

Poder calorífico superior de resíduos de cinco espécies amazônicas

Márcia Laís Ferreira Silva¹; Cynara Nicole dos Anjos Bentes¹; Rafaela Estevão²; Victor Hugo Pereira Moutinho¹

¹ Laboratório de Tecnologia da Madeira e Bioprodutos (LTM), Instituto de Biodiversidade e Florestas (IBEF), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém/PA, Brasil; ² Instituto de Biodiversidade e Florestas (IBEF), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém/PA, Brasil – marcialais.eng@gmail.com

Resumo: Este estudo analisa o poder calorífico superior de resíduos de cinco espécies amazônicas (*Hymenaea courbaril*, *Dipteryx odorata*, *Pseudopiptadenia psilostachya*, *Couratari* sp., e *Vochysia maxima*) para avaliar seu potencial energético, identificar a viabilidade como fonte de energia renovável e determinar qual apresenta melhor desempenho para melhorar sua utilização. As amostras de madeira foram fornecidas pelo Laboratório de Tecnologia da Madeira e Bioprodutos da UFOPA e oriundas da Floresta Nacional do Tapajós. Após serrado e completamente seco, o material passou para a análise feita na bomba calorimétrica adiabática para a determinação do poder calorífico superior, em que foi definida segundo a metodologia descrita pela norma da ASTM E711-87 (ASTM, 2004). Os resultados mostraram que o Cumaru apresentou o maior PCS (4.795,33 kcal/kg), seguido por Jatobá (4.554 kcal/kg), Timborana (4.475 kcal/kg), Quaruba (4.306,33 kcal/kg) e Tauari (4.277 kcal/kg), indicando que os resíduos madeireiros dessas espécies possuem um significativo potencial energético, podendo ser utilizados como fontes viáveis de energia renovável.

Palavras-chave: Poder calorífico superior, Energia renovável, Resíduos florestais.

Higher calorific value of residues from five Amazonian species

Abstract: This study analyzes the higher calorific value of waste from five Amazonian species (*Hymenaea courbaril*, *Dipteryx odorata*, *Pseudopiptadenia psilostachya*, *Couratari* sp., and *Vochysia maxima*) to evaluate their energy potential, identify their viability as a renewable energy source, and determine which one has the best performance to improve their utilization. The wood samples were provided by the Laboratory of Wood Technology and Bioproducts of UFOPA and from the Tapajós National Forest. After sawn and completely dry, the material was analyzed in the adiabatic calorimetric pump to determine the higher calorific value, where it was defined according to the methodology described by the ASTM E711-87 standard (ASTM, 2004). The results showed that Cumaru had the highest PCS (4,795.33 kcal/kg), followed by Jatobá (4,554 kcal/kg), Timborana (4,475 kcal/kg), Quaruba (4,306.33 kcal/kg) and Tauari (4,277 kcal/kg), indicating that the wood residues of these species have a significant energy potential, and can be used as viable sources of renewable energy.

Keywords: Higher calorific value, Renewable energy, Forest residues.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, a madeira tem sido utilizada para diversas finalidades pela humanidade. No entanto, com o aumento do uso de combustíveis fósseis, sua utilização como fonte de energia foi reduzida. Atualmente, devido à pressão de órgãos ambientais e organizações não governamentais para reduzir a emissão de poluentes, há uma maior busca por combustíveis renováveis e menos poluentes, como a biomassa (Carneiro et al., 2014). O potencial energético da floresta amazônica, com sua grande variedade de espécies madeiras, permanece pouco explorado (Marengo et al., 2014). O processo de exploração da madeira, embora economicamente importante, resulta em grandes quantidades de resíduos florestais (Fechaduras; Matricardi, 2019). Esses resíduos, na maioria das vezes, são descartados inadequadamente, levando a desperdícios dos recursos naturais e o agravamento de problemas ambientais e sociais (Ramos et al., 2018).

