

Artigo

Caracterização Química e Energética de Epicarpo Residual do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) e Briquete Produzido**Tomeleri, J. O. P.; Valentim, L. B.; da Silva, J. P.; de Pádua, F. A.; Yamaji, F. M.****Rev. Virtual Quim.*, 2017, 9 (3), no prelo. Data de publicação na Web: 5 de junho de 2017<http://rvq.sbq.org.br>**Chemical and Energetic Characterization of Residual Epicarp of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) and produced briquette**

Abstract: Among the oleaginous plants, *Jatropha curcas* is a species with considerable potential energy for use as biodiesel. The waste disposal parts of the fruit, after the oil extraction, as well as its epicarp are considered energy loss. Under the conditions presented, this study was aimed to accomplish the energy characterization of the remaining epicarp achieved by the processing of the *Jatropha* fruit, along with briquettes. It was attested through the proximate analysis of materials and particle size distribution, heating value determination, briquettes production and mechanical testing. The treatments consisted of briquettes with different amounts of particle materials of *Jatropha* and Pine Wood. The resulting values of chemical analysis, as well as ash content (7.71%), fixed carbon content (26.73%), volatile matter (65.56%) and high heating value (HHV) (4079,24 kcal.kg⁻¹), indicate the quality of the epicarp for energy use. The ash content values were relatively low when compared to other residual materials. The addition of pine wood to *Jatropha* briquette represented an improvement of the mechanical characteristics in all of the tested proportions. However, all the treatments results in low values of resistance.

Keywords: Biomass; Bioenergy; Waste Reuse.

Resumo

Dentre as plantas oleaginosas, a espécie *Jatropha curcas*, conhecida como pinhão manso, é uma espécie com um considerável potencial energético para utilização como biodiesel. O descarte de partes do fruto, após a extração do óleo, como o seu epicarpo, configura em uma perda energética. Neste contexto, este trabalho teve o objetivo de realizar a caracterização energética do epicarpo remanescente do processamento do fruto do pinhão manso, e do briquete produzido. Foi realizada análise química imediata dos materiais e análise de distribuição granulométrica, determinação do poder calorífico, briquetagem e ensaio mecânico. Os tratamentos consistiram em briquetes com 100% de pinus (T1); 75% de pinus e 25% pinhão (T2); 50% de pinus e 50% pinhão (T3); 25% de pinus e 75% pinhão (T4) e 100% de pinhão (T5). Os valores resultantes das análises químicas, como teor de cinza (7,71%), teor de carbono fixo (26,73%), materiais voláteis (65,56%) e poder calorífico (4079,24 kcal.kg⁻¹), qualificam o epicarpo para o uso energético. Os valores do teor de cinzas foram relativamente baixos quando comparados a outros materiais residuais. A adição do material de pinus aos briquetes de pinhão manso representou uma melhora nas características mecânicas em todas as proporções testadas. No entanto, ainda apresentam valores baixos para resistência.

Palavras-chave: Biomassa; Bioenergia; Reaproveitamento de resíduos.

* Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Rodovia João Leme dos Santos, Km 110, SP-264, Sorocaba-SP, Brasil.

 fmyamaji@ufscar.br

DOI:

Caracterização Química e Energética de Epicarpo Residual do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) e Briquete Produzido

João Otávio P. Tomeleri, Larissa B. Valentim, Juliette P. da Silva,
Franciane A. de Pádua, Fábio M. Yamaji*

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Rodovia João Leme dos Santos, Km 110, SP-264, Sorocaba-SP, Brasil.

* fmyamaji@ufscar.br

Recebido em 26 de outubro de 2016. Aceito para publicação em 31 de maio de 2016

1. Introdução

2. Material e Métodos

2.1. Material

2.2. Processamento do epicarpo do pinhão manso e madeira de pinus

2.3. Análise imediata e poder calorífico

2.4. Distribuição granulométrica

2.5. Densidade

2.6. Características físico-mecânicas

2.7. Análise estatística

3. Resultados e Discussão

3.1. Densidade a granel e classificação granulométrica

3.2. Análise imediata

3.3. Variação volumétrica

3.4. Análise mecânica

4. Conclusão

1. Introdução

Jatropha curcas L., conhecida como pinhão manso, é uma planta oleaginosa pertencente à família Euphorbiaceae. De porte arbustivo, com até 4 m de altura, possui frutos com sementes escuras, lisas, dentro das quais se encontra a amêndoa branca, tenra e rica em óleo.¹ Sua potencialidade econômica está atrelada ao

fato de ser uma planta com muitos atributos, podendo ser utilizada para controle erosivo, para recobrimento do solo, como cerca viva, ou como cultura comercial. Além disso, sua facilidade de estabelecimento e a capacidade de exploração de seus múltiplos produtos, entre estes o óleo, credenciam a espécie como uma fonte potencial para combustíveis.²

