

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DA SACHA INCHI (*PLUKENETIA VOLUBILIS* L.) CULTIVADA NO AMAZONAS

Patrícia Silva da Silva¹, Cristiane Daliassi Ramos de Souza², Francisco Célio Maia Chaves³

¹Graduanda de Engenharia Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil (patriciasilva.eq@gmail.com)

²Professora do Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil

³Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Brasil

Resumo: O trabalho teve como objetivo estudar a capacidade energética das cascas da Sacha Inchi utilizando a Análise Imediata e correlações para estimar o Poder Calorífico. Os resultados para a biomassa residual apresentaram baixo teor de umidade (6%), cinzas (6,29%) e carbono fixo (17,7%). Já o teor de materiais voláteis mostrou-se elevado (75,9%) e o PCS em torno de 18 MJ/kg. Com isso as cascas da Sacha Inchi foram consideradas promissoras para utilização em processos térmicos de conversão de energia.

Palavras-chave: Biomassa; *Plukenetia volubilis* L; Energia sustentável.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento sustentável e os estudos com a utilização de biomassa para geração de energia têm sido uma tendência mundial, devido à preocupação com o esgotamento dos combustíveis fósseis e o aumento da degradação ambiental. Assim, a busca por fontes alternativas, renováveis e sustentáveis de energia que atendam à demanda mundial é uma necessidade urgente, para o bem do meio ambiente e garantia de condições para existência de vida na terra por mais tempo (Arpia et al., 2021; Di Fraia et al., 2020).

Com isto, a biomassa pode ser definida como todo recurso renovável proveniente de matéria orgânica produzida por seres vivos e que pode ser empregada para a geração de energia por meio de processos físicos, biológicos, térmicos e mecânicos. De acordo com sua origem pode ser classificada como florestal, agrícola, animal e rejeitos urbanos e industrial (Kan et al., 2016).

A Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), é uma planta semi-perene, trepadeira lenhosa, da família *Euphorbiaceae*, que cresce na floresta amazônica, com centro de origem no Peru, Colômbia, Venezuela e Brasil, também chamada por nomes, tais como, “amendoim inca”, “Amendoim Selvagem”, “Inca Inchi”, “amendoim da montanha”, “Amendoim da Amazônia” ou “Amêndoa Lopo” (Rodrigues et al., 2014).

O fruto da Sacha Inchi é caracterizado por conter cápsulas com 3 a 5 cm de diâmetro, que podem se apresentar com quatro lóbulos, além de possuir uma semente oleaginosa, dentro de cada lóbulo, com grande teor de óleo. A composição do fruto pode ser de 33 a 35% de casca e 65 a 67% de amêndoa (Rodrigues et al., 2014).

A utilização da biomassa residual em processos térmicos de conversão de energia, tipo combustão, pirólise e gaseificação, requer o conhecimento de características importantes para que seja aproveitada de forma eficiente. Entre as propriedades físico-químicas mais relevantes para o uso da biomassa, e que identificam suas qualidades combustíveis, destacam-se a análise imediata, a análise elementar e o poder calorífico (Dirbeba et al., 2017).

A Sacha Inchi possui um grande potencial de aplicação na indústria devido a riqueza de seus óleos (Wang et al., 2018), porém existem poucos estudos quanto ao aproveitamento dos seus resíduos (Chirinos et al., 2016; Kumar et al., 2017). Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar as propriedades físico-químicas e energéticas dos resíduos da *Plukenetia volubilis* L. cultivada no Amazonas.

MATERIAL E MÉTODOS

- Coleta e Pré-Tratamento dos Resíduos

Os frutos da Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) foram coletados do plantio conduzido na sede da

EMBRAPA Amazônia Ocidental, localizada na AM-010, km 29, e enviados para o laboratório da Superintendência do Departamento da Polícia Federal do estado do Amazonas, local onde realizou-se a parte experimental da pesquisa.

A partir da massa de frutos coletados foi efetuado o cálculo do rendimento (%R) para a obtenção das cascas, de acordo com a Equação 1.

$$\%R = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

Com m_i representando a massa dos frutos inteiros (g), e m_f é a massa das cascas (g).

