Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.12, 2024
ISSN 2178-6925

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS MADEIREIROS DE DUAS ESPÉCIES VEGETAIS BENEFICIADAS NO MUNICÍPIO DE ITACOATIARA-AM

EVALUATION OF THE ENERGY POTENTIAL OF WOOD RESIDUES FROM TWO VEGETABLE SPECIES PROCESSED IN THE MUNICIPALITY OF ITACOATIARA-AM

Onébia Cristiane Lima Macedo
Graduanda em Química Industrial, UFAM-ICET
Email: onebiacris@gmail.com.br

Diana Vinhote Corrêa
Graduanda em Química Industrial, UFAM-ICET
Email: diana.vinhote.correa@gmail.com

Alex Martins Ramos
Químico Universidade Federal do Amazonas
Mestrado em Química Universidade Federal do Amazonas
Doutor em Engenharia Química pela UNICAMP
E-mail: alexmartins@ufam.edu.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar o potencial energético do pó de serra de espécies do gênero *Manilkara* (maçaranduba) e do gênero *Dipteryx* (Cumarú) produzidos no município de Itacoatiara/AM mediante a análise imediata, composição elementar, poderes caloríficos superior e inferior. As amostras utilizadas foram coletadas em uma indústria madeireira do munícipio. Os teores de umidade foram obtidos após secagem em estufa. Os teores de cinza, materiais voláteis e carbono fixo foram obtidos por gravimetria após combustão. A análise granulométrica foi feita pelo método da peneiração, utilizando a forma linearizada dos modelos de Gates-Gaudin-Schumann (GGS), Rosin-Rammler-Bennet (RRB) e Log-Normal (LN) para descrever a distribuição granulométrica. A composição elementar, os poderes caloríficos superior e inferior foram calculados por correlações da literatura a partir dos dados da análise imediata. A maçaranduba apresentou elevado teor de materiais voláteis (80,64%), baixos teores de cinza(0,08%) e alta concentração de carbono (49,35%), resultando em um maior poder calorífico superior (PCS de 19,39 MJ/kg). Por outro lado, o cumarú apresentou elevado teor de materiais voláteis(79,78%) e cinzas(10,84%), o que levou a um poder calorífico superior menor (PCS de 15,84 MJ/kg) que o da maçaranduba e outras espécies amazônicas, mesmo com altas concentrações de carbono(41,14%). A análise do potencial energético confirmou que os resíduos da maçaranduba e do cumarú podem ser usados em processos de combustão como a co-geração de energia.

Palavras-chave: análise imediata, Poder calorífico superior, Poder calorífico inferior.

ABSTRACT

The present study aimed to analyze the energy potential of sawdust from species of the genus *Manilkara* (maçaranduba) and genus *Dipteryx* (cumarú) produced in the municipality of Itacoatiara/AM, through proximate analysis, elemental composition, higher and lower calorific values. Samples used were collected in a wood industry in the municipality. Moisture content were obtained after oven drying. The ash, volatile materials and fixed carbon contents were obtained by gravimetry after combustion. Particle size analysis was performed using the sieving method, applying the linearized forms of the Gates-Gaudin-Schumann (GGS), Rosin-Rammler-Bennett (RRB), and Log-Normal (LN) models to describe the particle size distribution. Elemental composition, the higher and lower calorific values were calculated using literature correlations from proximate analysis data. Maçaranduba exhibited high volatile material content (80.64%), low ash content (0.08%), and a high carbon concentration (49.35%), resulting in a higher heating value (HHV) of 19.39 MJ/kg. On the other hand, cumarú presented a high content of volatile materials (79.78%) and ash (10.84%), which resulted in a lower higher heating value (HHV) of 15.84 MJ/kg compared to maçaranduba and other amazonian species, despite its high carbon concentration (41.14%). The energy potential analysis confirmed that the residues of maçaranduba and cumarú are suitable for use in combustion processes, such as energy cogeneration.

Keywords: Proximate analysis; higher heating value; lower heating value.

1. Introdução

A energia é um importante recurso para manutenção da vida produtiva entre os diversos setores da sociedade humana, podendo ser obtida de fontes não-renováveis como os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral) e renováveis como a eólica, solar, hidráulica e biomassa.

A biomassa é toda matéria-prima orgânica produzida por reação fotossíntética que pode ser utilizada na produção de energia, cujas fontes são os vegetais lenhosos, não-lenhosos, resíduos orgânicos e biofluidos. Estas fontes são submetidas a algum processo de conversão para produzir o energético adequado (eletricidade, bioaquecimento, biocombustível para transporte) à necessidade humana (Cortez et al. 2008, Sharma et al., 2013).

A biomassa, como fonte de energia, representava 85% do consumo mundial até 1850. Porém, o século 20 foi dominado pelos combustíveis fósseis

que até o início do século 21 respondiam por 80% da produção de energia no mundo. Essa inversão se deu por conta da revolução industrial, que se iniciou com o uso das máquinas a vapor. Porém, os prognósticos apontam que a biomassa ganhará novamente sua importância e até ao final do século 21 será de 10 a 20% de toda energia usada pela humanidade (Goldemberg, 2009).

No Brasil, a oferta interna de energia registrou, em 2023, um aumento de 3,5% em relação ao ano anterior. Este aumento ocorreu por conta das fontes renováveis de energia que contribuíram com 49,1% de toda oferta de energia interna do país. Do total das fontes renováveis, 66,6% correspondem à biomassa, que no caso brasileiro, é constituída de bagaço da cana, lenha, carvão vegetal, licor preto e outras fontes renováveis (MME, 2023).

