

REVISTA
DESAFIOS

ISSN: 2359-3652

v. 11, n. 7, 2024. Dossiê Especial: Agroenergia Digital
https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_11

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E POTENCIAL
BIOENERGÉTICO DAS CULTIVARES DE SORGO
SACARINO E BIOMASSA**

*AGRONOMIC CHARACTERISTIC AND BIOENERGETIC POTENCIAL
OF SWEET SORGHUM CULTIVARS AND BIOMASS*

*CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y POTENCIAL BIOENERGÉTICO
DE CULTIVARES DE SORGO DULCE Y BIOMASAS*

Helio de Souza:

Mestre em Agroenergia Digital - UFT e Servidor do Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins - Ruraltins, Palmas-TO, Brasil. E-mail: hs.hs.souza@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-6308-3312>.

Flávia Lucila Tonani:

Docente do Programa de Pós-graduação em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas-TO, Brasil. E-mail: flaviatonani@uft.edu.br. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6598-5582>.

Domingos Bonfim Ribeiro dos Santos:

Mestre em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas-TO, Brasil.
E-mail: migos@mail.uft.edu.br. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4471-6890>.

Ana Carolina Santana de Araújo Souza:

Engenheira Agrônoma e Consultora na área agronômica, Palmas-TO, Brasil.
E-mail: carolsas1997@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2826-8365>.

Artigo recebido em janeiro de 2024 aceito em setembro de 2024 publicado em outubro de 2024

Como citar este artigo:

SOUZA, H. de; TONANI, F. L.; SANTOS, D. B. R. dos; SOUZA, A. C. S. de A. Características agronômicas e potencial bioenergético das cultivares de sorgo sacarino e biomassa sob baixa latitude. **Desafios. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**. Palmas, v. 11, n. 7, p. 1-22, out. 2024. DOI: https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_11

RESUMO

O *Sorghum bicolor* (L.) Moench, tipo C4 com características semelhantes à cana de açúcar é uma alternativa para a entressafra nas usinas, para produção de bioetanol e combustão em substituição ao bagaço de cana e outras fontes de energia nos diversos segmentos industriais. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico e o potencial bioenergético de cultivares de sorgo e biomassa no Tocantins. Os genótipos Malibu (S) (S), BRS 511 (S), Palo alto (B) (B) e cultivar BRS 716 (B) foram avaliados no Centro de Agrotecnologia de Palmas (TO) e o delineamento em blocos casualizados com 3 blocos, 4 tratamentos e 15 repetições, sendo a população média de 134 a 166 mil plantas/ha⁻¹. Os genótipos BRS 511 (S) com 3,51m e a cultivar BRS 716 (B) com 5,61m apresentaram maiores rendimentos de matéria verde (PMV) e matéria seca (MS), com 108,58 t/32,17 t MS/ha⁻¹ e 166,34 t/ha⁻¹ e 66,96 t.MS./ha⁻¹, respectivamente. A cultivar BRS511 (S) (S) se destacou pela alta produtividade de colmos (76,1%), volume de caldo com 46.690 L/ha⁻¹ e °Brix de 14,73, influenciando diretamente na produção de etanol. A cultivar BRS 716 (B) apresentou maior potencial para geração de calor com 18,43 MJ/kg⁻¹ de matéria seca e energia potencial de 1235,81 GJ/ha⁻¹.

Palavras-chave: Biomassa, Poder Calorífico, Genótipos, Energia Potencial

ABSTRACT

The *Sorghum bicolor* (L.) Moench type C4 plant with characteristics similar to sugar cane is an alternative for off-season in the plants, for the production of bioethanol and combustion in substitution of sugarcane bagasse and other energy sources in the various industrial segments. This work aimed to evaluate the agronomic performance and the bioenergy potential of sorghum and biomass cultivars in Tocantins. The genotypes Malibu (S) (S), BRS 511 (S), Palo alto (B) (B) and cultivar BRS 716 (B) were evaluated at the Agrotechnology Center in Palmas (TO) and a completely randomized block design with 3 blocks, 4 treatments and 15 replicates, the average population being 134 to 166 thousand plants / ha⁻¹. The BRS 511 (S) genotypes with 3.51m and the cultivar BRS 716 (B) with 5.61m showed higher green matter (PMV) and dry matter (DM) yields, with 108.58 t / 32.17 t DM / ha⁻¹ and 166.34 t / ha⁻¹ and 66.96 t DM./ha⁻¹, respectively. Cultivar BRS511 (S) (S) stood out for its high stalk productivity (76.1%), juice volume of 46,690 L/ha⁻¹ and °Brix of 14.73, directly influencing ethanol production. Cultivar BRS 716 (B) showed the highest potential for heat generation with 18.43MJ/kg⁻¹ of dry matter and potential energy of 1235.81 GJ/ha⁻¹

Keywords: Biomass, Calorific Power, Genotypes, Potential Energy.

RESUMEN

La planta sorgo bicolor (L.) Moench tipo C4 con características similares a la caña de azúcar es una alternativa para la contraestación en las plantas, para la producción de bioetanol y combustión en sustitución del bagazo de caña de azúcar y otras fuentes de energía en los diversos segmentos industriales. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico y el potencial bioenergético de cultivares de sorgo y biomasa en Tocantins. Los genótipos Malibu (S) (S), BRS 511 (S), Palo alto (B) (B) y cultivar BRS 716 (B) fueron evaluados en el Centro de Agrotecnología de Palmas (TO) y un diseño de bloques completamente al azar con 3 bloques, 4 tratamientos y 15 repeticiones, siendo la población promedio de 134 a 166 mil plantas/ha⁻¹. Los genótipos BRS 511 (S) con 3.51m y el cultivar BRS 716 (B) con 5.61m presentaron mayores rendimientos de materia verde (PMV) y materia seca (MS), con 108.58 t / 32.17 t MS / ha⁻¹ y 166.34 t / ha⁻¹ y 66.96 t DM./ha⁻¹, respectivamente. El cultivar BRS511 (S) (S) se destacó por su alta productividad de tallo (76,1%), volumen de jugo de 46.690 L/ha⁻¹ y °Brix de 14,73, incidiendo directamente en la producción de etanol. El cultivar BRS 716 (B) mostró el mayor potencial de generación de calor con 18,43 MJ/kg⁻¹ de materia seca y energía potencial de 1235,81 GJ/ha⁻¹.

Palabras Clave: Biomasa, Poder Calorífico, Genótipos, Energía Potencial

INTRODUÇÃO

As demandas por energias limpas e renováveis promovem um ambiente favorável ao mercado agrícola, através do desenvolvimento de fontes alternativas de energias a partir da biomassa como: os bicompostíveis, bioeletricidade e biogás.

O sorgo sacarino é uma planta anual da família Poaceae, que é utilizada principalmente como fonte de açúcar. É uma planta de ciclo curto e pode ser cultivada em diversos tipos de solo e clima. O rendimento de caldo do sorgo sacarino é um fator importante na produção de açúcar, pois quanto maior o rendimento, maior será a quantidade de açúcar obtida a partir da planta. Existem diversos fatores que podem afetar o rendimento de caldo do sorgo sacarino, como a qualidade do solo, as condições climáticas, as práticas de cultivo e a genética da planta.

