

## Potencial energético dos resíduos da agroindústria do algodão para produção de bioenergia

Jhonatan Willian Moreira<sup>1</sup>; Luiza Catarina Lobo de Godoi<sup>1</sup>; Carlos Eduardo Barbosa da Silva<sup>1</sup>; Arthur Pedro Alves Fernandes<sup>1</sup>; Macksuel Fernandes da Silva<sup>1</sup>; Carlos Roberto Sette Júnior<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio), Universidade Federal de Goiás (UFG) - Setor de Engenharia Florestal, Goiânia/GO, Brasil – [jwm.forest@gmail.com](mailto:jwm.forest@gmail.com)

**Resumo:** Grandes quantidades de resíduos agrícolas permanecem sem utilização devido à sua heterogeneidade estrutural, propriedade física não uniforme, baixa densidade energética, alto teor de umidade e natureza hidrofílica. O objetivo deste estudo foi determinar as características energéticas do resíduo agroindustrial do algodão para uso na geração de bioenergia. Foram determinados o perfil granulométrico do resíduo, os teores de matéria volátil, cinzas e carbono fixo; poder calorífico superior (PCS), poder calorífico útil (PCU), densidade a granel e densidade energética. O resíduo apresentou PCS 17,25 MJ.kg<sup>-1</sup>, densidade a granel de 94,68 kg.m<sup>-3</sup>, umidade de 9,93%; alto teor de cinzas e alta densidade energética. Os resultados obtidos mostram que os resíduos de algodão possuem características energéticas promissoras, tornando-os uma matéria-prima tecnicamente viável e uma alternativa para a produção de bioenergia contra a utilização de combustíveis fósseis.

**Palavras-chave:** Biocombustível, Biomassa, Caracterização.

### Energy potential of cotton agro-industry waste for bioenergy production

**Abstract:** Large quantities of agricultural waste remain unused due to their structural heterogeneity, non-uniform physical properties, low energy density, high moisture content and hydrophilic nature. The aim of this study was to determine the energy characteristics of agro-industrial cotton waste for use in bioenergy generation. The residue's granulometric profile, volatile matter, ash and fixed carbon contents, higher calorific value (HCV), useful calorific value (HCV), bulk density and energy density were determined. The residue had a PCS of 17.25 MJ.kg<sup>-1</sup>, a bulk density of 94.68 kg.m<sup>-3</sup>, a moisture content of 9.93%, a high ash content and a high energy density. The results obtained show that cotton waste has promising energy characteristics, making it a technically viable raw material and an alternative for the production of bioenergy against the use of fossil fuels

**Keywords:** Biofuel, Biomass, Characterization.

### 1. INTRODUÇÃO

A energia desempenha um papel crucial no desenvolvimento sustentável e na qualidade de vida dos países. A urbanização e a industrialização da cidade moderna estão ligadas à alta demanda de energia (De Conti *et al.*, 2021). A energia



convencional não renovável (gás, petróleo, carvão) é a principal fonte de energia no mundo; é responsável por mais de 2/3 do consumo mundial de energia, com 34% de petróleo, 27% de carvão e 24% de gás natural, seguida pela hidrelétrica com 7%, nuclear com 4% e renováveis (solar, eólica, geotérmica, biomassa, etc.) com 4% (Kidmo *et al.*, 2021). O foco, portanto, tem sido explorar energias renováveis como um substituto para as fontes de energia fósseis em declínio (Bot *et al.*, 2024)

O rendimento global do algodão em 2022 foi registrado em 24,69 milhões de toneladas, com os talos de algodão constituindo uma quantidade substancial de resíduos de colheita, aproximadamente 74,07 milhões de toneladas geradas anualmente. Os métodos atuais de tratamento do talo de algodão têm deficiências: a incineração e o aterro resultam em poluição do ar e emissão de gases de efeito estufa. Além disso, o retorno direto ao campo pode levar à disseminação de pragas e doenças, o que aumentará a quantidade de pesticidas. Como alimento para o gado, o talo de algodão exibe certa toxicidade biológica. No entanto, a conversão termoquímica por meio de uma abordagem eficiente fornece um meio eficaz para utilizar biomassa residual e resíduos de colheita (Wang *et al.*, 2024).

Em contrapartida, grandes quantidades de resíduos agrícolas permanecem sem utilização devido à sua heterogeneidade estrutural, propriedade física não uniforme, baixa densidade energética, alto teor de umidade e natureza hidrofílica. Estes se tornaram grandes problemas em seu transporte eficiente e econômico, manuseio, armazenamento e conversão em produtos de bioenergia. Antes de seu uso econômico em aplicações de energia, a densidade energética e a vida útil dos resíduos de biomassa precisam ser melhoradas (Tadesse *et al.*, 2021).

