

# Produção e caracterização de briquetes de casca de pinhão-manso

---

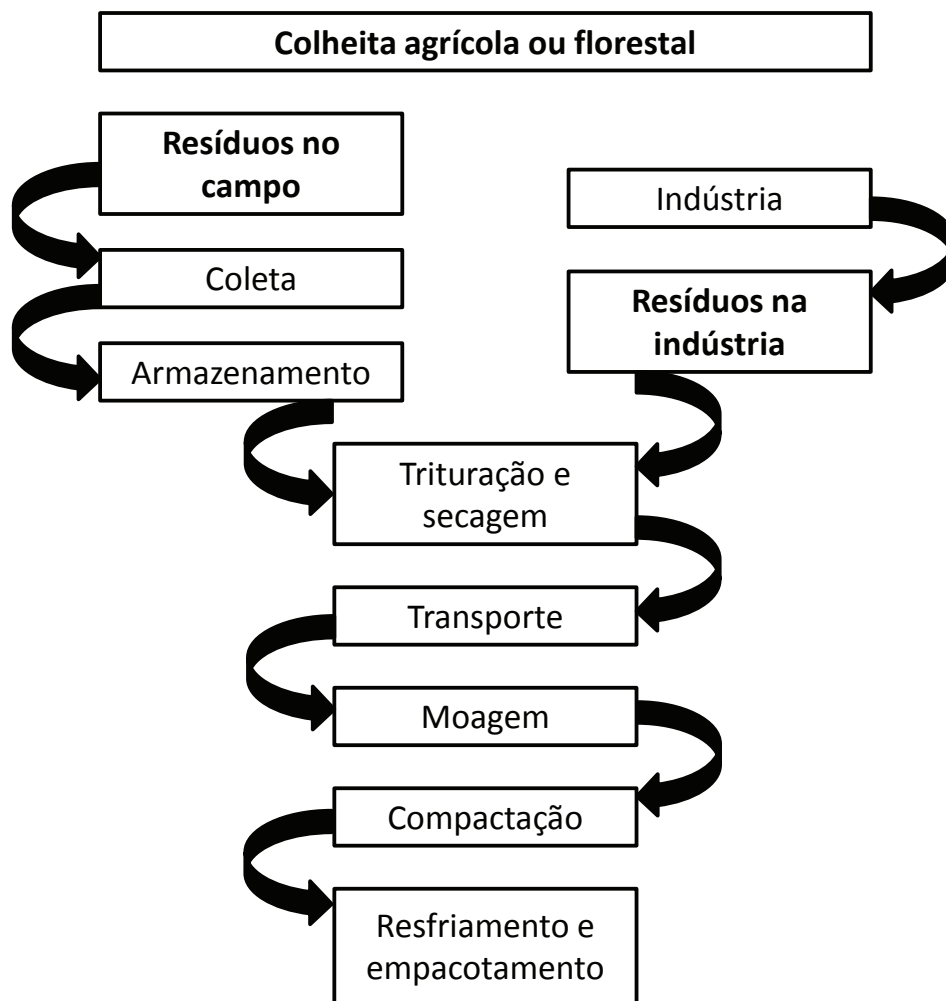
*José Dilcio Rocha*

## **Introdução**

A compactação ou densificação de biomassa para fins energéticos, seja de origem residual nos processos agroindustriais e nas indústrias de base florestal seja produzida exclusivamente em cultivos energéticos dedicados, tem sido largamente utilizada no mundo. Os processos e as tecnologias vão desde o enfardamento no campo até a briquetagem e a peletização. Para todas as tecnologias e seus respectivos produtos já existem mercados e os biocombustíveis sólidos: fardos cilíndricos ou prismáticos, briquetes e péletes podem ser queimados em caldeiras industriais, fornos de pizzarias, padarias, lareiras e aquecedores residenciais (Dias et al., 2012).

Todos os tipos de compactação constituem soluções logísticas capazes de transformar matérias-primas de baixa densidade energética em produtos industrializados com uniformidade de tamanho de partícula e baixa umidade. Essas características valorizam o combustível e abrem mercado pela agregação de valor. Além disso, a compactação viabiliza o transporte por longas distâncias e, até mesmo, permite que se cruzem os oceanos em cargueiros e graneleiros (Felfli et al., 2011).