De acordo Silva et. al. (2015), o sorgo sacarino *Sorghum bicolor* (L.) Moench, é uma planta de grande potencial produtivo, que pode atingir alturas de 3,0 a 3,5 metros e produzir massa verde de 50 a 80 toneladas por hectare em cerca de 120 dias.

A maior parte da massa verde é formada pelos colmos, que compreendem 70% a 80% da planta. Os colmos são suculentos e contêm uma grande quantidade de caldo com açúcares fermentescíveis, incluindo sacarose (8% a 13%), glicose (0,5% a 2,0%) e frutose (0,5% a 1,5%), que podem atingir concentrações superiores a 160 g/L, dependendo das condições ambientais, época de colheita e cultivar utilizada. O teor de açúcar pode variar entre 12 °Brix e 22 °Brix, dependendo da cultivar, época de colheita e sistema de produção.

O sorgo também pode ser utilizado como fonte de biomassa para produção de bioenergia. Para isso os cultivares de sorgo biomassa são mais indicados pelo maior rendimento de matéria.

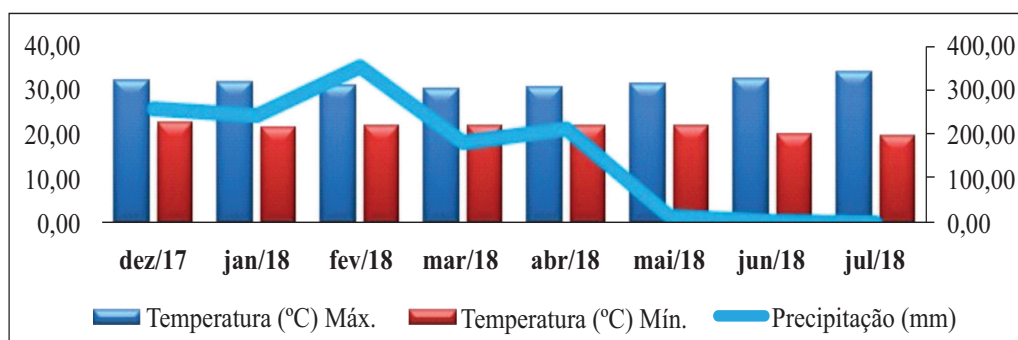
A expectativa positiva em relação ao potencial da cultura de sorgo é manifestada pelo interesse das empresas privadas produtoras de sementes em parcerias com as usinas sucroenergéticas, para inserção dessas cultivares durante o período de entressafra da cana de açúcar.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de sorgo sacarino na produção de bioenergia e com as informações geradas auxiliar os empresários rurais na escolha de matérias de sorgo em condições semelhantes à de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado em uma área de 997,12 m², localizada no Parque Agrotecnológico de Palmas (AGROTINS), no município de Palmas (TO), a 292m de altitude, com temperatura mínima e máxima média variando de 24,7 a 29,3 °C, e precipitação anual média de 1760 mm. O solo é classificado como latossolo vermelho-amarelo eutrófico (EMBRAPA 2018), apresentou a seguinte composição química: Os resultados da análise química do solo revelaram: 36% de argila, 2,10 % de silte e 61,90 % de areia. O pH (CaCl₂) de 4,4; 10,00 g dm⁻³ de MO; = 3,6mg /dm⁻³ de P (Mehlich-1); 0,26 cmolc dm⁻³ (ppm) de K⁺ ; 1,60 cmolc dm⁻³ de Ca²⁺ ; 0,70 cmolc dm⁻³ de Mg²⁺; 0,20 cmolc dm⁻³ de Al e 2.10 cmolc dm⁻³ de H+Al. O monitoramento dos parâmetros meteorológicos realizado localmente, durante o experimento está apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Monitoramento agroclimático de Palmas - TO entre o período de dezembro de 2017 e julho de 2018



Fonte: INMET (2018)

A saturação por base (V%) foi 54,94% e saturação por Al (m%), 7,25 %. De acordo com resultados da análise de solo, foi realizado a correção do solo para elevar o pH a 6,5 e a saturação por base para 65%. Na adubação de plantio, elevou-se os níveis de fósforo de 3,6 mg/dm³ para 10mg/dm³, usando 355 kg de superfosfato simples por ha⁻¹ e adubação de plantio diretamente no sulco utilizando 385 kg por ha⁻¹ de N P K da fórmula 5-25-15, sendo 50 g por metro linear, a 5 cm de profundidade.

No preparo da área experimental foram feitas duas arações e duas gradagens seguidas das demarcações das parcelas e abertura dos sulcos.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 tratamentos e 5 repetições (blocos), sendo estudado sorgo biomassa (B) e sacarino (S). Como biomassa o BRS716 (B) e Palo Alto (B) e como sorgo sacarino BRS 511 (S) e

Malibu (S). A parcela experimental foi composta por quatro linhas de 3,2 m de comprimento, espaçadas por 0,70 m de largura, totalizando 9,28 m².

Na semeadura utilizou-se uma semeadeira manual para grãos, regulada para distribuir aproximadamente 22 sementes por metro linear na parcela, sendo distribuídas uniformemente a uma profundidade de 4 cm, com espaçamento entre planta de 9 a 11 cm e entre linhas de 0,70m. Após 15 dias da emergência, foi realizado o desbaste das plantas reduzindo para 9 a 12 plantas por metro linear, o que resultou em uma densidade média de 150.000 plantas/ha e aos 25 dias após o plantio foi realizado a adubação de cobertura utilizando 600 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e 140 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Os parâmetros agrônômicos foram avaliados em 5 plantas, colhidas de forma aleatória, dentro da área útil da parcela, seguindo os critérios de avaliação proposto na metodologia descrita:

A porcentagem de emergência, determinada dentro da área útil da parcela, observando o número de plântulas viáveis. A altura de planta (AP): realizada um dia antes da colheita sendo amostradas nove plantas por parcelas, medida da superfície do solo ao ápice da panícula. O emborrachamento das panículas (EB) e o Florescimento (F) foi medido em número de dias da emergência até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela;

A produção de matéria verde (PMV) foi avaliada com a colheita e pesagem de todas as plantas cortadas da área útil de cada parcela, em balança digital e transformando o peso em t ha⁻¹, sem a panícula. A matéria seca (MS) expressa em t ha⁻¹, foi determinada a partir de cinco plantas colhidas da área útil e desfibradas em triturador de forragens retirando-se 400g para secagem em estufa de ventilação forçada por um período de 72 horas a uma temperatura de 65 °C.

O percentual de caule, folhas verde e folha seca foi feito com o corte das à 10 cm acima da superfície do solo, medindo de 1m² da parte central da parcela, determinando através da pesagem em (kg), logo após separado as partes da planta (%).

A avaliação da produção de caldo do sorgo foi realizada após maturação fisiológica dos grãos aos 96 dias pós do plantio, para os cultivares BRS 511 e Malibu (S), e aos 138 dias, para o Palo alto e BRS716 (B). A colheita foi realizada manualmente com o corte de três plantas na altura de 10 cm acima do solo e no centro da parcela; após o corte os colmos foram submetidos a uma limpeza sendo retiradas as folhas e as panículas e, então, prensados para extração do caldo. Avaliou-se o volume (l /t) com auxílio de uma proveta graduada

de 1000 ml. Foram retiradas amostras de cada cultivar, filtrados e colocados em tubo de ensaio graduado com tampa de 50 ml. Posteriormente, os cultivares foram congelados, a temperatura de $-20 \pm 2^\circ\text{C}$.

