



**III CBCTEM**

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

# **BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE Sorghum bicolor**

Isaí Euán Chi<sup>1</sup>

Fabio M Yamaji<sup>1</sup>

Franciane Andrade de Pádua<sup>1</sup>

Vagner Roberto Botaro<sup>2</sup>

José Claudio Caraschi<sup>3</sup>

João Tomeleri<sup>4</sup>

Letícia Sant' Anna Alesi<sup>4</sup>

Diego Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Química / Universidade Federal de São Carlos

<sup>3</sup> UNESP - Universidade Estadual Paulista - Campus de Itapeva

<sup>4</sup> Universidade Federal de São Carlos



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

### BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE *Sorghum bicolor*

**Resumo:** O Sorgo é uma gramínea que produz uma panícula repleta de grãos. Após a colheita, a biomassa residual da planta ainda se encontra úmida, uma alternativa é seu uso como feno de pastejo. Outra alternativa poderia ser sua queima. Assim, o objetivo deste trabalho foi tentar agregar maior valor energético e mecânico, por meio do processo de briquetagem. Foi avaliada a característica físico-química e energética da biomassa coletada. As análises consistiram no ensaio de teor de umidade, densidade a granel, análise granulométrica, análise imediata e poder calorífico. Em seguida, a biomassa foi submetida ao processo de briquetagem. O procedimento ocorreu sem a presença de aglutinantes e sem acréscimo de temperatura, o que é um fator positivo. Os briquetes foram confeccionados em uma prensa hidráulica, sendo utilizadas 20g de biomassa. A umidade foi ajustada entre 10 a 12%. A força de prensagem foi de 61,48 kgf cm<sup>-2</sup> durante 30 segundos. Após a formação dos briquetes, foram avaliadas suas características físico-mecânicas, como a expansão dos briquetes, a resistência e a friabilidade. O teor de umidade da biomassa inicialmente foi de 20%, a densidade a granel 0,12 g.cm<sup>-3</sup> e poder calorífico 4446 kcal.kg. O processo de briquetagem melhorou a densidade da biomassa e diminuiu o teor de umidade, beneficiando assim o transporte, a estocagem e o poder calorífico, ou seja a briquetagem foi considerada um procedimento que proporcionou resultados com maior valor agregado.

**Palavras-chave:** Briquetagem, características químicas e mecânicas, resíduo, Sorgo.

### BRIQUETTES PRODUCED FROM *Sorghum bicolor* WASTE

**Abstract:** The Sorghum is a grass that produces a panicle full of grains. After harvesting, the residual biomass of the plant is still humid, an alternative is its use as a grazing hay. Another alternative could be its burning. Thus, the objective of this work was to try to add greater energy and mechanical value, through the briquetting process. The physicochemical and energetic characteristics of the collected biomass were evaluated. The analyzes consisted in the test of moisture content, bulk density, particle size analysis, immediate analysis and calorific value. Then, the biomass was submitted to the briquetting process. The procedure occurred without the presence of binders and without the increase of temperature, both are positive factors. The briquettes were made in a hydraulic press, using 20g of biomass. Humidity was adjusted to between 10 and 12%. The pressing force was 61.48 kgf cm<sup>-2</sup> for 30 seconds. After the formation of the briquettes, their physico-mechanical characteristics, such as briquette expansion, resistance and friability were evaluated. The moisture content of the biomass was initially 20%, the bulk density was 0.12 g.cm<sup>-3</sup> and the calorific value was 4446 kcal.kg. The briquetting process improved the biomass density and decreased the moisture content, benefiting transport, storage and calorific value, this way, briquetting was considered a procedure that provided results with higher added value.

**Keywords:** Briquetting, chemical and mechanical characteristics, waste, Sorghum.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos, agrícolas, florestais ou industriais são uma fonte energética alternativa aos combustíveis sólidos convencionais como a lenha e o carvão (YAMAJI et al., 2013). O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma gramínea que produz uma panícula repleta de grãos. Nos Estados Unidos, na América do Sul e na Austrália, seus grãos são usados basicamente na nutrição animal. Na África, na Ásia e na América Central, o cereal pode ser usado na alimentação humana, como por exemplo, na panificação e produção de biscoitos (QUEIROZ et al., 2009).

Outra utilização pode ser atribuída na geração de energia, como um biocombustível. Segundo Emygdio et al. (2011) o sorgo sacarino, uma variedade da planta também usada na nutrição animal, tem alto potencial para gerar açúcar fermentável, um aspecto ideal para a produção de álcool.