A indústria de briquetes é composta basicamente de briquetadeira, silo, secador, picador e moinho. Todos esses equipamentos são dispostos em uma linha de produção e interligados por correias transportadoras. A área industrial deve ser coberta para estoque de matéria-prima preparada e de produto, além de possuir escritório, refeitório e depósito de matéria-prima e de produtos acabados para expedição. Todas as etapas, desde a coleta no campo ou no pátio da agroindústria até a trituração, secagem, moagem, compactação (briquetagem ou peletização), resfriamento e embalagem, são mostradas na Figura 1 (Nones, 2014).



**Figura 1.** Etapas do processamento industrial de biomassa.

Fonte: Nones (2014).

O mercado de briquetes pode ser segmentado nos setores industrial, comercial e residencial. Podem ser utilizados em caldeiras industriais, porém o preço pago por tonelada é baixo. Já as pizzarias e os consumidores residenciais podem pagar preços mais altos (Souza, 2011).

Segundo Bhattacharya et al. (2006), as vantagens de briquetar biomassa são as seguintes:

- Aumento do poder calorífico líquido do material por unidade de volume.
- Facilidade no transporte e no armazenamento.
- Uniformidade no tamanho e na qualidade.
- Solução para a disposição de resíduos.
- Redução no desmatamento e substituição da lenha em vários usos.
- Eliminação da possibilidade de combustão espontânea.
- Redução da biodegradabilidade do material por ter baixa umidade.
- Também segundo Bhattacharya et al. (2006), existem as seguintes desvantagens ou gargalos nos empreendimentos relacionados à produção de briquetes:
  - Alto custo de investimento na construção da indústria (Capex).
  - Alto consumo de energia elétrica com os equipamentos (Opex).
  - Dificil ignição dos briquetes e emissão de fumaça no início da queima.
  - Falta de resistência à alta umidade.

Geralmente, os briquetes são produzidos com serragem de eucalipto ou pínus, mas também podem ser usadas outras matérias-primas, como casca de arroz, bagaço de cana, casca de babaçu, capim, podas de árvores urbanas, entre outras. Nesse estudo, foi testada a casca de pinhão-manso de forma experimental (Dias et al., 2012).

Existem várias tecnologias de prensas briquetadeiras disponíveis no mercado brasileiro e tecnologias no estado da arte. No Brasil, são comercializadas as briquetadeiras de pistão mecânico de dois fabricantes, que fornecem também os demais equipamentos. Também existem as extrusoras, que produzem briquetes com formatos variados e não apenas cilíndricos, mas de secção quadrada, sextavada e com estrias. Este último tipo de equipamento foi usado nos experimentos com o objetivo de testar a sua viabilidade técnica com a casca de pinhão-manso. Cada equipamento usa motores elétricos de várias potências, e a fornalha do secador queima alguma biomassa de baixo valor como fonte de energia (Bhattacharya et al., 2006).

## Caracterização da casca de pinhão-manso

As amostras recebidas consistem no epicarpo da semente de *Jatropha curcas* (pinhão-manso), resíduo obtido do processo de produção de óleo vegetal (Figura 2).



Foto: Felix Felffi

**Figura 2.** Aspecto das amostras conforme recebidas no laboratório.

A amostra apresentou densidade a granel de  $88 \text{ kg.m}^{-3}$ , a qual foi determinada usando as cascas em sua dimensão natural (sem trituração). A determinação da umidade foi realizada com as amostras nas condições em que chegaram ao laboratório, de acordo com a norma ASTM 870-82 (ASTM International, 2019). De igual modo, toda a análise imediata foi realizada seguindo a referida norma. As amostras foram trituradas e classificadas em peneiras, com malhas de 40 e 60 mesh. O poder calorífico superior foi determinado seguindo a norma ASTM 3286-96 (ASTM International, 1996), e a amostra foi usada com frações abaixo de 60 mesh. A análise elementar da casca de pinhão-manso seguiu a norma ASTM 3178-89 (ASTM International, 1997).

## Resultados experimentais

Os resultados da análise das amostras (Tabela 1) estão na faixa esperada para este tipo de material e de acordo com resultados apresentados em estudos anteriores (Felfli et al., 2011). É importante notar que o epicarpo de pinhão-manso apresenta alto teor de cinzas (~12%), fator que afeta substancialmente o poder calorífico.