A determinação do °Brix, foi feito com as amostras previamente descongeladas até atingir 20°C . Em seguida o caldo foi filtrado em papel de filtro e submetido análise do teor de sólidos solúveis (Brix), utilizando um Refratômetro Digital Portátil de Bancada (0 a 45°Brix) a partir da sexta gota, de acordo com método proposto pela AOAC (2000).

As avaliações do pH do caldo do sorgo foram feitas com as amostras em temperatura ambiente 28°C . As leituras foram realizadas utilizando um medidor de pH digital portátil, após a sua aferição.

Os cálculos dos sólidos solúveis totais (Brix) seguiu a metodologia descrita por Finguerut (1985) aplicando-se a seguinte equação:

$$\text{Etanol (l/ ha}^{-1}\text{)} = (\text{BRIX (\%)} \cdot \text{VC (l/ ha}^{-1}\text{)} \cdot \text{RE (\%)} / \text{D}$$

Onde:

VC = Volume de Caldo;

RE = Rendimento de etanol = $0,4649 / \text{kg}$ de açúcares totais;

D = Densidade do etanol = $0,789$

Após avaliação agrônômica as plantas foram trituradas em um Triturador de forragem Tr 200 1,5 Cultivar Trapp, dessa biomassa coletou-se amostras de 400gr colocando-as em saco de papel tipo kraft e levadas para secagem em estufa de ventilação forçada por um período de 72 horas a uma temperatura de 65°C , após a secagem, o material foi novamente pesado numa balança digital para as avaliações do teor de MS.

O material recebeu uma padronização das partículas a partir do uso de liquidificador 800 W, o que facilitou o manuseio, reduzindo significativamente o tempo de preparo das amostras. Em seguida, as amostras foram levadas ao moinho do tipo “Willye” com peneiras de 1mm, onde procedeu-se à moagem para a redução do tamanho das partículas e padronização da superfície específica. As amostras foram acondicionadas em embalagens de plástico transparentes, etiquetadas conforme a ordem no bloco e armazenadas.

Para a determinação de cinzas, utilizou-se uma balança analítica, Pesou-se 2g da amostra e submeteu-se a queima em uma mufla à temperatura de $575 \pm 25^\circ\text{C}$, por

cinco horas. Após resfriamento dos cadinhos à temperatura ambiente registrou-se o peso final das amostras. O resultado do teor de cinzas é dado ao peso final da amostra carbonizada menos peso da amostra inicial.

O poder calorífico foi determinado de forma indireta, calculando - se a densidade de energia bruta do material como a correspondente do poder calorífico superior (PCS). O poder calorífico de um combustível indica a densidade energética do mesmo (UNE – EM 14918). Para tanto, o cálculo da densidade energética bruta que aqui denominamos poder calorífico superior (PCS), assumiu - se a constante de 19 MJ / kg de matéria orgânica a partir da citação descrita por Sundstal (1993). Assim, o cálculo do poder calorífico superior (PCS) foi realizado conforme a seguir:

$$(PCS \text{ MJ}) / (\text{kg Ms}) = (19,00 \text{ MJ}) / (\text{kg MO}) \times \text{M.O. (\%Ms)}$$

Onde:

PCS MJ = poder calorífico superior (Mega Joule);

MO = peso da matéria orgânica em kg;

MS = peso da massa seca em kg.

A partir da determinação do poder calorífico superior PCS MJ/kg, foi possível estimar a produção da energia potencial produzida em 1 hectare das cultivares avaliadas, sendo expressa em Giga joules (GJ), através da seguinte fórmula:

$$EP = (PCS \text{ MJ}) / \text{kg} \times \text{PMS (t/ha)}$$

Onde:

EP = energia potencial;

PCS MJ = poder calorífico superior (Mega Joule);

PMS = peso da massa seca em kg.

Foi realizada análise de variância para todas as características, ao nível de 5% de significância, após testada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro - Wilk. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Foi utilizado o programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

Para realização da análise de trilha utilizou o programa GENES (CRUZ, 2013), onde os dados tabulados foram submetidos à Anova e em seguida estimados os coeficientes de correlação e análise de trilha dos parâmetros, sendo PA a variável básica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância (Tabela 1) apresentou diferenças significativas entre os cultivares para todas as características avaliadas ($p < 0,05$). Porém, não houve diferenças significativas entre os blocos ($p > 0,05$).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância, para emborrachamento (EB), emissão de panícula (EP), enchimento de grãos (EG) e maturação dos grãos (MG), em dias.

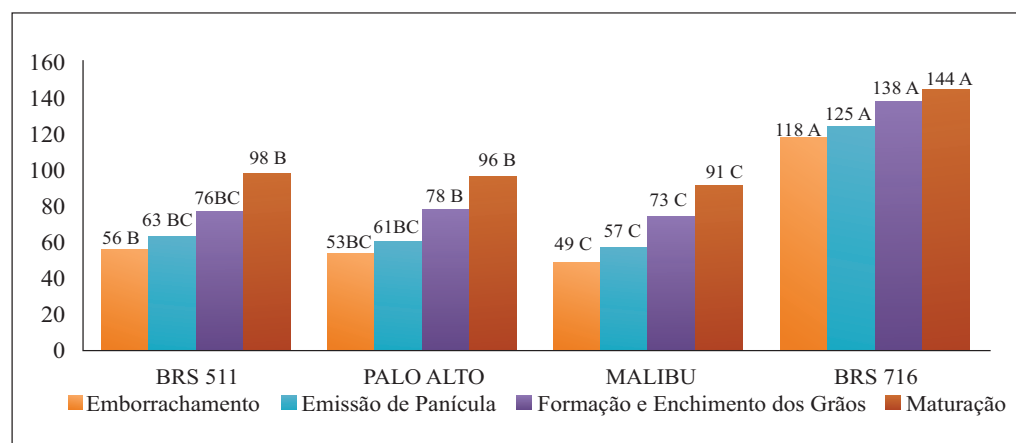
FV	GL	Quadrados Médios			
		EB(dias)	EP(dias)	EG(dias)	MG(dias)
Cultivares	3	5376.66*	5249.38*	4940.45*	3048.58*
Blocos	4	17.75 ^{NS}	10.55 ^{NS}	3.57 ^{NS}	3.62 ^{NS}
Erro	12	7.91	6.21	6.90	6.12
Média		69.00	76.55	91.35	107.25
C.V (%)		4.0	3.2	2.8	2.3

* e NS: Significativo e não significativo, respectivamente, ao nível de 5% probabilidade pelo teste F.

As médias dos parâmetros relacionados aos estádios reprodutivos são apresentadas na Figura 2.

Os resultados das pesquisas mostram que o cultivar BRS 716 (B) apresentou características reprodutivas mais tardias em comparação com outros cultivares testados, tendo um período de emborrachamento mais longo e uma maturação fisiológica dos grãos mais tardia, indo ao encontro das observações feitas por Batista (2016) e Lanza (2017).