Na produção em campo, em condições ideais de cultivo, o rendimento pode equivaler em aproximadamente 4 mil litros de etanol por hectare (CANIATO et al., 2011). Entretanto, não existe um maquinário eficiente na colheita da planta, uma vez que sua altura pode atingir até três metros de altura e isso obriga o processo de colheita manual (TARDIN et al., 2013).

A alta quantidade de biomassa inutilizada no campo, após a colheita dos grãos, gera uma grande quantidade de resíduos. Mesmo que esse material seja empregado diretamente na alimentação de usinas sucro-alcooleiras, uma grande área de estocagem é necessária tanto no campo como no pátio da usina.

Para a otimização deste espaço, sugere-se o processo de briquetagem que aumenta e melhora as características de manuseio, compactando o volume da biomassa em até 700% (QUIRINO, 1991). A alta densificação do material melhora o poder calorífico do material, reduz o custo com o transporte e produz um combustível uniforme (NAKASHIMA et al., 2017).

Como a biomassa possui alta higroscopicidade, a umidade é um dos fatores que devem ser controlados no processo de briquetagem. A umidade ideal para produção de briquetes compreende a faixa entre 10 e 12%, pois resulta em briquetes com melhores características mecânicas (YAMAJI et al., 2013; SILVA et al., 2017).

O tamanho das partículas é outro fator que interfere na superfície de contato das fibras, exigindo que o material seja triturado. Partículas maiores oferecem resistência ao processo de briquetagem uma vez que são longas e não foram trituradas (NAKASHIMA et al., 2014; HANSTEAD et al., 2016).

O objetivo do trabalho foi analisar as características físicas e químicas do *Sorghum bicolor* e dos briquetes produzidos a partir desse material. O material foi coletado numa fazenda que planta sorgo no município de Garça - SP.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Obtenção e processamento do material

O material utilizado foi o sorgo concedido por uma fazenda que comercializa esse produto localizada na cidade de Garça/SP. O material foi armazenado em sacos plásticos lacrados no Laboratório de Bioenergia e Materiais Lignocelulósicos da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, campus Sorocaba, para preservar suas condições físicas até o momento das análises.



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

### 2.2. Teor de umidade

O teor de umidade foi obtido através da balança determinadora de umidade (modelo: ID-200; marca: Marconi). Utilizou-se, aproximadamente, 1g de amostra e aquecimento de 100°C.

### 2.3. Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada, por triplicata, de acordo com a metodologia da norma NBR 6922, utilizando-se um béquer de 1 L de capacidade e de peso conhecido. A densidade aparente dos resíduos foi determinada em suas condições iniciais de umidade.

### 2.4. Granulometria da biomassa

A granulometria do material seguiu a norma NBR 248 (ABNT, 2013). A serragem do *Sorghum bicolor* foi separada através de um conjunto de peneiras dispostas da maior para a menor abertura (9, 20, 35, 60, 100 mesh e coletor). Esse conjunto foi inserido no agitador orbital com batidas intermitentes (modelo: MA 750; marca: Marconi). A duração do ensaio foi de 3 minutos.

### 2.5. Análise imediata

A análise imediata determina o teor de material que se queima no estado gasoso (material volátil) e no estado sólido (carbono fixo), e também o teor de material residual após a combustão (cinzas). A análise imediata dos resíduos estudados foi realizada por triplicata seguindo a norma NBR 8112 (ABNT, 1986).

### 2.6. Preparação dos briquetes

A biomassa na sua forma íntegra foi submetida à prensagem. Tal procedimento testa a formação do briquete com o tamanho de suas partículas em sua forma natural, ou seja, sem a intervenção da separação granulométrica.

A umidade foi ajustada na faixa de 10 a 12%. Para isto, a biomassa foi seca em estufa e em seguida foi corrigida com um borrifador d'água. Assim, 20 g do material foram prensados em um molde de aço inox (3,5 cm de diâmetro e 16 cm de altura), utilizando-se uma pressão de 61,48 kgf cm<sup>-2</sup> durante 30 segundos. Foram preparados 11 briquetes.

### 2.7. Expansão dos briquetes

A avaliação da expansão dos briquetes foi aferida com um paquímetro Digimess. Foram tomadas as medidas de altura dos briquetes em diferentes intervalos de tempo (1 h, 3 h, 4 h, 6 h, 12 h, 24 h e 72 h).

