

# AValiação DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE RESÍDUOS DE PALMA DE ÓLEO SUBMETIDOS AO PROCESSO DE CRAQUEAMENTO TÉRMICO-CATALÍTICO

*Data de aceite: 01/08/2024*

### **Mário Davi Coutinho Santos**

Graduando em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

### **Letícia Bentes Soares**

Graduanda em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

### **Claudemir de Jesus dos Santos Júnior**

Graduando em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

### **Odete Kariny Souza Santos**

Graduanda em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

### **Ellen Thaís Nunes de Sousa**

Graduanda em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

### **Ana Regina da Rocha Araújo**

Doutora em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

**RESUMO:** Nos dias de hoje as questões do gerenciamento de resíduos têm ganhado evidência, em especial dos orgânicos que são gerados em grande quantidade nas cidades e pela agroindústria. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi quantificar o teor nutricional da casquinha e da torta de

palma e avaliar o potencial desses resíduos na geração de biocombustíveis através do processo de pirólise. Partindo dessa perspectiva, esta pesquisa propôs analisar os resíduos vegetais gerados na produção da Palma de Óleo (*Elaeis guineensis*), obtidos na empresa Marborges Agroindústria S/A que está localizada no município de Moju. O estudo está dividido em dois estágios, o primeiro envolve a caracterização dos nutrientes encontrados no material vegetal. Na segunda etapa, esse material passa por um processo de craqueamento térmico-catalítico, feito em escala de bancada, com o objetivo de avaliar posteriormente as propriedades e aplicações dos produtos finais. Sendo assim, os resultados obtidos mostraram que houve uma diferença entre as concentrações dos nutrientes nos resíduos. Com relação à pirólise, o resíduo da casquinha de dendê obteve um maior rendimento, tanto para o biocarvão, quanto para o bio-óleo. Diante disso, conclui-se que a palma de óleo por ser uma cultura largamente cultivada no estado do Pará, gera um grande quantitativo de resíduos que podem ser empregados na produção de bioenergia. A produção de bioenergia a partir de resíduos da produção agropecuária é uma ferramenta importante para evitar a

degradação ambiental e também reduzir os custos na cadeia produtiva. Essa abordagem visa, assim, equilibrar o impacto ambiental, representando um passo significativo rumo a práticas mais saudáveis e sustentáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dendê. Pirólise. Reaproveitamento.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, a problemática da geração de um grande quantitativo de resíduos industriais e agroindustriais vem contribuindo para a chamada “crise ambiental global”, na qual grande parte desses resíduos são destinados de forma inadequada, o que representa um grande risco tanto para o meio ambiente quanto aos seres humanos (POZZETI; CALDAS, 2019). Nesse sentido, o descarte inadequado pode acarretar em uma série de impactos ambientais, tais como poluição do ar e de corpos hídricos, morte e redução de diversos componentes da fauna e flora e também, principalmente servindo abrigo e alimento para diversos tipos de agentes causadores e vetores de doenças, o que representa um grande risco à saúde humana. (SANTOS JÚNIOR; SOUZA, 2023).

O gerenciamento de resíduos sólidos enfrenta desafios devido a quantidade e heterogeneidade de resíduos gerados e sua variabilidade composicional, por isso o estudo das características desses materiais é de extrema importância para que o reaproveitamento seja efetivo (ENGELMANN et al., 2022). A implementação ou aperfeiçoamento de ações e programas destinados ao reaproveitamento e destinação correta de resíduos sólidos requer comprometimento de toda sociedade, maior planejamento e atenção pelo poder público, e participação efetiva da indústria, promovendo ganhos no âmbito social, econômico e ambiental (SILVA et al., 2022).