No entanto, a gestão eficiente desses resíduos, combinada com estudos sobre potenciais utilizações, pode transformar essa questão em um diferencial econômico importante para a indústria madeireira. Nesse contexto, o estudo do poder calorífico de espécies amazônicas como Cumaru (*Dipteryx odorata*), Timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*), Tauari (*Couratari sp.*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e Quaruba (*Vochysia maxima*) se destaca como uma alternativa promissora para o melhor aproveitamento dos resíduos florestais.

O poder calorífico, que indica a quantidade de energia em forma de calor liberada durante a combustão de uma unidade de massa de madeira, é um parâmetro crucial na seleção de espécies para biocombustível. Ele é medido em termos de poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI). No PCS a combustão ocorre em um volume constante, em que a água formada nesse processo é condensada e o calor resultante é recuperado (Briane; Doat, 1985). Sendo assim, a madeira com maior PCS será a mais eficiente para fins energéticos, proporcionando maior liberação de calor por unidade de massa.

Espécies como o Cumaru e o Jatobá, já são amplamente reconhecidas no mercado madeireiro por suas propriedades físicas e mecânicas, mas seu potencial energético ainda requer investigação científica. A caracterização energética dessas espécies fornece informações valiosas sobre os resíduos e promove o uso racional e sustentável dos recursos naturais, o que pode impactar positivamente a economia das

áreas dependentes de exploração florestal (Vital et al., 2013). Além disso, a validação técnica e o aumento do conhecimento a respeito do uso potencial dos resíduos florestais como fontes de energia renovável são fundamentais para a implementação de políticas públicas que visam integrar o Brasil à economia de baixo carbono.

Diante desse cenário, o objetivo do trabalho foi realizar a caracterização detalhada do poder calorífico superior das espécies *Dipteryx odorata*, *Pseudopiptadenia psilostachya*, *Couratari sp.*, *Hymenaea courbaril* e *Vochysia maxima*, da Floresta Nacional do Tapajós. Essa análise visa contribuir para a valorização dos recursos florestais amazônicos e promover seu aproveitamento energético de maneira sustentável.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material

As madeiras utilizadas das espécies *Dipteryx odorata* (conhecida pelo nome popular de Cumaru), *Pseudopiptadenia psilostachya* (Timborana), *Coutari sp* (Tauari), *Hymenaea courbaril* (Jatobá) e *Vochysia maxima* (Quaruba) foram fornecidas pelo Laboratório de Tecnologia da Madeira e Bioprodutos + da Universidade Federal do Oeste do Pará. Essas madeiras foram originadas da Floresta Nacional do Tapajós, localizada na Rodovia BR 163, Km 67.

Essas espécies foram escolhidas pela sua importância ecológica na Amazônia, seu valor econômico no mercado madeireiro e seu potencial energético. Cada uma delas possui características distintas que influenciam o seu poder calorífico, tornando-as ideais para um estudo comparativo.

2.2 Preparação do material

O material recebido apresentava-se em forma de cunha, sendo necessário utilizar o equipamento denominado “destopadeira” para transformá-la em serragem. Após esse processo, a serragem foi peneirada para obter a fração desejada de 60 mesh de acordo com a norma *American Society for Testing and Materials – ASTM* (ASTM, 1982). Em seguida, o material foi colocado em recipientes na sala de

aclimação, com umidade relativa do ar em torno de 65% e temperatura média de 20°C, até atingir massa constante.

2.3 Determinação do poder calorífico

Para essa etapa, foi necessário que o material estivesse completamente seco em estufa. Ademais, foi utilizada a bomba calorimétrica adiabática para a determinação do poder calorífico superior, em que foi definida segundo a metodologia descrita pela norma da ASTM E711-87 (ASTM, 2004). Foram realizadas cinco repetições para a espécie *Dipteryx odorata* (Cumaru) e três repetições para as demais espécies (*Hymenaea courbaril*, *Pseudopiptadenia psilostachya*, *Couratari sp.*, e *Vochysia maxima*).