Estima-se que o Brasil possua mais de 200

espécies oleaginosas com potencial para uso como combustíveis, e entre elas, o pinhão manso se destaca na produção de biodiesel por possuir características favoráveis de cultivo, como pouca exigência na qualidade do solo e aclimatação em localidades com pouca disponibilidade hídrica, mantendo uma boa produtividade em relação a outras oleaginosas, como a palma.^{3,4} Além disso, o seu cultivo requer tecnologia simples, com capital de investimento relativamente modesto.¹ É possível obter rendimentos entre 0,5 ton.ano⁻¹.ha⁻¹ e 12 ton.ano⁻¹.ha⁻¹ de sementes, dependendo das condições edafoclimáticas da região.¹ No Brasil, a média de produtividade registrada para dez genótipos de pinhão manso, cultivados sob irrigação por gotejamento, no semiárido pernambucano foi de 3,2 ton.ha⁻¹ de sementes.⁵ Para meios de comparação, a mamona alcançou números de 0,728 ton.ano⁻¹.ha⁻¹ de sementes na safra 2015/16.⁶ A produtividade média da soja, foi de 3,07 ton.ano⁻¹.ha⁻¹ no mesmo período.⁶

A produção do pinhão manso tem início ao segundo ano de cultivo, em quantidades limitadas, que pode se estender até o quinto ano e, a partir desse período, se gerida de maneira adequada, a cultura tem capacidade de produzir até 5 kg de sementes por planta, mantendo a produtividade até os 40 anos.⁷ Os seus frutos secos, recém-colhidos contêm de 35 a 40% de casca e de 60 a 65% de semente em relação ao seu peso. Um quilograma contém de 400 a 425 frutos e de 1580 a 1600 sementes, sendo que o peso de 100 sementes é de aproximadamente 63g.⁸

Considerando um rendimento obtido de 27% de óleo em sementes providas de um plantio de pinhão manso não irrigado em Minas Gerais,⁹ e uma produtividade média de 3,2 ton.ha⁻¹, a produção de óleo seria de 864 kg.ha⁻¹.

Enquanto muita ênfase é dada para a utilização da amêndoa na produção de biodiesel, que corresponde a valores de 17 a 18% do fruto seco, pouca atenção é dada aos outros componentes potenciais para fins energéticos, os chamados subprodutos.⁸ O valor energético da parcela remanescente

descartada pelo processo de extração de óleo representa o dobro do valor energético do biodiesel.⁸ Enquanto os frutos são ricos em carboidratos potenciais à produção do bioetanol por meio de fermentação, a sua casca é rica em lignina, útil na geração de energia.⁴

Além de promover um melhor aproveitamento dos frutos colhidos, a utilização dos resíduos do processamento das sementes para obtenção do óleo, como a torta e o epicarpo, possibilita uma alternativa para compensar a falta de produção nos meses em que a cultura ainda não formou os frutos, período que compreende os meses de setembro a dezembro.¹⁰ Os resíduos, ou subprodutos, atuam como um complemento da renda para os produtores e também contribuiriam para que existisse uma regularidade na disponibilidade de produtos oriundos do pinhão manso, seja o biocombustível líquido, ou combustível sólido para queima.

Dentre as variadas formas de aplicação dos componentes do fruto do pinhão manso, existe a possibilidade de utilização da casca ou epicarpo como combustível sólido para a combustão direta “in natura” ou ainda como carvão, briquetes e pellets. De acordo com a literatura, é sugerida a briquetagem do material para contornar os problemas da sua baixa densidade energética, além de facilitar a sua homogeneização e melhorar suas características de transporte e alimentação em caldeiras.³ No entanto, para a utilização do epicarpo residual do pinhão manso como fonte energética são necessárias mais pesquisas no sentido de qualificá-lo quanto às suas características físico-químicas e estudos de sua associação com outros materiais energéticos, como os resíduos madeireiros, a fim de apontar o melhor uso da casca, até então pouco estudada.¹¹

Analisando este cenário, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial físico-químico do epicarpo residual do pinhão manso e caracterizar mecanicamente o briquete, contendo misturas de serragem de pinus, a fim de determinar os efeitos dessa adição em diferentes porcentagens.

