



III CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAGRO 2018

EFEITO DE CULTIVAR E DENSIDADE DE SEMEADURA NO PODER CALORÍFICO E TEOR DE CINZAS DA BIOMASSA DE SORGO

EFFECT OF CULTIVAR AND SOWING DENSITY ON THE CALORIFIC VALUE AND ASH CONTENT OF SORGHUM BIOMASS

Apresentação: Comunicação Oral

Rafaela Ferreira da Silva¹; Tassiano Maxwell Marinho Câmara²; André Felipe Câmara
Amaral³

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00106>

Resumo

O sorgo tem sido considerado uma cultura potencialmente complementar a cana-de-açúcar no fornecimento de matéria prima dedicada a produção de bioenergia. Para um melhor aproveitamento energético faz-se necessário caracterizar os atributos de qualidade dessa biomassa para diferentes cultivares e condições de cultivos, de forma a promover melhores resultados aos processos de conversão da matéria prima em bioenergia. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de cultivares e da densidade de semeadura no poder calorífico superior (PCS) e teor de cinzas da biomassa de sorgo. Um experimento foi instalado à campo no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e esquema fatorial 4 x 5, sendo quatro cultivares de sorgo e cinco densidades de semeadura (100, 120, 140, 160 e 180 mil plantas.ha⁻¹). As parcelas foram constituídas de cinco linhas de cinco metros, sendo considerada área útil as três linhas centrais. A caracterização da biomassa foi realizada por ocasião da colheita, em 10 plantas coletadas ao acaso em cada parcela, sendo retirada as panículas. As plantas foram trituradas em forrageira, homogeneizada e as amostras de biomassa levadas para estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante. Em seguida as amostras foram processadas para a avaliação do teor de cinzas e poder calorífico superior (PCS) utilizando-se uma bomba calorimétrica. Em média a biomassa avaliada apresentou teor de cinzas de 2,47% e PCS de 4.510,14 Kcal kg⁻¹. Os menores valores em cinzas foram obtidos para a variedade SF 15. Os maiores PCS médios foram observados para Silotec 20. A densidade de semeadura apresentou pouca influência no teor de cinzas e no PCS da biomassa de sorgo. Dentre as cultivares avaliadas, SF 15 é a que apresenta biomassa de melhor qualidade para combustão direta.

Palavras-Chave: Bioenergia, combustão da biomassa, sorgo sacarino.

Abstract

Sorghum has been considered a potentially complementary crop to sugarcane in the supply of raw material dedicated to the production of bioenergy. For a better energy use, it is necessary

¹ Estudante de agronomia, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), rafaela.ferreirads@gmail.com

² Doutor, Embrapa Tabuleiros Costeiros, tassiano.camara@embrapa.br

³ Doutor, Embrapa Tabuleiros Costeiros, andre.camara@embrapa.br

to characterize the quality attributes of this biomass for different cultivars and crop conditions, in order to promote better results to the processes of conversion of the raw material into bioenergy. The objective of this work was to evaluate the effects of cultivars and sowing density on the gross calorific value (GCV) and ash content of sorghum biomass. An experiment was carried out in the field in a randomized block design with four replications and a 4 x 5 factorial scheme, being four cultivars of sorghum and five sowing densities (100, 120, 140, 160 and 180 thousand plants.ha⁻¹). The plots were constituted of five rows of five meters, being considered useful area the three central lines. The biomass characterization was performed at the time of harvest, in 10 plants collected at random in each plot, with panicles removed. The plants were forage crumbs, homogenized and biomass sample taken to a forced circulation air heater at 65 °C until reaching constant weight. Afterwards the samples were processed for the evaluation of ash content and gross calorific value (GCV) using a calorimetric pump. On average, the evaluated biomass had ash content of 2.47% and PCS of 4.510.14 Kcal kg⁻¹. The lowest ash values were obtained for the SF 15 variety. The highest GCV average were observed for Silotec 20. The sowing density had little influence on the ash content and GCV on sorghum biomass. Among the cultivars evaluated, SF 15 is the one with the best quality biomass for direct combustion.

Keywords: Bioenergy, biomass combustion, sweet sorghum.

Introdução

A cogeração de energia, por meio da queima do bagaço da cana-de-açúcar, e a venda dos excedentes produzidos são, atualmente, uma fonte de receita importante para a sustentabilidade do setor sucroenergético, complementando àquela obtida com a comercialização dos produtos principais, açúcar e etanol.