Figura 1. Determinação do Poder Calorífico Superior na bomba calorimétrica adiabática.



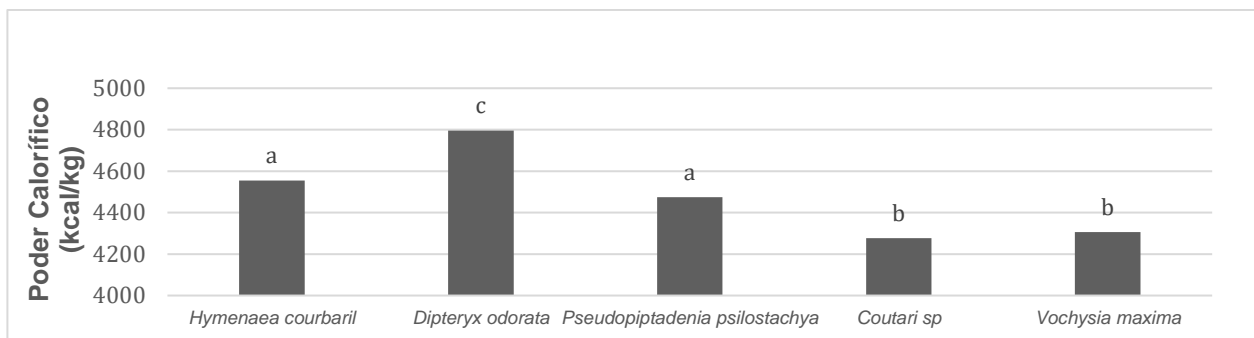
Fonte: (Autor)

Os dados do experimento foram sujeitos a análises estatísticas. A princípio, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk, para verificar a normalidade, à análise de variância (ANOVA), a fim de apurar as diferenças existentes. No momento em que estabelecidas diferenças significativas entre eles, foi aplicado o teste Tukey em nível de 95% de significância. Estas análises foram realizadas com o auxílio do software Microsoft Excel (2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de poder calorífico superior da madeira das espécies analisadas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Médias dos valores do poder calorífico superior (kcal/kg) da madeira das cinco espécies amazônicas avaliadas.



O teste de Tukey mostrou que as espécies Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e Timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya*) não diferem entre si em relação ao PCS, com médias de 4.554 kcal/kg e 4.475 kcal/kg, respectivamente. Da mesma forma, as médias do PCS das espécies Tauari (*Coutari sp.*) e Quaruba (*Vochysia máxima*) não apresentaram diferença entre si, com 4.277 kcal/kg e 4.306,33 kcal/kg, respectivamente. Porém, em relação ao PCS, o Cumaru (*Dipteryx odorata*) apresenta-se como a espécie com maior valor, diferindo das demais, com média de 4.795,33 kcal/kg. Vale ressaltar que o poder calorífico superior é a mensuração do maior poder energético que a madeira pode apresentar, partindo do pressuposto de que a mesma se encontra completamente seca (Cintra, 2009).

No presente estudo, o PCS das espécies *Hymenaea courbaril* (Jatobá), *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Pseudopiptadenia psilostachya* (Timborana), *Couratari sp.* (Tauari) e *Vochysia maxima* (Quaruba) apresentou valores variando entre 4.277 e 4.795,33 kcal/kg, demonstrando um bom potencial energético comparável a outras espécies brasileiras. Segundo (Moutinho et al, 2016) as madeiras amazônicas possuem poder calorífico que varia de 4.000 a 4.800 kcal/kg.