Além disso, também é importante abordar sobre o debate acerca da questão energética, o qual perpassa por aspectos sociais, ambientais, econômicos, técnicos e políticos e está inserida em todas as esferas do poder, em nível municipal, estadual, federal e até mesmo global. No Brasil, a questão energética é uma temática de ampla discussão, uma vez que o país ainda gera a maior parte da energia em usinas hidrelétricas, entretanto a utilização de fontes alternativas de energia se mostram como possíveis caminhos, frente a questões tais como as mudanças climáticas, as mudanças no estilo de vida da sociedade moderna e também como forma de enfrentamento aos impactos causados pelo uso de combustíveis fósseis (COLLAÇO; BERMANN, 2017).

A utilização de biomassa como fonte para geração de energia é uma estratégia para minimizar os impactos ambientais advindos da utilização indiscriminada de combustíveis fósseis. Nesse viés, a pirólise ou craqueamento térmico-catalítico é um processo no qual ocorre na ausência de oxigênio e é controlado por faixas de temperatura e promove a degradação da biomassa por meio de aquecimento ao final são gerados três subprodutos: biocarvão, bio-óleo e gás (MOTA *et al.*, 2015).

A Palma de óleo (*Elaeis guineensis*) é uma planta de origem africana, da família das palmeiras (Arecaceae) e possui grande destaque no agronegócio, pois é a cultura oleaginosa com maior produção de óleo por unidade de área, podendo chegar de 6 a 8 t/ha/ano de óleo, superando com grande vantagem o potencial de produção de óleo da soja (BARROS; FERNANDES, 2012). Além disso, a produção da palma gera um grande quantitativo de subprodutos, tais como a casquinha, o cacho vazio e a torta de dendê, que possuem um elevado teor de nutrientes e um grande potencial para geração de biocombustíveis (ALMEIDA, 2020).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi quantificar o teor nutricional da casquinha e da torta de palma e avaliar o potencial desses resíduos na geração de biocombustíveis através do processo de pirólise.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo está dividido em duas etapas, tendo a primeira como caracterização dos nutrientes presentes no material vegetal e a segunda etapa a submissão desse material ao processo de craqueamento térmico-catalítico com o intuito de observar posteriormente as propriedades e aplicações dos produtos finais.

### **Obtenção e tratamento das amostras**

As amostras foram obtidas na empresa Marborges Agroindústria S/A, localizada no município de Moju. Posteriormente o material foi trazido para Universidade Federal do Pará, onde foi realizada a secagem do material em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 105° C por um período de 24 horas para redução do teor de umidade.

### **Caracterização química**

A Caracterização Química foi realizada no laboratório de Análise de Plantas, localizado na Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Belém. Para a análise de elementos em material vegetal, adotou-se a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira(1997). Para a análise quantitativa dos elementos, foram empregados os seguintes métodos: a colorimetria usando o reagente amarelo de vanadato em um espectrofotômetro UV-visível foi utilizado para a determinação do teor de fósforo total. Além disso, a técnica de MP-AES (Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Micro-ondas) foi empregada para a determinação dos micronutrientes Mo, Cu, Zn, Mn, bem como dos macronutrientes Ca, K e Mg.

Para determinação dos macronutrientes e micronutrientes e foi realizada a digestão dos resíduos no bloco digestor, com a adição do ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) e ácido nítrico (HNO<sub>3</sub> (1/2)), em uma determinada temperatura na câmara. A digestão Nitroperclórica,

iniciou com a temperatura em 110°C, e a cada 10 minutos, era feita a observação, para ver o aumento da temperatura, e a dissolução dos resíduos. Cada biomassa obteve um determinado resultado, em relação à câmara de digestão Nitroperclórica. A temperatura máxima atingida foi de 220°C.

Para extração dos elementos orgânicos foi utilizado o método de digestão nítrico-perclórico. Inicialmente, 500 mg da amostra seca e moída foram pesados e adicionados a um tubo de digestão. Em seguida, foi adicionado uma mistura de HNO<sub>3</sub> e HClO<sub>4</sub> na proporção 2:1 (v/v), com volume de 6ml. As amostras foram submetidas a aquecimento gradual em um bloco digestor modelo, atingindo 60°C para redução do volume até a metade. Posteriormente, a temperatura foi aumentada 20°C no intervalo de 20min até atingir 220°C para a formação de fumos brancos de HClO<sub>4</sub>. Após a digestão, o extrator foi transferido para um balão volumétrico de 50 ml, diluído com água deionizada e o volume foi completado até a marca com água deionizada, obtendo-se o extrato B.