Figura 2 - Número de dias para iniciar cada para emborrachamento (EB), emissão de panícula (EP), enchimento de grãos (EG) e maturação dos grãos (MG), em dias



.Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Trabalhos de pesquisa que avaliaram o período de floração de diferentes genótipos de sorgo em diferentes locais no Brasil e, May et al. (2013) estudaram 20 híbridos de sorgo biomassa e três variedades de sorgo biomassa em ensaios realizados em São Paulo e Minas Gerais e observaram que o número médio de dias para floração variava amplamente, de 100 a 148 dias, dependendo do local e do genótipo específico. Já Damaceno et. al. (2013) avaliaram genótipos de sorgo sacarino e biomassa e observaram períodos de floração entre 61 a 88 dias após a emergência. Castro et. al. (2014) também observaram o florescimento de quatro grupos de genótipos, sendo que a cultivar BRS655 apresentou a menor média de dias entre a semeadura e o florescimento de 50% da parcela (83,33 dias). Estes trabalhos confirmam que o período de floração de sorgo pode variar amplamente dependendo do genótipo e do ambiente.

A análise de variância (Tabela 2) apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os cultivares para todas as características. Por outro lado, não foram detectadas diferenças significativas entre os blocos ($p > 0,05$).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância, para altura de planta (AP) em metro (m), peso de planta (PP) em quilograma (kg^{-1}), produção de matéria verde (PMV) em tonelada ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), produção de seca (PMS) em tonelada ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), matéria seca (MS) em porcentagem (%).

FV	GL	Quadrados Médios				
		AP (m)	PP (kg)	PMV ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	PMS ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	MS (%)
Cultivares	3	6.64*	0.48*	9547.11*	2039.13*	182.15*
Blocos	4	0.01 ^{NS}	0.004 ^{NS}	35.59 ^{NS}	1.36 ^{NS}	1.47 ^{NS}
Erro	12	0.018	0.009	228.99	36.43	0.51
Média		4.14	0.71	103.87	37.53	34.90
C.V (%)		3.3	13.7	14.5	16.0	2.0

* e NS: Significativo e não significativo ao nível de 5% probabilidade pelo teste F respectivamente.

As características agrônômicas apresentadas na tabela 3 mostram que os cultivares de sorgo biomassa têm uma altura de planta mais elevada, variando de 4,45 a 5,62 m para o Palo Alto (B) e para O BRS 716, respectivamente. Os cultivares de sorgo sacarino BRS 511 e Malibu são plantas mais baixas, com 3,48 m e 3,02 m, respectivamente. A altura da planta pode influenciar o rendimento de energia, pois aumenta o rendimento de caule.

Anjos et al. obteve valores de 2,60 a 5,87 metros na safra 2018-2019, sendo que o híbrido BR516 apresentou uma altura média de 5,23 metros em condições de

cerrado. Oliveira et al. (2021) observou uma variação entre 2,24 a 3,27 metros, com uma média de 2,77 metros, enquanto May et al. (2013) observou uma média de 3,41 a 4,82 metros, dependendo do local. Lanza (2017) avaliou a cultivar BRS 716 e observou uma altura máxima de 3,70 metros aos 135 dias após a emergência, com uma taxa de crescimento de 24,71%. Cavalcante (2017) avaliou as cultivares de sorgo Palo alto (B) e Malibu (S) e verificou altura média de 4,52 metros para a cultivar biomassa e 2,71 metros para a cultivar sacarino.

Tabela 3 - Valores médios de altura de plantas (AP) em metro (m), peso por planta (PP) em quilograma (kg), produção de matéria verde em toneladas (t.ha⁻¹), matéria seca (MS) em porcentagem (%) e produção de matéria seca (PMS) em toneladas (t.ha⁻¹) dos cultivares de sorgo sacarino e biomassa.

Cultivares	AP (m)	PP (kg)	PMV (ton/ha)	PMS (ton/ha)	MS (%)
BRS 716	5.62 A	1.14 A	166.09 A	67.02 A	40.23 A
BRS511 (S)	3.48 C	0.74 B	100.72 B	33.98 B	29.67 B
PALO ALTO (B)	4.45 B	0.51 C	89.91 B	31.50 B	39.28 A
MALIBU (S)	3.02 D	0.46 C	72.18 B	21.00 B	29.41 B

(%) = Porcetagem; (S) = Sacarino; (B) = Biomassa;

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A produção de massa verde (PMV) em t.ha⁻¹, diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) entre os cultivares avaliados, com destaque para cultivar BRS 716, que apresentou 166.09 t.ha⁻¹, diferindo dos demais que forma semelhantes entre si ($p > 0,05$). A PMV do cultivar BRS 511 foi de 102.49 t.ha⁻¹, Palo alto (B), 74.70 t.ha⁻¹ e Malibu (S), 72.18 t.ha⁻¹, valores superiores aos encontrados por Souza et al (2010) que avaliaram 25 cultivares de sorgo sacarino, em Sete Lagoas - MG, Nova Porteirinha - MG, Mocambinho - MG, Goiânia-GO e Sinop - MT na safra agrícola 2009/2010 e verificaram diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os cultivares variando de 38,13 a 54,56 t.ha⁻¹ respectivamente.

Estudos que avaliaram a produção de massa seca (PMV) do híbrido de sorgo BRS 716. Oliveira (2016) constatou que o híbrido BRS 716 cultivado em Dracena, SP, apresentou valores de PMV que variaram de 74,46 t ha⁻¹ a 99,11 t ha⁻¹ durante o ciclo vegetativo. Anjos et al. (2022) observaram um PMV de 47,38 t ha⁻¹ para BRS 716 na safra 2018-2019.

Nascimento (2017) destaca que a maior produção de biomassa no sorgo BRS 716 avaliado em Vilhena-RO se deu na planta com panícula. Dados confirmados por Teixeira (2017) que observou maiores produtividades de massa fresca total (PMF) entre os estádios de emborrachamento e grão farináceo no cultivar BRS 511.

Cavalcante (2017), avaliou as cultivares Palo alto (B) 2562 e Malibu (S) 4010, através da marcha de absorção macro e micronutrientes durante os seus ciclos vegetativos e observou que a produção de massa fresca foi de 64.925 kg ha⁻¹ e 93.088 kg ha⁻¹, enquanto a produção de matéria seca por ocasião da colheita foi de 41.828 kg ha⁻¹ e 24.853 kg ha⁻¹ respectivamente.

Os resultados da produção de matéria seca (PMS) mostram que houve diferenças estatisticamente significativas entre os genótipos de sorgo avaliados. A cultivar BRS 716 apresentou a maior produtividade ($p < 0,5$) de PMS, sendo 219% superior à cultivar Palo Alto (B) e cerca de 208% e 319% mais produtiva do que as cultivares de sorgo sacarino BRS511 (S) e Malibu (S), respectivamente. A performance da cultivar BRS 716 sobressaiu por apresentar as melhores relações entre as partes da planta, o que refletiu positivamente no desempenho fisiológico e nos índices de produção e produtividade.

Segundo Batista et. al. (2017) em ensaios desenvolvidos com sorgo biomassa cultivar BD 7607 e cultivar BRS 716, consideram que os resultados com a produção de massa seca total estão diretamente relacionados aos índices de produção de massa fresca total obtidos no período da safra, em função principalmente da altura da planta e da duração do ciclo das cultivares, sendo 44 e 39 t.ha⁻¹ respectivamente.

