

## Poder Calorífico do Capim-Elefante para a Geração de Energia Térmica



ISSN 1678-1961

Dezembro, 2016

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Tabuleiros Costeiros  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Poder Calorífico do Capim-Elefante para a Geração de Energia Térmica**

*Anderson Carlos Marafon*

*Antônio Dias Santiago*

*André Felipe Câmara Amaral*

*Adriana Neutzling Bierhals*

*Hugo Leôncio Paiva*

*Victor dos Santos Guimarães*

Embrapa Tabuleiros Costeiros  
Aracaju, SE  
2016

## **Embrapa Tabuleiros Costeiros**

Av. Beira Mar, 3250

49025-040 Aracaju, SE

Fone: (79) 4009-1344

Fax: (79) 4009-1399

www.cpatc.embrapa.br

www.embrapa.com.br/fale-conosco

## **Comitê Local de Publicações da Embrapa Tabuleiros Costeiros**

Presidente: *Marcelo Ferreira Fernandes*

Secretária-executiva: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Membros: *Ana Veruska Cruz da Silva Muniz, Elio Cesar Guzzo, Hymerson Costa Azevedo, João Costa Gomes, Josué Francisco da Silva Junior, Julio Roberto de Araujo Amorim, Viviane Talamini e Walane Maria Pereira de Mello Ivo*

Supervisão editorial: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Normalização bibliográfica: *Josete Cunha Melo*

Editoração eletrônica: *Joyce Feitoza Bastos*

Design da capa: *Thiago Calheiros*

Fotos da capa: *Anderson Carlos Marafon*

**1ª Edição**

PDF (2016)

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

#### **Embrapa Tabuleiros Costeiros**

---

Poder Calorífico do Capim-Elefante para a Geração de Energia Térmica/  
Anderson Carlos Marafon... [et al.] - Aracaju: Embrapa Tabuleiros  
Costeiros, 2016.

28 p. Il. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros,  
ISSN 1678-1961, 115).

1. *Pennisetum purpureum*. 2. Energia térmica. 3. Genótipos.  
I. Marafon, Anderson Carlos. II. Santiago, Antônio Dias. III. Amaral,  
André Felipe Câmara. IV. Bierhals, Adriana Neutzling. V. Paiva, Hugo  
Leôncio. VI. Guimarães, Victor dos Santos. VII. Título. VIII. Série.

---

CDD 630 (21 ed.)

©Embrapa 2016

# Sumário

Resumo .....	4
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	11
Resultados e Discussão.....	15
Conclusões.....	23
Referências .....	24

# Poder Calorífico do Capim-Elefante para a Geração de Energia Térmica

---

*Anderson Carlos Marafon<sup>1</sup>*

*Antônio Dias Santiago<sup>2</sup>*

*André Felipe Câmara Amara<sup>3</sup>*

*Adriana Neutzling Bierhals<sup>4</sup>*

*Hugo Leôncio Paiva<sup>5</sup>*

*Victor dos Santos Guimarães<sup>5</sup>*

## Resumo

A energia contida em um combustível é diretamente proporcional ao seu poder calorífico, daí a importância do conhecimento dessa propriedade para sua avaliação como insumo energético. Por ser uma espécie de alta produção de biomassa com elevado percentual de fibras e lignina, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) é uma excelente fonte alternativa de matéria-prima combustível para geração de energia. Este estudo teve como objetivo determinar a composição química elementar, o poder calorífico e o teor de cinzas de dezoito genótipos de capim-elefante e de outras fontes de biomassa com potencial para geração de energia térmica. Um grupo de nove variedades de capim-elefante (Madeira, Pasto Panamá, Cameroon Local, Vrukwna, Taiwan A-25, Cameroon Local 2, Porto Rico 534-B, Guaçú e BAGCE 02) apresentou maior poder calorífico inferior médio (4.052 kcal kg<sup>-1</sup>) em relação à média do outro grupo de variedades (3.941 kcal kg<sup>-1</sup>).

---

<sup>1</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL

<sup>2</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Agricultura, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL

<sup>3</sup>Químico, mestre em Química Orgânica, analista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL

<sup>4</sup>Bióloga, mestre em Proteção de Plantas, bolsista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL

<sup>5</sup>Estudante de Agronomia, bolsista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL

Os genótipos de capim-elefante apresentaram médias de 4,72% de cinzas, 43,78% de carbono, 5,89 de hidrogênio, 49,75% de oxigênio e 0,57% de nitrogênio. Os genótipos de capim-elefante Taiwan A-144 e Pasto Panamá apresentam os teores de cinzas mais elevados (6,71 e 6,14%, respectivamente) e a variedade Madeira apresentou o teor de cinzas mais reduzido (2,21%). O sabiá (*M. caesalpiniaefolia*), a casca de coco e os resíduos culturais da mandioca apresentam valores de poder calorífico superior e a casca de arroz apresentou o menor valor de PCS. O capim-elefante apresenta viabilidade prática como fonte de matéria-prima para a geração energia térmica devido às características qualitativas desejáveis, principalmente seu alto poder calorífico, semelhante ao bagaço de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Pennisetum purpureum*, biomassa, combustível sólido, calor, cinzas.

# Factors of Variation and Substitution of Crops in Agreste Alagoano Municipalities

---

## Abstract

The energy contained in a fuel is directly proportional to its calorific power, hence the importance of knowing this property for its evaluation as an energy input. Because it is a high-yielding species with high percentage of fiber and lignin, elephantgrass (*Pennisetum purpureum*) is an excellent alternative source of fuel for energy generation. This study aimed to determine the elemental chemical composition, calorific value and ash content of eighteen elephantgrass genotypes and other biomass sources with potential for thermal energy generation. A group of nine elephant grass varieties (Madeira, Pasto Panama, Cameroon Local, Vrukwnona, Taiwan A-25, Cameroon Local 2, Puerto Rico 534-B, Guaçú and BAGCE 02) presented higher mean lower calorific value (4,052 kcal kg<sup>-1</sup>) in relation to the average of the other group of varieties (3,941 kcal kg<sup>-1</sup>). The genotypes of elephantgrass presented averages of 4.72% of ash, 43.78% of carbon, 5.89 of hydrogen, 49.75% of oxygen and 0.57% of nitrogen. The Taiwan A-144 and Pasto Panama elephant grass genotypes showed the highest ash content (6.71 and 6.14%, respectively) and the wood variety had the lowest ash content (2.21%). The sage (*M. caesalpiniaefolia*), the coconut husk and the cultural residues of cassava presented values of higher calorific value and the rice husk showed the lowest value of PCS. The elephantgrass presents practical feasibility of use as source of raw material for the generation of thermal energy due to the desirable qualitative characteristics, mainly its high calorific value, similar to the bagasse of sugar cane.