Para a determinação analítica dos elementos presentes no extrato B, foram utilizados os seguintes métodos: colorimetria amarelo de vanadato em espectrofotômetro UV visível, para a determinação do fósforo total; MP-AES (Espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas), modelo Agilent 4200, para a determinação dos micronutrientes Mo, Cu, Zn, Mn e macronutrientes Ca, K e Mg. Os reagentes, utilizados para o preparo da mistura reativa, foram molibdato de amônio (0,5%) e vanadato de sódio (0,25%).

A concentração dos elementos e compostos foi determinada por meio de curvas de calibração previamente preparadas. Todos os procedimentos analíticos foram realizados em triplicata para garantir a precisão do resultado.

## **Craqueamento Térmico-Catalítico**

O Craqueamento Térmico-catalítico foi realizado em escala de bancada (Figura 1) no laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA), localizado na Universidade Federal do Pará, campus Belém.

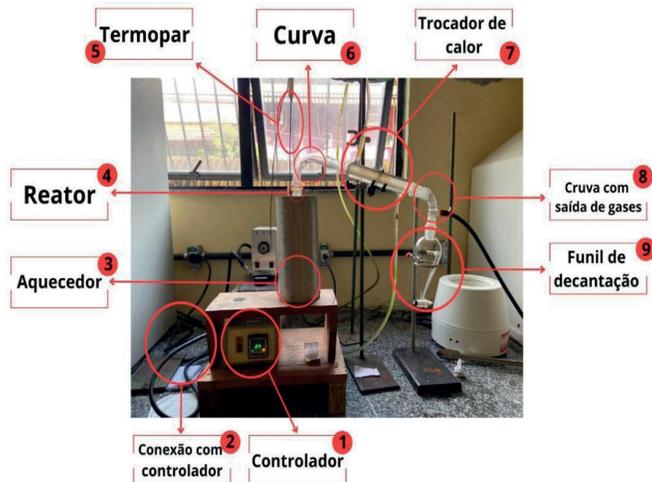


Figura 1. Ilustração do craqueamento térmico-catalítico em escala de bancada.

Fonte: Os autores, 2023.

Foram realizadas utilizando como matéria-prima a casquinha e a torta de Dendê, coletados da empresa Marborges. Para a reação foram utilizados 25 g de cada resíduo, adicionando mais 2,5 g do catalisador carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), correspondendo sempre a 10% da massa do resíduo. Primeiramente, a matéria-prima e o catalisador foram inicialmente pesados em uma balança e em seguida foram depositados no reator de vidro bolossilicatado 250 ml.

Para iniciar o processo, o craqueamento térmico-catalítico de bancada foi ajustado a temperatura ( $440^\circ\text{C}$ ), e o tempo de processamento (41 min) para atingir a temperatura máxima, e o tempo de manutenção da temperatura máxima (31 min). Durante o processo, são gerados o Produto Líquido (PL), e o Produto Líquido Oleoso (PLO), além da carbonização da biomassa, identificado de (biocarvão).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização química dos materiais e do processo de pirólise estão listados nas tabelas 1, 2 e 3.

	P	K	Ca	Mg
Casquinha	-	1,3	0,6	0,6
Torta	-	2,8	1,6	1,8

Tabela 1. Macronutrientes presentes nos materiais, em g/Kg

Fonte: Autores (2023)

	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mo</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>
Casquinha	26,7	15,5	7,3	321,0	4099,4
Torta	45,0	26,2	11,4	461,0	5915,6

Tabela 2. Micronutrientes presentes nos materiais, em mg/Kg

Fonte: Autores (2023)

	<b>Biocarvão</b>	<b>PL</b>	<b>PLO</b>
TORTA DE DENDE	11,61	6,43	2,51
CASQUINHA DE DENDÊ (1)	19,47	3,47	3,74
CASQUINHA DE DENDÊ (2)	19,12	0,07	0,25

PL = produto líquido, PLO = Produto líquido orgânico.

