

Fotos: Anderson Carlos Marafon

COMUNICADO  
TÉCNICO

238

Aracaju, SE  
Dezembro, 2020

**Embrapa**

## Briquetagem da biomassa do capim-elefante variedade Madeira com diferentes granulometrias de partículas

Anderson Carlos Marafon  
André Felipe Câmara Amaral  
Renata Guilherme Cândido da Silva  
Edclea do Nascimento Reis  
Vânia Aparecida de Sá  
João Inácio Soletti  
Mozart Daltro Bispo

# Briquetagem da biomassa do capim-elefante variedade Madeira com diferentes granulometrias de partículas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Anderson Carlos Marafon, Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, AL. André Felipe Câmara Amaral, Químico, mestre em Química Orgânica, analista da Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, AL. Renata Guilherme Cândido da Silva, Estudante de graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, AL. Edclea do Nascimento Reis, Estudante de graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, AL. Vânia Aparecida de Sá, Engenheira Florestal, doutora em Ciência e Tecnologia da Madeira, docente da Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Laboratório de Produtos Florestais, Rio Largo, AL. João Inácio Soletti, Engenheiro Químico, doutor em Engenharia Química, docente da Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos, Maceió, AL. Mozart Daltro Bispo, Tecnólogo de Petróleo e Gás, doutor em Biotecnologia Industrial, bolsista de pós-doutorado da Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos, Maceió, AL.

Dada a forte dependência do setor agropecuário em termos de eletricidade e de lenha, novas alternativas de produção de energia têm sido investigadas, sobretudo, a partir de fontes renováveis que visam prevenir a extração de madeira de florestas nativas. Neste sentido, tanto o uso de resíduos agrícolas e agroindustriais disponíveis regionalmente quanto o cultivo dedicado de espécies florestais e/ou de gramíneas para produção de biomassa lignocelulósica se apresentam como excelentes opções de matérias-primas para produção de energia. Dentre as gramíneas energéticas, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das que apresenta maior potencial produtivo, adaptando-se bem às condições de clima e solo de todo

o Brasil (Morais et al., 2009). Trata-se de uma gramínea semiperene de ciclo curto e excelente adaptação edafoclimática, que vem sendo apontada como promissora alternativa de insumo energético, sobretudo, por sua elevada produção anual de biomassa seca (40 a 45 Mg ha<sup>-1</sup>) (Rocha et al., 2017).

Sabe-se que os principais gargalos que oneram as despesas e inibem o maior aproveitamento de diversas biomassas para fins energéticos são a baixa densidade e o alto teor de umidade da matéria-prima, os quais afetam diretamente os custos de transporte, armazenamento, dimensionamento do sistema e manuseio do material. Neste aspecto, a produção de biocombustíveis sólidos adensados, na forma de pellets

ou de briquetes, apresenta-se como interessante alternativa para ampliar e viabilizar a maior utilização de matérias-primas potenciais, por facilitar a suas logísticas de transporte, estocagem e processamento. Os briquetes têm aplicação em diferentes setores como o de produção de alimentos, que abrangem pizzarias e padarias, além de outros como hotéis, olarias, cerâmicas, agroindústrias e outras indústrias de modo geral, que utilizam fornos, caldeiras ou equipamentos afins para a geração de calor (Santos et al., 2015).

A densificação ou adensamento energético da biomassa, permite homogeneizar as partículas e condensar a energia dos materiais, proporcionando melhor controle e eficiência no processo de combustão térmica, além de facilitar o transporte e a estocagem. A eficiência de transformação dos briquetes refere-se ao processo pelo qual um material com baixa densidade ( $\leq 200 \text{ kg m}^{-3}$ ) é convertido em briquetes de alta densidade ( $900\text{-}1300 \text{ kg m}^{-3}$ ) (Grover; Mishra, 1996). Dentre os métodos de densificação, a briquetagem é o que permite maior rendimento por hora, permitindo manipular, armazenar, transportar e utilizar este material com facilidade e eficiência.