Com a modernização de parques industriais e em função de cenários de crises energéticas cíclicas no Brasil, que tornam mais atrativa a geração de energia elétrica para a venda, o setor sucroenergético tem, cada vez mais, cogitado a queima de outras biomassas, além do bagaço da cana-de-açúcar, visando aumentar o excedente de energia elétrica gerado, como forma ampliar sua rentabilidade e reduzir a ociosidade dos parques industriais no período de entressafra (Nakay *et al.*, 2016).

Dentre as culturas utilizadas para a produção de energia o sorgo (sacarino e biomassa) tem sido considerado fonte complementar a cana-de-açúcar no fornecimento de matéria prima para este fim por ser uma cultura com eficiente processamento fotossintético, capacidade de adaptação a condições climáticas variadas, elevada eficiência no uso da água, tolerante à deficiência hídrica, com mecanização completa do cultivo e boa produção de biomassa em curto espaço de tempo (cinco meses), quando comparada a cana-de-açúcar (May *et al.*, 2013).

Contudo, além das características agrônômicas é importante avaliar a qualidade da

biomassa quanto ao seu potencial energético. Nesse sentido, são consideradas características qualitativas importantes para biomassas dedicadas à produção de energia o poder calorífico e os teores de umidade, carbono, cinzas, metais alcalinos, celulose, hemicelulose e lignina (McKendry, 2002).

Destas características, o poder calorífico superior, que representa a quantidade de calor liberada pela combustão completa da biomassa, é considerado um dos parâmetros fundamentais quando se avalia o aproveitamento energético da biomassa (Nakay *et al.*, 2016). Já as cinzas geradas com a combustão da biomassa são os principais fatores associados à matéria-prima que levam a processos corrosivos e de incrustações dos sistemas de cogeração (Nakay *et al.*, 2016).

Assim, a caracterização de biomassa de cultivares de sorgo quanto ao seu poder calorífico superior e teor de cinzas pode contribuir com informações para a tomada de decisão quanto à incorporação dessa biomassa como matéria prima complementar a cana-de-açúcar na produção de energia.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de cultivares e da densidade de semeadura no poder calorífico superior e teor de cinzas da biomassa de sorgo.

Fundamentação Teórica

Em geral, para que uma cultura possa ser utilizada com finalidade bioenergética esta deve apresentar, segundo Nakay *et al.*, (2016): i) alta produtividade; ii) baixo consumo de energia para o cultivo; iii) baixo custo de produção; iv) biomassa com o mínimo de contaminantes e; v) baixa exigência nutricional.

Contudo, na utilização de uma fonte de biomassa com fins energéticos é importante também caracterizar esta em termos qualitativos. No que se refere à biomassa destinada a cogeração de energia, são consideradas como características de importância o poder calorífico e os teores de umidade, carbono fixo e volátil, cinzas, metais alcalinos, celulose, hemicelulose e lignina (McKendry, 2002).

O sorgo tem despontado como cultura potencial e complementar a cana-de-açúcar na cogeração de energia. Em termos qualitativos, a biomassa de sorgo tem apresentado poder calorífico superior próximo aos obtidos para o bagaço de cana-de-açúcar e outras gramíneas energéticas (May *et al.*, 2013; Batista, 2016; Marafon *et al.*, 2016; Nakay *et al.*, 2016).

Os valores de cinzas da biomassa de sorgo têm variado, em geral, entre 1,98 e 10,68 %,

a depender de fatores como cultivar avaliada e parte da planta processada, sendo maiores as concentrações presentes em folhar e panículas (Monti et al., 2008; Marafon et al., 2016; Batista, 2016; Nakay et al., 2016). Contudo, em média, tem sido observada porcentagem de cinzas maior para a biomassa de sorgo em comparação àquela gerada pela queima do bagaço da cana-de-açúcar (em média 2,47%), o que pode levar a uma maior formação de incrustações e depósitos, caso o sorgo seja utilizado em conjunto com o bagaço ou isoladamente na produção de energia (Nakay et al., 2016).

Metodologia

Os trabalhos foram conduzidos a campo, em área experimental do Centro de Ciências Agrárias (CECA), e nos laboratórios da Embrapa, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Rio Largo (UEP- Rio Largo), ambos localizados no Campus Delza Gitai da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) em Rio Largo - AL.

Para a realização das atividades foram utilizadas quatro cultivares de sorgo, sendo duas do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA 467 e SF 15), uma da Embrapa (BRS 511) e uma da Seprtec Sementes (Silotec 20).