Entretanto, esse valor pode mudar a depender da espécie, do teor de umidade da madeira, assim como das condições de crescimento. De acordo com Brito (1993), as madeiras de espécies folhosas possuem um PCS médio de 4.500 kcal/kg, enquanto Quirino et al. (2005), ao estudar mais de cem espécies brasileiras, encontraram valores de PCS variando entre 3.350 e 5.260 kcal/kg. Quanto maior for o PCS de uma matéria, maior será o rendimento de energia, uma vez que a

quantidade de calor liberada pela queima do combustível é proporcional a sua massa (Vieira, 2012).

Portanto os resultados deste estudo são consistentes com as literaturas encontradas, que relataram que as madeiras amazônicas possuem poder calorífico variando de 4.000 a 4.800 kcal/kg, sendo o valor encontrado para o Cumaru (4.795,33 kcal/kg) os mais altos dentre os relatados na literatura, indicando seu grande potencial energético.

4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- A espécie *Dipteryx odorata* se destacou por apresentar o maior PCS, seguida por *Hymenaea courbaril* e *Pseudopiptadenia psilostachya* que não diferem entre si. As espécies *Coutari sp* e *Vochysia maxima* também não diferem, porém têm os menores valores entre as espécies estudadas neste trabalho;
- A média do PCS para as cinco espécies estudadas foi de 4.481,33 kcal/kg, confirmando o potencial dessas madeiras para uso energético, especialmente em processos que exigem uma alta eficiência de combustão;
- O estudo sugere que o uso de resíduos madeireiros pode contribuir para a eficiência energética, além de promover a sustentabilidade, em especial, resíduos da madeira de *Dipteryx odorata* (Cumaru).

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard method for chemical analysis of charcoal**. Philadelphia, 1982. 1042 p.

ASTM E711-87. Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. **Annu B ASTM Stand**, v. 87, p. 1-8, 2004.

BRIANE, D.; DOAT, J. Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois. **AixenProvence: ÉDISUD**, 1985. 180 p.

BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. Piracicaba, n. 181, p. 6, 1993 (**Circular Técnica, IPEF**).

CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira et al. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v. 38, p. 375-381, 2014.

CINTRA, T.C. Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP. 2009. 84 p. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)** – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MARENCO, R. A. et al. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista CERES**, v. 61, n. suppl, p. 786–799, 2014.

MOUTINHO, V. H. P. et al. Propriedades Químicas e Energéticas de Madeiras Amazônicas do Segundo Ciclo de Corte. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 443–449, 2016.

OLIVEIRA, L. P. DE et al. WOOD AND CHARCOAL QUALITY IN THE SELECTION OF *Eucalyptus* spp. CLONES AND *Corymbia torelliana* X *Corymbia citriodora* FOR STEEL INDUSTRY. **Revista Árvore**, v. 47, 2023.

RAMOS, W. F. et al. GERAÇÃO DE RESÍDUOS MADEIREIROS DO SETOR DE BASE FLORESTAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM, PARÁ. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1823–1830, 2018.

SILVA, D. A. DA et al. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 561–568, 2014.

SILVA, Gustavo Vargas da et al. Biomassa de *Dendrocalamus giganteus* como recurso bioenergético. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p. 2244-2262, 2022.

SILVA JÚNIOR, Mário Antônio Pinto da; BARBOSA, Kelvin Techera; LOURENÇO, Vitor Alves; GATTO, Darci Alberto; NADALETTI, Willian César. Considerações sobre gestão e aproveitamento de resíduos em indústrias madeireiras. Pelotas: **Universidade Federal de Pelotas**, 2019.

SILVA, M. G. DA et al. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **Acta amazônica**, v. 37, n. 1, p. 61–70, 2007.

SOUZA, C. DE O. et al. Qualidade dos resíduos madeireiros de mogno-africano e eucalipto para briquetagem. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, p. 637–652, 2022.

VIEIRA, A. C. Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. 2012. 56 p. **Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)** - **Universidade Estadual do Oeste do Paraná**. Cascavel, 2012.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira para fins energéticos. Bioenergia & Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais. Visconde do Rio Branco: **Suprema**, 2013, p. 429-458.