O trabalho teve como objetivos específicos a determinação dos teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas do epicarpo residual do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e da madeira de *Pinus elliottii*, bem como a caracterização das propriedades mecânicas dos briquetes produzidos, como a Força Máxima (N), Resistência Máxima (MPa) e o Módulo Elástico (MPa), por meio de ensaios de resistência à tração por compressão diametral.

2. Material e Métodos

2.1. Material

Os frutos de pinhão manso foram coletados de um teste de híbridos de *Jatropha curcas* no município de Ribas do Rio Pardo – MS, Brasil. A área está situada a 20° 13' 16,7" de latitude sul e a 53° 42' 31,3" de longitude oeste. O plantio consiste em uma área de 2,43 ha com 199 híbridos de duas variedades, cultivados em dezembro de 2011, plantados em espaçamento 3x3 m.

Além do epicarpo do pinhão manso, foi utilizada também serragem de madeira de *Pinus elliottii* sem casca, procedente de árvores de 50 anos coletadas na Floresta Nacional de Capão Bonito, no município de Capão Bonito, São Paulo, localizada a 24° 00' de latitude sul e a 48° 20' de longitude oeste.

2.2. Processamento do epicarpo do pinhão manso e madeira de pinus

Os materiais foram transportados para o Laboratório de Bioenergia e Materiais Lignocelulósicos da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, campus Sorocaba, para preparação e análise. Posteriormente, os materiais foram triturados em um moinho de facas tipo Willey, da marca Marconi, modelo MA 340, para a obtenção de um material particulado de menor granulometria.

Foi obtido aproximadamente 1 kg de cada

produto triturado, os quais foram devidamente armazenados em sacos plásticos. O material particulado gerado foi utilizado para as análises físicas e química imediata, sem qualquer outro processo de beneficiamento.

2.3. Análise imediata e poder calorífico

Todas as análises se deram em triplicatas. Apenas as porções do material particulado, retidas na peneira de 60 mesh foram utilizadas para análise do teor de umidade, análise química imediata, utilizando os procedimentos descritos na norma ASTM D1102-84¹² para o teor de cinzas, e ASTM E872-82¹³ para o teor de voláteis. O poder calorífico superior foi obtido em uma bomba calorimétrica IKA C200, com base na norma ASTM D2015-00.¹⁴

2.4. Distribuição granulométrica

Para a realização da distribuição granulométrica utilizou-se o agitador de peneiras com batidas intermitentes marca Marconi, modelo MA 750. Foram utilizadas 100 g de cada material particulado e tempo de agitação de 5 minutos. A classificação foi realizada com peneiras de aberturas de 10 mesh (2,00 mm); 20 mesh (0,85 mm); 40 mesh (0,43 mm); 60 mesh (0,25 mm) e fundo. Passado esse período, as porções retidas em cada peneira foram pesadas.

2.5. Densidade

Para a determinação da densidade do epicarpo "in natura", foi utilizada uma proveta de 250 mL e uma balança centesimal de marca Shimadzu, modelo BL3200 H. A determinação ocorreu por uma média das triplicatas. Para a determinação da densidade da madeira de *Pinus* foi utilizada uma amostra composta de cavacos oriundos de

discos sem casca, retirados nas árvores nas posições da base, 1,30 m de altura do solo e a partir desse ponto, de 2 em 2 metros até a altura total das árvores. A densidade dos cavacos de pinus foi determinada em proveta de 250 mL, assim como para o epicarpo do pinhão manso.

2.6. Características físico-mecânicas

O processo de briquetagem foi realizado por meio da aplicação, ao material particulado, de uma força de 1250 kgf.cm^{-3} por 30 segundos em uma prensa hidráulica, sem a adição de aglutinantes e em temperatura ambiente. Foram produzidas 15 amostras para cada tratamento, as quais foram compactadas em formato cilíndrico e submetidas a um processo de medição sucessiva de suas dimensões. No processo de produção não houve a separação específica de qualquer porção de partículas baseada na sua granulometria.

Os tratamentos foram definidos a partir das diferentes porcentagens de mistura entre os dois materiais particulados, ambos a 14% de umidade base úmida. Antes da briquetagem, a umidade de ambos os materiais foi ajustada até a faixa desejada, com o acondicionamento em câmara climática de marca CINELAB durante cinco dias para atingir a homogeneidade em todo o material. Foram estabelecidos 5 tratamentos:

T1. Briquete composto 100% por madeira de pinus;

T2. Briquete composto por 75% de madeira de pinus e 25% de epicarpo de pinhão manso;

T3. Briquete composto por 50% de madeira de pinus e 50% de epicarpo de pinhão manso;

T4. Briquete composto por 25% de madeira de pinus e 75% de epicarpo de pinhão manso;

T5. Briquete composto 100% por

epicarpo de pinhão manso.

