

Relação do poder calorífico superior e a química imediata da madeira de *Tachigali vulgaris* para fins energéticos

Edson dos Santos Fernandes Junior¹; Arthur Gabryel Lins de Menezes¹; Paulo Roberto²; Renata de Oliveira fernandes³; Geovanna de Moraes Rodrigues¹; Fernanda Yukari de Souza Sakuma⁴; Fábio Silva do Rosário⁵; Vanessa Corrêa da Mata⁶

¹. Engenharia Florestal, Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém-PA. E-mail: edsonjr.eng.florestal@gmail.com; menezesarthut1995@gmail.com; rodrigues.geofloresta@gmail.com

². Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciências Florestais, Universidade federal Rural da Amazônia (UFRA). E-mail: Ef.pauloroberto@gmail.com

³. Engenharia Florestal, Mestranda em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba – PR. E-mail: renataoliveirafernandes@gmail.com

⁴. Engenharia Florestal, Mestre em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém-PA. E-mail: fernandasakuma18@gmail.com

⁵. Engenheiro Florestal, Doutorando em Ciências Florestais, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu-SP. E-mail: fabio.rosario@unesp.br

⁶. Engenheiro Florestal, Doutoranda em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba-PR. E-mail: nessa.mata@hotmail.com

Resumo

As características químicas da madeira influenciam diretamente na qualidade de um biocombustível. O poder calorífico superior (PCS) e a análise imediata (teor de materiais voláteis (TV), carbono fixo (CF) e cinzas (Tcz)), oferecem informações importantes da biomassa a queima. Neste sentido, este trabalho teve por objetivo correlacionar o PCS (estimado) da madeira de *Tachigali vulgaris* em função da análise de composição química imediata para fins energéticos. Para este estudo foram utilizadas 4 árvores de 9 anos de idade oriundas de uma área de cultivo experimental da Embrapa Amazônia Oriental, localizada na região do baixo Amazonas, sob um tipo de solo (Argiloso) e adubação (390-P + 0-K). Foi utilizado um disco da base de cada árvore, onde o material foi submetido a um moinho do tipo Willey e peneirado para obtenção da fração retida entre 40 e 60 mesh. Em seguida, foi realizado a análise imediata e estimativa do PCS da madeira. Os dados evidenciam que houve correlação positiva do PCS em relação à maioria dos teores químicos, exceto teor de cinzas. Diante do exposto, a madeira de *Tachigali vulgaris* apresenta características adequadas para fins energéticos.

Palavras-chave: Bioenergia; Análise imediata; Química da madeira.

Introdução

O uso da biomassa para energia é uma das práticas mais antigas realizadas pelo ser humano, sendo um dos essenciais insumos energéticos em países em desenvolvimento, a título de exemplo, o Brasil (GAMA et al., 2020). Analogicamente, na época atual a biomassa tem ganhado grande repercussão no cenário mundial como importante fonte energética, no que diz respeito ao seu caráter alternativo e substitutivo ao uso de combustíveis fósseis (GOLDEMBERG, 2017).

As principais biomassas utilizadas para a produção de bioenergia elétrica e térmica são: bagaço de cana-de-açúcar, óleos vegetais e madeira (resíduos ou povoamentos florestais) (EPE, 2017).

Dada a natureza heterogênea de biomassas lignocelulósicas, sua composição química influencia diretamente o desempenho energético. O maior conhecimento sobre a composição química das biomassas pode melhorar a eficiência energética de diferentes materiais (GOLDEMBERG, 2017; NAKASHIMA et al., 2017).

Atualmente no Brasil, no que concerne a povoamento florestais para a produção de energia, há o predomínio do plantio de espécies do gênero *Eucalyptus* (SIMIONI et al., 2018), devido a espécie se configurar como um forte gerador de biomassa por apresentar rápido crescimento e fácil adaptação a diferenciadas condições edafoclimáticas (SOARES, et al., 2006).

Entretanto, devido a fortes perspectivas no setor florestal, pesquisas vêm sendo desenvolvidas acerca do uso de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos a partir da madeira pelo uso de rotas modernas de conversão. Nesse sentido, o *Tachigali vulgaris* vem apresentando consideráveis resultados em plantios comerciais na Amazônia no que tange a produção de bioenergia e carvão vegetal.

