

Variabilidade das características químicas de madeiras residuais de espécies tropicais amazônicas

Thiago de Paula Protásio¹; Michael Douglas Roque Lima²; Elvis Vieira dos Santos¹; Paulo Ricardo Gherardi Hein¹; Paulo Fernando Trugilho¹

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras/MG, Brasil; ² Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz/MA, Brasil – thiago.protasio@ufla.br

Resumo: Madeiras residuais de espécies tropicais manejadas de forma sustentável na Amazônia brasileira são promissoras para substituir combustíveis fósseis. No entanto, seu uso em sistemas energéticos locais é desafiador em relação a muitas espécies mistas com propriedades desconhecidas. Este estudo teve como objetivo avaliar as características químicas das madeiras residuais provenientes de plano de manejo florestal da Amazônia Brasileira. Os teores de extrativos totais, lignina insolúvel, lignina solúvel e lignina total foram determinados. Os extrativos totais (1,8 – 17,9%) apresentaram ampla variação interespecífica. Por fim, *D. excelsa* se destacou em relação aos teores de extrativos totais e lignina total, indicando elevado potencial para finalidade energética.

Palavras-chave: Biomassa residual, Heterogeneidade, Carbonização, Bioenergia.

Variability of physical and chemical properties of wood wastes from Amazonian tropical species

Abstract: Residual wood from sustainably managed tropical species in Brazilian Amazonia is promising as a substitute for fossil fuels. However, its use in local energy systems is challenging due to many mixed species with unknown properties. This study aimed to evaluate the chemical characteristics of residual wood from a forest management plan in Brazilian Amazonia. The contents of total extractives, insoluble lignin, soluble lignin, and total lignin were determined. Total extractives (1.8–17.9%) showed wide interspecific variation. Finally, *D. excelsa* stood out in relation to the contents of total extractives and total lignin, indicating high potential for energy purposes.

Keywords: Residual biomass, Heterogeneity, Carbonization, Bioenergy.

1. INTRODUÇÃO

O uso de fontes limpas e seguras de energia contribui para a diversificação da matriz energética global e a redução da dependência de combustíveis fósseis, que é a principal causa do aumento das taxas de emissão de gases de efeito estufa (Uddin et al., 2019). Devido aos benefícios das energias renováveis, vários países utilizam a biomassa florestal como fonte de energia. O Brasil está entre os cinco países do mundo com maior cobertura florestal, aproximadamente 497 milhões de hectares (Mha) (Teixeira et al., 2018). Desse total, ~335 Mha (67%) correspondem

às florestas naturais da Amazônia (SNIF, 2019). Essas áreas florestais são alvo dos planos de manejo florestal sustentável (PMFS), instrumento legal que permite o uso racional de produtos florestais madeireiros e não madeireiros na Amazônia.

A Instrução Normativa (IN) nº 05 publicada em 11 de setembro de 2015 regulamenta os PFMS nas florestas nativas do estado do Pará. Essa IN prevê o uso dos resíduos gerados pela exploração de impacto reduzido para a produção de lenha e energia. A literatura apresenta que para cada 1 tonelada de madeira colhida na Amazônia, 2,13 toneladas de resíduos são produzidas (Numazawa et al., 2017). Os resíduos da exploração madeireira compreendem galhos, restos de troncos e sapopemas. Esses resíduos podem ser destinados à produção de carvão vegetal para abastecer o segundo maior polo siderúrgico do Brasil, localizado na região de Carajás, entre os estados do Maranhão e Pará.

Pesquisas abordando o potencial energético desses resíduos são escassas, especialmente em relação a várias espécies tropicais mistas. Esse conhecimento apoiaria futuras diretrizes para o uso otimizado dessa biomassa. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar as características químicas das madeiras residuais provenientes de plano de manejo florestal da Amazônia Brasileira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Fonte e amostragem dos resíduos

Os resíduos madeireiros provenientes do manejo florestal sustentável avaliados nesta pesquisa foram coletados no Complexo Rio Capim (coordenadas: 3° 30' e 3° 45'S - 48° 30' e 48° 45'O), localizada no município de Paragominas - PA.

Vinte espécies foram selecionadas e amostradas no estudo. Todas as espécies são comerciais, o que significa que há uma demanda de mercado para essas espécies na região. A amostragem foi realizada aleatoriamente selecionando o galho de maior diâmetro das copas de três árvores colhidas de cada espécie. Três discos de madeira por base de galho foram coletados para análise laboratorial e a identificação das espécies foi realizada três dias após a derruba das árvores.