A biomassa utilizada para a caracterização do poder calorífico foi obtida com a instalação, em 20 de junho de 2017, de um experimento de campo no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e esquema fatorial 4 x 5, sendo quatro cultivares e cinco densidades de semeadura (100, 120, 140, 160 e 180 mil plantas.ha⁻¹). As parcelas foram constituídas de cinco linhas de cinco metros, sendo considerada área útil às três linhas centrais. O espaçamento entre linhas foi de 0,7 m e aos 15 dias após a semeadura foi realizado desbaste para a população estabelecida.

O experimento foi conduzido sem irrigação e conforme recomendações para o cultivo do sorgo sacarino (May et al. 2012). A colheita da biomassa foi realizada de forma parcelada em função da variação de ciclo entre as cultivares, à medida que os grãos nas panículas se apresentavam no estágio duro/farináceo.

Por ocasião da colheita, foram amostradas 10 plantas ao acaso de cada parcela, sendo retiradas as panículas. As plantas foram trituradas em forrageira e uma amostra de 300 gramas foi homogeneizada e levada para uma estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante. Em seguida as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey, peneiradas em malha de 35 mesh (500 µm) e separadas para avaliação dos teores de cinzas e poder calorífico

superior (PCS).

A determinação dos teores de cinzas foi realizada conforme a norma NBR 8112 (ABNT, 1986), onde 1g das amostras isentas de umidade foram pesadas em cadinhos de porcelana previamente calcinados, arrefecidos e tarados. Após a distribuição uniforme das amostras nos cadinhos, o conjunto foi introduzido em forno Mufla e queimado a 550 °C por 120 minutos. Por fim, retiraram-se as amostras da Mufla, resfriando-as em dessecador antes de efetuar a pesagem em balança analítica de precisão.

As análises de PCS foram desenvolvidas segundo a norma NBR 11956 (ABNT, 1990) utilizando bomba calorimétrica IKA modelo C2000 acoplada a resfriador IKA KV 500. Para a calibração do equipamento utilizou-se pastilhas do padrão de ácido benzoico com poder calorífico de 6.318 kcal kg⁻¹. O procedimento de obtenção dos valores de poder calorífico superior (PCS) iniciou com o pastilhamento de aproximadamente 1g das amostras utilizando prensa manual, seguido de secagem em estufa com renovação forçada de ar à 105 °C por 12 horas visando garantir que as amostras estivessem isentas de umidade.

Após a secagem e resfriamento, as amostras foram inseridas e queimadas em câmara adiabática a volume constante contendo oxigênio de alta pureza e a uma pressão de 30 Kgf cm⁻². Durante o procedimento, a variação de temperatura foi registrada continuamente pelo equipamento e o valor obtido, que é proporcional ao calor total que a reação libera ou absorve (IKA, 2015), foi usado para gerar o valor PCS (BRAND, 2010).

Os dados obtidos foram avaliados no programa computacional Genes (Cruz, 2013), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Resultados e discussão

As análises de variâncias constataram diferenças significativas para cinzas e PCS entre cultivares e para a interação C x D. As densidades de semeadura, isoladamente, não influenciaram o teor de cinzas e poder calorífico da biomassa avaliada (Tabela 1).

Em média, a biomassa avaliada apresentou teor de cinzar de 2,47%. O teor de cinzas em sorgo tem variado a depender da cultivar e das partes da planta avaliadas, sendo observados valores variando, em geral, de 1,98 a 10,68%, com maiores concentrações de cinzas obtidas para amostras de folhas (Monti et al., 2008; Marafon et al., 2016; Batista, 2016; Nakay et al., 2016).

Os valores médios de cinzas observados no presente trabalho foram similares àqueles

relatados na literatura para o bagaço de cana-de-açúcar, também em torno de 2,47% segundo Nakay et al. (2016), e menores, ou equivalentes, aos obtidos por outras culturas com fins bioenergéticos (Monti et al., 2008; Marafon et al., 2016), um indicativo da qualidade da biomassa de sorgo para a cogeração de energia.

O PCS médio para as amostras de sorgo (4.510 Kcal kg⁻¹) está dentro da faixa observada na literatura para a caracterização de biomassa de sorgo quanto ao seu poder calorífico superior (May et al., 2013; Batista, 2016; Nakay et al., 2016) e próximos aos valores médios relatados para o bagaço de cana-de-açúcar (Nakay et al., 2016) e outras biomassas de gramíneas destinadas a produção de bioenergia (Marafon et al., 2016).