Após a separação manual das cascas, os resíduos foram submetidos à secagem em estufa (Thermo Scientific Heraeus) a 105°C por 2h para a determinação do teor de umidade (%U), conforme a Equação 2. Em seguida, as amostras foram trituradas em um liquidificador para efetuar a classificação granulométrica na faixa entre 40-60 mesh, utilizando peneiras padronizadas (TPL).

$$\%U = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100 \quad (2)$$

sendo, m a massa da amostra (g), m_1 é a massa do cadinho + massa da amostra antes da secagem (g) e m_2 é a massa do cadinho + massa da amostra seca (g).

- Caracterização Físico-Química dos Resíduos

A análise imediata (materiais voláteis, carbono fixo, cinzas) foi determinada em base seca. A norma utilizada como base para os procedimentos foi a NBR 8112 (1986).

Teor de Materiais Voláteis (MV): Realizou-se o tratamento térmico a 900°C em forno mufla (FANEM; modelo 413) por 7 min (após pré-aquecimento por 3 min), obtendo-se o resultado pela Equação 3.

$$\%MV = \frac{(m_2 - m_3)}{m} \times 100 \quad (3)$$

Com m , sendo a massa da amostra (g), m_2 é a massa do cadinho + massa da amostra seca na estufa (g), e m_3 é a massa do cadinho + massa da amostra após mufla (g).

Teor de Cinzas (CZ): Foi a combustão total da amostra a 700°C em forno mufla (FANEM; modelo 413). O resultado foi obtido pela Equação 4.

$$\%CZ = \frac{(m_4 - m_5)}{m} \times 100 \quad (4)$$

sendo, m a massa da amostra (g), m_4 é a massa do cadinho + massa das cinzas (g), e m_5 a massa do cadinho (g).

Teor de Carbono Fixo (CF): foi determinado pelo cálculo da diferença entre a massa inicial e o somatório das massas obtidas pelas etapas anteriores, conforme a Equação 5.

$$\%CF = 100 - (MV + CZ) \quad (5)$$

De modo que %MV é o teor de materiais voláteis, %CZ é o teor de cinzas.

- Caracterização Energética

O Poder Calorífico Superior (PCS) determina a soma dos calores desprendidos pela combustão dos elementos que integram o material. As bombas calorimétricas são utilizadas para determinar o PCS, contudo, este método requer instrumentação específica podendo levar um longo tempo para a obtenção dos resultados (Sheng e Azevedo, 2005). Outra forma para determinar o PCS é a partir de correlações que utilizam dados experimentais da análise imediata (Hasan et al., 2018). Neste trabalho foi utilizada a correlação de Parikh et al. (2005), conforme a Equação 6.

$$PCS = 0,3536 \times CF + 0,1559 \times MV - 0,0078 \times CZ \quad (6)$$

- Análise Estatística

Para auxiliar na interpretação dos resultados experimentais obtidos na análise imediata utilizou-se como ferramenta base a estatística com auxílio do programa Excel versão 2010. O tratamento estatístico dos ensaios foi efetuado aplicando o modelo de regressão linear simples, considerando o nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$). Para verificar a validade do modelo gerado e os coeficientes obtidos foi utilizado a análise de variância (ANOVA) e os testes F, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, verificou-se a massa total dos frutos recebidos (Figura 1a), utilizando uma balança (Mettler Toledo; XP64000L). O valor obtido foi de 3,085 kg de frutos. Foram selecionados 20 frutos, como mostra a Figura 1b, a fim de realizar uma caracterização visual da espécie.



Figura 1. a) Saco com os frutos da Sacha Inchi coletados na Embrapa; b) Frutos selecionados.

Pela análise visual do fruto (Figura 1b) pode-se confirmar o formato capsular estrelado, característico da Sacha Inchi. Posteriormente, os frutos foram quebrados com auxílio de um martelo, para promover a separação das cascas e sementes, sendo possível observar a coloração castanho-escuro das cascas, e a

presença de 4 a 5 sementes ovais (Figura 2), corroborando com resultados da literatura (Garcia et al., 2019).