Para a produção econômica de briquetes é necessária, primeiramente, a seleção de biomassas vegetais com características de qualidade que demonstrem sua aptidão de uso para a geração de energia térmica. Dentre estas, as principais características a serem

consideradas são o poder calorífico, a composição química elementar e os teores de celulose e hemiceluloses, lignina e de cinzas. Neste sentido, o capim-elefante se destaca por ser uma espécie que, além de apresentar elevada produção de biomassa, exhibe características qualitativas de interesse energético, tais como o alto poder calorífico e os elevados teores de fibras e lignina na sua constituição (Marafon et al., 2016).

O objetivo desta publicação é apresentar as etapas envolvidas no processo de briquetagem da biomassa do capim-elefante variedade Madeira com diferentes granulometrias de partículas, visando aumentar sua densidade energética.

## Cultivo do capim-elefante e pré-processamento da matéria-prima

Para a produção de briquetes foi utilizada biomassa forrageira da variedade de capim-elefante Madeira, pertencente ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Gado de Leite, cujo material foi cultivado em uma área experimental não irrigada, a partir de segmentos de colmos, a qual é situada no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no município de Rio Largo (Figura 1), sendo estas plantas colhidas aos 6 meses após o plantio (Figura 1B).



**Figura 1.** Implantação do experimento (A) e área de cultivo do capim-elefante variedade Madeira aos 6 meses após o plantio (B). Rio Largo, AL, 2020.

A escolha do capim-elefante Madeira se deu por uma característica quantitativa observada por Marafon et al. (2019), que é a elevada produção anual de biomassa fresca ( $140,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) apresentada por esta variedade na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, já que não foram constatadas diferenças significativas entre variedades quanto às características qualitativas de interesse energético, como o poder calorífico superior.

As plantas inteiras foram trituradas com auxílio de um triturador forrageiro (Figura 2A) em partículas com tamanhos variando entre 1 e 2 cm (Figura 2B), cujo material foi submetido à desidratação em estufa com ventilação forçada durante 72 h à temperatura de  $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , resultando na redução do teor de umidade do material de 70% para 10%, cuja densidade à granel foi estimada em  $70 \text{ kg m}^{-3}$ .



**Figura 2.** Trituração (A) e forragem do capim-elefante (B). Rio Largo, AL, 2020.

Em relação ao processo de trituração é importante salientar que a biomassa que vai ser empregada para a produção de briquetes esteja com tamanho compatível com o equipamento de compactação, por isso, a indicação do equipamento deve ser feita observando a quantidade de massa a ser triturada e o tamanho de partícula ideal para cada tipo de equipamento (Dias et al., 2012).

O teor de umidade e o tamanho das partículas são variáveis determinantes no processo de compactação para produção de briquetes. Para que a aglomeração das partículas de biomassa tenha sucesso, o processo necessita da presença de uma quantidade de água, compreendida entre 8 a 15% (Quirino, 2002). Enquanto o excesso de água na matéria-prima ( $\geq 15\%$ ) pode ocasionar problemas na compactação e entupimento na alimentação do maquinário, sua presença facilita a 'gelatinização do amido, a fragmentação de proteínas e a solubilização de celulose e hemiceluloses durante a densificação, resultando em briquetes mais densos, estáveis e duráveis.

## Caracterização físico-química e energética da biomassa

Amostras da forragem do capim-elefante foram utilizadas para a determinação da composição elementar, do poder calorífico, da densidade básica e dos teores de extrativos, fibras (celulose e hemiceluloses), lignina e cinzas. A densidade básica foi determinada pelo método descrito na NBR 11941 (Associação..., 2003) e a os teores de carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N) determinados em um analisador elementar. O poder calorífico superior foi determinado em um Calorímetro, de acordo com a norma NBR 11956 (Associação..., 1990). Os resultados obtidos nas análises da composição elementar, densidade básica, poder calorífico superior e inferior são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição elementar, densidade básica, poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) da biomassa do capim-elefante variedade Madeira. Rio Largo, AL, 2020.