De acordo May et. al. (2013) a porcentagem de matéria seca (MS) na biomassa de sorgo varia com o genótipo e a época de colheita. Por apresentar um maior ciclo sua colheita ocorre nos períodos mais secos de (abril a junho), onde as porcentagens de matéria seca são mais elevadas, variando de 35 a 55% e o ponto ideal após a maturação fisiológica no estágio de grão farináceo.

Cavalcante (2017) ressalta o desenvolvimento apresentado pela cultivar Malibu (S) 4010, mais de 1/3 do acúmulo total de MS (15.586 kg ha⁻¹) sendo que 37,3% ocorreu na fase de emborrachamento ao florescimento, num período total de 23 dias.

A análise de variância (Tabela 4) apresentou diferenças significativas entre os cultivares para todas as características ($p < 0,05$). Por outro lado, não houve diferenças significativas entre os blocos nos parâmetros (%) Colmo, (%) Folha verde e (%) Panícula ($p > 0,05$). Porém, o parâmetro (%) folha seca houve diferenças significativas entre os cultivares avaliados. ($p < 0,05$).

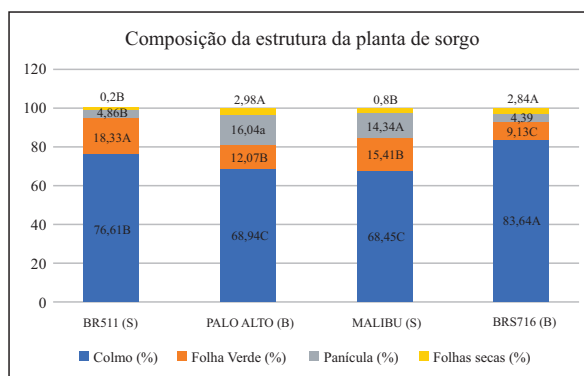
Tabela 4 - Resumo da análise de variância, para percentual de colmo (C) em (%), folha verde (FV) em (%), panícula (PNC) em (%), folha seca (FS) em (%).

FV	G L	Quadrados Médios			
		Colmo (%)	Folha Verde (%)	Panicula (%)	Folha Seca (%)
Cultivares	3	224.21*	522.54*	1101.94*	1259.46*
Blocos	4	0.97 ^{NS}	88.27 ^{NS}	4.68 ^{NS}	19.37*
Erro	12	4.49	35.02	8.26	1.00
Média		74.78	36.22	47.01	45.74
C.V (%)		2.8	16.3	6.1	2.2

* e NS: Significativo e não significativo ao nível de 5% probabilidade pelo teste F respectivamente.

As médias da composição estrutural da planta estão apresentadas Figura 3.

Figura 3 - Porcentagem de colmo, folha verde, panícula e folhas secas nas cultivares de sorgo sacarino e biomassa, no estágio final de maturação fisiológica dos grãos.



*Médias seguidas de mesma letra na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O cultivar BRS 716 apresentou maior rendimento de colmo (83,3%), folha verde (9,13%) média de 21 por planta, característica essencial para processo fotossintético, e menor relação folha haste 9%, reafirmando o seu potencial para produção biomassa.

Quanto a participação do percentual de panícula em relação aos componentes da planta, os cultivares Palo alto (B) e Malibu (S) se destacaram diferindo estatisticamente ($p < 0,5$), demonstrando ser superiores aos demais quanto a produção de grãos. Ribas (2014) descreve não ser vantajosa a maior participação

da panícula em cultivares de sorgo sacarino por haver no final do ciclo vegetativo, a translocação dos fotoassimilados armazenados no colmo na forma de sacarose para enchimento dos grãos e influenciando diretamente no rendimento de caldo e conseqüentemente a produção de etanol.

A análise de variância (Tabela 5) apresentou diferenças significativas entre os cultivares ($p < 0,05$) para todas as características avaliadas. Por outro lado, não foram detectadas diferenças significativas entre os blocos ($p > 0,05$), exceto o parâmetro rendimento de bagaço (RB).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância, volume de caldo (VC) em litro por hectare (l.ha^{-1}), rendimento de caldo (RC) em porcentagem (%), rendimento de bagaço (RB) em porcentagem (%), grau brix ($^{\circ}\text{B}$), rendimento de etanol (RE), em litro por hectare (l.ha^{-1}).

FV	GL	Quadrados Médios				
		VC (l.ha^{-1})	RC(%)	RB(%)	Brix ($^{\circ}\text{B}$)	R.Etanol (l.ha^{-1})
Cultivares	2	522.54*	1101.94*	1259.46*	12.74*	5.56*
Blocos	4	88.27 ^{NS}	4.68 ^{NS}	19.37*	0.92 ^{NS}	0.34 ^{NS}
Erro	8	35.02	8.26	1.00	0.84	0.122
Média		36.228	47.01	45.74	13.64	2.999
C.V (%)		16.33	6.11	2.20	6.74	11.68

* e NS: Significativo e não significativo ao nível de 5% probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As características industriais para potencial produção de etanol estão apresentadas Tabela 6, ressaltando que a extração de caldo no cultivar Palo alto não foram realizadas pois não apresentava calda no momento do corte. A cultivar BRS 511 (S) destacou-se para a maioria das características avaliadas para produção de etanol a partir do caldo do colmo, sendo semelhante ($p > 0,05$) a cultivar Malibu quanto o rendimento de caldo, brix e rendimento de etanol, provavelmente por serem cultivares sacarinos. Os resultados da BRS 716 (B) no que diz respeito ao rendimento de bagaço foram inversamente proporcionais ao rendimento de caldo, pois trata-se de um sorgo biomassa, diferindo dos demais ($p \leq 0,05$) pelo alto rendimento de bagaço (69,94%), enquanto os cultivares sacarinos tiveram média de rendimento de colmo de 44,41%. Devido a isso, pode ser uma alternativa viável para na geração de biocombustíveis 2G.

Tabela 6 - Médias dos parâmetros como: Colmo (%), volume de caldo (VC) em litro por hectare ($l.ha^{-1}$), rendimento de caldo (RC) em porcentagem (%), rendimento de bagaço (RB) em relação ao peso total da planta, Brix em grau brix ($^{\circ}B$), pH e rendimento de etanol (R.E) em litro por hectare ($l.ha^{-1}$)

CULTIVARES	VC ($l.ha^{-1}$)	RC (%)	RB (%)	Brix ($^{\circ}B$)	pH	R.E ($l.ha^{-1}$)
BRS511 (S)	47,499 A	57,69 A	42,31 C	15,01 A	5,04 A	4165,80 A
MALIBU (S)	27,558 C	53,48 A	46,52 B	14,02 A	4,97 B	2481,60 B
BRS716 (B)	33,626 B	30,06 B	69,94 A	11,89 B	5,05 A	2303,60 B

(S) = Sacarino; (B) = Biomassa; *Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O parâmetro de sólidos solúveis totais presentes no caldo expresso $^{\circ}Brix$, apresentou a maior concentração ($p < 0,05$) nos cultivares BRS 511 e Malibu (S), não diferindo-se estatisticamente entre si ao nível ($p \leq 0,05$) pelo teste Tukey.

Oliveira (2016) observou percentuais de sólidos solúveis totais (SST) de 4,88, 4,59 e 9,16 quando avaliou a cultivar BRS 716 aos 95, 125 e 162 dias após semeadura DAS, respectivamente.