Index terms: *Pennisetum purpureum*, biomass, solid fuel, heat, ashes.

## Introdução

O uso de fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis teve grande destaque positivo no Brasil e no mundo, principalmente, após os choques no preço do petróleo na década de 1970 e, mais recentemente, voltou a ser destaque em virtude das preocupações com as mudanças climáticas que vem ocorrendo com maior frequência (ROSILLO-CALLE et al., 2005).

A biomassa vegetal representa uma das mais abundantes e promissoras alternativas de matéria-prima com base em fontes de energia limpa e renovável. A combustão direta é a principal tecnologia aplicada para produção de calor e energia mecânica a partir da biomassa, apresentando vantagens socioeconômicas e ambientais, tais como a redução nas emissões de produtos nocivos ao meio ambiente (SAMSON et al., 2005)

A potência outorgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) na matriz elétrica brasileira indica que a biomassa responde por 8,83% do total nacional, onde merecem destaque o bagaço da cana-de-açúcar (78,2%), os resíduos do setor florestal (20%) e outras fontes (11,8%) como a casca de arroz e o capim-elefante (ANEEL, 2016).

Com a perspectiva de aumento de 50% na demanda de energia elétrica do Brasil até 2030 (EPE, 2015) é também de se esperar um concomitante aumento na demanda por biomassa para atender este crescimento. Assim sendo, o desenvolvimento e a adoção de tecnologias para o aproveitamento de resíduos agrícolas e/ou agroindustriais e o cultivo de espécies dedicadas à produção de biomassa configuram-se como opções favoráveis à diversificação e descentralização do processo de geração de energia.

Alguns setores industriais, como o das indústrias cerâmicas e siderúrgicas precisam de fontes de biomassa alternativas que possam substituir a lenha, o carvão mineral e o gás natural, usados intensivamente como fonte de energia em seus processos, visando

reduzir a exploração florestal inadequada e também reduzir o uso de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa (MORAIS et al., 2009).

A tecnologia do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar na cogeração de energia (geração combinada de calor e eletricidade) é muito comum no setor sucroenergético, tendo em vista seu grande potencial de aplicação como combustível, em função da sua disponibilidade em grandes quantidades junto às caldeiras e do seu elevado potencial calorífico inferior ( $1.850 \text{ kcal kg}^{-1}$  à umidade de 50%) (BARBIERI et al., 2013). Também operam no Brasil usinas termelétricas movidas com outros tipos de biomassa, além do bagaço de cana, tais como casca de arroz, resíduos florestais e o capim-elefante.

Embora as principais biomassas utilizadas para geração de energia sejam residuais, os cultivos energéticos dedicados à biomassa, os quais visam à produção e o uso de matérias-primas combustíveis para tal finalidade é uma alternativa complementar muito interessante. Dentre estes cultivos merecem destaque: 1) florestas energéticas, principalmente o eucalipto, cujo sistema de produção é plenamente dominado Brasil e 2) gramíneas forrageiras perenes, tais como: cana-energia (*Saccharum* spp.), capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e espécies dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria*, tendo em vista a sua facilidade de cultivo e colheita.

Dentre as gramíneas forrageiras, o capim-elefante é, reconhecidamente, uma das que apresenta maior potencial produtivo, adaptando-se muito bem às condições de clima e solo de praticamente todo o Brasil. Enquanto o eucalipto, espécie mais explorada no país para produção de celulose e carvão vegetal, produz até 20 t de biomassa seca por hectare ao ano, o capim-elefante é capaz de produzir, pelo menos, de 30 t/ha/ano a 40 t/ha/ano, segundo diversos autores (FLORES, 2009; MORAIS et al., 2009; ZANETTI et al., 2010; MARAFON et al., 2014).

O capim-elefante apresenta alta produção de biomassa (40 t - 45 t de massa seca anuais) e excelente plasticidade adaptativa a diferentes

condições edafoclimáticas e sistemas de manejo cultural (MARAFON et al., 2014). O alto potencial produtivo do capim-elefante, associado aos elevados teores de celulose (28,2%) e lignina (11,9%) desta matéria-prima, semelhantes aos do bagaço da cana-de-açúcar, credenciam a espécie como uma excelente alternativa de cultivo dedicado à produção de biomassa energética com possibilidade de utilização para a produção de energia térmica, de etanol celulósico e/ou de biocombustíveis sólidos (*pellets* e briquetes) (MORAIS et al., 2009).

A espécie *P. purpureum* é nativa da África Tropical e está difundida nas cinco regiões do Brasil, onde predomina seu uso para fins de nutrição animal. Entretanto, além do seu tradicional uso forrageiro, ela tem sido apontada como uma alternativa promissora de biomassa para utilização como insumo energético, sobretudo, por apresentar alta eficiência fotossintética, proporcionar múltiplas colheitas anuais devido ao seu curto ciclo de produção (4 a 6 meses) e características qualitativas favoráveis, como elevado percentual de fibras e lignina e o alto poder calorífico (QUESADA et al., 2004).

O rendimento energético do processo de combustão depende de certas características térmicas e químicas dos combustíveis usados como fontes de matéria-prima. Dentre elas o poder calorífico, a densidade e a composição química da biomassa são as mais importantes qualidades usadas na avaliação da viabilidade de diferentes combustíveis para a geração de energia térmica (QUIRINO et al., 2005).