A análise do potencial energético de determinada biomassa normalmente depende da composição imediata (teor de umidade, cinzas, materiais voláteis, teor de carbono fixo), da composição elementar (C, H, O, N e S) e dos poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI). Assim sendo, diversas espécies vegetais da floresta amazônica já tiveram estes parâmetros medidos (Feitosa Neto et al., 2006, Cortez et al. 2008, Nobre et al. 2014, Souza e Silva, 2021, Morais et al. 2024).

No entanto, por questões sustentáveis, econômicas e sociais, boa parte das espécies vegetais amazônicas são empregadas para a fabricação de casas e imóveis ao invés de geração de energia. Essa tendência também se reflete no munícipio de Itacoatiara. Contudo, durante o processamento das toras de madeira para estes fins, há, inevitalmente, geração elevada de grande quantidade de resíduos na forma de pó de serra(serragem), refilo, costaneira e casca.

Parte dos resíduos madeireiros gerados no munícipio de Itacoatiara são usados na co-geração de energia (Silva, 2011). Nesse sentido, a avaliação do potencial energético da biomassa destes resíduos auxiliará no monitoramento da eficiência de equipamentos de combustão, como as caldeiras. A importância do monitoramento se dá pelo fato de a região apresentar longos períodos chuvosos e sabe-se que quanto maior o teor de umidade, mais perdas energéticas ocorrerão no processo, tornando-o menos eficiente. Além disso, pequenas

serrarias, que geram quantidades consideráveis de resíduos madeireiros, não os usam para a co-geração de energia e nem fazem a disposição adequada, fazendo com que haja acúmulo desta biomassa no meio ambiente.

A caracterização do potencial energético dos resíduos madeireiros do munícipio ensejará em usos mais sustentáveis destes resíduos uma vez que poderão ser reutilizados em processos que envolvam a combustão direta para co-geração de energia ou em processos que envolvam a pirólise para produção de carvão vegetal, que pode ser destinado ao tratamento de água (Del Campo e Cruz, 2010; Nicolini et al. 2013). Desta forma, o aproveitamento dos resíduos sólidos madeireiros satisfaz dois critérios da cultura sustentável: a reutilização e a redução (Santos e Pontes, 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar o potencial energético do pó de serra de espécies do gênero *Manilkara* (maçaranduba) e do gênero *Dipteryx* (Cumaru) produzidos no município de Itacoatiara/AM mediante a análise imediata, composição elementar, poderes caloríficos superior e inferior.

2. Metodologia

2.1 Coleta de material

As amostras de pó de serra das espécies do gênero *Manilkara (*Maçaranduba) e do gênero *Dipteryx* (Cumarú) foram coletadas na empresa WS Madeira LTDA, que realiza o corte de madeira para exportação, e está localizada no km 10 da estrada das indústrias no município de Itacoatiara-AM. É importante destacar que as amostras de pó de serra não foram peneiradas para um diâmetro específico quando da realização da análise imediata por que as empresas que as usam em seus processos de co-geração de energia também não o fazerem. A ideia foi tornar a análise do potencial energético o mais próxima possível da aplicação na indústria.

2.2 Análise imediata

A análise imediata compreende a determinação dos teores de umidade(U), cinzas (CZ), materiais voláteis(V) e carbono fixo (CF). Os experimentos foram

baseados na ASTM D1762-84 (ASTM, 2021) e realizados em triplicata. Uma descrição pormenorizada por de ser vista abaixo:

(i) ***Determinação do teor de umidade*:** as amostras foram secas em estufa modelo EESCRA-46D, marca Vulcan à 105ºC por 2 horas para diminuir umidade. Após o esfriamento no dessacador, pesou-se 1,0 g de serragem em vidro de relógio e deixou-se por mais 30 min na estufa. O procedimento foi repetido até massa constante.

(ii) Determinação do teor de material volátil: foi utilizado 1,0 g da amostra seca a 900°C por 3 min na tampa da mufla. Em seguida, colocou-se a amostra dentro da mufla por 7 min. Após este tempo, foi colocada no dessecador por 30 min, sendo posteriormente pesada em uma balança analítica, modelo FA-2204CI-NM-BI, marca Bioscale.

(iii) Determinação do teor de cinzas: usou-se 1,0 g da amostra calcinada em forno mufla, modelo 2000-G, marca ZEZIMAQ a 600°C por 3 horas. Em seguida, a amostra foi posta no dessecador por 30 min e pesada em balança analítica. Antes das análises do material volátil e do teor das cinzas, os cadinhos utilizados foram calcinados a temperatura de 600°C por 2h.

(iv) *Cálculo do teor de carbono fixo*: o teor de carbono fixo está diretamente relacionado aos teores de cinzas e materiais voláteis, conforme a Equação 1:

$$\mathbf{CF = 100 - (CZ + V)} \quad (1)$$

2.1 Análise elementar e potencial energético

A composição elementar (C, H, O) foi calculada conforme as correlações de Shen et al. (2010) da pelas Equações de 2- 4 que utilizam os resultados de carbono fixos (CF), materiais voláteis(V) e teor de cinzas (CZ).

$$C = 0{,}635 * CF + 0{,}460 * V - 0{,}095 * CZ \quad (2)$$

$$H = 0{,}059 * CF + 0{,}060 * V + 0{,}010 * CZ \quad (3)$$

$$O = 0{,}340 * CF + 0{,}469 * V - 0{,}023 * CZ \quad (4)$$

O poder calorífico superior (PCS) foi calculado pela correlação de Parikh et al. (2005) descrita na Equação 5, que depende dos dados experimentais da análise imediata. O poder calorífico inferior (PCI) foi calculado conforme a correlação de

Sanchez (2010), visto na Equação 6, que depende do teor de hidrogênio na biomassa.