Composição Elementar (%)				Densidade básica	PCS	PCI
C	H	N	O	kg m <sup>-3</sup>	kcal kg <sup>-1</sup>	
43,9	5,77	0,66	44,51	255,9	4.408	4.096

Os teores de extrativos (% Ext) foram determinados de acordo com a NBR 14853 (Associação..., 2010). Os teores de lignina (% Lig) foram obtidos de acordo com a NBR 7989 (Associação..., 2010) e os teores de celulose (% Cel) foram determinados pelo método descrito

por Abreu et al. (2006). A determinação das cinzas minerais (% Cinzas) seguiu a metodologia descrita pela norma NBR 13999 (Associação..., 2017) e o teor de hemiceluloses (% H Cel) foi obtido através da equação 1:

$$\text{H Cel (\%)} = 100 - (\% \text{ Ext} + \% \text{ Lig} + \% \text{ Cel} + \% \text{ Cinzas}) \quad (1)$$

Os resultados obtidos para os teores de celulose, hemiceluloses, lignina,

cinzas e extrativos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Teores de celulose, hemiceluloses, lignina, cinzas e extrativos da biomassa do capim-elefante variedade Madeira. Rio Largo, AL, 2020.

Celulose	Hemiceluloses	Lignina	Cinzas	Extrativos
46,59%	9,43%	20,82%	5,75%	17,41%

## Processo de briquetagem da biomassa do capim-elefante

Neste estudo foram avaliadas a densidade aparente e a densidade energética de briquetes obtidos com granulometrias de partículas de 8 mm e de 2 mm. A densidade aparente ( $\text{kg m}^{-3}$ ) foi obtida através da relação entre o volume e a massa dos briquetes para cada uma das granulometrias de partículas e, a densidade energética, obtida a partir do produto entre o poder calorífico superior (PCS) do capim-elefante ( $4.408 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) e a densidade aparente, sendo expressa em megacalorias por metro cúbico ( $\text{Mcal m}^{-3}$ ). Os dados

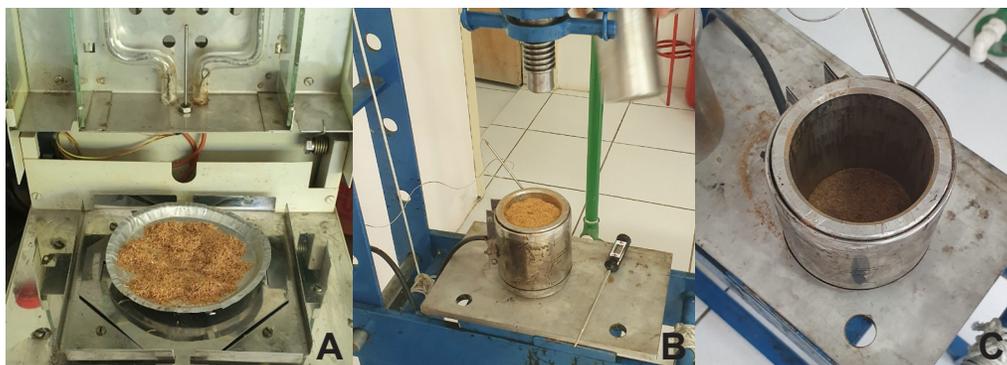
obtidos foram submetidos à análise estatística para comparação de médias.

Para a elaboração dos briquetes, parte da forragem desidratada foi submetida à moagem em moinho tipo Willey acoplado à peneira de 10 mesh (granulometria de 2 mm) e outra parte ao moinho de facas com peneira 5/16 mesh (granulometria de 8 mm).

Inicialmente, a umidade da matéria-prima foi aferida para 12% em balança analisadora de umidade (Figura 3A), sendo utilizados 150 gramas de biomassa para cada operação. A briquetagem foi realizada utilizando-se uma prensa hidráulica manual, cujo molde foi acoplado à uma manta térmica provida por um termostato, aplicando-se a temperatura de  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para a elaboração dos briquetes, foram utilizados tempos de

operação de 5 min para aquecimento do material (sem aplicação de pressão), 3 min de residência na prensa hidráulica, cuja pressão exercida foi de 15 MPa

(Figura 3A) e outros 20 min de resfriamento antes da retirada do briquete da prensa (Figura 3C).