O poder calorífico de um combustível pode ser definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa de uma unidade de massa. Ele está diretamente relacionado com os teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas da matéria-prima e, além disso, é influenciado diretamente pelo grau de umidade do combustível, visto que, no processo de queima, parte da energia liberada na combustão é gasta para a evaporação da água. O poder calorífico é classificado em: 1) poder calorífico superior (PCS), aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado

desta condensação é recuperado e (2) poder calorífico inferior (PCI), é a energia efetivamente disponível por unidade de massa, subtraindo-se do PCS o calor associado com a condensação do vapor de água formado pela reação do hidrogênio contido no combustível (JARA, 1989 citado por QUIRINO et al., 2005).

A diferença entre o PCI e o PCS é a quantidade de energia requerida para evaporar a água de formação obtida a partir da oxidação do hidrogênio do combustível. Assim, o PCI não considera o calor latente da condensação da umidade dos produtos da condensação. Em instalações industriais, a temperatura dos gases de saída geralmente é maior que a temperatura de condensação, portanto, o calor latente, não é utilizado. Assim, quanto menor a umidade da biomassa maior a eficiência energética da combustão (CORTEZ et al., 2008).

A composição química da biomassa, especialmente no que diz respeito aos seus componentes inorgânicos, é determinante na dinâmica do processo de combustão e influencia a eficiência do processo de conversão energética. O conhecimento do teor de cinza da biomassa é importante para que sejam adotadas medidas de prevenção para problemas críticos de corrosão e incrustação em fornos e caldeiras de combustão ou de entupimento de grelhas. Neste aspecto, a quantificação do teor de cinzas da biomassa é muito importante já que quanto maior o teor de cinzas produzido pela queima do combustível menor é a quantidade de energia térmica gerada (GONZALEZ, 2014).

Este trabalho teve por objetivo determinar a composição química elementar (carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio), o poder calorífico e o teor de cinzas de 18 genótipos de capim-elefante e de outras 14 fontes potenciais de biomassa para a geração energia térmica.

## Material e Métodos

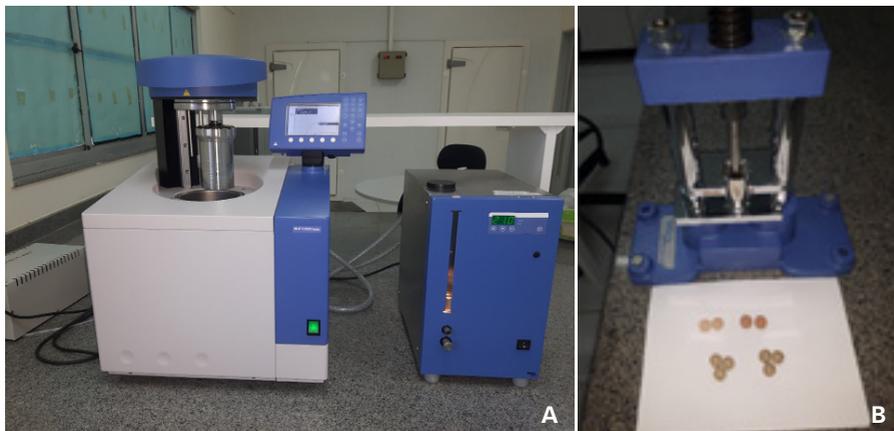
O presente estudo foi conduzido na Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Rio Largo (UEP-Rio-Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Rio Largo, AL. Foram avaliadas a composição química elementar (carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio), o poder calorífico superior e o teor de cinzas de 18 variedades de capim-elefante (BAGCE 02, BRS Canará, BRS Capiaçú, Cameroon Local, Cameroon Local 2, Cameroon Piracicaba, Cuba 116, Cubano de Pinda, Guaçu, King Grass, Madeira, Napier, Pasto Panamá, Porto Rico 534-B, T241 Piracicaba, Taiwan A-144, Taiwan A-25 e Vrukwnona), provenientes do Banco Ativo de Germoplasma de Capim-elefante (BAGCE) da Embrapa Gado de Leite. Os genótipos de capim-elefante que apresentaram maior e menor valor de PCS foram comparados com outras 14 fontes potenciais de matéria-prima para geração de energia térmica, dentre elas: duas variedades de cana-energia (Ridesa RB e Granbio VX), uma cultivar de sorgo biomassa (BRS 716), uma espécie de bambu (*Guadua angustifolia*), eucalipto (*Eucalyptus* spp.) de três e cinco anos de idade, sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), bagaço e palha de cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de coco, fibra de coco, restos culturais de milho e de mandioca.

As amostras de capim-elefante foram coletas mediante a colheita integral da parte aérea de plantas com 6 meses de idade, cultivadas em área experimental pertencente a uma usina, situada no Município de Marechal Deodoro, AL. As demais amostras das outras 14 fontes de biomassa foram obtidas diretamente nas áreas de cultivo. Todos os materiais coletados foram picados em triturador forrageiro e secos em estufa a 60 °C durante 72 horas (até peso constante). As amostras foram trituradas em moinho tipo Willey e peneiradas a 35 mesh (500  $\mu\text{m}$ ) para execução das análises propostas.

As análises da composição química elementar (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio) foram efetuadas em triplicatas em um analisador elementar, utilizando-se aproximadamente 3 mg de amostra isenta de umidade. O processo envolve a combustão do material, quando o carbono é convertido a dióxido de carbono, o hidrogênio a água, o nitrogênio a óxido de nitrogênio e gás nitrogênio e o enxofre a dióxido de enxofre. Os gases gerados são arrastados até uma coluna cromatográfica, onde são separados de acordo com sua interação com a fase móvel (gás Hélio) e estacionária. Após a separação, os gases são quantificados por um detector de condutividade térmica (TCD).

