



I SIMPÓSIO MULTIDISCIPLINAR SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA

05 A 07 DE NOVEMBRO
SÃO LUÍS - MA

APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA COTONICULTURA COMO COMBUSTÍVEL ALTERNATIVO E FUTURAS APLICAÇÕES EM PROCESSOS TERMOQUÍMICOS

Maria Luiza Carneiro Milhomem¹

Thaís Cristina Pinto Ferreira²

Isabel Maria Souza Ferreira³

Arthur Vinicius Sousa Silva⁴

Glauber Cruz⁵

Palavras-chave: Viabilidade econômica. Energia renovável. Resíduos de algodão. Campos hidrófilos. Impactos socioambientais.

1. Introdução

A necessidade de matéria-prima originou o incentivo de algodão em diversas partes ao redor do Mundo e, aproveitando-se da procura pelo algodão, houve o cultivo deste, sendo o Maranhão a primeira região a implementar esta agrocultura (OLIVEIRA, 2019). A planta branca, consolidou-se no século XIX, superando o açúcar, principal economia da região e foi a fibra ou pluma branca responsável pela industrialização nordestina atingindo desde o Maranhão até a Bahia (OLIVEIRA, 2019). No final do século XIX e em meados dos anos 30 do século passado, ocorreu o desaparecimento do mesmo em muitas regiões nordestina, obtendo uma reestruturação nos anos 90, devido à pesados investimentos, deixando-o novamente entre os principais segmentos econômicos do País (OLIVEIRA, 2019).

Segundo a Embrapa (2023), a pluma do algodão é considerada como principal produto da cotonicultura, pois é desta que vem 25% da fibra que abastece a indústria têxtil no Brasil e no Mundo inteiro. As sementes do algodão também acumulam óleos e proteínas que são encontrados na indústria de alimentos e rações animais (EMBRAPA, 2023).

O Brasil é um país com grande produção agrícola, em virtude disso são geradas grandes quantidades de resíduos de diferentes culturas que podem ser aproveitadas como uma fonte alternativa de energia, sendo capaz de oferecer excelentes condições para a produção e uso em larga escala (XU e CHEN, 2018). Os resíduos agrícolas são potenciais fontes de energia devido à variedade de culturas e à grande quantidade de resíduos produzida que pode ser aplicada em diferentes processos de termoconversão de biomassa em energia (XU e CHEN, 2018). A biomassa lignocelulósica tem sido utilizada há muito tempo em processos de combustão para gerar calor para uso doméstico ou energia elétrica o setor industrial (SILVA, 2019). Atualmente, outros processos termoquímicos têm recebido atenção devido ao interesse em diferentes produtos da biomassa, como carvão, gás e produtos aromáticos, entre outros, que podem ser obtidos por meio do processo de pirólise (SILVA, 2019). O desafio é combinar uma composição adequada da biomassa com um processo de pirólise eficiente para aumentar o rendimento e a qualidade do bio-óleo para o biorrefinamento (SILVA, 2019). A biomassa desempenha um papel importante, pois a composição da mesma pode influenciar os produtos

REALIZAÇÃO E APOIO





I SIMPÓSIO MULTIDISCIPLINAR SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA

05 A 07 DE NOVEMBRO
SÃO LUÍS - MA

da pirólise, a abundância e o custo também devem ser considerados para a viabilidade do processo e tem-se estudado o uso de resíduos agrícolas para explorar o potencial energético deste (SILVA, 2019).

Desta forma, busca-se cada vez mais reutilizar os resíduos agrícolas para produzir insumos na cadeia produtiva dos biocombustíveis, e consequentemente, contribuir para redução dos impactos ambientais que poderiam ser gerados na cadeia da cotonicultura, quando estes resíduos são dispostos inadequadamente no meio ambiente, além de desperdícios energéticos (BRANDÃO *et al.*, 2023).

2. Objetivos

Investigar o potencial bioenergético da mistura de talos e folhas de algodão obtidas no município de Balsas (MA) para geração de bioenergia, visando também a redução da poluição e do desperdício dos resíduos da colheita de algodão na região produtora da agroindústria.

3. Metodologia

Com a finalidade de realizar as análises deste estudo, realizou-se a etapa de coleta das amostras (talos e folhas de algodão), obtidas no município de Balsas ($7^{\circ} 31' 58''$ Sul; $46^{\circ} 02' 09''$ Oeste), uma vez que este dispõe de grande distribuição de algodão. O município de Balsas está localizado no Sul do Estado do Maranhão, com uma distância de 810 km da capital maranhense (São Luís – MA) e tendo como predominância uma vegetação característica do cerrado tropical, marcado pela presença de campos hidrófilos de várzea (OLIVEIRA, 2014). A coleta dos resíduos ocorreu por intermédio da colaboração dos trabalhadores das fazendas locais que a realizam com a finalidade da comercialização das fibras do algodão.