### 2.8. Resistência mecânica e friabilidade

Após sete dias da produção dos briquetes foi realizado o ensaio mecânico de de tração por compressão diametral adaptado da NBR 7222 (ABNT, 2011). Utilizou-se



# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

a máquina universal de ensaios EMIC DL30000N e uma célula de carga de 5 kN. Foram realizadas 5 repetições e os resultados foram obtidos diretamente pelo programa Tesc versão 3.04 do equipamento.

Os ensaios de friabilidade mecânica foram realizados de acordo com a NBR 8740 (ABNT, 1985). Foram utilizados 6 corpos de prova, calculando-se um índice de friabilidade pela resistência ao tamboramento. O ensaio foi realizado com o auxílio de um friabilômetro (equipamento não comercial e institucional) com 30 rpm; durante 10 minutos. A friabilidade foi calculada a partir da massa da amostra restante após da separação de partículas colapsadas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Teor de umidade, densidade aparente e granulometria

O teor de umidade do material foi de 18,77%. Valores altos de umidade influenciam negativamente no poder calorífico da biomassa (SILVA et al., 2017).

A densidade aparente da biomassa foi de 118 kg.m<sup>3</sup>. A baixa densidade pode refletir na demanda de uma maior área para estocar o material (QUIRINO, 1995; YAMAJI et al.; 2013).

A análise granulométrica da biomassa representou como as partículas de Sorgo estão distribuídas entre os tamanhos de 9 a 100 mesh (Figura 1). Foi possível observar que a distribuição granulométrica do material é representada na sua maioria por partículas com diâmetros iguais ou superiores a 0,841 mm (20 mesh). A classificação granulométrica é de grande importância, pois o tamanho de partículas é um fator que influencia na densidade, durabilidade e resistência de briquetes (KALIYAN; MOREY, 2009).

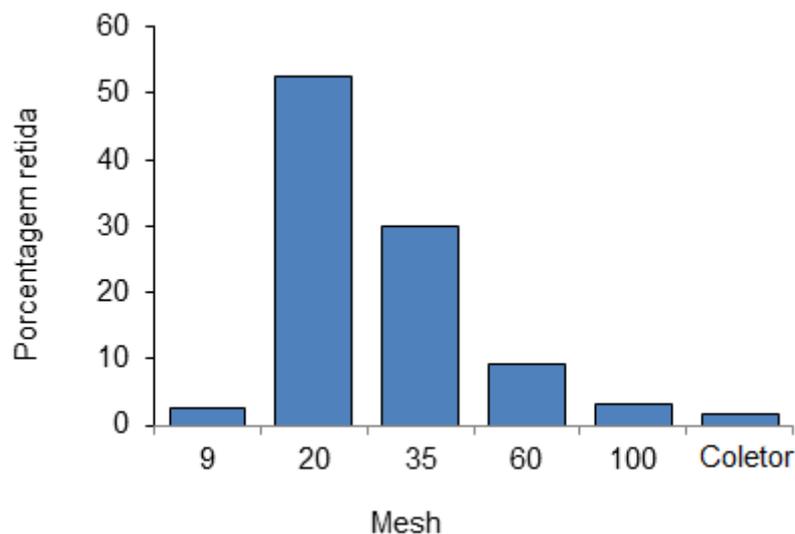


Figura 1. Classificação granulométrica dos resíduos de *Sorghum bicolor*.



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

### 3.2. Análise química imediata e poder calorífico

Para um melhor aproveitamento da biomassa é fundamental a caracterização do material por meio da análise imediata, pois a composição química do material influencia diretamente no processo de combustão (SANTOS et al., 2011). A Tabela 1 apresenta a análise química imediata do resíduo e seu poder calorífico.

Tabela 1. Dados obtidos da análise imediata e poder calorífico para a biomassa de *Sorghum bicolor*.

Material	Cinzas (%)	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)	PCS* (kcal.kg)	Densidade (kg m <sup>-3</sup> )
Sorgo	3,63(±0.24)	80,36(±0.42)	16,01(±0.55)	4446	118(±3.0)

\* Poder Calorífico Superior

Os resultados, em relação aos materiais voláteis são altos (OBERNBERGER, I.; THEK, 2004). Estudos com bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, capim elefante e poda de jardim mostram resultados semelhantes (NAKASHIMA et al., 2014). O alto conteúdo de material volátil dificulta que altas temperatura sejam atingidas, pois a combustão do material acontece de maneira acelerada (NAKASHIMA et al., 2014) o que ocasionaria uma desvantagem para certos tipos de biomassa.