Na determinação dos teores de cinzas (%) efetuada de acordo com a NBR 8112 (ABNT, 1986), utilizou-se 1 g de amostra isenta de umidade em um cadinho sem tampa, seco e tarado. Os cadinhos foram colocados em mufla previamente aquecida a  $600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  para que ocorresse a queima total das amostras. Por fim, retiraram-se as amostras da mufla, resfriando-as em dessecador antes de se efetuar a pesagem em balança analítica de precisão.

As análises do poder calorífico foram efetuadas em triplicadas, de acordo com a NBR 11956/90 (ABNT, 1990), em uma bomba calorimétrica, após o pastilhamento das amostras (Figura 1). Os resultados foram expressos em quilocalorias por quilograma ( $\text{kcal kg}^{-1}$ ), mas podem ser transformados para quilojoules por quilograma ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ) mediante a conversão de unidades ( $1\text{ kJ} = 0,23884\text{ kcal}$ ).



Fotos: Anderson Carlos Marafon

Figura 1. Bomba calorimétrica (a) e pastilhador (b).

Após a calibração do equipamento utilizando-se uma pastilha de ácido benzóico, cujo poder calorífico é de conhecido ( $6.318 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), foram efetuadas as análises. Cada pastilha foi colocada em contato um fio fusível de níquel-cromo dentro de um pequeno cadinho, o qual foi inserido no interior da bomba calorimétrica que, após ser hermeticamente fechada, recebeu uma carga de oxigênio com pressão de cerca  $30 \text{ Kgf cm}^{-2}$ , antes de se acionar a ignição.

O procedimento envolveu a queima das amostras (isentas de umidade) em câmara adiabática, com medições contínuas da temperatura. Na bomba calorimétrica, a combustão ocorre a volume constante, de modo que a quantidade de calor recebida pelo conjunto que forma o calorímetro é igual, em módulo, à variação de energia interna do sistema reacional. A variação de temperatura ( $\Delta T$ ), observada no calorímetro é proporcional ao calor total que a reação libera ou absorve (IKA, 2015), sendo usado para calcular o PCS (BRAND, 2010), expresso em  $\text{kcal kg}^{-1}$  de acordo com a equação (1), onde  $K$  é a constante do calorímetro ( $\text{cal}/^\circ\text{C}$ );  $M_{\text{H}_2\text{O}}$  é o volume da água;  $m_s$  é a massa seca da amostra e  $\Delta T$  a diferença entre as temperaturas inicial e final da água.

$$\text{PCS} = (K + M_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot \Delta T / m_s \quad (1)$$

Como a reação química provocada pela combustão faz com que as moléculas de hidrogênio constituintes do material se unam às de oxigênio formando água, um gasto de energia para a sua evaporação é exigido, por isso, é necessário se calcular o PCI do combustível para termos um valor preciso da quantidade de energia efetivamente disponível. O PCI das amostras, também expresso em kcal kg<sup>-1</sup>, foi calculado a partir do PCS, conforme a equação (2), onde o H é o percentual de hidrogênio presente no material.

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 600 \times 9\text{H} / 100 \quad (2)$$

Segundo Brand (2010), O PCI só pode ser usado diretamente como parâmetro se o combustível for isento de umidade, caso contrário, deve-se calcular de energia disponível o Poder Calorífico Útil (PCU), expresso em kcal kg<sup>-1</sup> na equação (3), utilizando-se o valor do PCS, a constante K, que é o valor do calor de vaporização da água (324 kcal kg<sup>-1</sup>), o valor 600 que é uma constante de proporcionalidade e o TU que é o teor de umidade (%).

$$\text{PCU} = [(\text{PCS} - K) * (1 - \text{TU}) - (600 * \text{TU})] \quad (3)$$

O PCU é inversamente proporcional ao teor de água, descontando-se do PCI a energia necessária para evaporar a água deste combustível (LIMA, 2010).

Os resultados obtidos nas análises foram expostos em duas tabelas. Primeiramente, foram comparados entre si os 18 genótipos de capim-elefante (comparação entre genótipos de capim-elefante). Em seguida, os demais 14 tipos de biomassa foram comparados com os genótipos de maior e de menor desempenho em termos de poder calorífico superior (comparação entre diferentes tipos de biomassa). Os dados foram submetidos à análise da variância e suas médias comparadas pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, através do programa estatístico R e dos recursos de seu pacote Rcmdr (FOX, 2005).

## Resultados e Discussão

### Comparação entre genótipos de capim-elefante

Foram constatadas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os genótipos de capim-elefante para os valores de PCI, os teores de nitrogênio e de cinzas (Tabela 1). As variedades de capim-elefante Madeira, Pasto Panamá, Cameroon Local, Vrukwna, Taiwan A-25, Cameroon Local 2, Porto Rico 534-B, Guaçú e BAGCE 02 apresentaram valores de PCI significativamente superiores aos demais materiais, não diferindo entre si. O PCI médio deste grupo de nove variedades foi de  $4.052 \text{ kcal kg}^{-1}$  contra um PCI médio de  $3.941 \text{ kcal kg}^{-1}$  do outro grupo de variedades.

**Tabela 1.** Composição química elementar (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio), poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) e teor de cinzas em capim-elefante. Rio Largo, AL, 2016.