Portanto, o conhecimento acerca das tecnologias formuladas para o aproveitamento de resíduos agrícolas, destacando-se no campo das alternativas energéticas renováveis com potencial para substituição pelo uso de derivados do petróleo, torna-se uma ferramenta indispensável. Logo, o objetivo do estudo foi determinar as características energéticas do resíduo agroindustrial do algodão para uso na geração de bioenergia.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta e preparação do material



A biomassa do resíduo do algodoeiro (pedaços de caule e folhas, fiapos e sépalas, cápsulas e caroços) foi obtida diretamente do processamento industrial da fibra de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e transportada para o Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, para análise. Inicialmente, O teor de umidade foi calculado de acordo com a ABNT NBR 14929/2003, assim que os materiais chegaram ao laboratório, de forma a estimar os valores originais no momento da coleta. Na sequência, classificou-se a granulometria do resíduo, que foi separado mecanicamente em peneiras de 7, 20, 40, 60 e 100 mesh, utilizando-se um agitador de peneiras com batidas intermitentes.

## 2.2 Análise imediata

A partir da biomassa na malha de 60 mesh, foram determinados os teores de matéria volátil, cinzas e carbono fixo, em triplicata, de acordo com as normas da American Society for Testing and Materials - ASTM E872-82 (2013) e ASTM D1102-84.34 (2013). O teor de carbono fixo foi calculado pela diferença entre a massa inicial da amostra e a soma dos teores de matéria volátil e cinzas, conforme descrito na equação 1.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

CF= Teor de Carbono Fixo (%)

CZ = Teor de Cinzas (%)

MV = Teor de Material Volátil (%)

A densidade a granel foi determinada de acordo com a norma ASTM D5057 (D5057-10, 2019), que foi calculada através da relação entre a massa de biomassa e o volume conhecido de um recipiente, na equação 2.

Onde:

$$DG = Ma / Vc \quad \text{Eq. 2}$$

DG = Densidade a granel (Kg.m<sup>-3</sup>)



Ma = Massa da amostra (kg)

Vc = Volume do contentor ( $m^{-3}$ )

O Poder Calorífico Superior - PCS ( $MJ.kg^{-1}$ ) foi determinado utilizando-se um calorímetro IKA WORKS C-200 conforme a norma ASTM D5865 (2013).

O poder calorífico útil (PCU) foi determinado conforme a Equação 3 (BRITO, 1993).

$$PCU=PCS \{(100-u)/100\} - 6u \quad \text{Eq. 3}$$

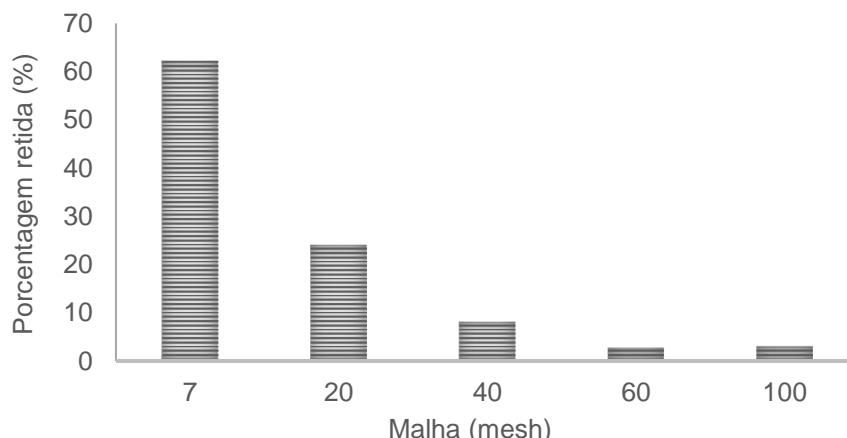
Sendo: PCU=poder calorífico útil (Kcal/Kg) u= umidade em base úmida (%)

A densidade energética foi calculada pelo produto do poder calorífico inferior (PCI) e a densidade a granel do resíduo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do resíduo obtida diretamente do processo agroindustrial da fibra de algodão revelou uma distribuição significativa das partículas pelas diferentes malhas (Figura 1). A maioria das partículas foi classificada como 7 mesh, compreendendo 62,20% da biomassa total. Posteriormente, as partículas classificadas como 20 mesh e 40 mesh representaram 24,01% e 8,06%, respectivamente. Apenas as partículas com menos de 20 mesh, constituindo 37,80% da biomassa, foram consideradas “finas” devido ao seu tamanho inferior a 1 mm.