Já Souza et al. (2011) relatou a influência da época do ano no valor de Brix e verificaram que a maior média entre as cultivares de sorgo sacarino ocorreu no outono quando há menor precipitação e maior demanda fisiológica por água pela planta, traduzindo em uma maior concentração dos sólidos solúveis totais no caldo.

Solano (2016) realizou um ensaio em Campos dos Goytacazes, RJ, onde avaliou diferentes cultivares de sorgo doce, dentre eles o BRS551 em diferentes doses de nitrogênio (0, 80, 160, 240 e 320 $kg ha^{-1} N$) e obteve valores de brix variando de 20,62 a 21,11%, respectivamente. Já Cavalcante (2017) obteve $^{\circ}Brix$ de 16,07 quando avaliou o híbrido Malibu (S) 5010.

O maior rendimento de etanol ($RE l.ha^{-1}$) por área foi obtido com o BRS511 com a maior produtividade cerca 4165,80 l/ha^{-1} diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$) sendo 51,07% superior quando comparado a Malibu (S) e 98,27% em relação ao BRS716. De acordo com Pereira Filho et. al. (2013), a concentração de açúcares no caldo é essencial para o processo de conversão em etanol e destacam-se os fatores limitantes à produtividade, como material genético, condições edafoclimáticas, período de colheita e eficiência de processos de transporte e de conversão industrial. Schimdt et al. 2022 avaliar a adaptabilidade do Sorgo Biomassa BRS 716 em diferentes estratégias de adubação no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul obteve produção variando entre 1 $^{\circ}$ e 2 $^{\circ}$ ano de cultivo com 16.000 litros a 30.000

litros de bioetanol/hectare e a produtividade de milho produziu 371 litros à 2.600 litros de bioetanol/hectare. Os altos teores de açúcares fermentescíveis presente no colmo do sorgo sacarino são semelhantes aos da cana de açúcar permitindo que seja utilizado nas usinas como uma fonte alternativa viável e complementar a produção de etanol durante o período de entressafra.

O desdobramento por análise de trilha (Tabela 7), para o sorgo sacarino o parâmetro principal produção de etanol (ET) apresentou efeito direto e correlação alta com o volume de caldo (VC). Para os demais parâmetros, com exceção do °Brix (B) e do pH, foram observadas correlações altas e significativas com ET, mas efeito direto baixo. Assim, para esses parâmetros o VC apresentou maior efeito indireto devendo, assim, ser utilizado em conjunto com os mesmos visando aumentar a produção de etanol. De acordo com França et al. (2014), o °Brix apresentou a maior correlação (0.85), porém efeito direto foi negativo sobre RET (-0,81), sendo influenciado diretamente pelo efeito indireto do teor de sacarose (POL) com (1.41), mostrando a importância da análise de trilha para os estudos e a escolha dos caracteres a serem mensuradas em um programa de melhoramento genético de plantas. Resultados semelhantes foram apresentados por Oliveira et al. (2017), apresentam inteiração entre o coeficiente de trilha e o de correlação fenotípica, indicando a contribuição dessa variável no incremento da produtividade etanol.

Tabela 7 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias (PMV, PMS, CLM, VC, RC, RB, °Brix e pH) sobre a variável básica (RET) em genótipos de sorgo sacarino. Palmas - Tocantins, 2018.

Descrição dos Efeitos		Estimativas das Variáveis							
		PMV	PMS	CLM	VC	RC	RB	°Brix	pH
Efeito direto	RET	0.67	-0.75	-0.31	2.09	0.01	1.04	0.27	0.35
Efeito indireto	Via PMV	-	0.64	0.40	0.60	0.46	-0.63	0.22	0.40
	Via PMS	-0.73	-	-0.48	-0.72	-0.61	0.69	-0.19	-0.45
	Via CLM	-0.18	-0.20	-	-0.15	-0.16	0.12	-0.19	-0.23
	Via VC	1.90	1.99	1.01	-	1.53	-2.00	-0.06	0.88
	Via RC	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-0.01	0.01	0.01
	Via RB	-0.97	-0.97	-0.41	-1.00	-0.75	-	-0.01	-0.52
	Via °B	0.91	0.68	0.16	0.01	0.40	-0.01	-	0.15
	Via pH	0.21	0.21	0.26	0.15	0.26	-0.17	0.20	-
Efeito Total		0.97	0.99	0.64	0.96	0.76	-0.93	0.23	0.58
Determinação (R ² 0,123)		0.99							
Efeito residual (ρ ^ε)		0.05							

PMV= produção de matéria verde (t.ha⁻¹), PMS= produção matéria seca (t.ha⁻¹), CLM = colmo(%)MV, VC = volume de caldo (L.ha⁻¹), RC = rendimento de caldo (%)MV, RB = rendimento de bagaço (%)MV, °Brix = grau brix, pH, RET = rendimento de etanol (L.ha⁻¹).

O desdobramento por análise de trilha (Tabela 8), para o sorgo biomassa, parâmetro principal produção de etanol (ET) apresentou efeito direto e correlação alta negativa com a produção de matéria seca (PMS). Para os demais parâmetros, com exceção do °Brix e do pH, foram observadas correlações altas e significativas com RET, mas efeito direto baixo. Assim, para esses parâmetros a PMS apresentou maior efeito indireto devendo. Assim, pode ser utilizado em conjunto visando aumentar a produção de etanol.

Tabela 8 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias (PMV, PMS, CLM, VC, RC, RB, °Brix e pH) sobre a variável básica (RET) em genótipos de sorgo biomassa. Palmas - Tocantins, 2018.

Descrição dos Efeitos		Estimativas das Variáveis							
		PMV	PMS	CLM	VC	RC	RB	°Brix	pH
Efeito direto	RET	-0.38	-2.87	1.54	0.56	-1.60	1.33	0.29	0.66
Efeito indireto	Via PMV	-	-0.37	0.35	-0.38	0.37	-0.37	-0.22	-0.21
	Via PMS	-2.87	-	2.63	-2.87	2.82	-2.81	-1.97	-1.74
	Via CLM	-1.44	-1.41	-	-1.42	1.51	-1.51	-1.42	-0.36
	Via VC	0.56	0.56	-0.51	-	-0.55	0.55	0.38	0.33
	Via RC	1.59	1.57	-1.57	1.57	-	1.60	1.31	0.70
	Via RB	1.31	1.30	-1.30	1.30	-1.33	-	1.09	0.57
	Via °B	0.21	0.20	-0.26	0.20	-0.23	0.24	-	-0.48
	Via pH	0.37	0.40	-0.15	0.39	-0.28	0.28	0.10	-
Efeito Total		-0.98	-0.99	0.86	-0.99	0.95	-0.94	-0.59	0.69
Determinação ($R^2_{0,123}$)		0.99							
Efeito residual ($p^{\wedge}e$)		0.001							

PMV= produção de matéria verde ($t.ha^{-1}$), PMS= produção matéria seca ($t.ha^{-1}$), CLM = colmo(%)MV, VC = volume de caldo ($L.ha^{-1}$), RC = rendimento de caldo (%)MV, RB = rendimento de bagaço (%)MV, °Brix = grau brix, pH, ET = rendimento de etanol ($L.ha^{-1}$).

