

Planaltina, DF / Agosto, 2025

Avaliação agronômica de híbridos experimentais de sorgo biomassa em Planaltina, DF, safra 2023/2024

José de Ribamar Nazareno dos Anjos⁽¹⁾, Juaci Vitória Malaquias⁽²⁾, Francisco Duarte Fernandes⁽¹⁾ e Rafael Augusto da Costa Parrella⁽³⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ⁽²⁾ Analista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília /
Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
www.embrapa.br/cerrados
www.embrapa.br/fale-conosco/
sac

Comitê Local de Publicações
Presidente
Eduardo Alano Vieira

Secretária-executiva
Lidiamar Barbosa de Albuquerque

Membros
Alessandra de Jesus Boari
Alessandra Silva G. Faleiro
Angelo Aparecido Barbosa Sussel
Fábio Gelape Faleiro
Fabiola de Azevedo Araujo
Giuliano Marchi
Jussara Flores de Oliveira Arbues
Karina Pulrolnik
Maria Emília Borges Alves
Natália Bortoleto Athayde Maciel

Edição executiva e
revisão de texto
Jussara Flores O. Arbues

Normalização bibliográfica
Marilaine Shaun Pelufe
(CRB-1/2045)

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

Resumo – O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial produtivo de 25 híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), incluindo 21 híbridos experimentais de sorgo biomassa desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo e quatro híbridos comerciais usados como testemunhas: BRS 716, tipo biomassa; BRS 658, tipo forrageiro; AGRI002E, tipo biomassa e Volumax, tipo forrageiro, no Distrito Federal. O experimento de campo foi conduzido na Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, DF, durante a safra 2023/2024, em Latossolo Vermelho distrófico argiloso, utilizando um delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições. Os parâmetros analisados foram: florescimento, altura das plantas, peso de massa verde, produção de matéria seca total e percentagem de matéria seca. A significância estatística dos tratamentos foi avaliada por meio de análise de variância (Anova), que revelou diferenças significativas entre os híbridos para os parâmetros analisados ($P < 0,05$). Após a confirmação das suposições da Anova, como a normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, as médias foram comparadas utilizando o teste de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância. Na produção de massa verde, formaram-se dez grupos, com médias variando entre 91,37 t ha⁻¹ (202327B006) e 22,39 t ha⁻¹ (BRS 658). Para a produção de matéria seca foram identificados nove grupos com médias variando de 29,40 t ha⁻¹ (CMSXS7052); 28,30 t ha⁻¹ (CMSXS7100) e 27,73 t ha⁻¹ (202327B006) para o grupo de maior produtividade, e 5,75 t ha⁻¹ (BRS 658) e 5,30 t ha⁻¹ (Volumax) para o grupo de menor produtividade. O ciclo dos híbridos variou de 79 dias (BRS 658) a 142,67 dias (CMSXS7067).

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, produtividade de biomassa, Cerrado.

Agronomic evaluation of experimental biomass sorghum hybrids in Planaltina, DF, Brazil, Season 2023/2024

Abstract – The aim of this study was to evaluate the potential of 25 sorghum hybrids (*Sorghum bicolor* L. Moench), including 21 experimental biomass hybrids, developed by the Embrapa Maize and Sorghum and four commercial hybrids used as controls: BRS 716, biomass type; BRS 658, forage type;

AGRI002E, biomass type and Volumax, forage type, in the Federal District (DF), Brazil. The field experiment was conducted at Embrapa Cerrados, located in Planaltina, DF, in a Clayey Oxisol (Distrophic Red Latosol). Planting was carried out on 11/21/2023, in a randomized block design with three replications. The traits of days of flowering, plant height, fresh biomass yield, total dry mass yield and percentage of dry matter were evaluated. The statistical evaluation of the significance of the treatments was done by analysis of variance (Anova), which indicated a significant difference ($P < 0.05$) among the hybrids for the evaluated traits. The Scott-Knott test was performed at 5% significance for grouping the means. Regarding the fresh biomass yield trait, the formation of ten groups were observed with averages among genotypes ranging between 91.37 t ha⁻¹ (202327B006) and 22.39 t ha⁻¹ (BRS 658). Nine groups of dry mass yield were observed, with averages of 29.40 t ha⁻¹ (CMSXS7052), 28.30 t ha⁻¹ (CMSXS7100) and 27.73 t/ha (202327B006) for the highest yielding group and 5.75 t ha⁻¹ (BRS658) and 5.30 t ha⁻¹ (Volumax) for the lowest yielding group. The cycle of the hybrids ranged from 79 days (BRS 658) to 142.67 days (CMSXS7067).