**Figura 3.** Processo de briquetagem do capim-elefante: aferição do teor de umidade (A), prensagem da biomassa (B) e resfriamento do briquete (C). Rio Largo, AL, 2020.

Os briquetes de capim-elefante variedade Madeira apresentaram dimensões finais de 7 cm de diâmetro com alturas

variadas para cada uma das granulometrias de partículas avaliadas (Figura 4).



**Figura 4.** Briquetes de capim-elefante variedade Madeira obtidos a partir de biomassa com granulometrias de partículas de 8 mm (A) e 2 mm (B). Rio Largo, AL, 2020.

A briquetagem da biomassa do capim-elefante Madeira permitiu obter briquetes com elevados valores de densidade aparente para ambas as granulometrias avaliadas, os quais apresentaram teor médio de umidade de 9%. Entretanto, os briquetes elaborados a

partir da matéria-prima com menor granulometria de partículas (2 mm) apresentaram maiores densidades aparente e energética em relação aos briquetes obtidos a partir da biomassa com maior granulometria (8 mm) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Densidade aparente e densidade energética de briquetes de capim-elefante variedade Madeira produzidos com diferentes granulometrias. Rio Largo, AL, 2020.

Granulometria	Densidade Aparente kg m <sup>-3</sup>	Densidade Energética Mcal m <sup>-3</sup>
2 mm	836,9	3.690
8 mm	703,2	3.100

\*médias na mesma coluna diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A densidade aparente dos briquetes de capim-elefante obtidos da biomassa com granulometria de 8 mm foi de 703,2 kg m<sup>-3</sup>, enquanto a densidade dos briquetes obtidos a partir da biomassa com granulometria de 2 mm foi de 836,9 kg m<sup>-3</sup>. Estes valores demonstraram que o processo de briquetagem foi capaz de aumentar em mais de 10 vezes a densidade à granel da forragem do capim-elefante com 10 % de umidade, considerando que esta foi estimada inicialmente em 70 kg m<sup>-3</sup>.

A maior densidade aparente dos briquetes elaborados com partículas de menor granulometria (2 mm) se deve, possivelmente, à melhor acomodação do material e menores espaços ocupados pelo ar em relação aos briquetes produzidos com partículas maiores. De acordo com Dias et al. (2012), quanto menor o tamanho de partícula, menor será a porosidade do produto final e, portanto, maior será a sua densidade. Entretanto, apesar de ser mais denso, a baixa porosidade do briquete de menor granulometria pode dificultar a sua queima devido ao menor número de espaços livres para difusão de calor. Assim, a taxa de combustão dos produtos muito

densos pode ser menor e, com isso, aumentar o tempo para sua completa combustão.

O teor de lignina do capim-elefante (20,82%) foi suficiente para promover um efeito aglutinante adequado das partículas para ambas granulometrias. A lignina atua como elemento aglutinante natural das partículas da biomassa, não sendo necessária a adição de aglomerantes (resinas, ceras). A maior densidade aparente observada nos briquetes produzidos com biomassa de menor granulometria (2 mm) também pode ser explicada pelo fato de que o menor tamanho de partículas facilita a despolimerização ou 'plastificação' da lignina por ação da alta pressão e da alta temperatura, proporcionando melhor aglutinação das partículas, resultando em briquetes com menores taxas de higroscopicidade, maior resistência mecânica e maior durabilidade (Back, 1987).

## Considerações finais

A elevada produção de biomassa do capim-elefante variedade Madeira aliada aos altos teores de fibras (56,02%) e lignina (20,82%) e ao seu elevado poder

calorífico superior ( $4.408 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), são características qualitativas de interesse energético que credenciam o emprego desta matéria-prima para a produção de briquetes.