Genótipo	C%	H%	O%	N%	PCS (Kcal Kg <sup>-1</sup> )	PCI (Kcal Kg <sup>-1</sup> )	Cinzas %
<b>Madeira</b>	43,9	5,77	49,6	0,66 a	4.440	4.128 a	2,21 e
<b>Pasto Panamá</b>	43,8	5,85	49,5	0,76 a	4.397	4.081 a	6,14 a
<b>Cameroon Local</b>	44,6	5,90	49,0	0,49 b	4.392	4.073 a	3,90 d
<b>Vrukwna</b>	44,6	5,93	49,1	0,44 b	4.373	4.053 a	5,50 b
<b>Taiwan A-25</b>	43,7	5,94	49,8	0,52 b	4.368	4.047 a	5,40 b
<b>Cameroon Local 2</b>	44,8	5,90	48,7	0,53 b	4.361	4.042 a	4,50 c
<b>Porto Rico 534-B</b>	44,4	5,84	49,2	0,53 b	4.346	4.031 a	4,90 b
<b>Guaçu</b>	44,0	5,92	49,5	0,59 b	4.328	4.009 a	5,10 b
<b>BAGCE 02</b>	44,2	5,90	49,2	0,63 a	4.320	4.001 a	3,40 d
<b>BRS Capiaçú</b>	43,4	6,07	50,1	0,46 b	4.314	3.986 b	3,81 d
<b>Cuba 116</b>	44,3	5,94	49,3	0,49 b	4.310	3.989 b	4,80 b
<b>King Grass</b>	43,7	5,85	49,6	0,84 a	4.294	3.978 b	5,67 b
<b>Napier</b>	43,6	5,87	49,8	0,65 a	4.271	3.954 b	5,50 b
<b>BRS Canará</b>	43,7	5,83	49,9	0,57 b	4.248	3.933 b	4,41 c
<b>T241 Piracicaba</b>	43,7	5,89	49,9	0,51 b	4.247	3.929 b	4,30 c
<b>Taiwan A-144</b>	42,4	5,90	51,0	0,71 a	4.224	3.905 b	6,71 a
<b>Cubano de Pinda</b>	43,2	5,90	50,4	0,52 b	4.224	3.906 b	3,60 d
<b>Cameron Piracicaba</b>	41,9	5,91	51,7	0,57 b	4.209	3.890 b	5,10 b

\*Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Quanto aos teores de nitrogênio (%) também foram formados dois grupos, onde o grupo formado pelos genótipos (King Grass, Pasto Panamá, Taiwan A-144, Madeira, Napier e BAGCE 02) apresentou média significativamente superior (0,71 %) ao outro grupo de genótipos (0,52 %) (Tabela 1).

Os teores de cinzas (%) dos genótipos Taiwan A-144 (6,71 %) e Pasto Panamá (6,14 %) foram significativamente superiores aos demais genótipos. A variedade de capim-elefante Madeira foi a que apresentou o menor teor de cinzas (2,21 %) entre todos os materiais avaliados (Tabela 1).

Os valores de PCS dos genótipos de capim-elefante oscilaram entre 4.209 kcal kg<sup>-1</sup> ('Cameroon Piracicaba') e 4.400 kcal kg<sup>-1</sup> ('Madeira'). Cabe ressaltar que, embora não terem sido constatadas diferenças significativas, pequenas diferenças poderiam influenciar de maneira considerável a eficiência do processo de conversão energética.

Os resultados encontrados no presente estudo são condizentes com alguns trabalhos disponíveis na literatura, tais como o descrito por Rocha et al. (2017), que constataram valores de PCS de 4.325 kcal kg<sup>-1</sup> para um grupo de 44 genótipos de capim-elefante 'Napier' e de 4.337 kcal kg<sup>-1</sup> para um grupo de 18 genótipos de capim-elefante 'Cameroon'.

Por outro lado, Ohimain et al. (2014) constaram valores de PCS em capim-elefante entre 3.741 e 4.077 kcal kg<sup>-1</sup>, os quais são consideravelmente inferiores aos demais trabalhos citados. A justificativa para a constatação de tal diferença é de que, no referido trabalho foram utilizadas plantas mais jovens (entre 3 a 4 meses de idade), e conseqüentemente com menor teor de fibras e lignina, do que as plantas utilizadas no presente trabalho (com 6 meses de idade).

O poder calorífico de qualquer biomassa vegetal está relacionado aos seus teores de lignina e extrativos, tendo em vista que os mesmos contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na celulose e na hemicelulose (QUIRINO et al., 2005). A presença de oxigênio nos biocombustíveis reduz o seu poder calorífico, porém, lhes confere

uma melhor qualidade de queima, por já terem oxigênio intramolecular, além de promover uma queima mais limpa do que a de hidrocarbonetos (ROCHA, 2013).

Por apresentar altas concentrações de fibras e lignina e elevado poder calorífico, a biomassa do capim-elefante apresenta aplicações para combustão direta, produção de carvão vegetal, etanol de segunda geração, biogás e bio-óleo (MORAIS et al., 2009; STREZOV et al., 2008; ZANETTI et al., 2010; LÉDO; MACHADO, 2013). A presença de altos teores de fibras e lignina na biomassa é desejável para a sua utilização como combustível sólido no processo de combustão devido ao elevado conteúdo de carbono na lignina (cerca de 64%) e pelo fato de as culturas lignificadas manterem-se viáveis mesmo com baixa composição de água, podendo ser colhidas tardiamente, aumentando assim a qualidade da biomassa. A relação celulose:lignina também influencia o poder calorífico dos materiais, visto que a celulose apresenta menor PCI ( $4.132 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) do que a lignina ( $6.377 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), tendo em vista o seu maior grau de oxidação (JENKINS et al., 1998).

A relação colmo/folha influencia o poder calorífico da biomassa das gramíneas energéticas, o qual é geralmente maior nos colmos do que nas folhas, possivelmente, devido ao fato de que o teor de cinzas dos colmos seja consideravelmente menor do que o das folhas. Zanetti (2010) verificou que o PCS médio de seis genótipos de capim-elefante foi de  $4.180 \text{ Kcal Kg}^{-1}$  nos colmos e  $3.953 \text{ Kcal Kg}^{-1}$  nas folhas.

Cabe ressaltar que a eficiência do processo de conversão da biomassa em energia térmica depende da sua umidade, a qual define o seu poder calorífico útil (PCU), ou seja, a presença de água nos materiais, causa consideráveis perdas energéticas no processo de combustão. Portanto, a eficiência da conversão energética da biomassa depende do seu teor de umidade, pois, em termos práticos, só é possível queimar materiais com até 50% de água, a depender do tipo de caldeira utilizada (CORTEZ et al., 2008). Neste sentido, é muito importante promover a adequada secagem das matérias-primas, para obtenção de ganhos energéticos e a prevenção de problemas de armazenamento como a má conservação da biomassa.