Na avaliação energética de combustíveis de biomassa é imprescindível a análise do teor de cinzas. As cinzas são compostas de elementos minerais e geram atrito no molde da briquetadeira, provocam impurezas no centro do material solidificado, além de contribuir no desgaste do equipamento. Altos teores de cinzas reduzem o poder calorífico do material (PROTÁSIO et al., 2012). O conteúdo de cinzas é elevado em relação ao encontrado no bagaço de cana-de-açúcar e palha de milho, 1,58% e 1,92% respectivamente (NAKASHIMA et al., 2014).

O alto teor de carbono fixo é o que mais contribui para o valor energético da biomassa fazendo com que sua combustão seja mais lenta (BRAND, 2010). O teor de carbono fixo para os materiais lignocelulósicos varia entre 14% - 25% (BRITO; BARRICHELO, 1982). Assim, o material usado se encontra dentro dos intervalos propostos.

### 3.3. Expansão dos briquetes

Com relação à estabilidade dimensional dos briquetes, avaliou-se a expansão longitudinal por um período de 72 horas. A Figura 2 apresenta a expansão média longitudinal no decorrer do tempo analisado.



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

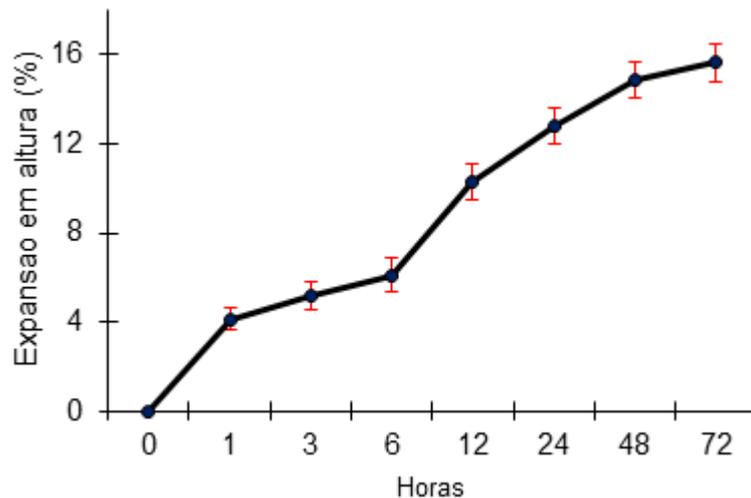


Figura 2. Expansão média da altura dos briquetes produzidos a partir de *Sorghum bicolor*.

Foi possível observar que a maior expansão longitudinal dos briquetes (10,3%) ocorreu nas primeiras 12 horas após a briquetagem; porém, foi necessário um período de aproximadamente 72 horas para que não se observassem mais alterações significativas na altura dos briquetes. Estudos recentes de algumas biomassas como bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho e capim elefante apresentaram valores de expansão em altura de entre 4 e 13,7% (NAKASHIMA et al., 2014; RÓZ et al., 2016). Uma expansão alta indica que não ocorreu uma boa adesão entre partículas, fator que influencia na resistência mecânica dos briquetes (GENTIL, 2008; CHRISOSTOMO, 2011). A compactação dos resíduos é influenciada pela granulometria utilizada para confecção dos briquetes (RÓZ et al., 2016).

### 3.4. Resistência mecânica

Os ensaios mecânicos de tração por compressão diametral resultaram em briquetes estáveis dimensionalmente. Os valores de tensão obtidos nas repetições são apresentados na Figura 3. A tensão média foi de 0,72 MPa. De maneira geral, pode-se dizer que o resíduo de Sorgo é um material que apresenta bons resultados quanto à resistência mecânica dos briquetes (NAKASHIMA et al., 2014).

O índice de friabilidade foi de 5,9%. Conforme a classificação CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais) descrita por Oliveira (1982). Resultados com menos de 10% do material perdido, são considerados como um material muito pouco friável, resultando em briquetes de alta qualidade.