A análise de variância (Tabela 9) apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os cultivares para todas as características bioenergéticas. Por outro lado, não foram detectadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os blocos. O coeficiente de variação variou de 6,1 % a 37,3 %.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância, para cinzas (CZ) em porcentagem (%), poder calorífico inferior (PSI) em mega joule por quilo (MJ.kg), poder calorífico superior (PCs) em mega joule por quilo (MJ.kg), produção de matéria seca (PMS) em toneladas por hectare (t.ha⁻¹), energia potencial (EP) em giga joule por hectare (GJ/ha⁻¹).

FV	GL	Quadrados Médios			
		CZ (%)	PCs (%)	PMS (t.ha ⁻¹)	EP (GJ/ha ⁻¹)
Cultivares	3	1.16*	0.047*	2033.18*	700156*
Blocos	4	0.06 ^{NS}	0.001 ^{NS}	0.86 ^{NS}	295,68 ^{NS}
Erro	12	0.09	0.003	34.06	11005.19
Média		3.71	18.29	15.51	689.68
C.V (%)		8.4	6.1	37.6	15.2

* e NS: Significativo e não significativo ao nível de 5% probabilidade pelo teste F respectivamente.

As médias para o potencial de bioenergético estão apresentadas Tabela 10. Os resultados obtidos para os teores de cinzas entre as cultivares avaliadas variaram de 2,99 a 4,04%, diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$). Esses valores são inferiores aos encontrados por Batista (2017) com as cultivares BRS 511 e BRS 716 quando as médias foram 6,31 e 6,50 % respectivamente. Oliveira (2016) também verificou resultados semelhantes com a cultivar BRS716 (B), sendo os teores de cinzas na matéria seca entre 5,8 +/- 1,7%. Os genótipos BRS 511(S), Malibu (S) e Palo alto (B) apresentaram os maiores percentuais de cinzas variando de 3,88 a 4,06% e, o material biomassa BRS 716 (B) obteve de 2,97 %, o resultado apresentado é inversamente proporcional a energia gerada através do poder calorífico superior (PCS), ou seja, quanto menor o teor de cinzas maior produção de energia entre as cultivares.

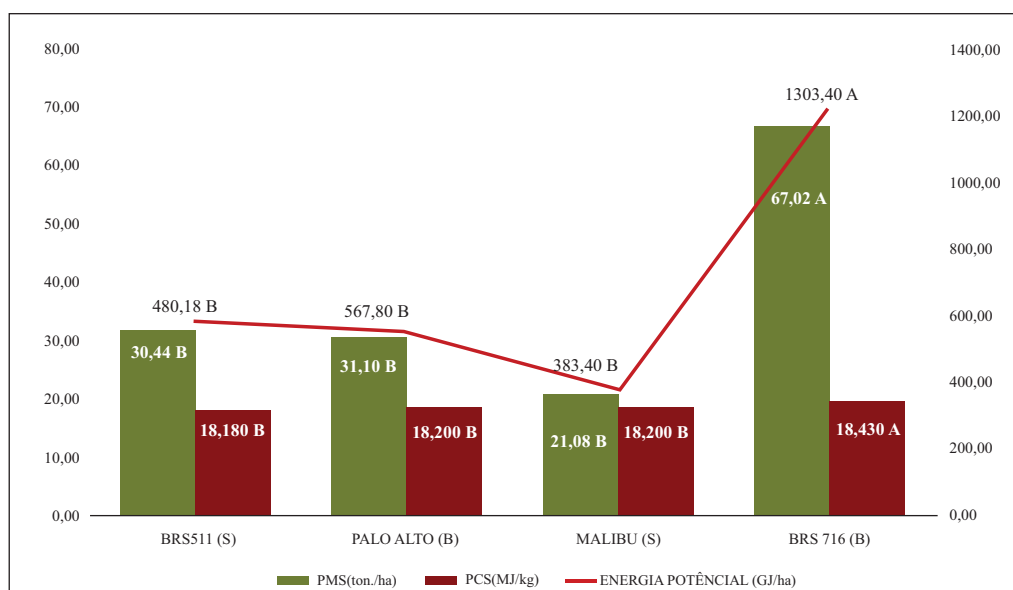
O poder calorífico superior (PCS), foi avaliado no período de maturação fisiológica dos grãos (ponto farináceo). Para os cultivares de sorgo sacarino e biomassa houve variação de 18,18 a 18,42 MJ/kg⁻¹ de matéria seca (Figura 4), diferindo-se estatisticamente ($p \leq 0,05$), com a cultivar BRS 716 (B) apresentando melhor desempenho entre as cultivares avaliadas.

Teixeira (2017) observou o BRS 716 ao longo dos estádios fenológicos da e obteve poder calorífico superior (PCs) entre 4363 a 4464 kcal kg⁻¹ de matéria seca Verificou também que o maior PCs foi registrado no estágio de grão farináceo com 4464 kcal kg⁻¹, cujos resultados são semelhantes aos obtidos no presente estudo. Segundo Cavalcante (2017) durante o período da colheita com o híbrido Palo alto um poder calorífico de 3.620 kcal kg⁻¹.

Costa; Medeiros (2017), observou que o sorgo biomassa apresentou poder calorífico 1,8% maior que a cana-de-açúcar. Ressaltam ainda, que a realização de duas safras anuais do sorgo biomassa pode resultar na produção de até 50% a mais de energia por hectare.

As médias para energia potencial estão apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Apresenta a composição bioenergética dos cultivares sacarino (S) e Biomassa (B), PMS ($t \cdot ha^{-1}$), PCs (MJ/kg^{-1}), EP (GJ/ha^{-1}) no estágio final de maturação fisiológica dos grãos.



PMS – Produção de matéria seca PCs – Poder calorífico superior EP- Energia Potencial; $t \cdot ha^{-1}$ – Tonelada por hectare MJ/kg^{-1} Mega Joule por quilo $GJ \cdot ha^{-1}$ – Giga Joule. *Médias seguidas de mesma letra na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O cultivar biomassa BRS 716 apresentou maior energia potencial (EP) $1303,40 GJ \cdot ha^{-1}$, diferindo-se estatisticamente ao nível de ($p \leq 0,05$) pelo teste Tukey, onde desempenho energético dessa cultivar em relação aos demais genótipos foram 2,29, 2,71 e 3,40 vezes maior que a cultivar Palo alto (B) (B), cultivar BRS511 (S) e Malibu (S) (S) respectivamente. Em relação às partes da planta entre os cultivares avaliados o BRS 716 apresentou o melhor rendimento de colmo em média 83,64% da matéria seca total e energia potencial de $1.090,16 GJ \cdot ha^{-1}$, semelhantes resultados obtidos por Teixeira (2017) quando avaliou a cultivar BRS 716 e verificou que os maiores valores de energia potencial (EP), ocorreram no estágio de grão farináceo, com $1.388,66 GJ \cdot ha^{-1}$, sendo 6,54 % sendo superior ao resultado obtido nesta pesquisa.

Batista (2016) avaliou as cultivares de sorgo BRS 511 e BRS 716 e verificou a produção de energia potencial por hectare, de 464 e 654 GJ/ha⁻¹ respectivamente, esses resultados são bem inferiores aos obtidos com do presente estudo, que variaram entre 3,33 e 50,17 % respectivamente. O autor enfatiza a importância do sorgo em comparação ao bagaço da cana-de-açúcar, que é um resíduo amplamente utilizada na geração de bioeletricidade em parques industriais no Brasil, e ressalta que seu o potencial bioenergético como sendo uma excelente alternativa ao setor energético.

