



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE VARIEDADES DE SORGO EM FUNÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

K. M. P Silva¹; H. V. Q. Tomaz²; J. F. de Medeiros³; R. B. de Lira⁴; J. P. N. da Costa⁵; L. L. P. Oliveira⁶

RESUMO: A produção de energia elétrica em larga escala a partir da biomassa é um tema que vem sendo estudado nos últimos anos. Diante disso, o objetivo desse trabalho é avaliar a eficiência energética de variedades de sorgo em função de lâminas de irrigação. O experimento foi realizado no Sítio Roçado Grande, no Município de Upanema/RN. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com parcelas subdivididas 4 x (5 x 2), sendo quatro lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125 % da ETC), cinco cultivares (as forrageiras IPA 467, IPA SF-15 e BRS Ponta Negra e as sacarinas BRS 506 e BRS 511) e duas densidade de plantio (100.000 e 142.290 plantas ha⁻¹). O espaçamento utilizado foi de fileiras duplas de 0,35 x 1,05 m. A variedade BRS 511 mostrou-se mais eficiente na produção de energia com, com alta capacidade de produção de açúcares. Apesar de haver diferença na produção de massa verde entre as lâminas de 100% e 125%, a lâmina recomendada é de 100% da ETc equivalente a 580 mm.

PALAVRAS-CHAVE: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; Biomassa; produção de energia; Briquetes.

ENERGY EFFICIENCY OF SORGH VARIETIES IN THE FUNCTION OF IRRIGATION BLADES

SUMMARY: The production of large scale electric energy from biomass is a topic that has been studied in recent years with great interest in several countries of the world. Therefore, the objective of this work is to evaluate the energy efficiency of varieties of sorghum as a function of irrigation slides. The experiment was carried out at Sítio Roçado Grande, in the Municipality of Upanema / RN. The experimental design was a randomized complete block design, with four

¹ Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Fitotecnia- UFERSA- Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, Mossoró RN. CEP: 59.625-900. E-mail: karenmariany@gmail.com

² Doutor em Agronomia -UFERSA, Mossoró- Rio Grande do Norte. E-mail: halanvieira@gmail.com

³ Engenheiro Agrônomo-UFERSA, Mossoró- Rio Grande do Norte. E-mail: jfmedeir@hotmail.com

⁴ Doutor em Manejo de Solo e Água-UFERSA, Mossoró- Rio Grande do Norte. Email: ranierebarbosa@bol.com.br

⁵ Doutoranda em Fitotecnia-UFERSA, Mossoró- Rio Grande do Norte. E-mail: jp.poty@hotmail.com

⁶ Doutoranda em Manejo de Solo e Água- UFERSA, Mossoró- Rio Grande do Norte. E-mail: letissia_lissia@hotmail.com

subdivide plots (5x2), four irrigation slides (50, 75, 100 and 125% of ETC), five cultivars (forages IPA 467, IPA SF -15 and BRS Ponta Negra and the BRS 506 and BRS 511 saccharins) and two planting densities (100,000 and 142,290 plants ha⁻¹). The spacing used was double rows of 0.35 x 1.05 m. The BRS 511 variety proved to be more efficient in energy production with the advantage of being a saccharin variety with high sugar production capacity. Although there was a difference in green mass production between the 100% and 125% blades. Therefore, the recommended blade is 100% ETC, equivalent to 580 mm.

KEYWORDS: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; Biomass; Production of energy; Briquettes.

INTRODUÇÃO

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] vem se destacando como uma cultura bastante promissora para produção de etanol, por apresentar colmos suculentos com altos teores de açúcares fermentáveis. A produtividade de etanol das cultivares de sorgo sacarino está associada a suas características agroindustriais como rendimento de colmos por hectares, umidade da biomassa, °Brix no caldo, percentagens de extração de caldo, fibra dos colmos, POL do caldo, pureza, açúcares redutores, açúcares redutores totais e açúcares totais recuperáveis, expressos em kg t⁻¹ de biomassa, as quais irão refletir em litros de etanol por tonelada de colmos (PARRELLA, 2011). Outros resultados de pesquisas também evidenciam que a produtividade de colmos das cultivares é uma característica fortemente associada à produtividade de etanol por hectare (SOUZA et al., 2011), pois o caldo rico em açúcares fermentescíveis é extraído em sua totalidade dos colmos.