Index terms: *Sorghum bicolor*, biomass yield, Cerrado.

Introdução

A energia é um setor fundamental para o desenvolvimento socioeconômico global. Por isso sua demanda é crescente, notadamente nas regiões em desenvolvimento, a exemplo da China, Índia e sudeste asiático (Nate et al., 2021; Mara et al., 2022). Essa demanda pressiona as reservas de combustíveis fósseis, que, por sua característica de finitude e por razões geopolíticas do petróleo podem ter seu fornecimento reduzido, resultando em insegurança energética (Mehmood et al., 2017).

Ademais, o consumo constante de combustíveis fósseis aumenta a emissão de CO₂ e impacta negativamente as mudanças climáticas (Mehmood et al., 2017). Ou seja, o aumento do uso de energia não renovável representa uma ameaça ao ecossistema (Adebayo; Rjoub, 2022). Por consequência, a necessidade de desenvolvimento de novas fontes de fornecimento de energia é crescente também, notadamente para reduzir a dependência mundial da queima de combustíveis fósseis (Rocateli et al., 2012; Suryaningsih; Irhas, 2014). Nesse cenário de demanda, insere-se a necessidade de uso de fontes renováveis, incluindo a biomassa, para a geração

de energia no Brasil e em outros países, tanto para a produção de etanol de segunda geração quanto para a cogeração de energia elétrica, servindo também como fonte alternativa para outros fins, entre eles a produção de vapor na industrialização (Silva et al., 2016; Silva et al., 2018; Alper et al., 2020; Morales, et al., 2024). Nesse contexto, sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L) Moench] insere-se como matéria-prima promissora, notadamente por se tratar de uma cultura anual com capacidade de elevada produtividade de biomassa (Weng et al., 2008; Rocateli et al., 2012), podendo contribuir também para mitigar os impactos das mudanças climáticas.

As principais vantagens do sorgo biomassa como fonte de energia são: alto rendimento energético por hectare; totalmente mecanizável (do plantio à colheita); é estabelecido por sementes; possui sistemas de produção agrícola conhecidos; tem um ciclo curto (5 a 6 meses); apresenta tolerância à seca (Parrella, 2011); demonstra versatilidade como fonte de carboidratos (etanol de segunda geração) e lignocelulose para combustão; tem alto poder calorífico; pode ser consorciado com capins para produção de silagem; apresenta elevada variabilidade genética e ampla adaptabilidade (Stefaniak et al., 2012; Castro, 2014; Vendruscolo et al., 2016; Retore et al., 2024).

No Brasil, devido a condições hidrológicas desfavoráveis no passado, houve redução no fornecimento de energia gerada por usinas hidroelétricas (May et al., 2016), com o consequente aumento na geração térmica, em cujas fontes inclui-se o sorgo biomassa, que pode ser colhido na entressafra da cana-de-açúcar. Diante da demanda crescente por culturas energéticas, e com o intuito de atender à característica de alto rendimento energético por hectare, o programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo desenvolveu híbridos de sorgo biomassa sensíveis ao fotoperíodo, com potencial superior a 50 t ha⁻¹ de massa verde (Parrella et al., 2011). Nesse tipo de sorgo, a floração tardia e o longo período de crescimento vegetativo são características essenciais para o acúmulo de biomassa (Rooney et al., 2007; Murphy et al., 2014). O presente trabalho teve como objetivo avaliar a adaptação geográfica e climática, e o potencial de produção de 25 híbridos de sorgo, incluindo 21 híbridos experimentais de sorgo biomassa desenvolvidos pelo programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo (PMEMS), nas condições edafoclimáticas do Distrito Federal.