Foram realizadas 8 medições a partir do momento de sua fabricação, com auxílio de um paquímetro digital de marca INSIZE, modelo 1106-502, no período que compreende desde a saída do material da prensa, até 48 horas após sua produção.

Os ensaios mecânicos dos briquetes produzidos foram realizados no equipamento EMIC de modelo DL 30000N. Foi realizada a avaliação da resistência à tração por compressão diametral utilizando uma célula de carga com capacidade de 500 kgf e velocidade de ensaio de $0,3 \text{ mm.s}^{-1}$, conforme a norma ABNT NBR 7222, adaptada.¹⁵

2.7. Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos. Respeitando-se as exigências estatísticas, os dados coletados foram submetidos ao Teste de Shapiro-Wilk, teste de Bartlett, à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey (com 5% de significância). Todos os testes foram realizados com o software R versão 3.1.3,¹⁶ e com o software PAST.¹⁷

3. Resultados e Discussão

3.1. Densidade a granel e classificação granulométrica

Os dados resultantes das pesagens do epicarpo "in natura" foram convertidos para quilogramas por metro cúbico e apresentados na Tabela 1, em comparação com a densidade da madeira de pinus. As pesagens foram realizadas com os materiais possuindo 14% de umidade base úmida.

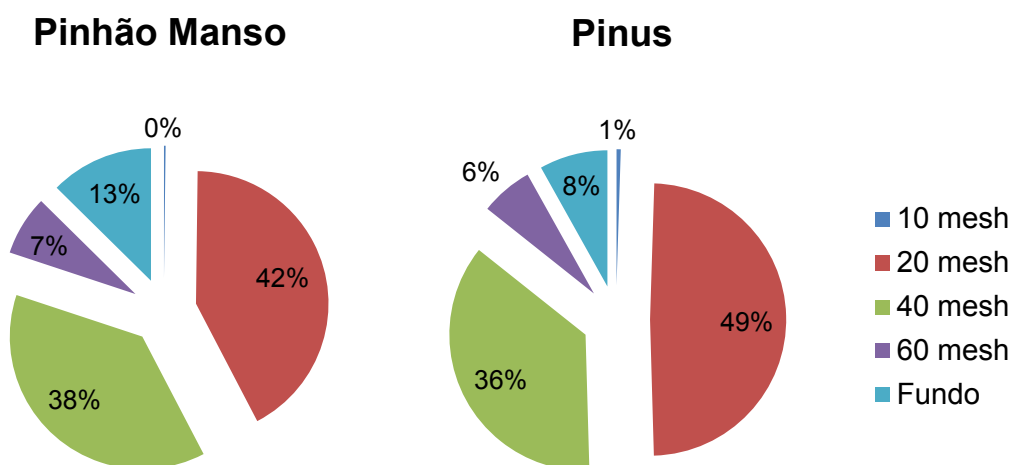
Tabela 1. Densidade a granel do epicarpo de pinhão manso e madeira de pinus.

Material	Densidade (kg/m ³)
Pinus	488,0
Pinhão	183,6

O conhecimento dos valores de densidade a granel é importante, pois fornece informações úteis para a logística, o transporte e o armazenamento dos resíduos, quando tratamos da sua aplicação em escala industrial, já que considera os espaços vazios entre as partículas que os compõem e fornece os dados reais sobre o volume necessário para o transporte.¹⁸

A relação entre a densidade a granel e o tamanho das partículas é inversamente proporcional, já que à medida que o tamanho diminui, maior é a densidade, maior é a massa que pode ser armazenado ou transportado, em um recipiente de volume fixo.¹⁸

O peso das partículas retidas nas peneiras de diferentes aberturas de malha está representado na Figura 1.