Figura 2. Cascas e sementes da Sacha Inchi.

Observou-se que as cascas são muito leves, além disso, alguns frutos não foram utilizados na separação cascas/sementes devido a presença de mofo, o que influenciou no cálculo do rendimento. Desta forma, a Tabela 1 apresenta o resultado desta etapa de separação.

Tabela 1. Rendimento do processo de obtenção das cascas.

Massa inicial (frutos) (g)	Massa final (Cascas) (g)	%Rendimento
3085	1601,21	51,90

O rendimento de aproximadamente 52% para obter os resíduos foi considerado satisfatório. No pré-tratamento foram realizados dois processos, secagem e trituração, das cascas. Observou-se que ao triturar os resíduos, ocorreu a dissipação de muito pó, provocando perdas (Figura 3).



Figura 3. Cascas da Sacha Inchi trituradas.

Para a etapa seguinte, a determinação da análise imediata, foi utilizado o material triturado e classificado em peneira granulométrica de 300 μm (50 mesh). Os resultados dos ensaios, realizados em triplicata, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise Imediata para as cascas da Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Análise	Média dos Ensaios
Umidade (%U)	6,01
Materiais Voláteis (%MV)	75,96
Carbono Fixo (%CF)	17,75
Cinzas (%CZ)	6,29

De acordo com a Tabela 2, a média encontrada para o teor de umidade das cascas da Sacha Inchi foi de 6,01%, valor considerado baixo e próximo do resultado com a mesma espécie do trabalho de Soongprasit et al. (2019) que foi de 5,63%. Sabe-se que valores altos de umidade em uma biomassa irão influenciar no seu custo-benefício, já que quanto maior for este teor, menor será o poder calorífico disponível no material (Grotto et al., 2020).

O resultado do teor de materiais voláteis, das cascas da Sacha Inchi, foi classificado como elevado (75,96%), corroborando com a literatura (Soongprasit et al., 2019; Lakkhana et al., 2017), o que reflete em uma queima rápida, favorecendo a ignição.

Outro parâmetro importante é o teor de cinzas, o qual corresponde à fração residual da biomassa que permanece após a combustão, o resultado encontrado foi considerado relativamente baixo (6%), já que para Vale et al. (2011), apenas valores maiores que 7% prejudicam o processo de combustão. Mesmo assim, o resultado foi inferior aos trabalhos com o mesmo resíduo de Soongprasit et al. (2019) e Lakkhana et al. (2017), que encontraram 8,16% e 11,7%, respectivamente.

Já o teor de carbono fixo, é uma propriedade que está diretamente relacionada à eficiência energética da biomassa. Foi obtido de forma indireta, pela diferença entre os valores do teor de materiais voláteis e o teor de cinzas. Obteve-se uma média de 17,75%, valor superior com relação a literatura (Soongprasit et al., 2019; Lakkhana et al., 2017) pois, quanto maior o teor de carbono fixo, maior será o poder calorífico do combustível, porém mais lentamente ocorrerá a combustão.

Com relação ao Poder Calorífico Superior (PCS), o valor médio calculado pela Equação (6) foi de 18,07 MJ/kg. O poder calorífico é um dos parâmetros mais importantes no estudo do potencial energético de uma biomassa, pois indica a quantidade de energia liberada por unidade de massa no processo de combustão completa. A estimativa encontrada para o PCS mostrou-se próxima das obtidas por outros autores ao avaliarem as cascas da *Plukenetia volubilis* L. (Soongprasit et al., 2019; Lakkhana et al., 2017).

A análise de variância (ANOVA) foi realizada através do método de regressão linear para comparar as médias dos parâmetros estudados na caracterização físico-química, detectando diferenças entre os ensaios. Os resultados estatísticos obtidos por meio da ANOVA podem ser observados na Tabela 3.