$$PCS = 0{,}3536 * CF + 0{,}1559 * V - 0{,}0078 * CZ \quad (5)$$

$$PCI = PCS - 50{,}68 * H * 4{,}186 \quad (6)$$

2.2 Análise granulométrica

Para obter o diâmetro médio das partículas de pó de serra por peneiração, utilizou-se os modelos clássicos de análise granulométrica, quais sejam o modelo de Gates, Gaudin e Schumann (GGS), o modelo de Rosin, Rammler e Bennet (RRB) e log-normal, dados pelas equações linearizadas de cada modelo, conforme as Equações 7-9. Ressalta-se que para a Equação 8, empregou-se a linearização proposta por Frare et al. (2000).

$$\ln X = m \ln d - m \ln k \quad (7)$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-X}\right)\right) = n \ln d - n \ln d' \quad (8)$$

$$\ln d = \alpha Z + \beta \quad (9)$$

em que X é a fração acumulativa, m e k são parâmetros do modelo GGS, d é o diâmetro da partícula, n e d' são parâmetros do modelo RRB. Na Equação 9, α e β são os coeficientes angular e linear do modelo log-normal e Z uma função polinomial aproximada à função inversa de probalidade integral (Frare et al 2000).

3. Resultados e discussão

3.1 Análise Imediata

O resultado da secagem e combustão das amostras de pó de serra das espécies de maçaranduba (gênero *Manilkara)* e cumarú (gênero *Dipteryx)* são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise Imediata dos resíduos do pó de serra.

Variável	Maçaranduba	Cumarú
Umidade (%)	1,70 ± 0,36	1,90 ± 0,07
Cinzas (%)	0,08 ± 0,06	10,38 ± 0,26
Voláteis (%)	80,64 ± 2,64	79,78 ± 0,54
Carbono Fixo (%)	19,28 ± 2,67	10,11 ± 0,13

Fonte: A autora (2024).

A umidade interfere diretamente no poder calorífico, pois, quanto maior o seu valor, menor será a energia liberada pela reação de combustão uma vez que parte desta energia será usada para evaporação da água (Everad et al. 2012). O ideal, segundo Carvalho et al. (2021), é que os materiais apresentem um valor de umidade de até 35%. Já Ceragioli (2013) diz que valores de umidade acima de 30% das biomassas madeireiras reduzem o potencial energético. Como se pode notar na Tabela 1, os valores de umidade para as duas espécies estudadas estão abaixo de 2%, indicando que as perdas energéticas foram pequenas.

Os valores de umidade costumam variar muito a depender do processo de pré-tratamento da amostra. Santos et al. (2023) obteve um valor de 67,40% ao analisar a biomassa de madeira do município de Rolim de Moura-RO. Este valor está mais próximo de valores de umidade em base umidade de resíduos madeireiros que são armazenados a céu aberto cujos valores são entorno de 48% (Morais et al. 2024). Desta forma, para se evitar as perdas energéticas é necessário que a biomassa empregada no processo de geração de energia seja armazenada ao abrigo da chuva ou secadas antes da queima.

Por inspeção da Tabela 2, observa-se que há uma diferença muito grande entre os teores de cinza entre as duas espécies. Essa diferença foi observada também por Feitosa Netto et al. (2006) quando determinou o teor de cinza de vinte e três espécies amazônicas, obtendo valores entre 0,00 a 14,86%. O mesmo ocorreu na caracterização de vinte espécies amazônica feitas por Seye et al. (2008), obtendo valores entre 0,44 e 7,19%. Outra explicação foi dada por Carvalho et al. (2021) que ao determinar o teor de cinzas das cascas de espécies de eucaliptos, obteve um valor de 8,56%, próximo aos resultados apresentado neste

trabalho, podendo ser um indicativo de contaminação com porções do solo durante a colheita e armazenagem das toras.

Elevados teores de cinza são também ruins pois, causam perdas energéticas, prejudicam a troca térmica, provocam a corrosão e a incrustação em equipamentos de produção energética (Vieira, 2013, Klautau, 2008, Souza e Silva, 2021, Mande, 2009).

O teor de materiais voláteis para as duas espécies é praticamente igual como mostra a Tabela 2, pelo menos, no nível de confiança de 95% (tcalculado (0,89) < tcrítico (2,78)). Cortez et al. (2010) considera que uma biomassa com elevado teor de voláteis apresenta valores maiores que 65%. Por isso, grande parte das biomassas podem ser empregadas em processos de conversão energética já que os teores de materiais voláteis nestas biomassas, geralmente variam entre 70-85% (Feitosa Neto et al., 2006; Seye et al. 2008; Lu et al., 2019; Yu et al., 2016). Como se pode notar na Tabela 2, a biomassa de ambas as espécies apresenta alto teor de voláteis, indicando um alto poder de ignição, que é uma condição desejável nos processos de combustão (Klautau, 2008).