Material e métodos

O experimento de campo foi instalado em 21/11/2023, no campo experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, em Latossolo Vermelho distrófico argiloso, coordenadas geográficas S15°36.194' e W047°43.048; altitude 1.017 m, em um delineamento de blocos ao acaso com três repetições. Foram avaliados 25 híbridos de sorgo: 21 experimentais de sorgo biomassa desenvolvidos pelo PMEMS e quatro híbridos comerciais usados como testemunhas: BRS 716, tipo biomassa (PMEMS); BRS 658, tipo forrageiro (PMEMS); AGRI002E, tipo

biomassa (Agricomseeds) e Volumax, tipo forrageiro (Agrocere).

Durante o período de condução do experimento, de novembro de 2023 a junho de 2024, foram registradas as seguintes variáveis climáticas na Estação Climatológica Principal da Embrapa Cerrados (Planaltina, DF): a média das temperaturas mínimas foi de 17,2 °C, a média das temperaturas médias – 22,5 °C e a das temperaturas máximas – 29,7 °C (Figura 1); a precipitação média diária foi de 4,15 mm e a precipitação máxima – 85,7 mm; a umidade relativa máxima foi de 93,7%, a média – 72,8% e a mínima – 43,6% (Figura 2).

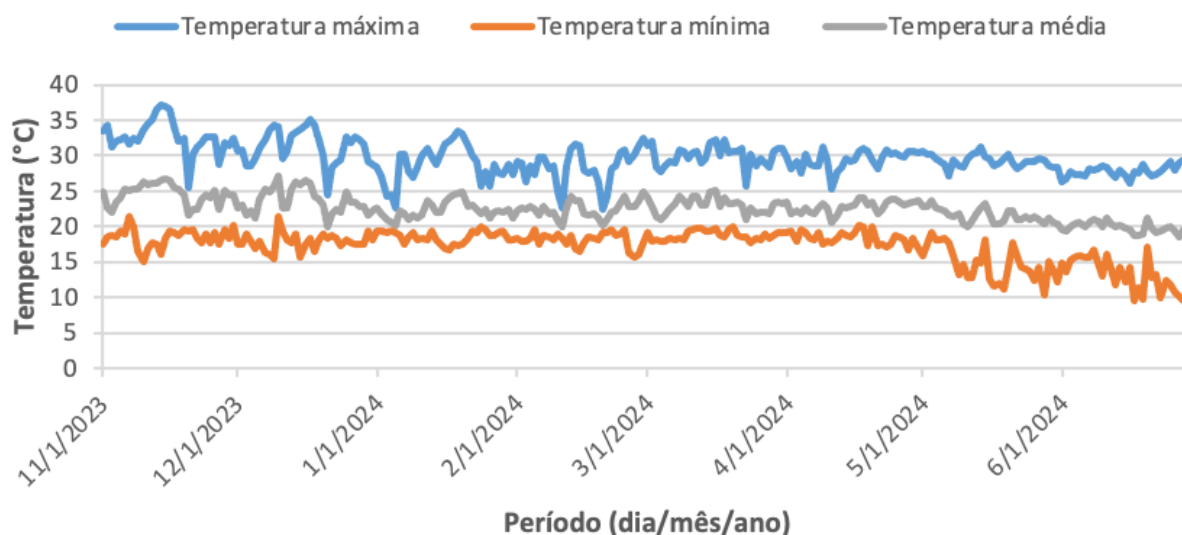


Figura 1. Temperaturas máxima, mínima e média observadas no período de novembro/2023 a junho de 2024, na estação principal da Embrapa Cerrados.