**Figura 1.** Perfil granulométrico do resíduo de algodão.

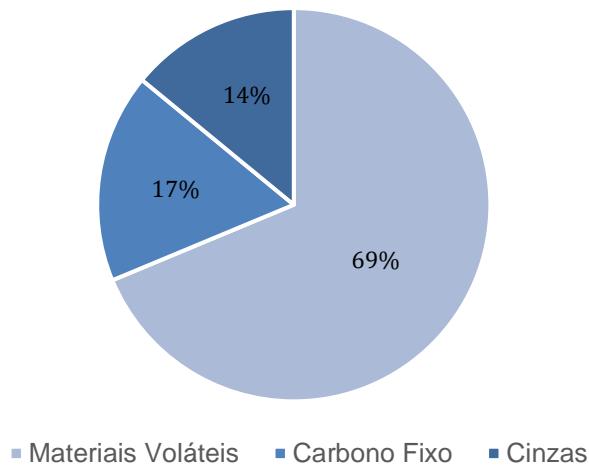




Os teores determinados de matéria volátil, cinzas e carbono fixo oferecem uma visão importante do comportamento do material combustível. Um elevado teor de matéria volátil de cerca de 68,72% sugere um potencial de produção de energia através de processos de combustão ou gaseificação. O teor de cinzas observado na biomassa refere-se é relativamente alto em comparação com alguns resíduos como *Pinus radiata* (3,10%), *Eucalyptus globulus* (2,58 %), bagaço de cana (5,08 %), bagaço de mandioca com 1,44 % (Chiang *et al.*, 2023; Nalevaiko *et al.* 2021). Em termos caloríficos, as cinzas não fazem nenhuma contribuição energética e também podem corroer equipamentos de metal e aumentar os custos de manutenção (Souza *et al.*, 2024).

O teor de carbono fixo, de 14,05%, contribui para o poder calorífico e serve como fonte primária de energia durante a combustão (Figura 2). Fernandez *et al.* (2018), em estudo com briquetes de bagaço de cana, encontrou os seguintes resultados: 3,9% de cinzas, 87,7% de material volátil e 8,4% de carbono fixo. Wang *et al.* (2024), em estudo com talos de algodão, observaram teor de cinzas de 5,02%, teor de voláteis em 74,17% e teor de carbono fixo de 16,78%.

**Figura. 2** - Teores de matéria volátil, carbono fixo e cinzas do resíduo de algodão.



A densidade a granel observada do resíduo de algodão foi menor do que outros resíduos comumente utilizados para geração de bioenergia. Da Silva *et al.* (2019), em estudo com talos e cascas de algodão densificados, observaram densidades a granel de 320 kg.m<sup>-3</sup> e 380 kg.m<sup>-3</sup>. Pincelli *et al.* (2021) constataram densidades de 371,3



$\text{kg.m}^{-3}$  para casca de banana e  $425,9 \text{ kg.m}^{-3}$  para casca de laranja, valores altos comparados a densidade do resíduo de algodão.

**Tabela 1.** Densidade aparente, teor de umidade, poder calorífico superior, poder calorífico inferior e densidade energética dos resíduos de algodão.

Densidade a Granel ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Umidade (%)	PCS ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ )	PCU ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ )	Densidade Energética ( $\text{MJ.m}^{-3}$ )
94,68	9,93	17,25	15,28	1.447,54

Quanto maior o teor de umidade do combustível, maior será a energia necessária para a evaporação da água presente na biomassa nos processos de conversão energética, reduzindo a sua eficiência (Felkel *et al.*, 2016). A umidade observada está próxima de teores encontrados para biomassas florestais como cavacos de *Eucalyptus* spp. em 10,29 % e casca de *Pinus taeda* em 12,72% (Saccocc *et al.*, 2020).

O poder calorífico do briquete é a quantidade de calor que desprende 1 kg de combustível quando de sua combustão completa (Miola *et al.*, 2020). Os autores Nakashima *et al.* (2017) ao realizarem estudo com diversos tipos de biomassa, encontraram os seguintes valores para o PCS:  $18,94 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  para o bambu *Dendrocalamus asper*,  $17,20 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  para o capim elefante;  $16,80 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  para a palha de milho; valores próximos aos encontrados no presente estudo. O poder calorífico útil observado, que é a quantidade de energia produzida pela queima do combustível, está próximo do observado em outros resíduos agroindustriais como o bagaço de cana com  $15,21 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  e do bagaço de mandioca  $15,10 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  (Nalevaiko *et al.*, 2021).