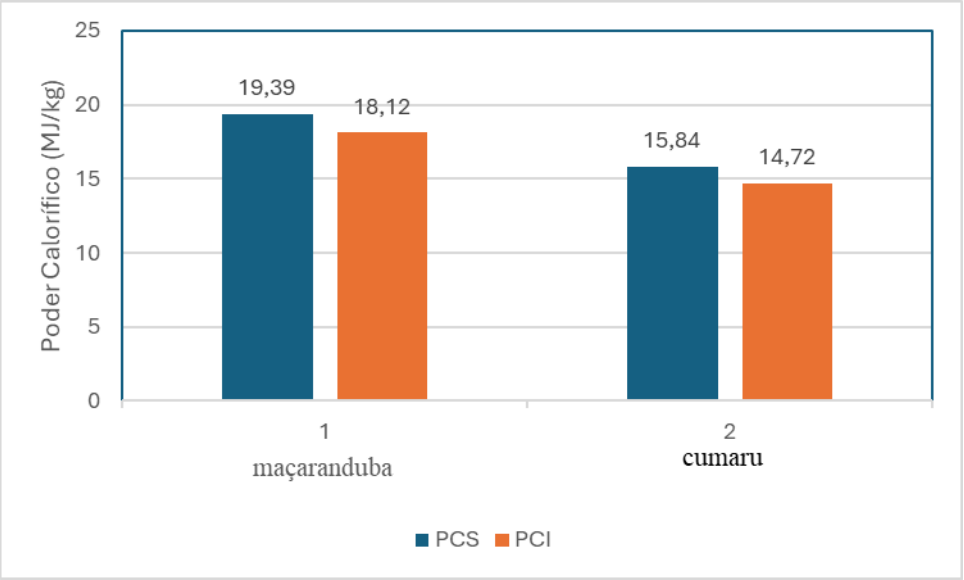
Segundo Motghare et al. (2016), o teor de carbono fixo das biomassas varia entre 15 e 20%. Os resultados para a maçaranduba *e*stão de acordo com a literatura. O mesmo não se pode dizer do cumuru que mostrou valores abaixo deste intervalo, reforçando a hipótese de contaminação apontada por Carvalho et al. (2016). Mas Feitosa Neto et al. (2006) também obteve valores abaixo deste intervalo ao analisar o teor de carbono fixo na biomassa do cumaru para o qual obteve valor de 13,29%. Diante disso, é necessário um estudo específico e pormenorizado sobre a espécie afim de verificar se são casos de contaminação ou variação natural do conteúdo de carbono fixo na espécie.

4.2 Poder calorífico

O poder calorífico superior (PCS) representa a quantidade total de energia liberada na combustão completa do combustível, considerando a água no estado líquido. Já o poder calorífico inferior (PCI), desconta a energia utilizada para vaporizar a água presente no combustível e a água de formação nos produtos da

combustão (Cortez et al. 2008). Os resultados obtidos para o PCS e o PCI das amostras de biomassa são mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Comparação entre os valores dos poderes caloríficos dos resíduos do pó de serra da maçaranduba e do cumarú.



Fonte: A autora (2024).

A amostra de maçaranduba apresentou o maior valor de PCS, indicando um maior conteúdo energético total disponível na biomassa do resíduo madeireiro. Nascimento et al (2006) e Nobre et al (2014) determinaram o PCS da maçaranduba por calorimetria e encontraram valores 20,44 e 17,79 MJ/kg. O resultado de PCS para esta espécie está de acordo com a literatura. Isto mostra que a determinação indireta de PCS por gravimetria é uma alternativa viável à análise do potencial energético de biomassa lenhosa. Em relação ao cumarú, Nobre et al (2014) e Stragliotto et al (2017) mediram valores de 20,14 e 21,14 MJ/kg de PCS por calorimetria, resultado notavelmente diferente daquele obtido neste trabalho. Isto reforça a hipótese de que houve contaminação com quantidades de solo na amostra de cumarú, levando a um aumento no teor de cinzas necessário para calcular o valor de PCS pela Equação 5, mesmo considerando um erro médio absoluto de 3,74% nesta equação (Carvalho et al 2021; Parikh et al 2005).

Os valores de PCI foram obtidos por meio da Equação 6 e os resultados, como esperado, foram inferiores ao PCS para a biomassa de ambas as espécies. Medidas feitas em diversas biomassas brasileiras mostraram que a diferença entre

PCS e PCI fica abaixo de 8,5% (Santos e Tambani, 2019; Souza e Silva, 2021). Neste estudo, essa diferença foi menor que 8%, estando, portanto, de acordo com a literatura.

4.3 Análise Elementar.

A análise elementar é um método crucial para determinar a composição química de materiais combustíveis. Os elementos principais geralmente analisados são carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). As razões atômicas de oxigênio para carbono (O/C) e hidrogênio para carbono (H/C) são indicadores importantes para avaliar a qualidade e o potencial energético de um combustível. Essas razões podem influenciar diretamente o comportamento de combustão e a eficiência energética conforme visto na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Análise elementar e razões atômicas O/C e H/C.

Composição elementar	Maçaranduba	Cumarú
Carbono (%)	49,35	41,14
Hidrogênio (%)	5,98	5,28
Oxigênio (%)	44,37	40,61
O/C	0,90	0,96
H/C	0,12	0,13

Fonte: A autora., (2024)

Nobre et al (2014) mediu a composição elementar da maçaranduba (*Manilkara huberi*), encontrando valores de C, H, O de 49,54%, 6,31%, 43,45%, respectivamente. Os resultados da Tabela 2, que foram calculados pelas Equações 2-4, mostram-se bem próximos daqueles obtidos por Nobre et al (2014), com destaque para o carbono, que foi praticamente igual.

Em relação ao cumarú, Castro et al (2015) obteve valores de C, H, O de 48,45%, 6,05% e 44,45% para a espécie cumarurana (*Dipteryx polyphylla*). Como se pode observar, somente o hidrogênio apresentou valores próximos numa comparação entre os dois trabalhos. Em termos de biomassa da floresta