Tabela 3. Massas dos produtos obtidos, em gramas

Fonte: Autores (2023)

Com relação à composição nutricional, pode-se verificar uma diferença considerável nos teores de todos os nutrientes entre os resíduos. Os valores obtidos neste estudo diferiram dos encontrados por Alexandre (2022) que ao avaliar a produção de biomassa de diferentes genótipos de dendê híbrido quantificou os valores médios dos teores de nutrientes no cacho da palma de óleo, os quais são, em g/kg, 0,60 para P, 5,74 para K, 0,74 para Ca e 0,71 para Mg. Já para micronutrientes os valores encontrados, em mg/kg, foram de 12,99, 12,87, 80,41 e 11,08 para Cu, Zn, Fe e Mn, respectivamente e concluiu que há uma grande variabilidade genética entre os genótipos, mas que através de métodos de manejo é possível maximizar o potencial produtivo.

Além disso, ao avaliar a aplicabilidade da utilização da folha do dendê para realização de compostagem, Silva (2019) encontrou os seguintes valores, em g/kg, de macronutrientes presentes na parte aérea da palma: 1,4, 1,4, 3,9 e 3,3 para P, K, Ca e Mg respectivamente e concluiu que esse material apresentou resultados satisfatórios quando combinado ao esterco caprino para produção de composto orgânico.

A torta de dendê é um resíduo largamente utilizado na indústria de alimentação animal, em especial para bovinos, porém também apresentaram bons resultados na suplementação de ovinos e caprinos, uma vez que possui altos teores de proteína bruta e fibras e podem representar soluções mais economicamente viáveis. Entretanto é necessário observar os níveis oferecidos, uma vez que níveis acima do recomendado podem reduzir a taxa de consumo, comprometendo o rendimento produtivo (VISONÁ-OLIVEIRA, 2015; SANTA ROSA, 2022).

Nos resultados da pirólise, houve um rendimento maior da casquinha de dendê, tanto para o biocarvão quanto para o bio-óleo (PLO). Nesse sentido, Oliveira (2016), ao avaliar a viabilidade da produção de bioenergia a partir dos resíduos do cacho sem frutos e torta de dendê concluiu que esses resíduos possuem alto potencial de reutilização na indústria de energia, gerando carvão vegetal ou bio-óleo. Além disso, essas conclusões estão de acordo com Santos (2022), que concluiu também que os resíduos da produção do óleo de palma possuem grande aplicabilidade como fonte de biocombustíveis e através de uma revisão sistemática observou que a maioria das pesquisas relacionadas à produção energética tem foco na geração de biogás.

Diante disso, destaca-se a importância da gestão de resíduos da cadeia da palma de óleo, dada a grande relevância dessa cultura para o estado do Pará e o emprego dos resíduos de palma representam uma alternativa tanto para preservação ambiental como também para de biocombustíveis que podem ser reintegrados à cadeia produtiva da dendeicultura.

## CONCLUSÃO

A palma de óleo é uma cultura que possui grande relevância no Pará, uma vez que o estado é responsável por mais de 90% da produção. Dessa forma, são gerados grandes quantitativos de resíduos que podem ser empregados na produção de biocombustíveis.

A produção de bioenergia a partir de resíduos da produção agropecuária é uma ferramenta importante para evitar a degradação ambiental e também reduzir os custos na cadeia produtiva. Essa abordagem visa, assim, equilibrar o impacto ambiental, representando um passo significativo rumo a práticas mais saudáveis e sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Jaqueline do Carmo. **Eficiência nutricional e produção de biomassa de clones de palma-de-óleo (*Elaeis guineenses* Jacq)**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2022.

