

AValiação DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOCCombustíveis 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 (HClO₄) e ácido nítrico (HNO₃ (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 HNO₃ e HClO₄ 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 HClO₄. 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.

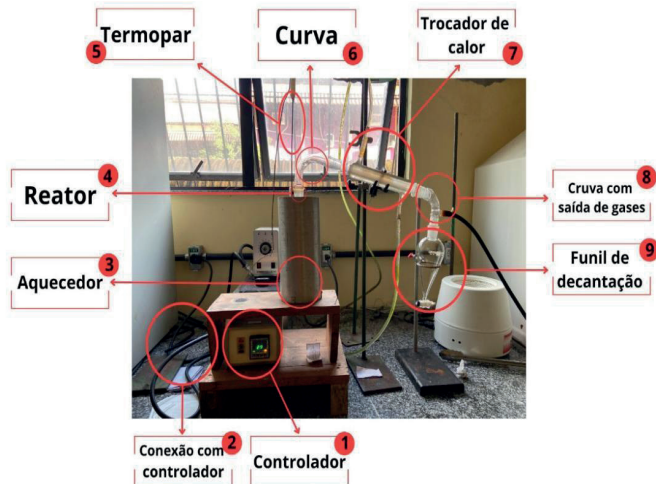


Figura 1. Ilustração do craqueamento térmico-catalítico em escala de bancada.

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 (Na_2CO_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°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)

| | Zn | Cu | Mo | Mn | Fe |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 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)

| | Biocarvão | PL | PLO |
|------------------------|------------------|-----------|------------|
| 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.