Silva (2012) constatou ganhos em termos de PCU em função da redução do teor de umidade do capim-elefante, demonstrando que é possível se obter ganhos energéticos com a secagem da biomassa. A redução da umidade do capim-elefante de 50 para 10% mediante a exposição da biomassa picada ao sol aumentou o seu PCU de 1.746 para 3.624 kcal kg<sup>-1</sup>, com melhorias na eficiência de manuseio, armazenamento, transporte, alimentação e de queima em fornalhas de caldeiras.

Em relação aos teores de cinzas dos genótipos de capim-elefante os valores variam desde 2,21% até 6,14%. Esta é uma das características que deve ser levada em conta no momento da escolha dos genótipos a serem explorados. Elevados teores de cinzas na biomassa (superiores a 5%) são indesejáveis no processo de combustão, haja vista que o poder calorífico dos combustíveis é inversamente proporcional ao teor de cinzas e diretamente proporcional ao de carbono, principal constituinte da lignina (LLORENTE, GARCIA; 2008).

As cinzas de materiais lignocelulósicos são constituídas, predominantemente, por óxidos de silício, cálcio, potássio, sódio, magnésio, ferro e fósforo. Espécies herbáceas contêm silício e potássio como principais constituintes das cinzas, mas também são geralmente ricas em cloro, que pode causar problemas de deposição de cinzas sob altas temperaturas de combustão, facilitando a mobilidade de muitos compostos inorgânicos, em particular do potássio (JENKINS et al., 1998).

Gonzalez (2014) verificou que 35% das cinzas do capim-elefante são compostas por óxidos (MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaO). Quesada (2005) em estudo de seleção de genótipos de capim-elefante encontrou no genótipo Roxo teores de cinzas de 8,1% nas folhas e de 1,17% nos colmos. Flores (2009) constatou que o teor de cinzas nos colmos (5%) foi inferior ao das folhas (9,8%). Portanto, para geração de energia térmica, a seleção de genótipos com maior relação colmo:folhas é considerada mais interessante.

## Comparação entre diferentes tipos de biomassa

Os resultados das análises dos genótipos de capim-elefante que apresentaram o maior (Madeira) e o menor (Cameroon Piracicaba) valor de PCS foram utilizados para fins de comparação com outras 14 fontes de biomassa. Nesta nova comparação entre diferentes fontes de biomassa, foram constatadas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) tanto para os valores de PCS e PCI, bem como, para os teores de carbono, oxigênio, nitrogênio e de cinzas (Tabela 2).

O PCS do grupo de biomassas composto por amostras de sabiá (*M. caesalpiniaefolia*) ( $4.817 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), casca de coco ( $4.784 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) e resíduos culturais da mandioca ( $4.678 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) apresentou valores significativamente superiores aos demais tipos de biomassa. Em seguida, o grupo de amostras de eucalipto de 5 anos ( $4.601 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) e de 3 anos ( $4.586 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) e o bambu (*G. angustifolia*) ( $4.517 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), apresentou valores de PCS significativamente superiores ao grupo formado por palha de cana ( $4.460 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), capim-elefante 'Madeira' ( $4.440 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), cana-energia 'VX' ( $4.410 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), cana-energia 'VX' ( $4.378 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), fibra de coco ( $4.358 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), resíduos culturais do milho ( $4.347 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), capim-elefante 'Cameroon Piracicaba' ( $4.209 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), bagaço de cana ( $4.137 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) e sorgo ( $4.129 \text{ kcal kg}^{-1}$ ). A casca de arroz apresentou valor de PCS ( $3.930 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) significativamente inferior às demais biomassas. Este resultado é muito semelhante ao valor de  $3.908 \text{ Kcal Kg}^{-1}$  encontrado por Diniz et al. (2004) para casca de arroz. Este menor valor de PCS em relação aos demais materiais pode ser atribuído ao seu elevado alto teor de cinzas, compostas majoritariamente por silício (Si).

Queiroz et al. (2014), comparando diferentes matérias-primas, encontram valores de PCI de  $3.988 \text{ kcal kg}^{-1}$  para o capim-elefante,  $4.371 \text{ kcal kg}^{-1}$  para o bambu,  $4.466 \text{ kcal kg}^{-1}$  para a casca de coco,  $3.893 \text{ Kcal Kg}^{-1}$  para a casca de arroz e de  $4.776 \text{ kcal kg}^{-1}$  para o pó de serra de eucalipto, constatando correlações positivas entre PCS e teores de carbono e lignina e correlações negativas entre PCS e teores de cinzas e de oxigênio.

**Tabela 2.** Composição química elementar (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio), poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) e teor de cinzas em biomassas. Rio Largo, AL, 2016.