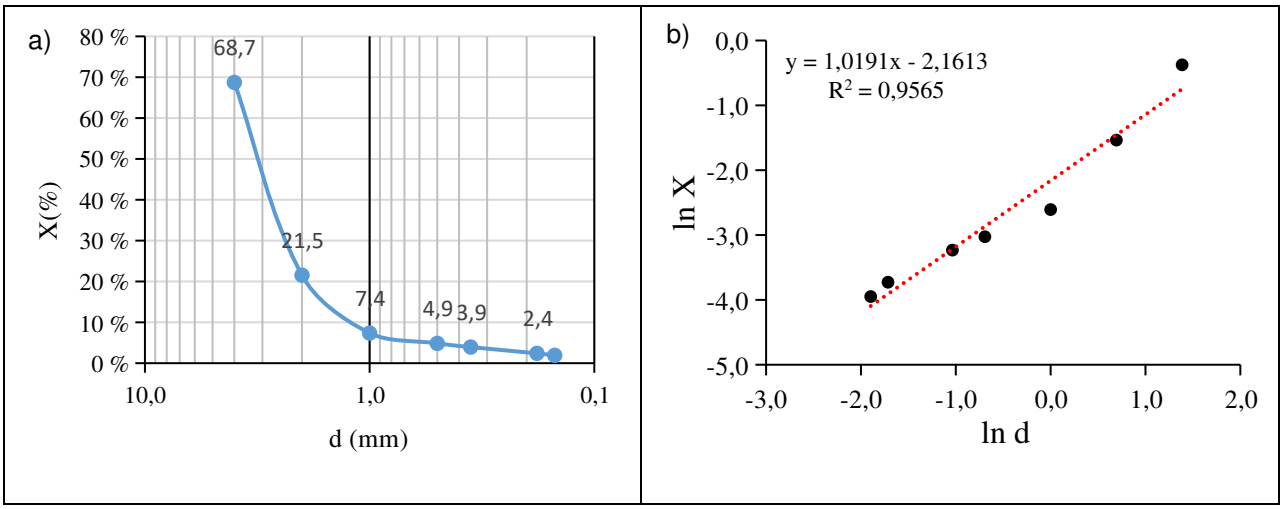
amazônica, os valores de C e O apresentados para o cumarú na Tabela 4, foram relativamente menores que a tendência geral observada (Rambo et al. 2015, Souza e Silva, 2021, Moreira et al. 2022). Castro et al. (2015) citam que fatores genéticos e a constituição do solo são os responsáveis pelas variações nos teores da composição elementar para indivíduos da mesma espécie.

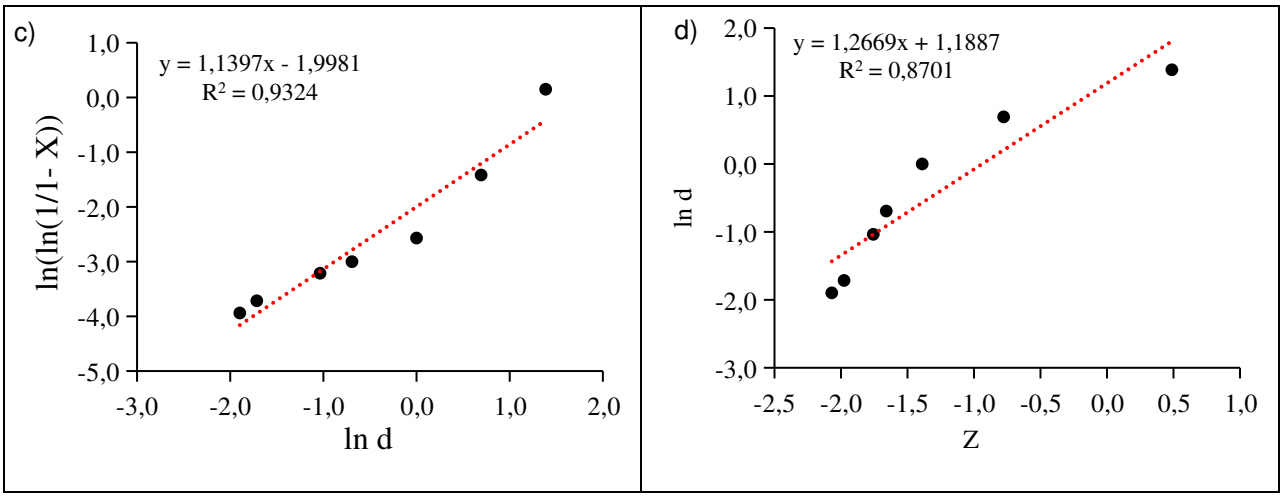
Por inspeção da Tabela 4, nota-se que a razão O/C é menor na espécie de maçaranduba em relação ao cumarú. Já a razão H/C é praticamente igual entre as duas espécies. Moreira et al (2022) ao estudar a biomassa de dezoito espécies vegetais amazônicas diferentes encontrou razões de O/C que variaram entre 0,77 a 1,07 e razões de H/C entre 0,11 e 0,13. Como se pode notar, os dados deste trabalho estão de acordo com a literatura. Mckendry (2002) destaca que quanto maior forem as razões O/C e H/C maior será a redução no conteúdo energético de um combustível devido a menor energia contida na ligação C-O e C-H do que na ligação C-C. Por isso, quanto menores forem estas razões maiores serão os poderes caloríficos das biomassas

4.4 Análise Granulométrica

A distribuição do tamanho de partícula dos resíduos da maçaranduba foi avaliada pelos modelos GGS, RRB e log-normal, dados pelas Equações 7-9, e os resultados são mostrados na Tabela 3 e Figura 2.

Figura 2. Ajuste dos modelos (•) aos dados granulométricos (•) da maçaranduba





(a) Curva acumulativa. (b) Modelo GGS. (c) Modelo RRB. (d) Modelo log-normal.

Como se pode perceber por inspeção da Figura 2 e tomando o coeficiente de determinação com critério de escolha entre os modelos, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo GGS e por observação da Figura 2a, cerca de 68,7% da amostra apresentou um diâmetro entorno de 4,00 mm, ou seja, as partículas estão concentradas nos maiores diâmetros.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos ajustados para os resíduos da maçaranduba.