Nesse contexto, existem parâmetros energéticos que oferecem informações que avaliam o potencial comburente das biomassas a queima. Os principais consistem no teor de umidade, análise

do poder calorífico e análise imediata, que compreende o teor de cinzas, teor de materiais voláteis e teor de carbono fixo (DEMIRBAS, 2004; NAKASHIMA et al., 2017). Ademais, com o intuito de obter mais informações sobre a potencialidade do *Tachigali vulgaris* para a produção de energia, este trabalho objetivou analisar a relação das características da análise imediata para estimar o poder calorífico da madeira (combustível).

Material e Métodos

Coleta, preparo e amostragem do material

Para este estudo foram utilizadas árvores de 9 anos de idade oriundas de uma área de cultivo experimental da Embrapa Amazônia Oriental, localizada na região do baixo Amazonas, em Monte Dourado, distrito de Almerim, estado do Pará. Foram coletadas 4 árvores de uma condição de solo (argiloso) e adubação (390-P + 0-K) realizada pela empresa. De cada tora, foram retirados discos da base, dos quais foram obtidas maravalhas com um formão. Este material foi processado em moinho do tipo Willey, e peneirado para separação granulométrica e obtenção da fração retida entre 40 e 60 mesh. Ademais, para as análises químicas, foram utilizadas amostras compostas das árvores, com 4 repetições para cada análise.

Composição química imediata

A análise de composição química imediata (Umidade, Teor de Cinzas, Teor de Materiais Voláteis e Teor de Carbono Fixo) foi realizada de acordo com a norma ASTM D1762/ 84 (ASTM, 2013), nas amostras naturais.

Poder Calorífico

Para o cálculo do Poder Calorífico das amostras, foi utilizada a equação proposta por Pariki et al. (2005) que pode ser estimado por meio de análise imediata, sendo %V o teor de voláteis, %A o teor de cinzas, e %CF o teor de carbono fixo, (Equação 1):

$$PCS \left(\frac{Kcal}{Kg} \right) = 84,5104 \times \%CF + 37,2601 \times \%V - 1,8642 \times \%A \quad (\text{Equação 1})$$

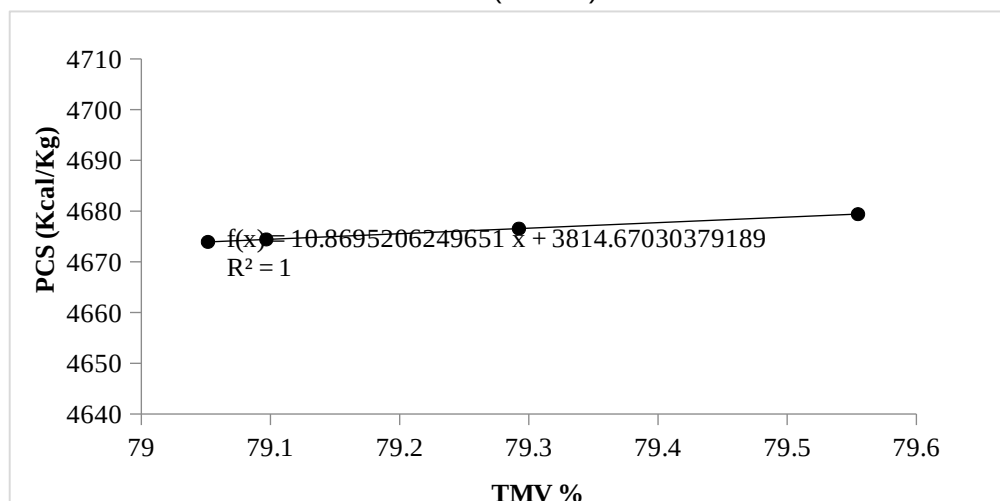
Estatística

Os dados foram processados através do software Excel (2010) para as análises de regressão, onde os resultados foram expressos em formato de gráficos para a discussão.