**Figura 1.** Distribuição granulométrica do epicarpo do pinhão manso e madeira de pinus

Após a moagem, as distribuições se mostraram semelhantes quanto à homogeneidade do tamanho das partículas. Houve maior distribuição ao redor das porções de 20 e 40 mesh. Uma vez que as partículas de todos os tamanhos foram utilizadas para a produção dos briquetes, espera-se que as partículas de maior tamanho diminuam a superfície de contato entre as mesmas, resultando em materiais

compactados de menor estabilidade dimensional e menor resistência mecânica.^{19,20}

É esperado que após um novo processo de trituração, a distribuição seja mais uniforme e a qualidade dos briquetes seja superior, uma vez que a diminuição das partículas proporciona a melhor compactação do briquete e o aumento da superfície de contato para a interação entre

elas. No entanto, a adição de um novo passo no processo de trituração corresponde a um inevitável acréscimo do uso de energia e consequentemente uma elevação dos custos de produção dos briquetes, quando em escala industrial.

3.2. Análise imediata

A Tabela 2 apresenta os valores médios das características químicas do epicarpo do pinhão manso e da madeira de pinus.

Tabela 2. Valores médios dos teores de materiais voláteis (M.V), teor de cinzas (T.C), carbono fixo (C.F) e umidade em base úmida (U_{bu}) do epicarpo de pinhão manso e da madeira de pinus

Biomassa	M.V (%)	T.C (%)	C.F (%)	U_{bu} (%)
Pinus	77,78 ($\pm 1,03$)	0,14 ($\pm 0,09$)	22,07 ($\pm 1,08$)	8,02
Pinhão	65,56 ($\pm 1,53$)	7,71 ($\pm 0,11$)	26,72 ($\pm 1,55$)	15,70

A relação entre o poder calorífico de um material é diretamente proporcional ao teor de materiais voláteis.²⁰ Observa-se que o teor médio de materiais voláteis para as amostras de pinhão manso foi de 65,56% ($\pm 1,53$), inferior ao valor verificado para o mesmo material, de 72,6% ($\pm 2,15$).³ No entanto, pode-se considerar o teor dentro da faixa esperada, entre 65% e 83%.³ Os dados foram inferiores também aos encontrados para serragem de eucalipto 86% ($\pm 0,11$),²¹ serragem de pinus 81,16% ($\pm 0,49$),²² bagaço de cana 80,69% ($\pm 0,85$),²² palha de cana 70,59% ($\pm 1,36$),²² e madeira de leucena 75,33%.²⁰

O teor de cinzas de um material representa a fração mineral residual, portanto não combustível. A sua determinação é importante, pois o poder calorífico de um material se relaciona de forma inversamente proporcional a esse resíduo. Portanto, quanto maior o valor percentual das cinzas, menor será o poder calorífico.²⁰ Observa-se que o teor médio de cinzas determinado para as amostras de pinhão manso foi de 7,71%, praticamente metade dos 14,43% ($\pm 10,4$) encontrado na literatura,³ e superior ao valor de 5% encontrado para o mesmo material.² Foi também superior ao determinado para a acícula de pinus, de 2,32% ($\pm 1,20$);²³ e fibra de coco de 3,71%.²⁴ O teor de cinzas foi inferior ao encontrado para palha de cana de

açúcar, de 12,19% ($\pm 1,04$).²² O baixo teor de cinzas da madeira de pinus sem casca ficou em conformidade com os 0,23% ($\pm 0,15$) determinados para a serragem de pinus.²²

Apesar da contribuição do carbono fixo para o potencial energético de um material depender da sua constituição química, considerando as quantidades de lignina e α -celulose,²⁵ a sua influência direta está no fato de que materiais combustíveis que possuem alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, permanecendo mais tempo nos aparelhos de queima.³

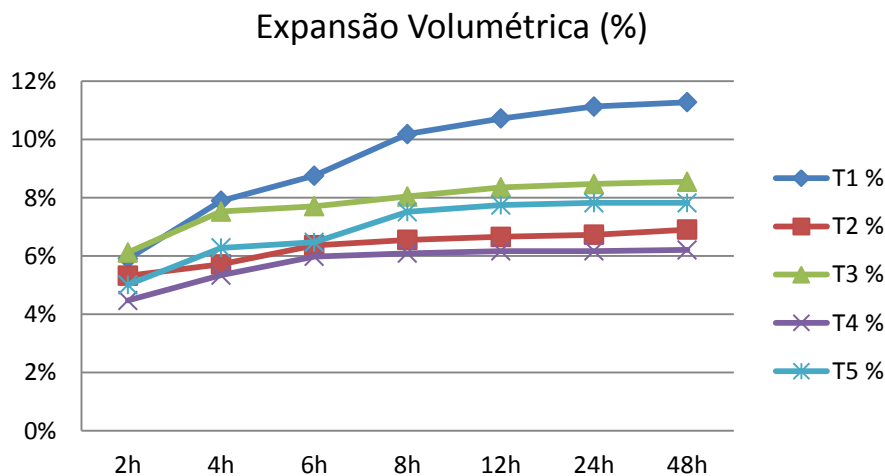
O teor médio de carbono fixo do epicarpo do pinhão foi de 26,73% ($\pm 1,55$), superior aos 13% ($\pm 9,91$) encontrado para o mesmo material.³ Superior também aos valores de 17,90% ($\pm 0,30$) para serragem de eucalipto,²² 18,61% ($\pm 0,35$) para serragem de pinus;²² 17,89% ($\pm 0,74$) para bagaço de cana,²² 17,22% ($\pm 2,40$) para palha de cana,²² e 22,28% para fibra de coco.²⁴ Isso demonstra o potencial energético apresentado pelo epicarpo em comparação com outras fontes de biomassa.