Tipo de biomassa	C%	H %	O %	N %	PCS (Kcal Kg <sup>-1</sup> )	PCI (Kcal Kg <sup>-1</sup> )	Cinzas %
<i>Sabiá (M. caesalpiniaefolia)</i>	50,1 a	5,99	43,5 c	0,36 c	4.817 a	4.494 a	1,26 d
Casca de coco (endocarpo)	48,7 a	5,56	45,4 b	0,34 c	4.784 a	4.484 a	1,31 d
Mandioca (resíduos culturais)	45,9 b	6,23	46,3 b	1,58 a	4.678 a	4.341 a	3,79 c
Eucalipto (5 anos)	47,4 a	5,80	46,6 b	0,20 c	4.601 b	4.288 b	0,47 e
Eucalipto (3 anos)	47,2 a	5,99	46,6 b	0,23 c	4.586 b	4.263 b	0,59 e
Bambu ( <i>Guadua angustifolia</i> )	47,0 a	5,78	46,7 b	0,49 b	4.517 b	4.205 b	3,13 c
Palha de cana	45,4 b	6,24	47,8 b	0,59 b	4.460 c	4.123 c	3,20 c
Capim-elefante Madeira	43,9 b	5,77	49,6 b	0,66 b	4.440 c	4.128 c	2,21 d
Cana-energia VX	45,5 b	5,87	48,2 b	0,51 b	4.410 c	4.093 c	3,98 c
Cana-energia RB	44,5 b	6,11	48,9 b	0,54 b	4.378 c	4.048 c	3,98 c
Fibra de coco (mesocarpo)	44,3 b	5,35	49,9 b	0,46 b	4.358 c	4.069 c	7,70 b
Milho (resíduos culturais)	44,0 b	5,96	49,4 b	0,62 b	4.347 c	4.025 c	2,00 d
Capim-elefante Cameroon Piracicaba	41,9 b	5,91	51,7 b	0,57 b	4.209 c	3.890 c	5,10 c
Bagaço de cana-de-açúcar	44,1 b	6,07	49,4 b	0,46 b	4.137 c	3.809 c	8,06 b
Sorgo Biomassa BRS 716	44,4 b	5,97	48,6 b	1,10 a	4.129 c	3.807 c	8,13 b
Casca de arroz	36,9 c	5,18	57,4 a	0,45 b	3930 d	3.650 d	15,34 a

\*Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

O sabiá (*M. caesalpiniaefolia*) é uma espécie lenhosa da família das leguminosas, com ampla distribuição na região Nordeste, ocorrendo espontaneamente em áreas de caatinga. Sua madeira é de grande durabilidade, resistente à umidade, sendo utilizada para estacas, lenha e carvão (RIBASKI, 2003).

O alto poder calorífico apresentado pelo sabiá, pela casca de coco (endocarpo) e pelos resíduos de mandioca, provavelmente possa ser explicado pelos elevados teores de lignina destas biomassas em relação a outras fibras vegetais.

Se tomarmos como exemplo de comparação os valores de PCS para o eucalipto de 5 anos ( $4.601 \text{ kcal kg}^{-1}$ ) e o capim-elefante Madeira ( $4.440 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), notamos que alguns autores relatam valores inferiores aos obtidos neste trabalho. Flores (2009) constatou valores de PCS de  $4.104 \text{ kcal kg}^{-1}$  para o capim-elefante e de  $4.460 \text{ kcal kg}^{-1}$  para o eucalipto. Já Quéno et al. (2011) constataram valores de  $4.100 \text{ kcal kg}^{-1}$  para o capim-elefante e de  $4.500 \text{ kcal kg}^{-1}$  para o eucalipto.

Estudos demonstram que o ganho energético do capim-elefante é superior ao eucalipto, considerando-se o maior consumo de óleo diesel para colheita e trituração da biomassa da espécie florestal (SILVA, 2012; ZANETTI et al., 2010). Além disto, enquanto a produção média anual de matéria seca do eucalipto é da ordem de  $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , chegando até  $20 \text{ t}$  nas melhores condições, o capim-elefante produz, em média, de  $35 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  MS, podendo chegar a mais de  $60 \text{ t}$  em ótimas condições (MAZZARELLA, 2010).

No presente trabalho, o teor de cinzas da casca de arroz apresentou valor significativamente superior ( $15,34\%$ ) em relação a todas as demais biomassas. Os teores de cinzas do sorgo biomassa ( $8,13\%$ ), do bagaço de cana ( $8,06\%$ ) e da fibra de coco ( $7,7\%$ ) foram superiores às demais fontes, exceto da casca de arroz. O teor de cinzas foi inferior a  $5,1\%$  em um grande grupo de biomassas composto por todos os demais materiais avaliados.

O acúmulo de cinzas influencia negativamente a eficiência de combustão e podem causar problemas no queimador e nos dispositivos

de troca de calor. Cabe ressaltar que, com o advento da utilização de biomassas como forma de obtenção de geração de energia limpa através de sua queima em caldeiras, ocorre grande produção de cinzas residuais, que necessitam ser devidamente caracterizadas antes de receberem sua destinação final. Rendeiro et al. (2008) estudando as características da biomassa para a gaseificação, afirmam que as cinzas e outros resíduos da combustão de biomassa, são compostos por substâncias inorgânicas e metálicas, sendo que, o teor de cinzas da biomassa varia de 0,1%, no caso da madeira, até 15% em alguns materiais agrícolas (casca de arroz).

## Conclusões

A energia contida em um combustível é diretamente proporcional ao seu poder calorífico, daí a importância do conhecimento dessa propriedade para sua avaliação como insumo energético. As variedades de capim-elefante Madeira, Pasto Panamá, Cameroon Local, Vrukwna, Taiwan A-25, Cameroon Local 2, Porto Rico 534-B, Guaçú e BAGCE 02 se destacam por apresentarem elevado poder calorífico (PCI médio = 4.052 kcal kg<sup>-1</sup>).

O genótipo de capim-elefante Madeira apresenta maior valor de PCS (4.440 kcal kg<sup>-1</sup>) e o genótipo Cameroon Piracicaba o menor valor de PCS (4.209 kcal kg<sup>-1</sup>) dentre os materiais avaliados neste ensaio.

Os genótipos de capim-elefante Taiwan A-144 e Pasto Panamá apresentam teores de cinzas elevados (6,71% e 6,14%, respectivamente) e a variedade Madeira apresenta teor reduzido de cinzas (2,21%) em relação aos genótipos de capim-elefante avaliados no presente estudo.

O sabiá (*M. caesalpiniaefolia*) (4.817 kcal kg<sup>-1</sup>), a casca de coco (4.784 kcal kg<sup>-1</sup>) e os resíduos culturais da mandioca (4.678 kcal kg<sup>-1</sup>) apresentam valores de PCS superiores aos demais tipos de biomassa avaliados.

A casca de arroz apresenta o menor valor de PCS (3.930 kcal kg<sup>-1</sup>) dentre as biomassas estudadas neste trabalho, provavelmente devido aos seus elevados teores de cinzas (15,34%) e baixos teores de carbono (36,9%).