Resultados e Discussão

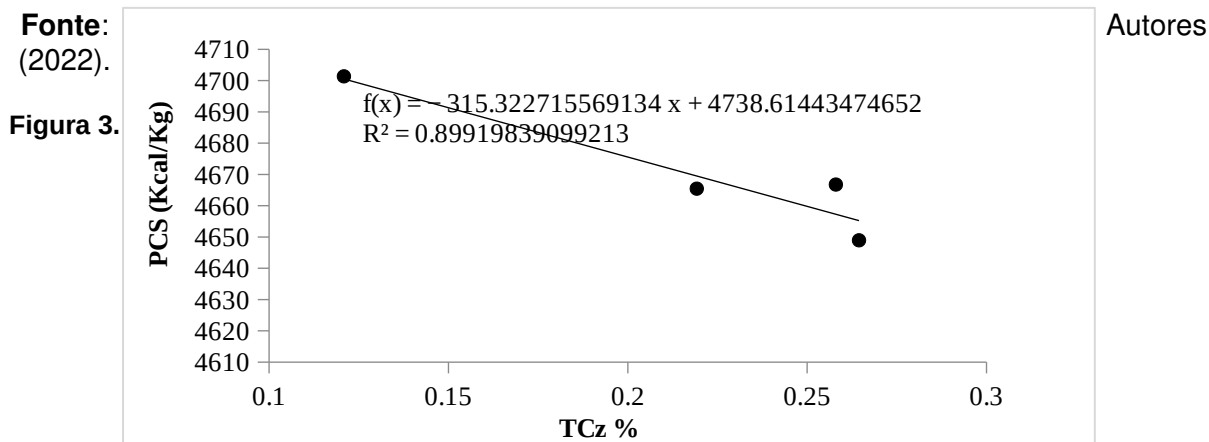
Nas figuras 1, 2 e 3 encontram-se as relações lineares simples estabelecidas entre o poder calorífico superior e os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, respectivamente.

Figura 1. Representação gráfica da relação do poder calorífico superior (PCS) e o teor de materiais voláteis (TMV %).

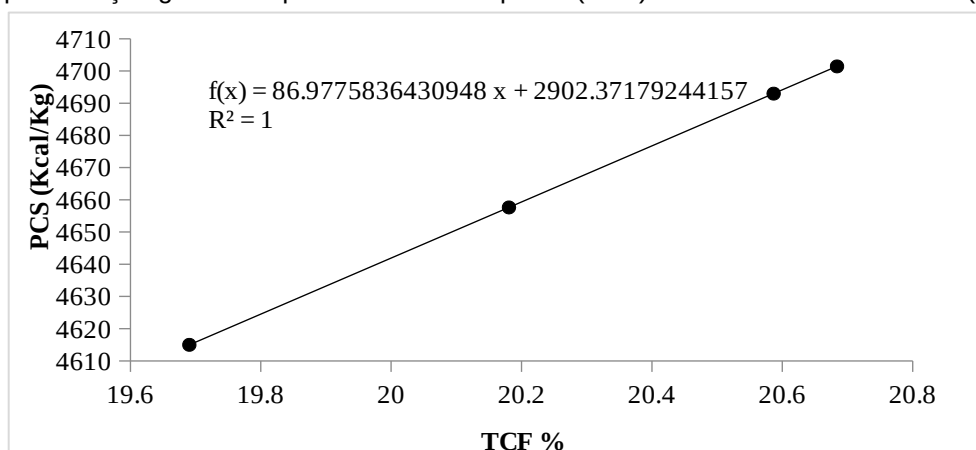


Fonte: Autores (2022).

Figura 2. Representação gráfica do poder calorífico superior (PCS) e o Teor de Cinzas (Tcz%).



Representação gráfica do poder calorífico superior (PCS) e o Teor de Carbono Fixo (TCF%).



Fonte: Autores (2022).

De acordo com os dados, todas as correlações lineares foram significativas (p -valor $< 0,05$), o que comprova a existência de uma relação linear entre as variáveis estudadas. Foi encontrada correlação positiva entre o PCS e o teor de materiais voláteis, ou seja, há uma tendência de maiores valores de PCS ($4680 \text{ Kcal kg}^{-1}$) estarem associados a maiores percentuais de materiais voláteis (79,5%), conforme apresentado nos dados deste estudo. Um estudo realizado por Silva (2019), não encontrou uma correlação linear entre o teor de materiais voláteis e o PCS para diferentes materiais lignocelulósicos. Isso pode ser explicado pela metodologia utilizada para a análise de materiais voláteis, em atenção ao tempo de carbonização do material.

Por outro lado, os materiais voláteis refletem nos gases inflamáveis (hidrogênio e hidrocarbonetos e alcatrão) e nos gases não inflamáveis (água, monóxidos de carbono, dióxido de carbono) (GARCÍA et al., 2012), na qual a alta quantidade de gases inflamáveis aumenta a reatividade e a velocidade da combustão, dificultando assim que sejam atingidas temperaturas elevadas (OBERNBERGER; THEK, 2004).