As amostras coletadas foram submetidas a três lavagens consecutivas em água corrente para a completa eliminação de impurezas. Em seguida, foram colocadas em uma estufa (Tecnal TE-393/80L) para secagem a uma temperatura média de aproximadamente 60°C por 48 horas, a fim de remover o excesso de umidade. Após a secagem, as amostras passaram por um processo de moagem em um moinho de facas (Tecnal R-TE-648) para redução da granulometria, seguido de peneiramento com peneiras da série ASTM com aberturas de $355\text{ }\mu\text{m}$ e $250\text{ }\mu\text{m}$, selecionando-se partículas com tamanho médio de aproximadamente $302,5\text{ }\mu\text{m}$. Posteriormente, as blendas foram preparadas nas seguintes proporções: 100% talos (TA), 100% folhas (FO) e 50% TA:50% FO.

Os teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas foram determinados por meio de análise imediata realizada em um forno do tipo mufla (INTI MLVC 1300/7). A análise calorimétrica (IKA C200) foi utilizada para definir a quantidade de energia por unidade de massa/volume, determinando os Poderes Caloríficos Superior (PCS) e inferior (PCI), utilizando a equação empírica conforme mostrado na Equação 1:

$$\text{PCI}=\text{PCS}-\text{R}*((\text{W}+8,94*\text{H}))/100 \quad (1)$$

onde R é o calor latente da água e equivale à $2,31\text{ MJ kg}^{-1}$ a 25°C , W é a umidade percentual da amostra, H é o teor percentual hidrogênio da amostra, enquanto o valor 8,94 da equação representa o fator de conversão de hidrogênio em água (ŚWIECHOWSKI, 2019).

A análise elementar foi realizada para determinar os principais compostos químicos (CHNS-O) presentes nas amostras. A estrutura morfológica e textural das biomassas foi examinada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), e as regiões cristalinas e amorfas foram identificadas por difração de raios-X (DRX) por meio do cálculo do índice de cristalinidade

REALIZAÇÃO E APOIO



PPGE

Programa de Pós-graduação em
Energia e Ambiente

PPGDSE

PPGQUIM FAPEMA
Fundaçao de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento
Científico e Tecnológico do Maranhão

CAPES



I SIMPÓSIO MULTIDISCIPLINAR SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA

05 A 07 DE NOVEMBRO
SÃO LUÍS - MA

(%IC). Subsequentemente, os principais grupos funcionais foram identificados por meio da espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Para determinar o teor percentual de metais e elementos inorgânicos, utilizou-se a espectrometria de energia dispersiva (EED).

4. Resultados e Discussão

Primeiramente, por meio dos resultados obtidos, as folhas de algodão possuem uma maior influência na capacidade energética em comparação aos talos, apresentando um PCS 11,41% superior, enquanto os valores de PCI das amostras de 100% talos e 100% folhas diminuíram apenas 1,84%, proveniente do fato de que a conversão do hidrogênio presente nas amostras in natura não gerou perdas significativas (SILVA, 2019). A biomassa contendo a mistura 50% TA:50% FO apresentou um valor de umidade de $8,93 \pm 0,44\%$, demonstrando que a biomassa tem grande potencial energético e redução de resíduos gerados na decomposição térmica nos processos de termoconversão (SANTANA JUNIOR, 2020). Em contraponto, as biomassas de talos in natura (100% talos) e a mistura (50% TA:50% FO) expuseram valores de materiais voláteis maiores ($73,02 \pm 0,78$ e $72,84 \pm 0,11$, respectivamente), demonstrando uma alta reatividade e volatilidade em processos térmicos (combustão e/ou pirólise), contribuindo para o processo de gaseificação (RASAM, 2020). Por fim, as amostras de 100% talos e 100% folhas apresentaram um teor de cinzas aproximado ($8,06 \pm 0,15\%$ e $8,07 \pm 0,79\%$, respectivamente), influenciando no processo de combustão, onde estes são depositados na parte inferior de reatores termoquímicos, ocasionando entupimento.

Os micrográficos representados pelas imagens de MEV apresentaram características morfológicas dos compostos isolados e da mistura, obtidos através de visualização amostral em diferentes pontos das amostras estudadas. Os 100% talos apresentaram uma estrutura regular e de aspecto ordenado, enquanto as 100% folhas apresentaram estruturas fragmentadas devido ao processo de moagem. E, por fim, a mistura 50% TA:50% FO apresentou um nível de desordem e irregularidades.

Através da difração de raios-X, as amostras de 100% talos, 100% folhas e 50% TA:50% FO apresentaram índices de cristalinidade da ordem de 18,43, 23,86 e 17,95%, respectivamente. Ou seja, valores presentes são baixos demonstrando amostras amorfas, tal característica presente em polímeros vegetais e contribuindo de forma efetiva para o processo de conversão termoquímica, devido à alta reatividade (RODRIGUES, 2020).

Quanto aos grupos funcionais, identificados por intermédio do infravermelho por transformada de Fourier, conclui-se que a presença destes grupos funcionais pode estar relacionada com carboidratos, dióxido de carbono, hemicelulose, celulose e lignina nos materiais lignocelulósicos (RODRIGUES, 2020).