É possível observar que apenas o teor de umidade é significativo, uma vez que o p-valor correspondente (0,0193) é menor que o nível de significância considerado (valor $p < 0,05$) e um coeficiente de

determinação elevado ($R^2 = 0,9991$). Entretanto, os demais parâmetros analisados não foram significativos para o modelo analisado.

Tabela 3. Resultado ANOVA da regressão linear dos parâmetros avaliados.

	U	MV	CZ	CF
SQ	0,0001805	29,5757	0,003872	28,9028
MQ	0,0001805	29,5757	0,003872	28,9028
Teste F	1083	0,2348	8,5917	0,2286
p-valor	0,0193	0,7127	0,2093	0,7161
R^2	0,9991	0,1902	0,8957	0,1861

A Figura 4 apresenta os gráficos para os ensaios experimentais e previstos estatisticamente para os teores de (a) umidade (%U), (b) carbono fixo (%CF), (c) cinzas (%CZ) e (d) materiais voláteis (%MV).

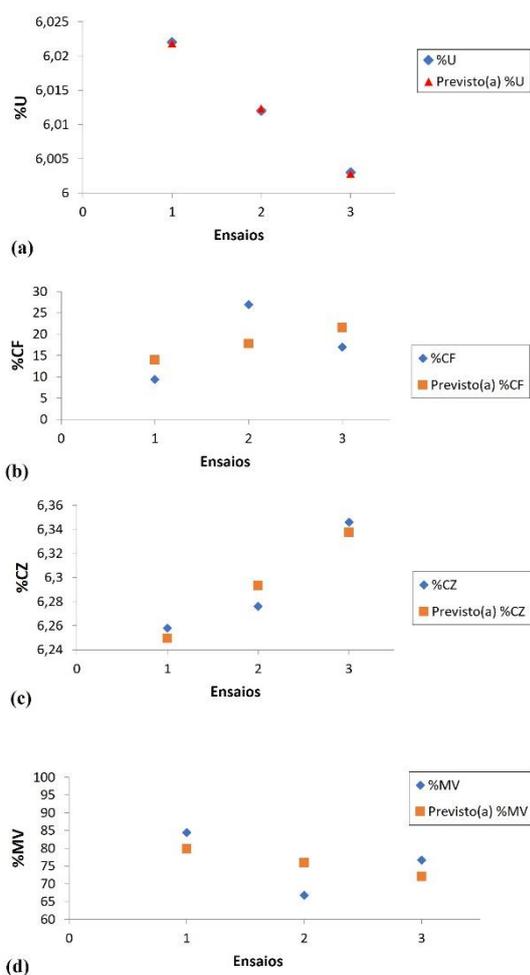


Figura 4. Gráficos dos resultados experimentais e previstos.

Conforme pode ser observado pela Figura 4a, o gráfico para o teor de umidade demonstra a ocorrência do melhor ajuste dos dados experimentais e previstos, refletindo em um coeficiente de determinação bem próximo de 1.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados experimentais obtidos com a análise imediata para calcular o poder calorífico superior, conclui-se que as cascas da Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) podem ser aproveitadas como combustível sólido para a geração de energia em processos térmicos, tais como combustão, gaseificação e pirólise. Portanto, o conhecimento das características energéticas dos resíduos da Sacha Inchi indica o potencial promissor para produção de energia, assim como colabora para o desenvolvimento de tecnologias mais adequadas para o aproveitamento desta biomassa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio financeiro e ao Laboratório da Superintendência do Departamento da Polícia Federal do Amazonas pela disponibilidade do espaço físico para a realização dos experimentos durante a pandemia COVID-19.