Modelo	m	k(mm)	n	d'(mm)	s(mm)	d50(mm)
GGS	**1,019**	**8,337**				
RRB			1,140	5,772		
Log normal					3,550	3,283

Fonte: A autora, (2024)

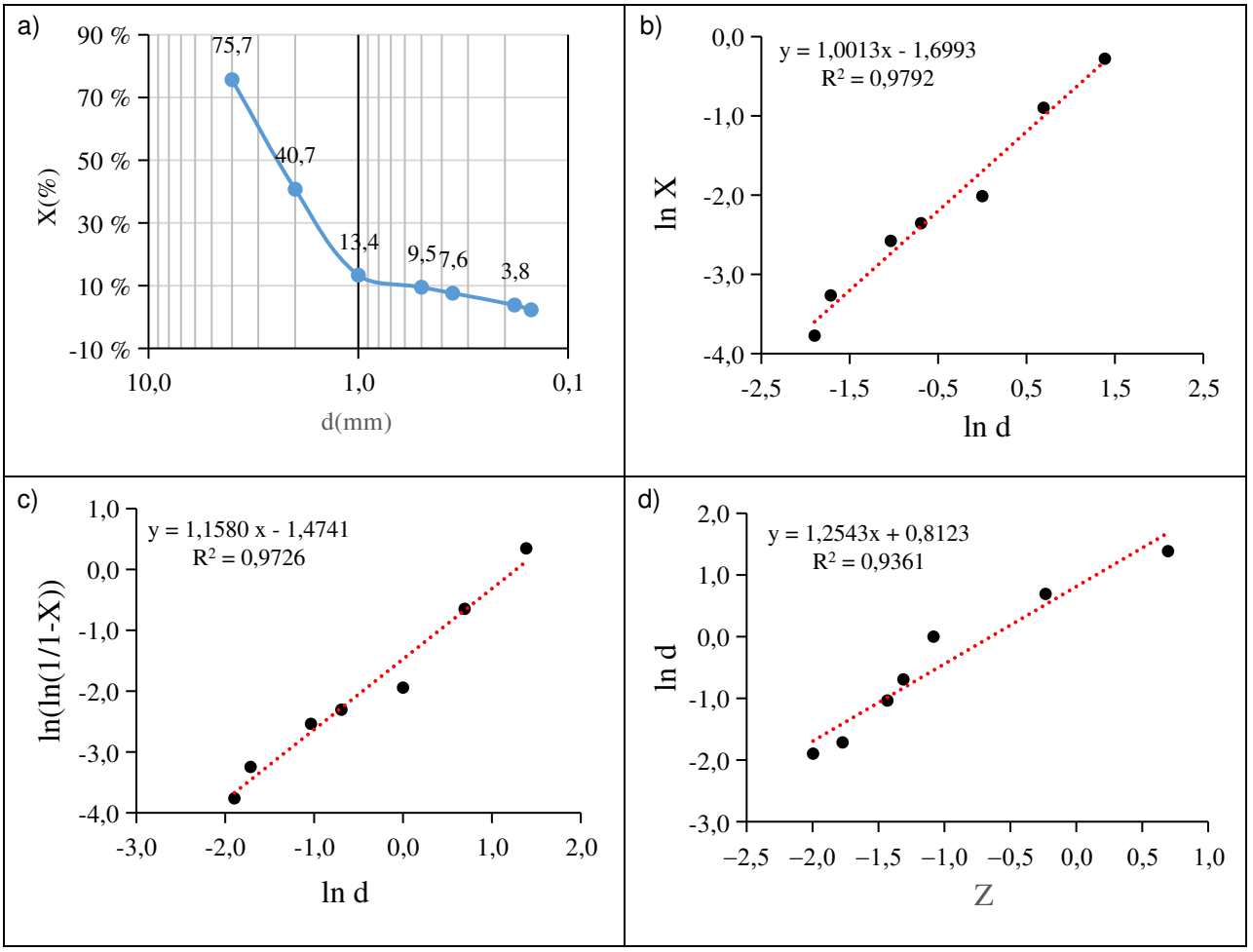
A partir das equações da reta apresentadas na Figura 2, pode-se calcular os parâmetros de cada modelo apresentado na Tabela 5. Sabendo que as partículas estão concentradas nos maiores diâmetros e que o modelo GGS é o modelo que melhor descreve sua distribuição, então calculou-se o diâmetro das partículas usando a Equação 10 (Ahmed e Armed, 2008).

$$dm = k\left(\frac{m}{m+1}\right) \quad (10)$$

onde dm é o diâmetro médio obtido no contexto do modelo GGS, m e k são parâmetros deste modelo. Assim sendo, o diâmetro médio das partículas de maçaranduba calculado pela Equação 10 é 4,21 mm, praticamente o mesmo valor identificado na Figura 2a.

Os resultados da análise granulométrica para os resíduos do cumarú são mostrados na Figura 3 e Tabela 4.

Figura 3. Ajuste dos modelos (•) aos dados granulométricos (•) do cumarú.



a) Curva acumulativa. (b) Modelo GGS. (c) Modelo RRB. (d) Modelo log-normal.

Pela análise da Figura 3, nota-se que tanto o modelo GGS quanto o modelo RRB podem descrever de forma satisfatório a distribuição granulométrica das partículas de serragem, uma vez que a diferença entre os valores dos coeficientes de determinação dos dois modelos se dá na terceira casa decimal. Além disso,

nota-se também, conforme a Figura 3a, que 75,7% da amostra de partículas apresenta diâmetro próximo a 4,0 mm. Resultado muito semelhante àquele obtido para a maçaranduba.

Tabela 4. Parâmetros dos modelos ajustados para os resíduos do cumarú

Modelo	m	k(mm)	n	d'(mm)	s(mm)	d50(mm)
GGS	**1,001**	**5,458**				
RRB			**1,158**	**3,572**		
Log normal					3,510	2,253

Fonte: A autora, (2024).