O bagaço é um resíduo da cana-de-açúcar ou do sorgo que sobra após a extração do açúcar. É um tipo de biomassa que é gerado em grandes quantidades durante o processamento dos colmos nas Usinas de açúcar e etanol. Apresenta as vantagens de ser um combustível de baixo preço, abundante e pouco poluente. É utilizado primariamente nas usinas para suprir suas necessidades internas de energia. A queima do bagaço nas usinas para o suprimento de suas necessidades internas de energia, ainda que justificada na prática e razões econômicas é ineficiente e destrutiva. Tem existido um interesse significativo na conversão desse resíduo em produtos de elevada densidade energética por meio de pirólise, carbonização, liquefação, gaseificação e combustão.

Essa densidade energética é conseguida através da compactação de alta densidade, que se mostra como um processo vantajoso, quando existe a necessidade de se transportar o resíduo

por longas distâncias. Os briquetes, além de possuírem alta densidade e facilidade de transporte, apresentam inúmeros benefícios para a combustão (Vianna Junior & Vieira, 2002).

Apesar do pouco conhecimento e do baixo emprego do briquete no país, o Brasil apresenta um potencial promissor a ser explorado, o que permitiria o aproveitamento mais racional dessa energia disponível, reduzindo o atual desperdício de resíduos industriais e agrícolas. Como consequência, haveria a possibilidade da redução do custo da energia consumida nos setores industrial e doméstico, além de uma provável redução nos níveis de poluição, resultando na substituição dos combustíveis fósseis por renováveis de origem vegetal, no caso os briquetes. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar eficiência energética de variedades de sorgo em função de lâminas de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Sítio Roçado Grande, localizado na Região Oeste do Rio Grande do Norte, no Município de Upanema, onde o clima segundo a classificação de Köppen é 'BSWh' (muito seco, com estação de chuva no verão atrasando-se para o outono), com precipitação média anual em torno de 650 mm.

A semeadura ocorreu no período de outubro/2016, realizada manualmente com auxílio de régua marcadoras. Em cada marcação, foram depositadas uma quantidade superior de sementes de sorgo de acordo com população final de plantas que se desejava, a fim de garantir a germinação de pelo menos o *stand* plântulas. O desbaste das linhas foi realizado aos 21 dias após a semeadura (DAS), deixando-se apenas a população de 7 a 10 plantas/m.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, formando um canteiro para o plantio das sementes em fileira dupla. Foram realizadas pequenas covas onde manualmente eram colocadas as sementes. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com parcelas subdivididas 2 x (4 x 5), com quatro repetições, sendo duas densidades de semeadura (100.000 e 142.290 plantas por hectare), quatro lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125 % da ETC) e cinco cultivares (forrageiras, IPA 467, IPA SF-15 e BRS Ponta Negra e; sacarinas, BRS 506 e BRS 511;). O espaçamento utilizado foi de fileiras duplas de 0,35 x 1,05 m e a parcela experimental foi constituída de seis linhas de 5 m de comprimento. A área útil foi formada pelas quatro linhas centrais e em 4 m de comprimento, onde foram coletados todos os dados.

Os tratamentos das lâminas de irrigação foram aplicados através de fitas de gotejamento, em que cada tratamento consistiu de diferentes lâminas de irrigação, aplicadas diariamente. As

lâminas definidas de acordo com a ETc e corresponderam a 290, 435, 580 e 725 mm.

O solo da área experimental foi classificado como um Argissolo (EMBRAPA, 2006). A caracterização química (Tabela 01) foi realizada tomando-se amostras simples com trado nas parcelas do experimento e ao final juntou-se fazendo amostras compostas na profundidade de 0-40. A caracterização física do solo foi realizada em três profundidades, 0-20, 20-40 e 40-60 cm (Tabela 02).