Como relatado por May et al. (2013) as características químicas associadas ao processo de combustão da biomassa de sorgo (poder calorífico, teores de carbono fixo e volátil, teor de cinzas, teor de metais alcalinos), aliadas a alta produtividade e baixo custo de produção, são atributos que conferem competitividade a cultura do sorgo como fonte de biomassa para produção de bioenergia. Os resultados do presente trabalho, no que se refere às características avaliadas, corroboram com as considerações dos referidos autores.

Tabela 1. Quadrados médios^{1/} da análise de variância para as características teor de cinzas (%) e poder calorífico superior (PCS, Kcal kg⁻¹) de cultivares de sorgo semeadas em diferentes densidades. Rio Largo, AL. 2017.

FV	GL	QM cinzas	QM PCS
Blocos	3	0,2021	10.601,3602
Cultivares (C)	3	3,1433 **	14.269,5908 **
Densidades (D)	4	0,6031 ns	672,0683 ns
C x D	12	0,6860 *	4.094,5542 **
Resíduo	57	0,3410	939,0039
Média		2,47	4.510,14
CV(%)		23,65	0,68

^{1/} ns, *, ** - não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Na comparação entre médias de cultivares, os menores valores em cinzas foram obtidos para a variedade SF 15, que diferiu de BRS 511 e Silotec 20. O PCS foi maior para SF 15 e Silotec 20. Não foram observadas diferenças entre densidades para as características, confirmando o observado nas análises de variância (Tabela 2).

Considerando que para o processo de combustão direta é desejável que a biomassa tenha alto poder calorífico e menor produção de cinzas, a variedade SF 15 destaca-se dentre as demais. Essa variedade tem como atributos o bom potencial de produção de material seca (15–

18 t/ha) e verde (40 a 60 t/ha) e adaptabilidade às condições de Alagoas (SEAGRI/DIPAP, 2008) e poderia ser avaliada quando ao seu potencial para fornecimento de biomassa dedicada à produção de bioenergia nas condições locais.

Tabela 2. Comparação de médias^{1/} de cultivares e de densidades de semeadura para as características teor de cinzas (%) e poder calorífico superior (PCS, Kcal kg⁻¹) da biomassa de sorgo. Rio Largo, AL. 2017.

Cultivares ou Densidades	Cinzas (%)	PCS (Kcal kg ⁻¹)
BRS 511	2,64 ab	4.485,87 b
IPA 467	2,36 bc	4.491,55 b
Silotec 20	2,90 a	4.543,55 a
SF 15	1,97 c	4.519,61 a
100.000	2,62 a	4.509,79 a
120.000	2,47 a	4.519,64 a
140.000	2,43 a	4.509,19 a
160.000	2,17 a	4.510,68 a
180.000	2,66 a	4.501,40 a

^{1/} Médias seguidas pela mesma letra na vertical, para cultivares ou densidades, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

No desdobramento da interação C x D foram constatados efeitos significativos para cultivares dentro das densidades 100, 160 e 180 mil plantas, e para densidades dentro da cultivar IPA 467 quanto à porcentagem de cinzas. Para PCS, os desdobramentos foram todos significativos, a exceção de densidades dentro de Silotec 20.

Na comparação de médias para os desdobramentos, observou-se que a porcentagem de cinzas na biomassa apresentou pouca variação em função do aumento da densidade para a maioria das variedades, a exceção de IPA 467, onde a quantidade de cinzas foi maior na maior densidade (Tabela 3).

Considerando que o teor de cinzas varia a depender da parte da planta avaliada, sendo sua concentração maior nas folhas (Monti et al., 2008; Marafon et al., 2016; Batista, 2016; Nakay et al., 2016), o aumento da densidades de semeadura pode ter tido maior influência na relação colmo/folha da variedade IPA 467, propiciando uma maior porcentagem de cinzas na biomassa colhida para a densidade de 180 mil plantas nesta variedade.

Para as médias de cultivares dentro de densidades, não foram constatadas diferenças nas densidades de 120 e 140 mil plantas. Para as demais densidades SF 15 apresentou os menores

teores de cinza, sendo até 42% inferiores as demais variedades, a depender da densidade avaliada.

Nas comparações de médias para PCS, foram observadas, em geral, diferenças significativas entre densidades dentro das cultivares, contudo, as amplitudes nos valores obtidos foram inferiores a 2% indicando que, apesar das diferenças constatadas, estas foram de pequena magnitude.

Para o desdobramento cultivares dentro de densidades, a variedade Silotec destacou-se em todas as densidades, com diferenças em PSC de até 2,5%, a depender da variedade e densidade avaliadas.