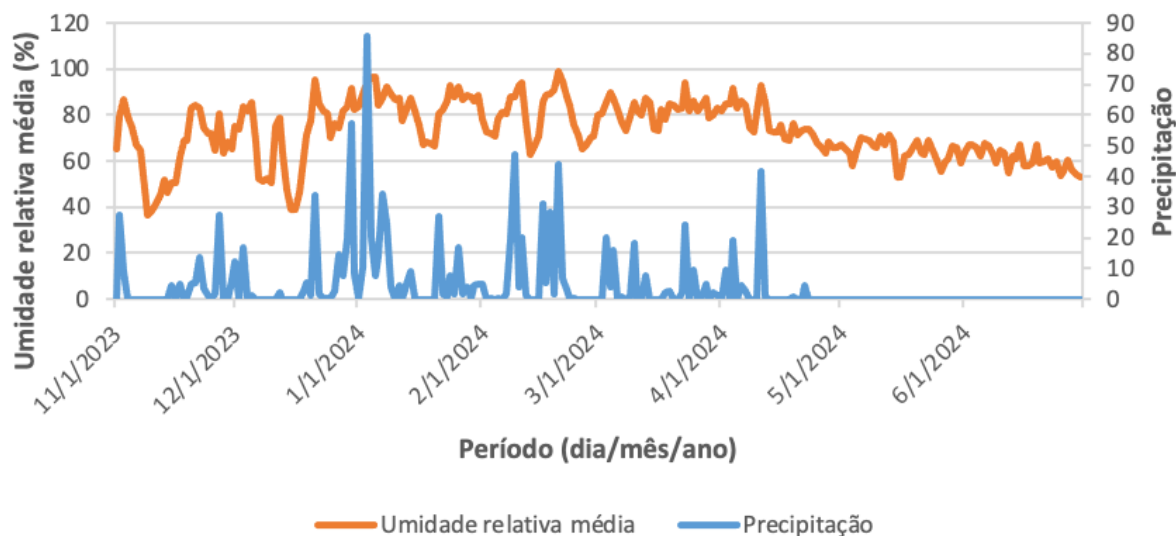


Figura 2. Umidade relativa e precipitação registradas no período de novembro/2023 a junho de 2024, na estação principal da Embrapa Cerrados.

As parcelas eram compostas de duas linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,70 m. Sendo elas contíguas e distanciadas de 0,70 m, as bordaduras laterais se restringiram àquelas das extremidades do bloco. Excluindo-se 1 m de cada extremidade da parcela, a área útil foi de 4,2 m². Foi realizado um desbaste manual 21 dias após o plantio, deixando-se oito plantas por metro linear, o que resultou em uma população estimada de 114.285 plantas por hectare.

Amostras compostas de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, efetuando-se a análise química, anterior à instalação do experimento, que evidenciou valores de pH (H₂O) = 5,7; P (Mehlich1 – mg dm⁻³) = 6,2; K (mE 100 mL⁻¹) = 0,14; Ca (mE 100 mL⁻¹) = 1,9; Mg (mE 100 mL⁻¹) = 1,4; Al (mE 100 mL⁻¹) = 0,1; MO (g kg⁻¹) = 36,1; H + Al – acidez (mE 100 mL⁻¹) = 2,7; CTC (cmol dm⁻³) = 6,2; saturação por bases – V (%) = 56; soma das bases (cmol dm⁻³) = 3,5; saturação por alumínio (%) = 3,0.

Com base nesses resultados, a adubação foi realizada com as seguintes doses de fertilizantes: 500 kg ha⁻¹ da fórmula 05-25-15 + Zn no sulco de plantio, e 125 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia + 85 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl em cobertura nas laterais das linhas, em 19/12/2023 (28 dias após o plantio). Em pré e pós-emergência foi utilizado o herbicida Atrazina 400 SC, 5 L ha⁻¹ do produto comercial. Sempre que necessário, foi efetuada capina manual complementar. O controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado com Curyom 550 CE (profenofós 500 g L⁻¹ e lufenuron 50 g L⁻¹) – 200 a 300 mL ha⁻¹.

Os seguintes caracteres agrônômicos foram avaliados: florescimento (Flor) – número de dias da semeadura até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela; altura das plantas (AP, cm) – medida na época da colheita, altura média das plantas da área útil da parcela, medida da superfície do solo ao ápice da panícula; peso de massa verde total (sem panícula) (PMV, t ha⁻¹) – peso das plantas da área útil da parcela (4,2 m²) determinado pela pesagem de 48 plantas colhidas quando os grãos estavam no estágio de massa dura/farináceo; produção de matéria seca total (PMS, t ha⁻¹) – produto da PMV pela percentagem de matéria seca das amostras verdes das parcelas (MS). Para essa determinação, cinco plantas sem panículas, escolhidas ao acaso, foram picadas em máquina forrageira do tipo desintegradora, picadora e moedora (DPM 500). Em seguida, 500 g de massa, acondicionadas em saco de papel, foram colocadas em estufa a 65 °C, onde permaneceram até que o peso se tornasse constante. As variáveis em análise foram avaliadas no delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Para a análise de variância (Anova), foram verificados os pressupostos de normalidade dos resíduos e a homogeneidade da

variância, utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente.