Retomando a Equação 10 e calculando o diâmetro médio das partículas por esta equação, tem-se um valor médio de 2,73 mm. Considerando 4,0 mm como o valor verdadeiro, produz-se um erro relativo de 31,7%. Por outro lado, o modelo RRB fornece d'(3,572mm) que já é 63,2% da fração acumulativa. Isto indica que o diâmetro das partículas da amostra se concentra nos maiores valores.

Em processos de termoconversão ou degradação térmica, o diâmetro da partícula é uma variável muito importante, pois, o aumento do diâmetro pode fazer com que a temperatura do núcleo seja menor do que na superfície, resultando na queima incompleta da biomassa e, consequentemente, na perda energética (Nascimento, 2012 ; Vamvuka et al. 2003; Junpirom et al. 2010)

5. Conclusão

A análise do potencial energético do pó de serra de espécies de maçaranduba e cumarú forneceu um importante entendimento sobre o potencial destas biomassas para aplicações energéticas. Os resultados demonstraram que a maçaranduba apresenta características mais favoráveis para utilização em processos de combustão, destacando-se pelo elevado teor de materiais voláteis (80,64%), baixos teores de cinza(0,08%) e alta concentração de carbono (49,35%), resultando em um maior poder calorífico superior (PCS de 19,39 MJ/kg). Isto consequentemente leva a uma combustão mais eficiente.

Por outro lado, o cumarú apesar de ter mostrado um elevado teor de materiais voláteis (79,78%) apresentou também um elevado teor de cinzas(10,84%), o que levou a um poder calorífico superior menor (PCS de 15,84 MJ/kg) que o da maçaranduba e outras espécies amazônicas, mesmo com altas concentrações de carbono(41,14%). Além disso, o elevado teor de cinzas pode ser um indicativo de contaminação por porções do solo, porém, estudos mais detalhados precisam ser realizados para avaliar esta hipótese no gênero em estudo, pois, outras biomassas amazônicas também mostraram resultados semelhantes.

Os baixos valores de umidade obtidos demonstraram que a secagem do pó de serra é uma operação muito importante, tanto do ponto de vista analítico quanto do ponto de vista de processo, pois, sabe-se que altos valores de umidade afetam profundamente os poderes caloríficos. Desta forma, para se evitar as perdas energéticas é necessário que a biomassa empregada no processo de geração de energia seja armazenada ao abrigo da chuva ou secadas antes da queima.

Em termos de aplicação, a maçaranduba é uma opção mais vantajosa para processos industriais que exigem maior conteúdo energético e baixa emissão de resíduos. No entanto, o cumarú, apesar das limitações, ainda pode ser utilizado em processos de conversão energética, especialmente se forem realizadas melhorias em seu processo de pré-tratamento e manejo para reduzir o teor de cinzas.

4. Referências

AHMED, M. M.; AHMED, S. S. A comparasion study to determine the mean of partile size distribuition for truthful characterization environmental data(Part 1). **Journal of Engineering Sciences.** v. 36, n. 1. p. 147- 166, 2008.

AMERICAN STANDARD TEST METHODS – ASTM.ASTM D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. West Conshohocken: ASTM, 2021. 2 p.

CARVALHO, N. R.; BARROS, J.L.; SILVA, D.A; NAKASHIMA, G.T.; YAMAJI, F.M. Caracterização física e química da biomassa usada como combustível sólido em uma cadeira. **Química Nova**. v. 44, n. 1, p. 35-40, 2021.

CASTRO, J. P.; PERÍGOLO, D. M; BIANCHI, M. L; MORI, F. A.; FONSECA, A. S.;

ALVES, I. C. N.; VASCONCELLOS, F. J. **Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises física e química da madeira.** CERNE. v. 2, n. 2, p. 319 - 327, 2015.

CERAGIOLI, N.S. **Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 46p. 2103.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Caracterização de Biomassa.** In: CORTEZ, L. A. B.(org.); LORA, E. E. S(org.); GÓMEZ, E. O(org.). Biomassa para energia. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. p. 31-62.

DEL CAMPO, E. R. B.; CRUZ, R. W. A. Co-geração. In: SÁNCHEZ, C. G.(Org.). **Tecnologia da gaseificação de biomassa**. Campinas: Editora Átomo, 2010. p. 95-155.

EVARARD, C. D.; MCDONELL, K. P.; FAGAN, C. C. Prediction of biomass gross calorific values using visible and near infrared spectroscopy. **Biomass & Energy**. v. 45, p. 203-211, 2012.

FEITOSA NETTO, G. B.; OLIVEIRA, A. G. P., COUTINHO, H. W. M., NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO. **Energetic characterization of Amazonian biomass.** Brazil, 2006, p. 8

FRARE, L. M.; GIMENES, M. L; PEREIRA, N. C.; MENDES, E. S. Linearização do modelo log-normal para distribuição de tamanho de parículas**. Acta Scientiarium**. v. 22, n. 5, p. 1235-1239, 2000.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova.** v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

JUNPIROM, S.; TANGSATHITKULCHAI, C.; TANGSATHITKULCHAI, M. Thermogravimetric analysis of longan seed biomass with a two-parallel reactions model. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 27, p. 791- 801, 2010.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise experimental de uma fornalha à lenha de fluxo cocorrente para secagem de grãos.** Dissertação de mestrado. Unisersidade federal do Paraná, p. 193, 2008.

LU, Z.; CHEN, X.; YAO, S. QIN, H.; ZHANG, L.; YAO, X.; YU, Z.; LU, J**. Feasibility study of gross carolific value, carbon content, volatile matter content and ash content of solid biomass fuel using lasar-induced breakdown spectroscopy.** Fuel, v. 258, p. 1-8, 2019.

MANDE, S. P. Thermochemical conversion of biomass. In: KISHORE, V. V. N. **Renewable Energy Engineering and Technology: principles and pratice**. New Delhi: Energy and Resources Institute, 2009.