**Tabela 1.** Resultados da análise química das amostras.

Elemento	Símbolo	Unidade	Resultado	Desvio-padrão	Limite de quantificação
Umidade <sup>(1)</sup>	W	%	<b>10,69</b>	0,09	-
Composição imediata <sup>(2)</sup>	Voláteis	MV	<b>68,49</b>	0,13	-
	Carbono fixo	CF	<b>19,71</b>	0,40	-
	Cinzas	A	<b>11,79</b>	0,53	-
Composição elementar <sup>(2)</sup>	Carbono	C	<b>39,85</b>	-	50 mg.kg <sup>-1</sup>
	Hidrogênio	H	<b>6,01</b>	-	200 mg.kg <sup>-1</sup>
	Nitrogênio	N	<b>0,48</b>	-	80 mg.kg <sup>-1</sup>
	Oxigênio <sup>(3)</sup>	O	<b>41,84</b>	-	-
	Enxofre	S	<b>0,03</b>	-	10 mg.kg <sup>-1</sup>
	Cinzas	A	<b>11,79</b>	-	-
Poder Calorífico <sup>(2)</sup>	Superior	PCS	<b>3.630,00</b>	-	0,24 cal.g <sup>-1</sup>
	Inferior	PCI	<b>3.325,00</b>	-	-

<sup>(1)</sup> Base úmida (bu). <sup>(2)</sup> Base seca (bs). <sup>(3)</sup> Por diferença.

O estudo das propriedades viscoelásticas do epicarpo de pinhão-manso foi realizado por meio da instalação de uma bancada para os ensaios de extrusão. Na Tabela 2, é apresentada uma compilação dos resultados assim como uma comparação com a serragem. Quanto à resistência à compactação, o epicarpo de pinhão-manso e a serragem se comportaram de forma similar, como mostra o módulo de compactação ( $k_0$ ), embora o índice de porosidade ( $b$ ) de ambos apresente diferença. Ou seja, o pinhão-manso possui grau de pré-compactação maior que o da serragem para o mesmo tamanho de partícula inicial, portanto teoricamente seria mais fácil compactar o pinhão-manso (Faborode; O'Callaghan, 1986).

**Tabela 2.** Resultados dos testes de bancada para pinhão-manso e serragem.

Biomassa	Tamanho de partícula (mm)	Pressão máxima $\sigma_k$ (MPa)	Módulo de compactação $K_0$ (MPa)	Índice de porosidade $b$
Serragem	< 2	150	0,77015	0,46212
Pinhão-manso	< 2	150	0,7903	1,07791

## Testes de compactação em unidade de briquetagem

A compactação para a produção de briquetes foi realizada em uma briquetadeira (modelo Biotor100) que opera por meio do princípio de extrusão por rosca sem fim. A Figura 3 mostra uma vista geral da unidade utilizada. Em segundo plano, na mesma figura, aparecem os briquetes de seção transversal quadrada, com furos centrais, produzidos com serragem, que foram usados na comparação com os briquetes cilíndricos de casca de pinhão-manso.



Foto: Felix Felffi

**Figura 3.** Máquina briquetadeira por extrusão (modelo Biotor100).

Os testes de compactação foram realizados com a casca em seu estado natural, por ter o tamanho adequado para alimentação. Pelo fato de a casca de pinhão-manso pos-

suir óleo residual, produzindo efeito lubrificante, para melhorar a qualidade dos briquetes, foi desenvolvida uma matriz com perfil circular de 55 mm de diâmetro e com ângulo maior na zona de compactação, visando a maiores pressões na compactação (Faborode; O'Callaghan, 1986). Na Figura 4, são mostrados os briquetes produzidos como amostras para serem analisados. Eles estão empilhados, são cilíndricos e possuem furo central. O furo central, que é uma característica possível na briquetadeira por extrusão, ajuda na queima dos briquetes, pois facilita a circulação dos gases quentes.

Foto: Felix Felfli



**Figura 4.** Briquetes de epicarpo de pinhão-mansão.

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos com a matriz circular, bem como uma comparação com testes realizados com serragem utilizando uma matriz de perfil quadrado de (70 x 70) mm.

**Tabela 3.** Resultados dos testes de compactação para pinhão-mansão e serragem.

Biomassa	Matriz	Velocidade do motor (rpm)	Capacidade da máquina (kg.h <sup>-1</sup> )	Eficiência volumétrica da rosca (%)	Energia específica (kWh.kg <sup>-1</sup> )
Pinhão-mansão	Perfil circular (Ø = 55 mm)	400	31,08	28	0,11
		600	45,80	40	0,12
		800	77,40	48	0,10
Serragem	Perfil quadrado (70 x 70) mm	400	53,60	47	0,10
		600	76,40	44	0,13
		800	129,70	56	0,09

Os resultados mostram que a modificação, embora permitisse melhorar a qualidade dos briquetes, diminuiu substancialmente a capacidade da máquina e conseqüentemente a eficiência volumétrica. Além disso, afetou a energia específica do processo. Embora a qualidade dos briquetes tenha melhorado, o óleo ainda provocou efeito negativo em sua superfície.