A análise de EED identificou a presença de alguns elementos metálicos e inorgânicos, como cálcio (Ca), potássio (K) e cloro (Cl), os quais são elementos não prejudiciais ao processo de combustão, quando participam da formação de óxidos, hidróxidos e carbonatos em processos térmicos (SILVA, 2019).

As curvas TG/DTG apresentaram uma reação de absorção de calor, devido à perda de umidade para as amostras (ocorrendo em torno de 30 a 120 °C), ocorrendo a conversão de hidrogênio e oxigênio em água na etapa de evaporação da umidade (SILVA, 2019). As curvas DTG confirmaram as três etapas de perdas de massa por aumento de temperatura, demonstrada na análise imediata. A degradação térmica de hemicelulose e celulose juntas, a qual é denominada de holocelulose, e evidenciada pela presença de um “ombro” em torno de 310 °C

REALIZAÇÃO E APOIO



PPGQUIM FAPENÁ

CAPES



I SIMPÓSIO MULTIDISCIPLINAR SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA

05 A 07 DE NOVEMBRO
SÃO LUÍS - MA

(CRUZ, 2019). Enquanto que no segundo evento definido ocorre a decomposição térmica da lignina (MITU et al., 2019). Já as curvas de DSC revelaram que o processo de termoconversão para as três amostras foram similares. Inicialmente, ocorre uma reação endotérmica (ganho de calor), referente à perda de umidade para as amostras que ocorreu em torno de 49 °C.

5. Conclusão

Sendo assim, o presente trabalho avaliou os resíduos de algodão in natura, bem como a blenda deste, por meio de características físico-químicas, morfoestruturais e comportamento térmico com a finalidade de utilizá-los em sistemas de conversão termoquímica para a produção de energia limpa. Em suma, mostrou-se um método eficiente e prático, almejando que fontes residuais do Estado do Maranhão possam ser utilizadas eficazmente em processos de termoconversão, com um teor energético satisfatório e com uma emissão controlada de poluentes atmosféricos.

Além disso, deseja-se que o trabalho desenvolvido possa ser um instrumento de transformação social e ambiental por meio da pesquisa técnico-científica e educação ambiental; por meio da formação de recursos humanos e/ou eleve a capacidade de profissionais locais, com a máxima finalidade da promoção do desenvolvimento tecnológico, científico, e a colaboração entre as Universidades maranhenses e as empresas locais de alta demanda energética.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio profissional e técnico da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

7. Referências

BRANDÃO, M. C. P. Avaliação da Viabilidade do uso do Caroço de Algodão como Insumo Energético. PEER REVIEW, vol. 5, n. 11, 2023.

CRUZ, G.; CRNKOVIC, P. (2019). Assessment of the physical-chemical properties of residues and emissions generated by biomass combustion under N₂/O₂ and CO₂/O₂ atmospheres in a Drop Tube Furnace (DTF). Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 136. 1-15. 10.1007/s10973-019-08238-0.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Algodão. Departamento de Orientações e Apoio à Programação de Pesquisa: Brasília, 2023. 89p.

MITU, M., ISLAM, M. A., RAHMAN, M. S. et al. (2019). Pyrolysis Kinetics study on waste particle residue from particle board industry. Journal Indian of Academy Wood Science. <https://doi.org/10.1007/s13196-019-00236-x>

REALIZAÇÃO E APOIO





I SIMPÓSIO MULTIDISCIPLINAR SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA

05 A 07 DE NOVEMBRO
SÃO LUÍS - MA

OLIVEIRA, C.B. **Poluição do Riacho São Caetano no perímetro urbano de Balsas-MA.** Monografia (Graduação em Ciências - habilitação em Biologia): Programa Darcy Ribeiro, Universidade Estadual do Maranhão, Balsas, 2014.

OLIVEIRA, E. N. C. **A Economia do Algodão no Nordeste Brasileiro.** VI Congresso Sergipano de História. Sergipe, 2019.

RASAM, Sajjad et al. **Thermal behavior, thermodynamics and kinetics of co-pyrolysis of binary and ternary mixtures of biomass through thermogravimetric analysis.** Fuel, v. 280, p. 118665, 2020.

RODRIGUES, A. L. P. **Caracterização físico-química de biomassa lignocelulósica para utilização em sistemas de conversão termoquímica com fins energéticos.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente). Universidade CEUMA. São Luís – MA, 2020.

SANTANA JÚNIOR, Cláudio Carneiro. **Utilização de biomassas lignocelulósicas da Amazônia Legal para produção de bioproductos em um contexto econômico e socioambiental.** 2020.

SILVA, J. E et al. **Energetic characterization and evaluation of briquettes produced from naturally colored cotton waste.** Rio Grande do Norte, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04777-z>

ŚWIECHOWSKI, K.; LISZEWSKI, M.; BABELEWSKI, P.; KOZIEL, J. A.; BIAŁOWIEC, A. **Fuel Properties of Torrefied Biomass from Pruning of Oxytree,** vol. 4, p. 1-10, 2019.

XU, XIN-LONG; CHEN, HSING HUNG. **Examining the efficiency of biomass energy: Evidence from the Chinese recycling industry.** Energy Policy, vol. 119, p. 77-86, 2018.

REALIZAÇÃO E APOIO