Tabela 01. Caracterização química do solo, Upanema/RN

Prof. (cm)	pH água	CE ds/m	M.O. g/kg	P ----- mg/dm ³ -----	K	Na	Ca	Mg	Al ----- cmolc/dm ³ -----	H+Al	SB
0-20	8,08	0,16	8,28	9,9	194,7	86,2	8,7	1,5	0,0	0,0	11,1

pH – em água é determinado na relação solo:água de 1:2,5.

P, Na e K – Extração por Mehlich-1 na relação solo:extrator 1:10

Tabela 02. Resultados da análise granulométrica do solo, Upanema/RN

Prof. (cm)	Argila	Silte ----- kg/kg -----	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina
0-20	0,17	0,10	0,74	0,26	0,47
20-40	0,17	0,12	0,71	0,33	0,37
40-60	0,17	0,11	0,72	0,33	0,39

Após a colheita do sorgo e realizada a devida pesagem para obter o rendimento por área (PROD), o colmo e folhas foram preparados para a produção dos briquetes.

A obtenção da matéria seca (colmo e folhas de sorgo) envolveu três etapas. A primeira etapa consistiu na trituração do material em uma forrageira utilizada para triturar material para alimentação de animais. Na segunda etapa, os materiais foram expostos ao sol, em estufa, por cerca de 48h. A terceira etapa consistiu da moagem de ambos os resíduos de biomassa conduzida em uma forrageira de 3 CV e com granulometria aproximada de 5 mm. (Figura 3).

A moagem do material vegetal foi realizada de forma a chegar o tamanho ideal para a fabricação dos briquetes, em seguida foram adicionados outros materiais visando a comparação da eficiência energética de cada tipo de briquete.

- Briquete convencional (Bconv): 100% do material foi composto de material vegetal (colmo + folhas);
- Briquete com cinzas (Bcinzas): 90% de material vegetal + 10% de cinzas
- Briquete com serragem de madeira (Bserr): 80% de material vegetal + 20% de serragem de madeira

Após a mistura e perfeita homogeneização de cada composição de briquete, o material

foi levado para a Usina de produção instalada no Campus de Ipanguaçu do IFRN (Briquetes Vale do Açu), onde em uma prensa hidráulica produzia os briquetes com as seguintes características: tamanho: 7 cm; diâmetro: 3,3 cm e peso: 55 g.

A briquetadeira utilizada neste estudo é fabricada em inox, com cilindro de força máxima de 5 toneladas e resistência elétrica atingindo até 150 °C. A pressão empregada na produção dos briquetes foi de 150 Bar e a quantidade de material foi limitada pelo volume do cilindro da briquetadeira utilizada.

Logo após a confecção os briquetes foram enviados para o Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER) em Natal/RN, onde foram determinados o Poder Calorífico Superior (PCS). As características analisadas foram: quantidade de material para fabricação de briquete, considerando as três composições de acordo com o tipo de briquete, e a produção de energia/ha, de acordo com o resultado do poder calorífico e depois transformado para megajoule (MJ/ha).

Quando o teste F foi significativo na ANOVA, realizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparar as médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas diferenças significativas para a produção (PROD) entre as variedades. A variedade IPA SF-15 produziu 75,33 t ha⁻¹ de massa verde e foi superior em relação a IPA 467, BRS Ponta Negra e BRS 511 (Tabela 3). Confirmando assim a sua excelente aptidão para produção de biomassa e que em apenas 108 DAP chegou-se a essa alta produção.

Já a BRS 506 também obteve destaque, pois além da alta produção de massa verde, 65,66 t ha⁻¹, que pode se converter em uma fonte de biomassa para produção de briquetes, é uma variedade sacarina e, portanto, é bastante interessante para produção de etanol.