REFERÊNCIAS

- ARPIA, A. A.; CHEN, W. H.; LAM, S. S.; ROUSSET, P.; DE LUNA, M. D. G. Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave-assisted heating: A comprehensive review. **Chemical Engineering Journal**, 2021, v. 403, 126233. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/j.cej.2020.126233.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986.
- CHIRINOS, R.; NECOCHEA, O.; PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell: an alternative source of phenolic compounds and antioxidants. **International Journal of Food Science & Technology**, 2016. v. 51, n. 4, p. 986-993. DOI 10.1111/ijfs.13049.
- DI FRAIA, S.; FABOZZI, S.; MACALUSO, A.; VANOLI, L. Energy potential of residual biomass from agro-industry in a Mediterranean region of southern Italy (Campania). **Journal of Cleaner Production**, 2020. v. 277, 124085. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.124085.
- DIRBEBA, M. J.; BRINK, A.; DEMARTINI, N.; ZEVENHOVEN, M.; HUPA, M. Potential for thermochemical conversion of biomass residues from the integrated sugar - ethanol process: fate of ash and

ash-forming elements. **Bioresource Technology** (Epub), 2017. v. 234, p. 188-197. DOI 10.1016/j.biortech.2017.03.021.

GARCIA, L. C.; SOUSA, S. G. A.; MARAJÓ, L. Y. B.; CHAVES, F. C. M. **Tolerância à secagem em sementes de sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L. *Euphorbiaceae*)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. Comunicado Técnico, 137, 2019. 6p. ISSN 1517-3887. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208257/1/Com-Tec-137.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

GROTTO, C. G. L.; COLARES, C. J. G.; LIMA, D. R.; PEREIRA, D. H.; DO VALE, A. T. Energy potential of biomass from two types of genetically improved rice husks in Brazil: A theoretical-experimental study. **Biomass and Bioenergy**, 2020. v. 142, 105816. DOI 10.1016/j.biombioe.2020.105816.

HASAN, M.; HASELI, Y.; KARADOGAN, E. Correlations to Predict Elemental Compositions and Heating Value of Torrefied Biomass. **Energies**, 2018, v. 11, n. 9, 2443. DOI 10.3390/en11092443.

KAN, T.; STREZOV, V.; EVANS, T. J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2016. v. 57, p. 1126-1140. DOI 10.1016/j.rser.2015.12.185.

KUMAR, B.; SMITA, K.; CUMBAL, L.; DEBUT, A. Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell biomass for synthesis of silver nanocatalyst. **Journal of Saudi Chemical Society**, 2017. v. 21, p. S293-S298. DOI 10.1016/j.jscs.2014.03.005.

LAKKHANA, C.; ATONG, D.; SRICHAROENCHAİKUL, V. Fuel Gas Generation from Gasification of Sachá Inchi Shell using a Drop Tube Reactor. **Energy Procedia**, 2017. v. 138, p. 870-876. DOI 10.1016/j.egypro.2017.10.109.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, 2005. v. 84, n. 5, p. 487-494. DOI 10.1016/j.fuel.2004.10.010.

RODRIGUES, P. H. V.; BORDIGNON, S. V.; AMBROSANO, G. M. B. Desempenho horticultural de plantas propagadas in vitro de Sachá inchi. **Ciência Rural** (versão online), 2014. v. 44, n. 6, p. 1050-1053. ISSN 1678-4596. DOI 10.1590/S0103-84782014000600016.

SHENG, C.; AZEVEDO, J. L. T. Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. **Biomass and Bioenergy**, Elsevier, 2005. v. 28, n. 5, p. 499-507. ISSN 0961-9534. DOI 10.1016/j.biombioe.2004.11.008.

SOONGPRASIT, C.; AHT-ONG, D.; SRICHAROENCHAİKUL, V.; ATONG, D. Catalytic Deoxygenation Pyrolysis of Sachá Inchi Shell Over SBA-15 Catalyst: An Analytical PY-GC/MS. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 2019. v. 219, n. 1, 012016. DOI 10.1088/1755-1315/219/1/012016.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **CERNE** (online), 2011. vol. 17, n. 2, p. 267-273. ISSN 0104-7760. DOI 10.1590/S0104-77602011000200015.

WANG, S.; ZHU, F.; KAKUDA, Y. Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. **Food Chemistry**, 2018. v. 265, p. 316-328. DOI 10.1016/j.foodchem.2018.05.055.