MCKENDDRY, P. **Energy production from biomass** (part 1): overview of biomass. v. 83, p. 37- 46, 2002.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**. Boletim Energético Nacional: relatório síntese 2024.** Brasília: MMM, 2024.

MORAIS, W. W. C.; BRITO, J. O.; LANA, A. Q.; ANDRADE, C. R.; DIAS JÚNIOR, A. F.; MORAIS, J. B. F. Qualidade de resíduos madeireiros estocados em serrarias na Amazônia para fins energéticos. **Advanced Forestry Science**. V. 11, n. 1, p. 2176-2182, 2024.

MOREIRA, J.; CARNEIRO, A.; OLIVEIRA, D.; SANTOS, F.; GUERRA, D.; NOGUEIRA, M.; ROCHA, H. CHAVERT, F. TARELHO, L. Thermochemical properties for valorization of amazonian biomass of fuel. **Energies.** v. 15, p. 1 - 25, 2022.

MOTGHARE, K.; RATHOD, A.; WASEWAR, K. L.; LABHSETWAR, K. **Comparative study of different waste biomass for energy application.** Waste Management. v. 47, p. 40-45, 2016.

NASCIMENTO, S. M.; DUTRA, R. I. J. P; NUMAZAWA, S. **Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso**. v.6 n.1, p. 8-21, 2006.

NASCIMENTO, V. F. **Caracterização de biomassas amazônicas - ouriço de castanha-do-brasil, ouriço de sapucaia e caroço do fruto do tucumã - visando sua utilização em processos de termoconversão**. 2012. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

NICOLINI, K. P.; CASAGRANDE, M.; JESUS, A. C. **Pirólise de biomassa em baixas temperaturas.** Campinas: editora Átomo, 2013. p. 94.

NOBRE, J.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L.;TRUGILHO, P. F.; URBINATI, C. V. **Caracterização elementar, química e energética de resíduos de *Manilkara huberi* (maçaranduba) do estado do Pará.** XIV EBRAMEM - Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, Natal, RN, Brasil, 28-30/Abril, 2014.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. **A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels**. Fuel. v. 84, p. 487-494, 2005.

RAMBO, M. K. D.; ALEXANDRE, G. P.; RAMBO, M. C. D.; ALVES, A. R.; GARCIA, W. T.; BARUQUE, E. Characterization of biomass from the north and northeast regions of Brasil for processes in biorefineries. Food Science and Technology. v. 35, n. 4, p. 605 - 611, 2015.

SÁNCHEZ, C. G. Caracterização das biomassas. In: SÁNCHZ, C. G.(org.). **Tecnologia da gaseificação da biomassa**. São Paulo: editora Átomo, 2010, p. 189-214.

SANTOS, ARANTXA CARLA DA SILVA; PONTES, ALTEM NASCIMENTO. Educação Ambiental e Gestão dos Resíduos Sólidos: os 5 Rs da sustentabilidade. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 20, p. 18-18, 2021.

SANTOS, J. L. D; TAMBANI, P. C. **Potencial energético de diferentes biomassas disnponíveis no Brasil.** São Paulo: Insituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo, 2019. p. 8. 176164.

SANTOS, M. J. C.; OLIVEIRA, S.; BARROS, A. H. R. O.; ARAÚJO, E. C. G.; MASCARENHAS, A. R. P. Caracterização energética de biomassa lignocelulósica utilizada em secador de grãos em Rolim de Moura, Rondônia. **Conexão na Amazônia.** v. 4, n. 2, p. 41-55, 2023.

SEYE, O.; SANTOS, E. C. S.; SOUZA, R. C. R.; SOUZA, C. D. R; JEFFREYS, M. S. **Caracterização de biomassa florestal do estado do Amazonas para fins energéticos.** 48o Congresso Brasileiro de Química: Química na proteção ao meio ambiente e á saúde. Rio de Janeiro, 29 de setembro a 03 de outubro de 2008.

SHARMA, B.; INGALLS, R. G.; JONES, C. L.; KHANCHI, A. **Biomass supply chain design and analysis: Basis, overview, modeling, challenges, and future.** Renewable and sutainable energy Reviews, v. 24, p. 608-627, 2013.

SHEN, J.; ZHU, S.; LIU, X.; ZHANG, H. TAN, J. The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis. **Energy Conversion and Managemen**t. v. 51, p. 983-987, 2010.

SILVA, J. L. P. **Aproveitamento de resíduos da indústria madeireira para geração de energia elétrica - o caso da empresa B.K. Energia Itacoatiara LTDA no Estado do Amazonas**. Dissertação(Especialização em Gestão da Indústria Madeireira e Moveleira), Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 34, 2011.

SOUZA, C. D. R.; SILVA, K. C. Potencial energético dos resíduos da castanha do Brasil(Bertholletia excelsa H. B. K.). **Research, Society and Development**. v. 10, n. 2, p. 1-12, 2021.

STRAGLIOTTO, M. C.; FREITAS, J. M.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; COSTA, A. C. S. **Densidade básica e poder calorífico superior do resíduo madeireio de 5 espécies tropicais**. III CBCTEM - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Florianópolis, 2017.

VAMVUKA, D.; KAKARAS, E.; KASTANAKI, E.; GRAMMELIS, P. **Pyrolysis characteristics and kinetics of biomass residuals mixtures with lignite.** Fuel, v. 82, p. 1949-1960, 2003.

VIEIRA, A. C. **Caracterização de biomassa proveniente de resíduos agrícola. Dissertação de mestrado.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, p. 56, 2013.

YU, D.; CHEN, M.; WEI, Y.; NIU, S.; XUE, F. As assessment on co-combustion characteristics of Chinese lignite and eucalyptus bark with TG-MS technique. **Powder Technology.** v. 294, p. 463-471, 2016.