### **Caracterização dos briquetes de epicarpo de pinhão-manso**

Os briquetes foram caracterizados apenas nas suas propriedades físicas, pois, durante a compactação, as modificações na estrutura química do material são insignificantes, já que ocorrem somente na camada superficial do briquete em contato com a matriz aquecida, a qual apresenta uma espessura abaixo de 0,5 mm.

Os seguintes fatores foram determinados: a densidade dos briquetes e a resistência mecânica em ensaios de compressão pelo flanco e axial. A partir desses dados, foi estimada a densidade energética dos briquetes produzidos. Na Figura 5, mostra-se a máquina universal usada para testes de compressão. Na figura, há um corpo de provas (briquete) posicionado na posição axial. A Tabela 4 mostra a consolidação dos resultados e uma comparação com briquetes de serragem.



Foto: Felix Feilfi

**Figura 5.** Testes de resistência mecânica.



**Tabela 4.** Resultados da caracterização dos briquetes.

Amostra	PCS (kcal.kg <sup>-1</sup> )	Densidade aparente (kg.m <sup>-3</sup> )	Densidade energética (Mcal.m <sup>-3</sup> )	Resistência de flanco (MPa)	Resistência axial (MPa)
Pinhão-manso	3.630,00	950,00	3.448,50	2,50	9,30
Serragem	4.300,00	1.100,0	4.730,00	4,70	18,60

Os resultados mostram que o teor de óleo remanescente na casca afeta não somente a qualidade superficial do briquete, mas também as propriedades mecânicas e a densidade do produto final.

No caso do pinhão-manso, o índice de compactação (densidade do briquete/densidade a granel) é de 10,8, ou seja, ocorre redução de volume de aproximadamente 11 vezes. Para a serragem, esse índice é 6.

## Conclusões

Os ensaios experimentais demonstraram a viabilidade técnica de compactar o epicarpo de pinhão-manso para produzir biocombustível sólido na forma de briquetes, proporcionando volume aproximadamente 11 vezes menor. Contudo, é importante considerar os aspectos descritos a seguir.

Tanto o epicarpo como os briquetes produzidos apresentam teor de cinzas próximo de 12%. Esse fato pode impedir seu uso em algumas aplicações específicas que requeiram baixo teor de resíduos na combustão.

Embora as propriedades viscoelásticas do epicarpo de pinhão-manso sejam similares às da serragem, na prática o processo de briquetagem se comporta substancialmente diferente. Isso ocorre por causa da presença de óleo na estrutura do epicarpo, cujo teor não é perceptível sem testes específicos.

Nos testes realizados, o epicarpo não foi triturado. Em futuros trabalhos, podem ser estudados diferentes pré-tratamentos, os quais podem melhorar as propriedades energéticas e de compactação desse material<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Agradecimentos ao Dr. Felix Fonseca Felfli e ao Prof. Carlos Alberto Luengo pela prestação de serviços no processamento das amostras e sua análises.

## Referências

- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D3178-89**: standard test methods for carbon and hydrogen in the analysis of coal and coke. West Conshohocken, 1997. DOI: 10.1520/D3178-89R97.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D3286-96**: standard test method for gross calorific value of coal and coke by the isoperibol bomb calorimeter. West Conshohocken, 1996. DOI: 10.1520/D3286-96.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E870-82**: standard test methods for analysis of wood fuels. West Conshohocken, 2019. DOI: 10.1520/E0870-82R19.
- BHATTACHARYA, S. C. A review of biomass densification. In: BATTACHARYA, S. C.; SALAM, P. A. (Ed.). **A review of selected biomass energy technologies**: gasification, combustion, carbonization and densification. Pathum Thani: Asian Institute of Technology, 2006. p. 155-191.
- DIAS, J. M. C. S.; SANTOS, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 130 p.
- FABORODE, M. O.; O'CALLAGHAN, J. R. Theoretical analysis of the compression of fibrous agricultural materials. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 35, n. 3, p. 245-262, Nov. 1986. DOI: 10.1016/S0021-8634(86)80055-5.
- FELFLI, F. F.; MESA PEREZ, J. M.; ROCHA, J. D.; FILIPPETTO, D.; LUENGO, C. A.; PIPPO, W. A. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 1, p. 236-242, Jan. 2011. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.08.011.
- NONES, D. L. **Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina**. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- SOUSA, P. C. B. de. **Como montar uma fábrica de briquetes**. Sebrae, 2011. 18 p. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-briquetes,39887a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 10 fev. 2017.