Para a formação de grupos homogêneos entre os tratamentos, utilizou-se o método de agrupamento de Scott-Knott (Scott & Knott, 1974), ao nível de 5% de significância, especialmente em função do número elevado de tratamentos avaliados. Essa abordagem permite uma interpretação mais objetiva dos resultados, ao evitar comparações par a par excessivamente numerosas e reduzir a ocorrência de sobreposições entre os grupos formados. As análises foram realizadas no software estatístico R, versão 4.1.2 (R Core Team, 2023).

Resultados e discussão

As análises de variância e os testes de Scott-Knott (P < 0,005) revelaram diferenças significativas entre os híbridos para as características avaliadas: Flor (dia), AP (m), PMV (t ha⁻¹), MS (%) e PMS (t ha⁻¹), indicando diversidade genética entre eles quanto a essas características (Tabela 1).

O ciclo médio dos genótipos avaliados foi de 128,25 dias (d), variando de 79 d para BRS 658 a 142,67 d para CMSXS7067. Com base no teste de agrupamento de médias, constatou-se que os híbridos mais precoces foram o BRS 658, com intervalo de 79 d entre o plantio e o florescimento, e o Volumax (82,67 d) (Tabela 1). A precocidade desses híbridos deve-se à sua insensibilidade ao fotoperíodo, razão pela qual apresentam período vegetativo curto (Parrella et al., 2010). Já os mais tardios foram CMSXS7067 (142,67 d), 202327B003 (142,33 d), 202327B004 (142,33 d), BRS716 (142,00 d) e 202327B016 (141,67 d) (Tabela 1). A longevidade do ciclo desses híbridos deve-se à sua sensibilidade ao fotoperíodo, razão pela qual seu florescimento é retardado (a indução floral ocorre quando o comprimento do dia se torna menor que 12 horas e 20 minutos) (Parrella et al., 2010; Wight et al., 2012). Meki et al. (2017) pontuam que essa característica (sensibilidade ao fotoperíodo) permite que a planta acumule o máximo de biomassa quando cultivada no período de dias longos, daí sua importância para as cultivares de sorgo destinadas à produção de biomassa para diversos fins, incluindo a cogeração de energia. Do ponto de vista econômico, maiores ganhos de biomassa sempre serão desejáveis no cultivo desse tipo de sorgo, logo, o manejo deve ser feito de tal forma que as plantas continuem a crescer vegetativamente por períodos mais longos antes da colheita. Nesse sentido, o PMEMS vem desenvolvendo híbridos de sorgo biomassa sensíveis ao fotoperíodo com alto potencial de produção de biomassa visando o fornecimento de matéria-prima para a cogeração de energia e outros fins (Parrella et al., 2010).

Tabela 1. Valores médios para os caracteres agronômicos: florescimento, altura de plantas, produção de massa verde, produção de massa seca e percentagem de matéria seca de genótipos de sorgo biomassa avaliados na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, safra 2023/2024.