A BRS Ponta Negra teve resultado semelhante para PROD em relação a BRS 506, produzindo 62,95 t ha⁻¹. Santos et al. (2007), afirmaram que os resultados obtidos em Apodi, Pedro Avelino e Cruzeta, RN, mostraram o potencial da variedade BRS Ponta Negra como competidora em relação às cultivares avaliadas (entre elas a BRS 506 e IPA 467), além de ser mais precoce e apresentar alto potencial de produção de matéria seca. Dentro desse contexto, pode-se mencionar que a variedade BRS Ponta Negra se aproxima mais do ideal para as condições citadas, semiárido nordestino.

A briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa. Em 1,0 m³ de briquetes contém pelo menos 5 vezes mais energia que 1,0 m³ de

resíduos. Isso se levando em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais (CTC, 2015).

Os resultados obtidos em São Gonçalo do Amarante/RN, por Santos et al. (2007), mostraram diferença significativa entre os tratamentos, destacando-se como mais produtivas, para rendimento de massa verde, as variedades BRS Ponta Negra e IPA 467, respectivamente, com 55,26 t ha⁻¹ e 55,20 t ha⁻¹ e, para massa seca, as variedades BR 506 (39,73 t ha⁻¹) e a BRS Ponta Negra (37,10 t ha⁻¹). Por outro lado, vale registrar que esse ensaio foi submetido a estresse hídrico durante o seu desenvolvimento vegetativo, pois a precipitação situou-se ao redor de 150mm.

A biomassa é utilizada para satisfazer uma variedade de necessidades energéticas, incluindo geração de eletricidade, veículos movidos a combustível e prover processos de aquecimento em instalações industriais (OZBAY et al., 2001).

A característica PROD foi a única característica em que a lâmina de 125% foi significativamente superior em relação as demais lâminas analisadas, resultado esse já esperado, com uma maior disponibilidade de água a tendência é de maior produção de massa verde.

Para as diferentes composições de briquetes não houveram diferenças significativas entre a lâmina de água de 100% e 125%. Portanto podemos afirmar que a lâmina de 100% deverá ser recomendada, devido ainda ter sido superior a lâmina de 75% (Tabela 4).

A BRS 511 foi a que apresentou a maior produção de Bconv, sendo superior a todas as demais variedades. A IPA SF-15 e a BRS Ponta Negra não diferiram entre si. Na conversão do briquete em energia de acordo com a produção de cada variedade, o resultado foi semelhante, exceto a variedade IPA SF-15 onde produziu 3,15 MJ/ha e não diferiu significativamente da variedade BRS 511, com 3,67 MJ/ha.

Para o Bcinzas e Bserr a variedade BRS 511 também foi superior as demais variedades. Conseqüentemente a produção de energia (MJ/ha), foi estatisticamente superior. Em termos de comparação, a energia produzida em MW/h em 1 hectare considerando a melhor fonte de briquete (Bserr) e a variedade que mais produziu (BRS 511) seria de:

$$4,44 \times 10^5 \text{ MJ/ha}/3600 \rightarrow 123,33 \text{ MWh} \times 0,35 \text{ (eficiência de conversão térmica/elétrica)} \rightarrow \mathbf{43,16 \text{ MWh}}$$

Uma cidade com 100 mil habitantes tem um consumo médio residencial por ano de 125 MWh. Como o ciclo do sorgo tem em média 100 dias, ao longo do ano daria para fazer 3 cultivos consecutivos, portanto, a energia produzida por apenas um hectare de sorgo ao longo

de um ano seria suficiente para atender a demanda residencial de uma cidade (já considerando as perdas de conversão de energia térmica para elétrica).

Em relação a radiação solar global que incide na terra, a média diária para a nossa região é de 23 MJ/m²/dia. Portanto durante o ciclo de 100 dias, incide em torno de 2,3 x 10⁷ MJ por hectare. Comparando a radiação solar global que incide na terra com a conversão da massa seca do sorgo em briquete, o poder calorífico obtido no briquete foi equivalente a 2% de toda radiação incidente.