2.2 Identificação das espécies

As espécies foram identificadas no Herbario e Xiloteca da Embrapa Amazônia Oriental (Tabela 1). A identificação botânica foi baseada na avaliação dos órgãos

vegetativos (folhas) e reprodutivos (frutos, flores ou ambos). Um espécime de madeira com dimensões nominais de 7 cm x 7 cm x 7 cm de cada galho foi preparado para a Xiloteca.

Tabela 1. Espécies tropicais amostradas no Complexo Rio Capim, Paragominas – PA.

Familia	Nome científico	Nome vulgar
Burseraceae	<i>Protium altissimum</i> (Aubl.) Marchand	Breu-barrote
Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	Piquiarana
	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	Piquiá
Chrysobalanaceae	<i>Licania canescens</i> Benoist	Casca-Seca
	<i>Parinari rodolphii</i> Huber	Coco-pau
Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Cupiúba
Humiriaceae	<i>Vantanea parviflora</i> Lam.	Uxirana
	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	Tauarí-liso
	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & Kunth	Tauarí-branco
	<i>Eschweilera pedicellata</i> (Rich.) S.A.Mori	Matamatá
	<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	Matamatá-preto
Lecythidaceae	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Sapucaia
	<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori	Jarana
	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Angelim-vermelho
	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Orelha-de-macaco
Leguminosae - Mimosoideae	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W.Grimes	Timborana
	<i>Manilkara elata</i> (Allemão ex Miq.) Monach.	Maçaranduba
Sapotaceae	<i>Pouteria oblanceolata</i> Pires	Abiu
	<i>Pouteria</i> sp. 1	Abiorana
	<i>Pouteria</i> sp. 2	Guajará-bolacha

Fonte: (Autor)



Engenharia
Industrial
UFPEL
Madeireira



SOCIEDADE BRASILEIRA
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DA MADEIRA

2.3 Propriedades químicas das madeiras residuais

A caracterização química dos resíduos de exploração madeireira foi realizada por análise química molecular (teores de extrativos totais, lignina insolúvel, lignina solúvel e lignina total).

Os extrativos totais foram determinados de acordo com a NBR 14853 (ABNT, 2010) utilizando aproximadamente 2 g de resíduos lenhosos (massa úmida) por galho amostrado. Foram seguidas três etapas: uma extração com etanol:tolueno (2:1 v/v) por 6 h em extrator Soxhlet; uma extração com etanol por 5 h em extrator Soxhlet; e, uma extração em água destilada quente por 2 h. As amostras livres de extrativos foram secas em estufa com circulação de ar a 103 ± 2 °C para obtenção da massa seca.

O teor de lignina insolúvel foi quantificado de acordo com a NBR 7989 pelo método de hidrólise ácida (ABNT, 2010). Primeiramente, 0,3 g de serragem sem extrativos foi tratada com ácido sulfúrico (72% - 3 mL por amostra) durante 2 h em banho-maria à temperatura ambiente (± 28 °C). Em seguida, as amostras foram fervidas em condição pressurizada por 1 h e filtradas em cadinhos de vidro de porosidade 2 (40-60 microns) com óxido de alumínio. Por fim, os cadinhos com lignina insolúvel foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 103 ± 2 °C. A lignina solúvel foi determinada por espectroscopia UV, segundo Goldschimid (1971). A lignina total foi obtida pela soma da lignina insolúvel e solúvel.

2.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$) e Bartlett ($p \leq 0,05$) para verificar a normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias, respectivamente. Posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de variância considerando um delineamento inteiramente casualizado para verificar o efeito do fator espécie nas propriedades químicas da madeira. O teste de Scott-Knott foi aplicado para verificar a similaridade das espécies, ao nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas utilizando a linguagem R versão 3.4.3.