O poder calorífico superior apresentado pelo epicarpo do pinhão manso, de 4079,24 kcal/kg ($\pm 52,26$), qualifica a biomassa para o emprego energético, pois é semelhante aos valores determinados para outras biomassas comumente utilizadas para a mesma finalidade, como os 3732 kcal/kg da palha de

cana.²² É inferior, no entanto aos 4508 kcal/kg da serragem de eucalipto;²² 4852 kcal/kg da serragem de pinus,²² e 4428 kcal/kg do bagaço de cana.²² É inferior também aos valores encontrados para acícula de pinus (5148 kcal/kg);²⁶ casca de pinus (5215 kcal/kg),²⁶ galhos de pinus (4893 kcal/kg),²⁶ e madeira de leucena (4442 kcal/kg).²⁰

3.3. Variação volumétrica

A variação do volume dos briquetes obtida por meio das sucessivas medições, até dois dias após a sua fabricação é representada na Figura 2.



T1: 100% pinus; T2: 75% pinus/ 25% pinhão; T3: 50% pinhão/ 50% pinus; T4: 25%pinus/ 75% pinhão e T5: 100% pinhão.

Figura 2. Expansão volumétrica dos briquetes após 48hrs a sua fabricação

A variação volumétrica obtida em ambos os tratamentos vai de encontro ao esperado, pois o volume do briquete aumenta em uma taxa mais rápida nos primeiros momentos após a sua retirada da prensa.

Independente da composição dos briquetes, todos apresentaram valores de expansão dentro do limite ideal de até 20%.²⁷ Esses valores são importantes pois indicam a qualidade de compactação dos materiais e consequentemente a viabilidade de sua utilização considerando processos de estoque e transporte.

As menores variações volumétricas foram obtidas para os briquetes formados por porcentagens de 75% e 25%. Tanto o tratamento T2 quanto o T4 apresentaram uma expansão semelhante,

indicando que a compactação e a interação entre as partículas foram superiores aos demais tratamentos.

A mistura entre os materiais produziu melhorias com relação à estabilidade dimensional dos briquetes apenas nas proporções observadas nos tratamentos T2 e T4.

Os tratamentos puros, compostos por 100% de cada material apresentaram as maiores porcentagens de expansão. Os briquetes de pinus tiveram a maior taxa de expansão em 48 horas, seguidos dos compostos pela mistura de 50%.

Na distribuição granulométrica, as partículas de pinus se mostraram ligeiramente maiores com relação às do epicarpo. Em partículas maiores, o processo

de prensagem não produz um material bem compactado, podendo existir espaços vazios dentro da estrutura. A principal influência da granulometria, além da variação volumétrica, é na resistência do produto final, pois o preenchimento de espaços vazios por partículas de menores dimensões auxilia na obtenção de briquetes de qualidade durante o processo de prensagem.²²

3.4. Análise mecânica

Dentre as três características mecânicas avaliadas, apenas dois tratamentos não diferiram entre si, com um nível de significância de 95%, conforme demonstrado na Tabela 3. No teste de Shapiro-Wilk, todas as amostras apresentaram distribuição normal. No teste de Bartlett, todas as variâncias são homogêneas.

Tabela 3. Valores médios do comportamento mecânico dos briquetes quando testados sob resistência à tração por compressão diametral

Tratamento	Força máxima (N)	Resist. máx. (MPa)	Mód. Elástico (MPa)
T1	536,03 c	0,4753 c	23,29 c
T2	289,27 a	0,2653 a	13,94 a
T3	188,27 b	0,1713 b	9,82 b
T4	173,69 b	0,1620 b	9,53 b
T5	85,62 d	0,08 d	6,18 d
F	***	***	***

***= significativo ($P > 0,001$). Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey. ($P > 0,05$). T1= 100% pinus; T2= 75% pinus/ 25% pinhão; T3= 50% pinhão/ 50% pinus; T4= 25% pinus/ 75% pinhão e T5= 100% pinhão.