CONCLUSÕES

Os cultivares BRS 716 e BRS 511 são potencialmente promissores para cogeração de energia e para produção de etanol, respectivamente sob condições de clima de cerrado uma excelente alternativa ao setor energético. Porém, convém ressaltar que o BRS 511 é mais indicado para produção de bioetanol de primeira geração já o BRS 706 demonstrou pode ser utilizado na produção de bioetanol de 1G e 2G.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES, que por meio do Projeto PROCAD-AM, viabilizou a realização desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ANJOS, J. de R. N. dos.; MALAQUIAS, J. V.; PARRELA, R. A. da C. **Avaliação de caracteres agronômicos de híbridos de sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* L. Moench) em Planaltina, DF: Safra 2018–2019**. Planaltina: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 398). Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183363102>>. Acesso em: 20 mar. 2023.doi 10.1016/j.agee.2018.08.024
- AOAC. **Official methods of analysis**. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. Methods 925.10, 65.17, 974.24, 992.16. 2000.
- BATISTA, V. A. P. **Avaliação bioenergética de sorgos biomassa, sacarino e forrageiro**. 2016. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG. 2016.
- BATISTA, V. A. P.; BARROS, A. F.; RIBEIRO, P. M.; BENGALA, P. S. P.; PIMENTEL, L. D. Produtividade de sorgo biomassa, sacarino e forrageiro em duas épocas de corte. In: **Anais... XI Workshop em Agroenergia:matérias primas**. Centro de Convenções da Cana. Ribeirão Preto-SP. 2017. Disponível em: <http://www.infobibos.com/anais/agroenergia/11/Resumos/ResumoAgroenergia_2017_0015.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.
- Jefferson Cavalcante, T.; Castoldi, G.; Ribeiro Rodrigues, C.; Martins Nogueira, M.; Maria Albert, A. (2018.) Marcha de absorção de macro e micronutrientes em sorgo biomassa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 48, n. 4, p. 364–373. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/51874>. Acesso em: 20 mar. 2023..
- CASTRO, C. E. C. de; RAMALHO, M. A. P.; CAMARGOS, R. B. Consequências da contaminação na produção de sementes de híbridos duplos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 3, v. 364-370. 2014. DOI : 10.1016/j.agee.2018.08.024 Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183363102>>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- COSTA, A. R. F. C. da; MEDEIROS, J. F. de. **Vista da água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro**. 2017. Disponível em: <<http://www3.ufrb.edu.br/seer/index.php/wrim/article/view/1565/801>>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, 2013. - doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/21251>>. Acesso em: 11 jan. 2023.
- DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, R. A. da C.; SOUZA, V. F. de.; SIMEONE, M. L. F.; SCHAFFERT, R. E. **Análise morfoagronômica e bioquímica de um painel de sorgo energia para características relacionadas à qualidade da biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa. 2013. (Circular Técnica Embrapa Sete Lagoas, 190). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101874/1/circ-190.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. amp. Brasília: Embrapa Solos. 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042. 2011.
- FINGUERUT, J.; LEIMER, K. H.; LUCREDI, H. A., ROSSEL, C. E. V. Estequiometria da fermentação alcoólica a partir de caldo de cana. **Boletim Técnico Copersucar**, v. 33, p. 45-48. 1985.

LANZA, A. L. L. **Avaliação forrageira do sorgo biomassa (BRS 716) em diferentes épocas de corte e estratégias de adubação em cobertura.** 2017. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós graduação em Ciências Agrárias. Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas. 2017.

MAY, A.; SILVA, D. D. da; SANTOS, F. C. dos. **Cultivo do sorgo biomassa para cogeração de energia elétrica.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2013. 65p.

MAY, A.; DURAES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol Sistema BRS1G - Tecnologia Qualidade Embrapa.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2012. 118p

NASCIMENTO, P.; TARDIN, F. D.; CARDOSO, W. S.; SILVA, V. Q. R da.; BARELLI, M. A. A. Desempenho agrônomico de genótipos de sorgo biomassa no Cone Sul de Rondônia In: **Anais...** [Recurso eletrônico] Edição especial dos trabalhos premiados no II Congresso Internacional de Biomassa; organizado por: SANTOS, F. et al. Porto Alegre: Editora da UERGS. 2017.

OLIVEIRA, I. C. M.; RIBEIRO, P. C. de O.; SILVA, R. A. da.; VASCONCELOS, G. P.; PARRELLA, R. A. da C.; PARRELLA, N. N. L. D. Análise de trilha para componentes da produção de etanol em híbridos de sorgo sacarino. In: **Anais...** Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 9. 2017. 138p.

OLIVEIRA, T. C. de; SILVA, V. P da; ALMICI, M. S.; MORAIS, L. H. P. Componentes de rendimento em genótipos de sorgo sacarino. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15965>

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. da C.; MOREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F. de; CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Rev. Bras. Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 118-127. 2013. Doi dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n2p118-127.

PEREIRA, A. C. S.; ANJOS, A. S. dos; OLIVEIRA, E. P. de; SIQUEIRA, T. A. de; ALMICI, M. da S.; SILVA, V. P. da; TARDIN, F. D.; BARELLI, M. A. A. Performance agrônômica de sorgo sacarino avaliados na região de Cáceres-Mato Grosso. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1145182>>

SILVA, A. L.; TARDIN, F. D.; ROTTA, W. G.; SILVA, A.; PERES, L.; BARROS, F.; COSTA, A. G.; RIBEIRO, J. R. D.; PARRELLA, R. A. **Caracterização de cultivares de sorgo biomassa visando a geração de energia para a região Norte de Mato Grosso.** 2015. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1030718/1/Caracterizacaocultivares3.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SOUZA, V. F. de; PARRELLA, R. A.; PORTUGAL, A. F.; TARDIN, F. D.; LACERDA, N. N. L. D.; SCHAFFERT, R. E. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em duas épocas de plantio no norte de Minas Gerais visando a produção de etanol. In: **Anais...** Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 6. Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. (Búzios): SBMP, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40600/1/Desempenho-cultivares.pdf>> Acesso em: 20 set. 2018.

SOLANO, C. S. **Avaliação agroeconômica de quatro cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de etanol em Campos dos Goytacazes - RJ.** 2016. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Energia Agrícola. Campos dos Goytacazes. Rio de Janeiro. Brasil. 2016.

SUNDSTEL, F. Energy systems for ruminants. **Icel. Agr.Sci.**, v. 7, p. 11-19. 1993.

SCHIMDT, K. E.; GUERRA, D.; SILVA, D. M. da.; REDIN, M.; BERTICELLI, R.; LANZANOVVA, M. E.; LARA, D. M. de.; SANTOS, F. A. Diferentes tipos de adubação no sorgo biomassa BRS 716 e estimativa para a produção de biocombustível no noroeste do Rio Grande do Sul. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30207>

TEIXEIRA, T. P. M. **Estudo da maturação e ponto de colheita em cultivaresde sorgo destinados à bioenergia**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pos- Graduação em Fitotecnia. Viçosa. 2017.