O capim-elefante apresenta viabilidade prática de uso como fonte de matéria-prima para a geração energia térmica devido às características qualitativas desejáveis, principalmente seu alto poder calorífico, que é semelhante a maioria das biomassas utilizadas para esta finalidade, tal como o bagaço de cana-de-açúcar.

## Referências

ABNT. **NBR 11956**: coque: determinação do poder calorífico superior: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 6 p.

ABNT. **NBR 8112**: carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 5 p.

ANEEL. **BIG**: banco de informações de geração: fontes de energia exploradas no Brasil. Brasília, DF: ANEEL, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp>> Acesso: 12 ago. 2016.

BARBIERI, L.; ANDREOLA, F.; LANCELLOTTI, I.; TAURINO, R. Management of agricultural biomass wastes: Preliminary study on characterization and valorization in clay matrix bricks. **Waste Management**, Padova, v.33, p. 2307-2315, 2013.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. 734 p.

DINIZ, J.; CARDOSO, A. L.; STAHL, J. A.; VILLETTI, M. A.; MARTINS, F. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**,

Santa Maria, v. 26, p. 25-32, 2004.

EPE. **Balço energético nacional 2015**: ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 292 p.

FLORES, R. A. **Produção de capim-elefante (*Pennisetum Purpureum* Schum.) para fins energéticos no cerrado**: resposta a adubação nitrogenada e idade de corte. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FOX, J. The R Commander: a basic statistics graphical user interface to R. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 14, n.9, p. 1-42, 2005.

GONZALEZ, A. D. **Caracterização e análise comparativa de cinzas provenientes da queima de biomassa**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 6 p. (Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Comunicação Técnica, 1797).

JENKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; MILES JR., T. R.; MILES, T. R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, Edinburgh, v. 54, p. 17-46, 1998.

LÉDO, F.J.S.; MACHADO, J.C. Construindo um ideótipo de gramínea para produção de energia. In: SOUZA, F.H.D.; MATTA, F.P.; FÁVERO, A.P. **Construção de ideótipos de gramíneas para usos diversos**. Brasília: Embrapa, 2013, p. 227-236.

LIMA, E.A. **Alternativa para estimar o preço da madeira para energia**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 4 p. (Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, 260).

LLORENTE, M.J.F.; GARCIA, J.E.C. Suitability of thermo-chemical corrections for determining gross calorific value in biomass. **Thermochemical Acta**, Higashi-Hiroshima, n. 468, p.101-107, 2008.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; CAMÂRA, T. M. M.; RANGEL, J. H. A.; AMARAL, A. F. C. LEDO, F. J. S.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L. **Potencial produtivo e qualidade da biomassa de capim-elefante para fins energéticos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. 6 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 68).

MAZZARELLA, V. Capim-elefante como energia: problemas, soluções, custos comparados com outras fontes, aplicações. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS INTELIGENTES, Londrina, 2010. **Anais...** Londrina: ADETEC, 2010.

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.

IKA. **Calorimeter system C 2000 basic/control**: 2015. 15 p. Disponível: <[http://www.ika.com/ika/product\\_art/manual/ika\\_c\\_2000\\_english.pdf](http://www.ika.com/ika/product_art/manual/ika_c_2000_english.pdf)> Acesso: 12 nov. 2015.

OHIMAIN, E. I.; KENDABIE, P.; NWACHUKWU, R. E. S. Bioenergy Potentials of elephant grass, *Pennisetum purpureum* Schumach. **Annual Research & Review in Biology**, Hooghly, v. 4, n. 13, p. 2215-2227, 2014.

QUEIROZ, M. B.; FERREIRA, M. M. C.; RAMBO, M. K. D. Correlação entre o poder calorífico e a composição química de biomassas lignocelulósicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 37., Natal, 2014 **Anais...** São Paulo: SBQ, 2014.

QUÉNO, L. M. R., SOUZA; A. N.; MARTINS, I. S. Custo de produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 417-426, 2011.

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com potencial para uso energético, na forma de carvão vegetal**. 2005. 86 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, São Carlos, n. 89, p. 100-106, 2005.

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. F. M.; ZÁRATE, H. Centrais térmicas por gasificação. In: RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. (Ed.). **Combustão e gasificação de biomassa sólida**. Brasília, DF: Ministério das Minas e Energia, 2008. p. 88-105.

RIBASKI, J.; LIMA, P.C.F.; OLIVEIRA, V.R.; DRUMOND, M.A. **Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) árvore de múltiplo uso no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 104).

ROCHA, J. D. A plataforma termoquímica. In: VAZ JÚNIOR, S. **Biomassa para química verde**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2013. p. 139-167.

ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. C.; RESENDE, M. D. V.; PEREIRA, A. V.; CARNEIRO, J. E. S. Elephant grass ecotypes for bioenergy production via direct combustion of biomass. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 95, p. 27-32, 2017.

ROSILLO-CALLE, F. R.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2005.

SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S; REIS, V.; HO LEM, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Chicago, v.24, p.461-495, 2005.

SILVA, E. **Biomassa cultivada para produção de energia: estudo comparativo entre capim-elefante e eucalipto com a incorporação da energia solar na secagem**. 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

STREZOV, V. EVANS, T.J. HAYMAN, C. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p. 8394-8399, 2008.

SUMNER, H.R.; SUMNER, P.E.; HAMMOND, W.C.; MONROE, G.C. Indirect-fired biomass furnace test and bomb calorimeter determinations. **Transactions of the ASAE**, St.Joseph, p. 238-241, 1983.

ZANETTI, J. B.; MORAIS, R. F.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; SOARES, L. H. B. **Balço de energia na produo de capim-elefante em condies experimentais**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 71).

ZANETTI, J. B. **Identificao de genótipos de capim-elefante (*P. purpureum* Schum.) de alta produo de biomassa com qualidade para fins energéticos**. 2010. 73 f. Dissertao (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.



---

*Tabuleiros Costeiros*

MINISTÉRIO DA  
**AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO**