Para todos os tratamentos em que houve adição do material particulado de pinus, os parâmetros de força máxima, resistência máxima e módulo elástico foram superiores ao tratamento T5. O tratamento T1 foi o que obteve valores superiores em todos os parâmetros testados, no entanto, corresponde ao material 100% de pinus, o que não representa nenhuma melhoria às características dos briquetes formados por pinhão manso.

Com relação aos briquetes formados pela mistura dos materiais, que constituem a busca por uma mistura ótima a fim de melhorar as características do pinhão, o tratamento T2 se mostrou superior. Com desempenho inferior apenas aos briquetes formados por 100% de madeira de pinus.

Os outros tratamentos T3 e T4, não diferiram em suas médias. Portanto, a adição

de 50% de madeira de pinus, ou de 25% do mesmo material, não produz efeito sobre a qualidade dos briquetes produzidos, quando comparados entre si. No entanto, a adição de 25% de pinus já representa uma melhora significativa quando comparado com os briquetes compostos por 100% de epicarpo de pinhão manso.

Os valores de resistência máxima (MPa) para todos os tratamentos foram inferiores aos determinados para serragem de eucalipto (1,215 MPa);²² para serragem de pinus (0,697 MPa),²² e para palha de cana (0,975 MPa).²² Apenas o valor de resistência máxima do tratamento T2 foi semelhante ao encontrado para bagaço de cana (0,27 MPa).²²

Comparando-se os valores obtidos para o epicarpo do pinhão manso com resíduos caracterizados como casca, os dados de

resistência máxima foram inferiores aos obtidos para o endocarpo do café (7,53 MPa),²⁸ e casca de arroz (13,31 MPa),²⁸ briquetados a 110°C de temperatura. Desse modo, pode ser estabelecida como próxima etapa do trabalho a utilização de temperatura elevada a fim de aumentar a sua resistência mecânica.

4. Conclusão

O alto teor de carbono fixo do epicarpo do pinhão manso, próximo ao valor verificado para a madeira de pinus, e o seu poder calorífico superior o qualificam para o uso energético.

Os valores do teor de cinzas foram relativamente baixos quando comparados a outros materiais residuais, no entanto ainda são altos para o seu uso energético. Desta forma, sugere-se o uso do material compactado na forma de blendas com outros resíduos.

A adição do material de pinus aos briquetes de pinhão manso representou uma melhora nas características mecânicas em todas as proporções testadas. O melhor desempenho mecânico dentre os briquetes que continham o epicarpo do pinhão manso foi apresentado pela mistura de 75% pinus e 25% pinhão manso. No entanto, ainda são valores inferiores em comparação aos briquetes produzidos com diversas outras fontes residuais.

Portanto, o epicarpo do pinhão manso apresenta características energéticas satisfatórias para o uso em caldeiras e equipamentos de queima. Porém ainda se faz necessário, encontrar uma alternativa para a produção de briquetes de alta resistência mecânica, de forma a viabilizar o uso desse material na forma compactada.

Referências Bibliográficas

- ¹ Pandey, V. C.; Singh, K.; Singh, J. S.; Kumar, A.; Singh, B.; Singh, R. P. *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2012**, *16*, 2870. [[CrossRef](#)]
- ² Openshaw, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass & Bioenergy*, **2000**, *19*, 1. [[CrossRef](#)]
- ³ 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* **2011**, *17*, 267. [[CrossRef](#)]
- ⁴ Murata, K.; Liu, Y.; Inaba, M.; Takahara, I. Catalytic fast pyrolysis of jatropha wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **2011**, *94*, 75. [[CrossRef](#)]
- ⁵ Drumond, M. A.; Santos, C. A. F.; Oliveira de, V. R.; Martins, J. C.; Anjos dos, J. B.; Evangelista, M. R. V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso no semiárido pernambucano. *Ciência Rural* **2009**, *40*, 1. [[CrossRef](#)]
- ⁶ Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira – grãos. v.3, safra 2015/16. n4. Janeiro 2016. [[Link](#)]
- ⁷ Vyas, D. K.; Singh, R. N. Feasibility study of *Jatropha* seed husk as na opne core gasifier feedstock. *Renewabler Energy* **2007**, *32*, 512. [[CrossRef](#)]
- ⁸ Singh, R. N.; Vyas, D. K.; Srivastava, N. S. L.; Narra, M. SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *Jatropha curcas* fruit for energy. *Renewable Energy* **2008**, *33*, 1868. [[CrossRef](#)]
- ⁹ Evangelista, A. W. P.; Silva de, J. C. Rendimento de óleo de sementes de pinhão manso em plantas irrigadas e adubadas. *Bioscience Journal* **2013**, *29*, 1624. [[Link](#)]
- ¹⁰ Santos, C. M.; Endres, L.; Wanderley Filho, H. C. L.; Rolim, E. V.; Ferreira, V. M. Fenologia e crescimento do pinhão manso cultivado na zona da mata do estado de Alagoas – Brasil. *Scientia Agraria* **2010**, *11*, 201. [[CrossRef](#)]
- ¹¹ Wever, D. A. Z.; Heeres, H. J.; Broekhuis,