ALMEIDA, K. C. **Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos de Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) em sistemas agroflorestais e monocultivo na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020.

ARAÚJO, D. F. C.; SOBRINHO, L. A. O futuro dos biocombustíveis: Análise do cenário atual e perspectivas para o setor no Brasil. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia vinculada ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Brasil**. Volume 7, 2023. DOI: 10.22481/rg.v7.e2023.e12766.

BARROS, B.B; FERNANDES, L.O. Torta de Dendê: Alimento Alternativo para Nutrição de Ruminantes no Pará. **Caderno de Pós Graduação da FAZU**, v. 3, Minas Gerais, 2012.

OLIVEIRA, B. F. H. **Estudo da pirólise da biomassa de dendê como fonte de energia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) – Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

COLLAÇO, F. M. A.; BERMANN, C. Perspectivas da Gestão de Energia em âmbito municipal no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 213–235, jan. 2017.

ENGELMANN, P. de M.; LIMA, J. E. A. de; PIRES, M. J. R. Caracterização do rsu da cidade de Xangrilá/RS visando o aproveitamento em processos de wte. In: ALMEIDA, I. M. S. de; SILVA, K. A. da; EL-DEIR, S. G. (Org.). **Resíduos sólidos: Gestão e gerenciamento**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2022. p. 116-131.

POZZETTI, V. C.; CALDAS, J. N.. O descarte de resíduos sólidos no âmbito da sustentabilidade. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 10, n. 1, p. 183-205, 2019.

SANTA ROSA, C. E. A. **Análise econômica da utilização de silagem de casca de mandioca com torta de dendê para uso na alimentação animal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2022.

SANTOS, D. R. **Aproveitamento energético do resíduo de óleo de palma**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, PR, 2022.

SANTOS JÚNIOR, R. S.; SOUZA, R. R. Panorama dos impactos causados pelo descarte inadequado dos resíduos sólidos na biodiversidade. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 8, n. 2, p. 062–069, 2023. DOI: 10.24221/jeap.8.2.2023.5284.062-069.

SILVA, A. C. da; SILVA, R. C. P. da; JUCÁ, J. F. T.; VITORINO, K. M. N. Programas municipais de coleta seletiva: contexto nacional. In: ALMEIDA, I. M. S. de; SILVA, K. A. da; EL-DEIR, S. G. (Org.). **Resíduos sólidos: Gestão e gerenciamento**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2022. p. 46-55.

PINTO, R. J. SANTOS, V L. M. Energia Eólica no Brasil: Evolução, Desafios e Perspectivas. **RISUS - Journal on Innovation and Sustainability**. Volume 10, número 1 – 2019. DOI: 10.24212/2179-3565.2019v10i1p124-142.

MOTA, F. D. A. S.; VIEGAS, R. A.; LIMA, A. A. S.; SANTOS, F. F. P. S.; CASELLI, F.D.T.R. Pirólise da biomassa lignocelulósica: Uma revisão pyrolysis of lignocellulose biomass: A review. **Revista GEINTEC**, v. 5, p. 2511-2525, 2015.

NAHUM, J. S.; SANTOS, L. S.; SANTOS, C. B. Formação da Dendeicultura na Amazônia Paraense. **Mercator**, Fortaleza, v.19, e19007, 2020. DOI: 10.4215/rm2020.e19007.

VISONÁ-OLIVEIRA, M. FERREIRA, I. C.; MACEDO JUNIOR, G. L.; SOUSA, L. F.; SOUSA, J. T. L.; SANTOS, R. P. Consumo e digestibilidade de nutrientes da torta de dendê na dieta de ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, n. 2, p. 179–192, abr. 2015.

BRASIL. **Normas referentes às operações de financiamento ao segmento da palma de óleo, nos termos do zoneamento**. Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto nº 7.172, de 7 de Maio de 2010.