Considerando o potencial de produção anual de biomassa do capim-elefante Madeira de 140 toneladas por hectare com 70% de umidade, podemos estimar um potencial de produção anual de 56 toneladas de briquetes de capim-elefante com 10% de umidade por hectare colhido.

A briquetagem do capim-elefante variedade Madeira com granulometrias de partículas de 2 e 8 mm possibilita produzir briquetes densos e compactos, com elevada densidade energética, agregando valor à matéria-prima por otimizar a logística de transporte, estocagem, comercialização e utilização deste tipo de combustível sólido renovável, o qual pode abastecer fornos e caldeiras de indústrias cerâmicas, fábricas de cimento, usinas sucroenergéticas, hotéis, padarias, pizzarias, abatedouros, fecularias, laticínios, lavanderias, metalúrgicas, cervejarias, dentre outros segmentos.

## Referências

- ABREU, H. S.; CARVALHO, A. M.; MONTEIRO, M. B. O.; PEREIRA, R. P. W.; SILVA, H. R.; SOUZA, K. C. A.; AMPARADO, K. F.; CHALITA, D. B. Métodos para análise química em madeira. **Floresta e ambiente**. Série técnica. p. 1-20, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira, determinação da densidade. Rio de Janeiro, 2003. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11956**: coque, determinação do poder calorífico superior. Rio de Janeiro, 1990. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a  $525 \text{ }^\circ\text{C}$ . Rio de Janeiro, 2017. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2003. 10 p.
- BACK, E. L. The bonding mechanism in hard board manufacture. **Holzforschung**, v. 41, n. 4, p. 247-258, 1987.
- DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, 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. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 13).
- GROVER, P. D.; MISHRA, S. K. **Biomass Briquetting**: Technology and Practices. Field Document. Bangkok, Thailand: FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia, 1996. n. 46. 43 p.
- MARAFON, A. C.; MACHADO, J. C.; AMARAL, A. F. C.; GUIMARAES, V. S.; SANTOS, J. P. **Frequência de corte em genótipos de capim-elefante na produção de biomassa para fins energéticos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 146).
- MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARÃES, V. S. **Poder calorífico do capim-elefante para a geração de energia térmica**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 28 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa, 115).

MORAIS, R. F.; SOUZA, B. J.; LEITE, J. M.; SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 133-140, 2009.

ROCHA, J. R. A.S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. C.; RESENDE, M. D. V.; LEDO, F. J. S.; CARNEIRO, J. E. S. Bioenergetic potential and genetic diversity of elephant grass via morpho-agronomic and biomass quality traits. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 485-492, 2017.

SANTOS, J. O.; SANTOS, R. M. S.; COSTA, L. M.; MEDEIROS, A. C.; COELHO, D. C.; MARACAJÁ, P. B. Produção e utilização de briquetes no Brasil. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**. v. 5, n. 1, p. 36 - 40, jan-dez, 2015.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília, DF: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 2002.

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Tabuleiros Costeiros  
Avenida Beira Mar, nº 3250,  
CEP 49025-040, Aracaju, SE  
Fone: +55 (79) 4009-1300  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição  
Publicação digitalizada (2020)

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Ronaldo Souza Resende*

Secretário-Executivo  
*Ubiratan Piovezan*

Membros  
*Amaury da Silva dos Santos, Ana da Silva  
Lédo, Anderson Carlos Marafon, Joêzio Luiz  
dos Anjos, Julio Roberto Araujo de Amorim,  
Lizz Kezzy de Moraes, Luciana Marques de  
Carvalho, Tânia Valeska Medeiros Dantas,  
Viviane Talamini*

Supervisão editorial  
*Aline Gonçalves Moura*

Normalização bibliográfica  
*Josete Cunha Melo*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Aline Gonçalves Moura*

Foto da capa  
*Anderson Carlos Marafon*

**Embrapa**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

**PÁTRIA AMADA  
BRASIL**  
SEMPRE VERDE