- A. A.; Characterization of Physic nut (*Jatropha curcas* L.) shells. *Biomass and Bioenergy* **2012**, *37*, 177. [[CrossRef](#)]
- ¹² ASTM, D1102-84: Standard test method for ash in wood. Philadelphia, 2007. [[Link](#)]
- ¹³ ASTM E872-82: Standard test method for volatile matter in the Analysis of particulate wood fuels. Philadelphia, 2013. [[Link](#)]
- ¹⁴ ASTM, D2015-00 – Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter (Withdrawn 2000), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000. [[Link](#)]
- ¹⁵ ¹⁵ Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, NBR 7222 – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2011. [[Link](#)]
- ¹⁶ R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [[Link](#)]
- ¹⁷ Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. [[Link](#)]
- ¹⁸ Garcia, D. P.; Caraschi, J. C.; Venterim, G. Caracterização energética de pellets de madeira. *Revista da Madeira* **2013**, nº 135. [[Link](#)]
- ¹⁹ Chou, C. S.; Lin S. H.; Peng, C. C.; Lu, W. C. The optimum conditions for preparing solid fuel briquette of rice straw by a piston-mold process using the Taguchi method. *Fuel Processing Technology* **2009**, *90*, 1041. [[CrossRef](#)]
- ²⁰ Hansted, A. L. S.; Nakashima, G. T.; Martins, M. P.; Yamaji, F. M. Caracterização físico-química da biomassa de *Leucena leucocephala* para produção de combustível sólido. *Revista Virtual de Química* **2016**, *8*, 1449. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Protásio, T. P.; Melo, I. C. N. A.; Junior, M. G.; Mendes, R. F.; Trugilho, P. F. Thermal decomposition of torrefied and carbonized briquetes of residues from coffee grain processing. *Ciência e Agrotecnologia* **2013**, *37*, 221. [[CrossRef](#)]
- ²² Silva, D. A.; Nakashima, G. T.; Barros, J. L.; da Roz, A. L.; Yamaji, F. M. Caracterização de biomassas para a briquetagem. *Revista Floresta* **2015**, *45*, 713. [[CrossRef](#)]
- ²³ Mūniz, G. I. B.; Lengowski, E.C.; Nisgoski, S.; Magalhães, W. L. E.; Oliveira, V. T.; Hansel, F. Characterization of pinus spp needles and evaluation of their potential use for energy. *Cerne* **2014**, *20*, 245. [[CrossRef](#)]
- ²⁴ Padilla, E. R. D.; Pires, I. C. S. A.; Yamaji, F. M.; Fandino, J. M. M. Produção e caracterização físico mecânica de briquetes de fibra de coco e palha de cana de açúcar. *Revista Virtual de Química* **2016**, *8*, 1334. [[CrossRef](#)]
- ²⁵ Teixeira, C. M.; Martins, M. P.; Yamamoto, H.; Chrisostomo, W.; Yamaji, F. M. Caracterização química de resíduos de *Eucalyptus* sp. de floresta de curta rotação para produção de bioenergia. *Revista Virtual de Química* **2016**, *8*, 1693. [[CrossRef](#)]
- ²⁶ 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* **2012**, *36*, 577. [[CrossRef](#)]
- ²⁷ Antwi-Boasiako, C.; Acheampong, B. B. Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities. *Biomass and Bioenergy* **2016**, *85*, 144. [[CrossRef](#)]
- ²⁸ Ramos e Paula, L. E.; Trugilho, P. F.; Rezende, R. N.; De Assis, C. O.; Baliza, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. *Pesquisa Florestal Brasileira* **2011**, *31*, 103. [[CrossRef](#)]