, visto que a temperatura também é um fator influenciador para o

melhor aproveitamento de produção do metano, em comparação aos valores tidos na literatura como uma faixa de temperatura ótima, que fica em torno de 35 a 40 °C.

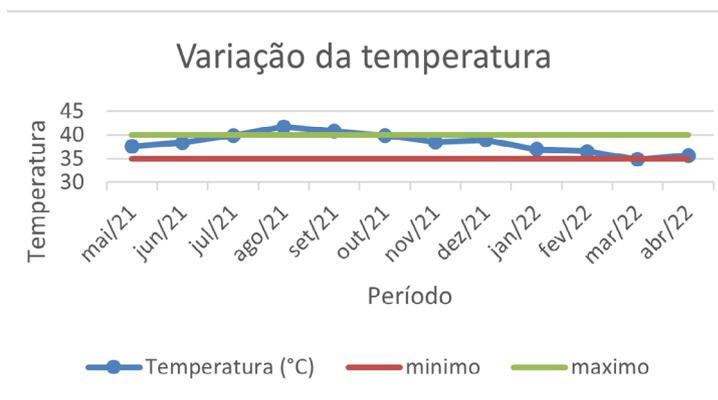


Figura 17 – Temperatura média no período de 12 meses comparando com o valor ótimo para operação da lagoa coberta.

Observa-se que a temperatura de operação ao longo dos 12 meses apresenta-se próxima da faixa de trabalho ótimo da fase mesofílica, em média 38,30°C, que é propícia para melhor produzir metano. A temperatura é controlada, mas poderia ser melhorada com o uso de um sistema de resfriamento mais eficaz.

Tendo como um dos produtos finais a geração de energia elétrica, os registros da produção

começaram a ser realizados a partir do mês de junho/2021, quando os equipamentos já estavam aptos. Na Figura 18, apresenta-se os valores registrados.

O valor gerado no período soma um total de 280,10 MWh. Levando em consideração que a carga instalada da indústria fica em torno de 1500 a 1600 kW, seu consumo pode ser estimado por volta de 800 MWh, com a complementação

de consumo realizada pela indústria por meio de turbina a vapor e concessionária. Os valores apresentados correspondem a uma unidade de

gerador de energia em funcionamento, porém ainda faltam duas unidades entrarem em funcionamento, aumentando a produção de energia.

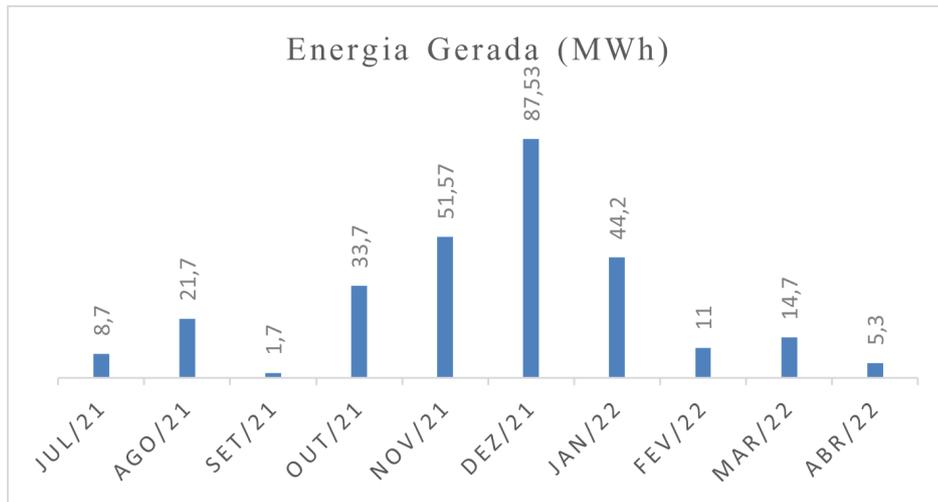


Figura 18 – Valores de geração de energia.

Fonte: Indústria, 2022.

5 CONCLUSÃO

Diante das alegações realizadas nos tópicos anteriores, utilizando a média dos dados apresentados na operação da UPB no período de maio/2021 a abril/2022, o sistema apresentou os seguintes resultados alcançados:

- A lagoa funcionou, em média, com uma COV de 24,73 kgDQO/m³. dia, pH de 7,43 e temperatura de 38,30 °C.
- A lagoa anaeróbia coberta apresentou eficiência de remoção de DQO de aproximadamente 91% e produção média de 139,04 m³/dia de metano no período.
- Um parâmetro importante para avaliar o bom desempenho da digestão anaeróbia é a relação alcalinidade/ácidos voláteis, e esses parâmetros não são acompanhados na operação da lagoa. Recomenda-se a implantação desses parâmetros

para poder antecipar problemas operacionais e otimizar a metanogênese no digestor, com possível maior produção de metano.

- Recomenda-se a redução de óleos e graxas como pré-tratamento, antes do POME ser direcionado para a lagoa anaeróbia coberta.
- O metano produzido diariamente no tratamento do POME da indústria é utilizado para o aproveitamento energético e gerou, no período de 10 meses mencionado, o valor de 28,01 MWh de energia, em média, que foi utilizado para alimentar a planta industrial. O sistema tem capacidade de geração maior, entretanto, equipamentos já instalados que servirão para aproveitar a produção de biogás de maneira ampla ainda devem entrar em funcionamento.