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

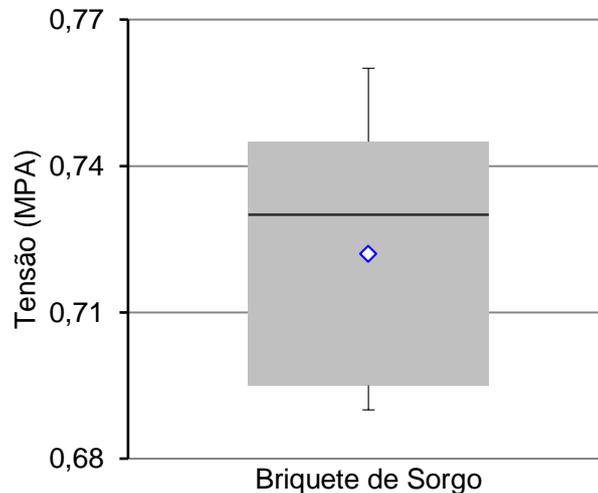


Figura 3. Valores de tensão dos briquetes de resíduo de *Sorghum bicolor*.

#### 4. CONCLUSÕES

A briquetagem da biomassa de Sorgo proporcionou bons resultados quanto aos parâmetros utilizados, refletindo em vantagens quanto ao transporte, manuseio e estocagem. A densificação das partículas é, assim, uma boa alternativa para os resíduos de *Sorghum bicolor*.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CONACYT e a CAPES pelo apoio prestado ao desenvolvimento deste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: concreto e argamassa. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: análise imediata. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8740: carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1985.

CANIATO, F. F. et al. The relationship between population structure and aluminum tolerance in cultivated sorghum. Plos One, v. 6, p. 830, 2011.

CHRISOSTOMO, W. Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido. 2011. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011.



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

EMYGDIO, B. M.. Desempenho da cultivar de sorgo BR 506 visando a produção de etanol em dois ambientes contrastantes. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 17, n. 1, p. 45-51, 2011.

FERNANDEZ, B.O. et al. Características Mecânicas e Energéticas de Briquetes Produzidos a partir de Diferentes Tipos de Biomassa Mechanical and Energetic Characteristics of Briquettes Produced from Different Types of Biomass. *Rev. Virtual Quim*, v. 9, n. 1, 2016.

GENTIL, L. V. B. Tecnologia e economia do briquete de madeira. 2008. 215 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

HANSTED, A. L. S. et al. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. *Fuel*, v. 184, n. November, p. 180–184, 2016.

KALIYAN, N.; MOREY, V. R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products *Biomass and Bioenergy*, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953408002146>>. Acesso em: 5 jun. 2017

NAKASHIMA, G. T. et al. Aproveitamento de resíduos vegetais para a produção de briquetes. *RBCiAmb*, p. 22–29, 2014.

NAKASHIMA, G. T. et al. Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes. *Rev. Virtual Quimi*, v. 9, n. 1, [no prelo], 2017.

OLIVEIRA, J. B. Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos. In: *Produção e utilização de carvão vegetal*. Ed. Penedo, W. R. p. 59–73 1982.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. *Biomass and Bioenergy*, v. 27, n. 6, p. 653-669, 2004.

PROTÁSIO, T. D. P. et al. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 11, p. 1252–1258, 2012.

QUEIROZ, V. A. V. et al. O Sorgo na Alimentação Humana. *Circular Técnica – EMBRAPA*, 1ª ed., n. 133, 19p., 2009.

QUIRINO, W. F. Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos. *Circular Técnica- LPF*, 1ª ed., n. 20, 1991.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

RÓZ, D. et al. Artigo Características Mecânicas e Energéticas de Briquetes Produzidos a partir de Diferentes Tipos de Biomassa Mechanical and Energetic Characteristics of Briquettes Produced from Different Types of Biomass Características Mecânicas e Energéticas de Briq. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 1, 2016.

SANTOS, M. et al. Study of the storage conditions of the sugarcane bagasse through thermal analysis. Química Nova, v. 34, n. 3, p. 507–511, 2011.

SILVA, D. A. et al. A Influência da Umidade em Propriedades Mecânicas de Briquetes Produzidos com Resíduos de Madeira (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.). Rev. Virtual Quimi, v. 9, n. 3, [no prelo], 2017.

TARDIN, F. D. et al. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. Revista Brasileira de Milho e Sorgo (Online), v. 12, n. 1, p. 102-117, 2013.

YAMAJI, F. M. et al. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. Energia na Agricultura, v. 28, n. 1, p. 11–15, 2013.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