Comparando as lâminas de irrigação em relação aos diferentes tipos de briquetes e a produção de energia que cada um gerou, não houveram diferenças significativas entre as lâminas de 100% e 125%.

Tabela 3. Valores médios para produção de massa verde (MV), briquete convencional (Bconv), briquete com cinzas (Bcinzas) e briquete com serragem (Bserr) e suas respectivas energia produzidas, obtidas a partir das variedades de sorgo avaliadas em Upanema/RN

Características	Variedades				
	IPA 467	IPA SF-15	BRS Ponta Negra	BRS 506	BRS 511
PROD	55,87 b	75,33 a	62,95 b	65,66 ab	58,17 b
Bconv (t ha ⁻¹)	11,37 c	16,45 b	16,71 b	12,90 c	24,34 a
Energia (MJ/ha) (x 10 ⁵)	1,75 c	3,15 ab	3,08 b	1,88 c	3,67 a
Bcinzas (t ha ⁻¹)	12,64 c	18,28 b	18,57 b	14,33 c	27,04 a
Energia (MJ/ha) (x 10 ⁵)	2,16 c	3,24 b	2,94 b	2,28 c	4,31 a
Bserr (t ha ⁻¹)	14,22 c	20,57 b	20,89 b	16,13 c	30,42 a
Energia (MJ/ha) (x 10 ⁵)	2,18 d	3,49 b	3,19 bc	2,62 cd	4,44 a

Tabela 4. Valores médios para produção de massa verde (MV), briquete convencional (Bconv), briquete com cinzas (Bcinzas) e briquete com serragem (Bserr) e suas respectivas energia produzidas, obtidas a partir das lâminas de irrigação avaliadas em Upanema/RN

Características	Lâminas			
	50%	75%	100%	125%
PROD	54,77 c	64,27 b	62,30 b	73,04 a
Bconv (t ha ⁻¹)	13,93 b	15,11 b	17,44 a	18,94 a
Energia (MJ/ha) (x 10 ⁵)	2,30 c	2,50 bc	2,87 ab	3,15 a
Bcinzas (t ha ⁻¹)	15,48 b	16,78 b	19,38 a	21,05 a
Energia (MJ/ha) (x 10 ⁵)	2,53 b	2,76 b	3,18 a	3,47 a
Bserr (t ha ⁻¹)	17,41 b	18,88 b	21,80 a	23,68 a
Energia (MJ/ha) (x 10 ⁵)	2,70 b	2,95 b	3,38 a	3,70 a

CONCLUSÕES

A variedade que gerou mais energia através de biomassa foi a BRS 511, com a vantagem de ser uma variedade sacarina com alta capacidade de produção de açúcares.

Apesar de haver diferença na produção de massa verde entre as lâminas de 100% e 125%, na produção de energia não foi encontrada. Portanto, a lâmina recomendada é de 100% da ETc, equivalente a 580 mm.

REVISÃO DE LITERATURA

CTC. Metodologias de Laboratório. Disponível em: <www.ctc.com.br>. Acesso em: 29 ago. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.

OZBAY, N.; PUTUN, A.E.; PUTIN, E. Structural analysis of bio oils pyrolysis and steam pyrolysis of cottonseed cake. *Journal Analytical and Applied Pyrolysis*, no 60, p. 89-101, 2001.

PARRELLA, R. A. da C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. *Agroenergia em Revista*, Brasília, ano 2, n. 3, p. 8-9, ago. 2011.

SANTOS, F. G.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E.; LIMA, J. M. P.; PITTA, G. V. E.; CASELA, C. R.; SILVA, FERREIRA, A. S. BRS Ponta Negra Variedade de Sorgo Forrageiro. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 6 p. (Comunicado Técnico, 145).

SOUSA, V.F. Adaptabilidade e estabilidade de Cultivares de sorgo sacarino. Janaúba, 2011. 53f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, 2001.

VIANNA JUNIOR, A. L; VIEIRA. L. S. R; Aproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais em sistemas termoeletricos e de cooperação.