Tabela 3. Comparação entre médias^{1/} no desdobramento da interação cultivares x densidades de semeadura para as características teor de cinzas (%) e poder calorífico superior (PCS, Kcal kg⁻¹) na biomassa de sorgo. Rio Largo, AL. 2017.

Cultivares	Densidades				
	100.000	120.000	140.000	160.000	180.000
	Cinzas (%)				
BRS 511	3,32 Aa	2,71 Aa	2,39 Aa	2,24 Aab	2,54 Aab
IPA 467	1,96 Bb	2,13 Ba	2,42 ABa	1,97 Bab	3,32 Aa
Silotec 20	3,30 Aa	2,56 Aa	2,97 Aa	2,84 Aa	2,84 Aab
SF 15	1,91 Ab	2,47 Aa	1,93 Aa	1,63 Ab	1,93 Ab
	PCS (Kcal kg ⁻¹)				
BRS 511	4.447,00 Bb	4.508,73 Aab	4.465,50 ABb	4.507,40 ABab	4.500,70 ABa
IPA 467	4.507,63 Aa	4.511,00 Aab	4.517,70 Aab	4.493,08 Ab	4.428,35 Bb
Silotec 20	4.529,80 Aa	4.564,35 Aa	4.535,08 Aa	4.555,75 Aa	4.532,75 Aa
SF 15	4.554,75 Aa	4.494,50 ABb	4.518,50 ABab	4.486,50 Bb	4.543,80 ABa

^{1/} Para cada característica, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal, ou minúsculas na vertical, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos com o presente trabalho dão suporte ao setor produto quanto a utilização da biomassa de sorgo visando a complementaridade de matéria prima para a produção de energia em usinas sucroenergéticas, favorecendo a tomadas de decisão do setor quanto a incorporação de novas fontes de biomassa complementares a cana-de-açúcar na produção de energia.

Conclusões

- O PCS e a porcentagem de cinzas na biomassa de sorgo dependem da cultivar avaliada;
- A densidade de semeadura tem pouca influência no teor de cinzas e PSC da biomassa de sorgo;

- Dentre as variedades avaliadas SF 15 é a que apresenta biomassa com melhores atributos, em termos de PCS e porcentagem de cinzas, para a combustão direta.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo aporte financeiro. A EMBRAPA pelo suporte técnico e financeiro.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11956: coque: determinação do poder calorífico superior**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 5 p.

BATISTA, V.A.P. Avaliação bioenergética de sorgos biomassa, sacarino e forrageiro. Viçosa, 2016. 68p. **Dissertação** (Fitotecnia). Departamento de Fitotecnia, UFV, 2016.

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

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

IKA. **Calorimeter system C 2000 basic/control: 2015**. 15 p. Disponível em: <http://www.ika.com/ika/product_art/manual/ika_c_2000_english.pdf> Acesso em: 26 de set. 2018.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARAES, V. dos S. **Poder calorífico do capim-elefante para a geração de energia térmica**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 115).

MAY, A.; MENDES, S.M.; SILVA, D.D. da; PARRELLA, R.A. da C.; MIRANDA, R.A. de; SILVA, A.F. da; PACHECO, T.F.; AQUINO, L.A. de; COTA, L.V.; COSTA, R.V. da; KARAM, D.; PARRELLA, N.N.L.D.; SCHAFFERT, R. E. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36 p. (Circular Técnica, 186).

MAY, A.; DURÃES, F.O.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; SCHAFFERT, R.E.; PARRELLA, R.A.C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRSIG – Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Documentos, 139).

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v.83, p.37-46, 2002.

MONTI, A.; DI VIRGILIO, N.; VENTURI, G. Mineral composition and ash content of six major energy crops. **Biomass And Bioenergy**, v.32, p.216-223. 2008.

NAKAY, D.K.; MAY, A.; SILVA, M.A. da; PARRELLA, R.A.C. **Uso do sorgo biomassa em caldeiras de combustão: cuidados, precauções e fatores relacionados à qualidade da matéria-prima**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 18 p. (Documentos, 205).

SECRETARIA DE AGRICULTURA - DIVISÃO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Variedade de sorgo forrageiro SF – 15. [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]**. Maceió: SAGRI/DIPAP, 2008. 3p. Disponível em: http://www.agricultura.al.gov.br/relatorio/FOLDER%20SORGO%20FORRAGEIRO%20SF%2015.pdf/at_download/file. Acesso em: 19/07/2011.