Quanto a relação encontrada entre o poder calorífico superior e o teor de cinzas, observou-se que há relação negativa, atendendo assim a expectativa prévia. É sabido que o teor de cinzas reflete na quantidade de massa inerte e que não sofre degradação térmica (NAKASHIMA et al., 2014), porém, realizam mudanças do estado físico, ao absorver energia na combustão (reação endotérmica) (BRAND, 2010) que acabam reduzindo o PCS do material. Ademais, diversos autores também corroboram com os resultados obtidos neste trabalho (AHMARUZZAMAN, 2008; FURTADO et al., 2012; GARCÍA et al., 2012; ÖZYUGURAN; YAMAN, 2017).

Para este estudo, a correlação entre o PCS e o teor de carbono fixo foi positiva apresentando um coeficiente de relação elevado ($R^2=0,99$), em que maiores teores de carbono refletiram em

maiores valores de poder calorífico. Soares et al. (2014) e Padilha et al. (2018) constataram correlação de forma positiva entre o teor de Carbono e o PCS, e de forma negativa com o teor de materiais voláteis.

Apesar da relação inversa entre os teores de voláteis e cinzas, a madeira de *Tachigali vulgaris* apresenta composição química bastante satisfatória no que diz respeito a geração de energia, apresentando variações de materiais voláteis (65 a 85 %), cinzas (15 a 25 %, dependendo do grau de impureza) e carbono fixo (15 a 25 %), porém em condições adequadas para os biocombustíveis (NAKASHIMA et al., 2017).

Conclusões

A madeira de *Tachigali vulgaris* apresenta características promissoras no que diz respeito a geração de energia, apresentando teores químicos satisfatórios para os biocombustíveis. De maneira geral, os teores de materiais voláteis e carbono fixo tiveram relações positivas com o poder calorífico superior (PCS) da madeira. Já para o teor de cinzas, a relação foi inversa. Entretanto, sugere-se a realização de novos estudos sobre a relação do PCS e a composição química de outros materiais lignocelulósicos, em virtude de inconsistências evidenciadas em alguns trabalhos com relação ao teor de materiais voláteis e sua relação negativa com o PCS.

Agradecimentos/Apoio

Agradecimentos a equipe do Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (LTPF) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) por todo apoio técnico prestado para a confecção do respectivo trabalho.

Referências Bibliográficas

- AHMARUZZAMAN, M. Proximate analyses and predicting HHV of chars obtained from cocracking of petroleum vacuum residue with coal, plastics and biomass. **Bioresource Technology**. v. 99, n. 11, p. 5043-5050, 2008.
- BRAND, M. A. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.
- Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanco Energético Nacional 2017**: ano base 2016. EPE Brasil, Brasil - Rio de Janeiro: EPE, 269 p, 2017.
- FURTADO, T. S.; FERREIRA, J. C.; BRAND, M. A.; NEVES, M. D. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de Pinus taeda em diferentes idades. **Revista Árvore**. v.36, n.3, p.577-582, 2012
- GAMA, D. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. M.; TAKESHITA, S.; DIAS JÚNIOR, A. F. Potencial energético da madeira de *Copaifera arenicola* endêmica do semiárido nordestino brasileiro. **BIOFIX scientific jornal**, v. 5, n. 1, p. 135-140, 2020.
- GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource Technology**, v. 103, n. 1, p. 249-258, 2012.
- NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S.; BELINI, G. B.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes. **Revista Virtual de Química**. v. 9, n. 1, p 150-162, 2017.
- ÖZYUĞURAN, A.; YAMAN, S. Prediction of Calorific Value of Biomass from Proximate Analysis. **Energy Procedia**, v. 107, n. 1, p. 130 - 136, 2017.
- OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, GB, v. 27, n. 6, p. 653-669, 2004.
- SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C. O.; GONÇALVES, O.; LELLES, J. G. Uso da Biomassa Florestal na geração de Energia. **Rev. Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, ano IV, n. 8, p. 1-9, 2006.
- SIMIONI, F. J.; BUSCHINELLI, C. C. A.; DEBONI, T. L.; PASSOS, B. M. Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva – SP. **Rev. Ciência Florestal**, v. 28, n. 01, p. 310-323, 2018.
- SILVA, D. A. **A interdependência do poder calorífico superior em função da análise imediata em materiais lignocelulósicos**. 2019. 119 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e uso de recursos renováveis) – Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, SP, 2019.