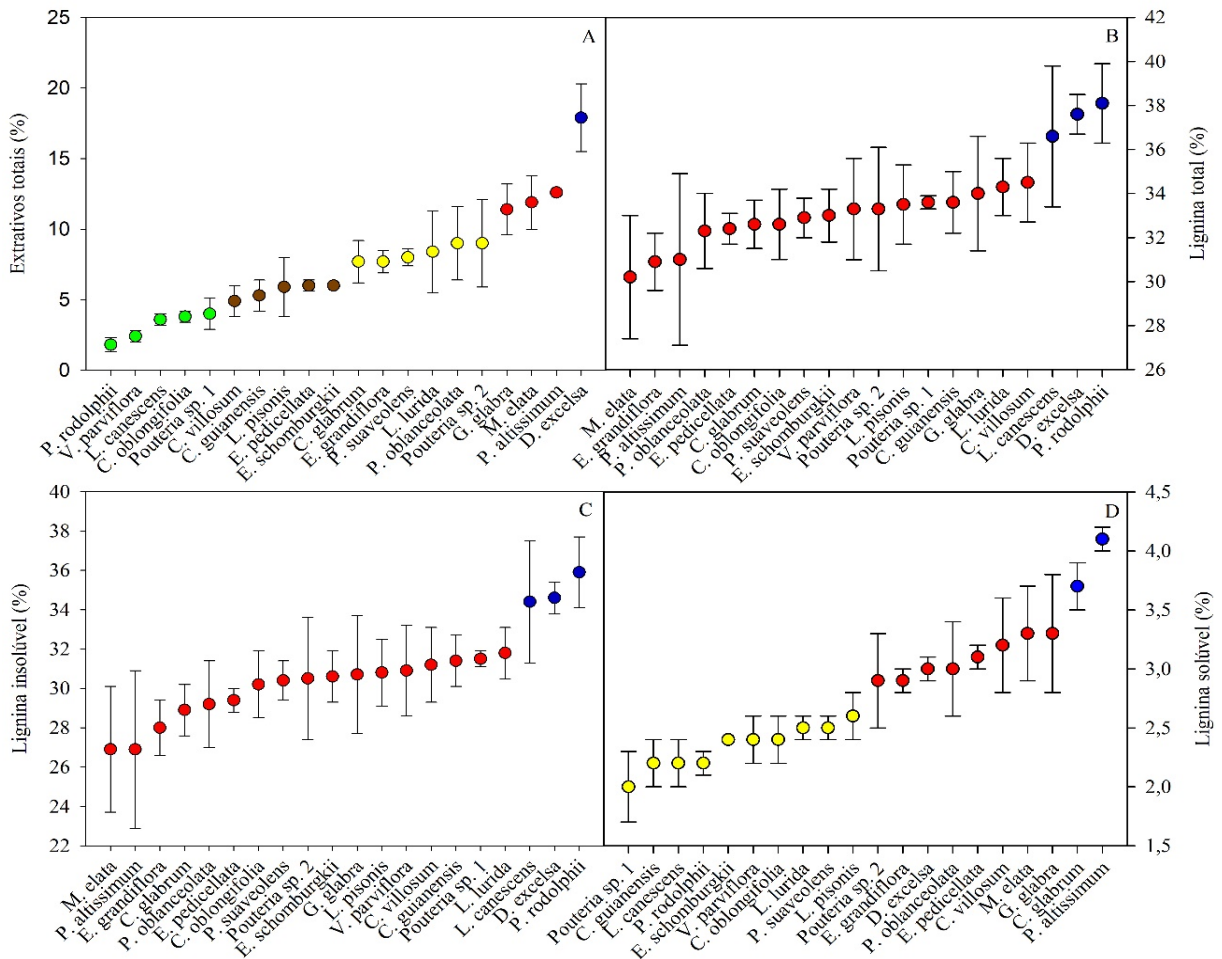
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização química das madeiras

Houve grande variação na composição química dos resíduos de exploração

madeira das 20 espécies tropicais (Figura 1). *D. excelsa* se destacou com o maior teor de extrativos totais (17,9%). Em contrapartida, as menores médias foram observadas para *P. rodolphii* (1,8%), *V. parviflora* (2,4%), *L. canescens* (3,6%), *C. oblongifolia* (3,8%) e *Pouteria* sp. 1 (4,0%). Em relação à lignina total, as médias variaram de 30,2 a 38,1%. *P. rodolphii* (38,1%), *D. excelsa* (37,6%) e *L. canescens* (36,6%) apresentaram as maiores médias de lignina total. As espécies de madeira citadas também apresentaram os teores mais expressivos de lignina insolúvel, com médias de 35,9% (*P. rodolphii*), 34,6% (*D. excelsa*) e 34,4% (*L. canescens*). Os resíduos de *P. altissimum* e *C. glabrum* formaram o grupo com as maiores médias para lignina solúvel.