Então, do efluente do processo de beneficiamento da palma de óleo, são extraídos:

- o biogás, para produção de energia elétrica;
- o enxofre, elemento extraído da lavagem dos gases, que é utilizado como nutriente nas plantações de palma;
- após o tratamento na lagoa anaeróbia, o efluente tratado (ou digestado) é utilizado na fertirrigação da plantação de dendê; e
- o lodo excedente gerado, transformado em torta para adubo, também é utilizado nas áreas de plantio.

Assim, o propósito deste trabalho, de apresentar a produção de biogás e a geração de energia a partir do efluente líquido do processo de beneficiamento do fruto da palma de óleo (dendê) em um sistema funcionando em escala real, foi contemplado, sendo viável a utilização desse efluente líquido. Contudo, para um melhor aproveitamento, ajustes podem ser realizados conforme as recomendações sugeridas, todavia, dependerá da necessidade e dos objetivos que a indústria queira atingir.

Dessa forma, observa-se que os resíduos do processo produtivo industrial, denominados agora subprodutos e que antes eram tidos como problemas ambientais, são destinados de maneira adequada e aproveitados de modo sustentável, gerando vários benefícios e agregando valor aos resíduos produzidos.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Cardoso ARB; **Metodologia:** Cardoso ARB e Alves RGCM; **Resultados e discussões:** Cardoso ARB, Alves RGCM e Serafim ECS; **Redação – primeira versão:** Cardoso ARB; **Redação – revisão e edição:** Cardoso ARB, Alves RGCM e Serafim ECS.

7 AGRADECIMENTOS

A Agroindústria Grupo MARBORGES, pelo acolhimento por parte de seu presidente e diretores,

permitindo o acesso às suas instalações e às informações operacionais, repassadas pelo valoroso corpo técnico dessa empresa para a elaboração deste trabalho. Agradecimentos também para a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS, por todo apoio recebido.

8 REFERÊNCIAS

ALVES, Rui Guilherme Cavaleiro de Macêdo. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processos anaeróbios: operação e avaliação de diversos reatores em escala real**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ALVES, S. A. O. *et al.* Indicadores de sustentabilidade da agroindústria do dendê no estado do Pará. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 28, n. 4, p. 240-246, 2013. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2013v28n4p240-246>

ANDERSON, J. M. Eco-Friendly Approaches to Sustainable Palm Oil Production. **Journal of Oil Palm Research**, Kajang, p. 127-142, 2008.

BROWN, E.; JACOBSON, M. F. **Cruel Oil: How Palm Oil Harms Health, Rainforest and Wildlife**. Washington, DC: Center for Science in the Public Interest (CSPI), 2005.

CABRAL, Carolina Bayer Gomes. **Avaliação da Produção de Biogás para Fins Energéticos em Reatores Anaeróbios Tratando Esgoto Sanitário**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistic Division**, 2015. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/E>.

FURLAN Júnior J. **Biodiesel: porque tem que ser dendê**. Belém: Embrapa, 2006.

ICLEI – BRASIL. **Manual para aproveitamento do biogás: efluentes urbanos**. São Paulo: ICLEI BRASIL, 2010. v. 2, 77 p.

KONGSAGER, R.; REENBERG, A. **Contemporary Land-Use Transitions: The Global Oil Palm Expansion**. Copenhagen: Global Land Project, 2012.

MÜLLER, A. A.; ALVES, R. M. **A dendeicultura na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997.

MÜLLER, A. A.; FURLAN Júnior J.; CELESTINO Filho P. A. **Embrapa Amazônia Oriental e o Agronegócio do Dendê no Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

OLIVEIRA, Rosana Cavalcante de. **Metodologia de análise de risco de investimento em projetos de eficiência energética**

com aplicação no aproveitamento da biomassa residual do dendê na Amazônia. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

PARÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Processo 2018/0000044506.** Belém: Semas, 2018. Disponível em: <https://monitoramento.semas.pa.gov.br/simlam/VisualizarProcesso.aspx?UrlRetorno=ListarProcessos.aspx&id=127103>. Acesso em: ago. 2020.

PEREIRA, M. S. *et al.* Energias renováveis: biogás e energia elétrica provenientes de resíduos de suinocultura e bovinocultura na UFSM. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, RS, v. 19, n. 3, p. 239-247, 2015.

SILVA, A. C. G.; TREVISAN, G. M. Processo de produção e aproveitamento energético do biogás: uma revisão dos sistemas e tecnologias existentes no mercado. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, SE, v. 10, n. 2, p. 197-210, 2019. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0017>.

TEIXEIRA, M. A. Energia e emissões na produção de óleo de palma/dendê (*Elaeis guineensis*): geração e cogeração na indústria de óleo de palma. **AMBIÊNCIA**, Guarapuava, PR, v. 15, n. 1, p. 257-278, 2019.

VON SPERLING, M. E. **Lagoas de Estabilização:** princípios do tratamento biológico de águas residuárias: V. 3. Belo Horizonte: UFMG, 1996.