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que os resíduos de algodão possuem características energéticas promissoras, tornando-os uma matéria-prima tecnicamente viável e uma alternativa para a produção de bioenergia. O alto teor de cinzas e baixa densidade a granel observados não inviabilizam sua utilização como combustível. Futuros esforços de investigação devem centrar-se no desenvolvimento



de técnicas de densificação para minimizar os problemas associados a baixa densidade a granel do resíduo do algodão, alavancando a utilização desta biomassa como fonte de energia.

## 5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E872-82**: Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels. ASTM Standards, Phyladelphi.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **ASTM D1102-84**: Standard Test Method for Ash in Wood, ASTM Standards, West Conshohocken.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5865-13**: standard test method for gross calorific value of coal and coke. West Conshohocken; 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922/81**: Carvão Vegetal: Ensaios Físicos. São Paulo, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941/2003**: Determinação da densidade básica. São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**. Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2003.

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In Congresso Florestal Panamericano, 1, Congresso Florestal Brasileiro, 7, 1993, Curitiba, Anais...Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993, p. 280-282.

CHIANG, L. E.; CASTRO, F. A.; MOLINA, F. A. Socioeconomic and environmental benefits of substituting firewood with charcoal briquettes produced from biomass residues in the Forestry Belt in Chile. **Energy for Sustainable Development**, v. 77, p. 101341, 2023.

DA SILVA, J. E., de Araújo Melo, D. M., de Freitas Melo, M. A., de Aguiar, E. M., Pimenta, A. S., de Medeiros, E. P., ... & Braga, R. M. Energetic characterization and evaluation of briquettes produced from naturally colored cotton waste. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 14259-14265, 2019.

DE CONTI, A. C.; GRANADO, M. P. P.; PADILLA, E. R. D.; NAKASHIMA, G. T., DE CONTI, C.; YAMAJI, F. M. Binderless briquetting of mixed cassava rhizome, sugarcane bagasse, and sugarcane straw for producing solid biofuel with high durability. **BioEnergy Research**, v. 15, n. 1, p. 507-516, 2022.

FERNANDEZ, B. O.; DA RÓZ, A. L.; GONÇALVES, B. F.; NAKASHIMA, G. T.; YAMAJI, F. M. Qualidade de briquetes de cana-de-açúcar produzidos com aglutinante amido de milho. **Revista virtual de química**, v. 10, n. 1, 2018.



KIDMO, D. K.; DELI, K.; BOGNO, B. Status of renewable energy in Cameroon. **Renewable energy and environmental sustainability**, v. 6, p. 2, 2021.

MIOLA, B.; Frota, M. M. M., Oliveira, A. G. D., Uchôa, K. M., & Leandro Filho, F. D. A. Aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, p. 627-634, 2020.

NAKASHIMA, G. T.; ADHAMANN, 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.

NALEVAIKO, J. Z.; CREMONEZ, P. A.; TELEKEN, J. G. Utilização de subprodutos agroindustriais na produção de briquetes. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 15, n. 1, p. 1-26, 2021.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; DE QUEIROZ, I. S. Parâmetros físico-químicos de diferentes resíduos agroindustriais para fins energéticos. **Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN: 2236-9171)**, v. 11, n. 2, 2021.

SACCOL, A. F. D. O.; WELTER, C. A.; ROSA, R. C. D.; COLDEBELLA, R.; LONGHI, S. J.; Farias, J. A. D.; PEDRAZZI, C. Aproveitamento da biomassa florestal na fabricação de briquetes. **Materia**, v. 25, p. e-12634, 2020.

SOUZA, A. G. O.; DE JESUS, E., H.; SPADIM, E. R.; GUERRA, S. P. S.; ESPERANCINI, M. S. T. Exploring the technical and economic viability of lignocellulosic waste briquettes from the wood panel industry. **Industrial Crops and Products**, v. 216, p. 118782, 2024.

TADESSE, Y.; KASSAHUN, S. K.; KIFLIE, Z. Effects of operational parameters on torrefaction performance of coffee husk and cotton stalk mixed biomass: A surface response methodology approach. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-16, 2021.

WANG, X.; DAI, Y.; ZHANG, A., WANG, Y.; LIU, J.; LI, J. Co-pyrolysis of pretreated cotton stalk and low-density polyethylene: Evolved products and pyrolysis mechanism analysis. **Journal of the Energy Institute**, p. 101775, 2024.