Figura 1. Composição química de resíduos de exploração madeireira de espécies tropicais colhidas em plano de manejo florestal na Amazônia brasileira. Cores diferentes representam os grupos de médias de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) e barras de erro, o desvio padrão.



Fonte: (autor)

Santana e Okino (2007) relataram variação semelhante para os extrativos totais (0,6% - 17,3%) em 36 espécies amazônicas. Os extrativos contribuem para o aumento do poder calorífico, sendo aconselhável priorizar resíduos de madeira com altos níveis desses componentes químicos para a geração de energia térmica.

Poletto (2016) estudou os efeitos da remoção de extrativos na combustibilidade de madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. Sem extrativos, as madeiras apresentaram maior tempo de degradação e menor taxa de degradação. O estudo relata que madeiras livres de extrativos são mais estáveis termicamente, exigindo maior gasto energético para promover sua degradação térmica. Espécimes de madeira com altos teores extrativos, como *D. excelsa*, apresentam melhor combustibilidade em baixas temperaturas (150 – 600 °C) porque esses componentes químicos são altamente voláteis e aceleram o processo de degradação térmica (Guo et al., 2010).

Em relação ao teor de lignina, valores elevados afetam positivamente os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal e carbono fixo (Morianana et al., 2015). Todos os resíduos de exploração madeireira apresentaram teor total de lignina mais elevado que o mínimo (28%) para produção de carvão vegetal recomendado por Pereira et al. (2015). Maior proporção de lignina contribui para o aumento da energia gerada pela queima direta de lenha (Álvarez et al., 2015).

A ampla variação reportada na composição química molecular evidencia a causa da baixa eficiência energética da carbonização de resíduos na Amazônia brasileira. Assim, a priorização de matérias prima similares deve ser considerada visando melhorar a eficiência de conversão, produtividade dos fornos e qualidade do biorredutor siderúrgico.

4. CONCLUSÃO

Os extrativos totais apresentaram ampla variação interespecífica em relação as outras características químicas avaliadas. *D. excelsa* se destacou em relação aos teores de extrativos totais e lignina total, indicando elevado potencial para finalidade energética, especialmente na Amazônia Brasileira.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira (PPGCTM) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela disponibilização de material e infraestrutura. Além disso, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pós-doutorado (Processo 350017/2023-9) e financiamento do projeto (Processo 406053/2022-7) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

6. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14853**: Madeira - determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona, Rio de Janeiro, 2010.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7989**: Pasta celulósica e madeira - determinação de lignina insolúvel em ácido, Rio de Janeiro, 2010.

ÁLVAREZ, A.; PIZARRO, C.; GARCÍA, R.; BUENO, J. L. Spanish biofuels heating value estimation based on structural analysis. **Industrial Crops and Products**, v.

77, p. 983–991, 2015.

GOLDSCHMID, O. **Ultraviolet spectra**, in: Lignins Occur. Form. Struct. React. Wiley Interscience, New York, 1971: pp. 241–266.

MORIANA, R.; VILAPLANA, F.; EK, M. Forest residues as renewable resources for bio-based polymeric materials and bioenergy: chemical composition, structure and thermal properties. **Cellulose**, v. 22, p. 3409–3423, 2015.

NUMAZAWA, C. T. D.; NUMAZAWA, S.; PACCA, S.; JOHN, V. M. Logging residues and CO₂ of Brazilian Amazon timber: two case studies of forest harvesting. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 280–285, 2017.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of Eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. **BioResources**, v. 8, p. 4574–4592, 2013.

POLETTI, M. Effect of extractive content on the thermal stability of two wood species from Brazil. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 18, p. 435–442, 2016.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v. 61, p. 469–477, 2007.

TEIXEIRA, T. R.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SANTOS, A. R.; MARCATTI, G. E.; LORENZON, A. S.; CASTRO, N. L. M.; DOMINGUES, G. F.; LEITE, H. G.; MENEZES, S. J. M. C.; MOTA, P. H. S.; TELLES, L. A. A.; VIEIRA, R. S. Forest biomass power plant installation scenarios. **Biomass and Bioenergy**, v. 108, p. 35–47, 2018.

UDDIN, M. N.; TAWEEKUN, J.; TECHATO, K.; RAHMAN, M. A.; MOFIJUR, M.; RASUL, M. G. Sustainable biomass as an alternative energy source: Bangladesh perspective. **Energy Procedia**, v. 160, p. 648–654, 2019.