Genótipo	Flor ⁽¹⁾ (d)	ALT ⁽²⁾ (m)	PMV ⁽³⁾ (t ha ⁻¹)	PMS ⁽⁴⁾ (t ha ⁻¹)	MS ⁽⁵⁾ (%)
CMSXS7067	142,67 a	5,60 a	59,52 e	23,10 b	38,80 a
202327B003	142,33 a	5,55 a	59,98 e	20,83 c	34,73 b
202327B004	142,33 a	5,22 a	58,02 e	22,65 b	39,07 a
BRS716	142,00 a	4,93 b	53,06 f	20,73 c	39,07 a
202327B016	141,67 a	4,80 b	51,74 f	18,62 d	36,00 b
CMSXS7052	141,00 b	5,47 a	75,70 c	29,40 a	38,87 a
202327B010	140,67 b	5,29 a	56,94 e	22,27 b	39,07 a
202327B014	138,67 c	5,34 a	58,57 e	21,34 c	36,47 b
CMSXS7050	138,67 c	5,17 a	36,52 i	14,19 f	38,87 a
CMSXS7500	138,33 c	4,21 c	37,98 i	10,74 h	28,27 c
AGRI002E	132,33 d	5,40 a	49,68 g	18,44 d	37,13 b
CMSXS7100	131,00 e	5,39 a	82,38 b	28,30 a	34,40 b
202327B001	130,67 e	5,52 a	57,14 e	20,54 c	35,93 b
CMSXS7066	129,67 f	5,37 a	55,17 f	16,94 e	30,73 c
202327B005	126,67 g	4,93 b	41,74 h	15,00 f	35,93 b
1202327B012	126,67 g	4,98 b	51,90 f	17,91 d	34,53 b
CMSXS7502	126,67 g	4,12 c	45,59 g	10,76 h	23,67 d
202327B006	126,33 g	5,27 a	91,37 a	27,73 a	30,40 c
202327B013	122,33 h	5,03 b	48,73 g	16,95 e	34,80 b
CMSXS7023	122,33 h	4,82 b	59,52 e	18,23 d	30,73 c
CMSXS7101	122,00 h	5,32 a	65,03 d	19,90 c	30,60 c
202327B017	120,67 i	4,80 b	39,68 h	12,46 g	31,47 c
202327B007	119,00 j	5,02 b	60,64 e	19,10 d	31,53 c
Volumax	82,67 k	2,78 d	25,39 j	5,30 i	20,93 e
BRS658	79,00 l	2,98 d	22,39 j	5,75 i	25,73 d
Média	128,25	4,93	53,78	18,29	33,51
CV (%)	0,48	5,11	4,71	5,63	4,67

⁽¹⁾ Flor: número de dias da semeadura até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela (d).⁽²⁾ ALT: altura de plantas (m).⁽³⁾ PMV: produção de massa verde.⁽⁴⁾ PMS: produção de massa seca.⁽⁵⁾ MS: percentagem de matéria seca.As médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

A altura média dos híbridos (AP) foi de 4,93 m, variando de 5,60 m, para CMSXS7067, o mais alto, a 2,78 m para Volumax, que não diferiu significativamente de BRS 658 (2,98 m) (Tabela 1). Tanto Volumax quanto BRS 658 são insensíveis ao fotoperíodo, por isso apresentaram o menor porte. Um segundo grupo com porte alto, mas significativamente

diferente de CMSXS7067, foi representado pelos híbridos 202327B013 (5,03 m), 202327B007 (5,02 m), 202327B012 (4,98 m), BRS716 (4,93 m), 202327B005 (4,93 m), CMSXS7023 (4,82 m), 202327B017 (4,80 m) e 202327B016 (4,80 m) (Tabela 1). A altura das plantas é considerada um bom indicador de matéria seca em sorgo

sensível ao fotoperíodo, visto que essa característica contribui para o maior crescimento (Habyarimana et al., 2004; Wight et al., 2012; Castro, 2014).

A produção média de massa verde dos híbridos (PMV) foi de 53,78 t ha⁻¹, oscilando de 91,37 t ha⁻¹ (202327B006) para 22,39 t ha⁻¹ (BRS658). Para essa variável, foi observada a formação de um segundo grupo constituído por híbridos com PMV acima de 60 t ha⁻¹: CMSXS7100 (82,38 t ha⁻¹), CMSXS7052 (75,70 t ha⁻¹), CMSXS7101 (65,03 t ha⁻¹) e 202327B007 (60,64 t ha⁻¹) (Tabela 1). Os híbridos de sorgo forrageiro BRS 658 e Volumax, usados como testemunhas, provavelmente em virtude da insensibilidade ao fotoperíodo, apresentaram um período vegetativo mais curto e menor porte, o que refletiu negativamente na produção de massa verde (Parrella et al., 2010; Pereira et al., 2012; Castro, 2014), tendo sido, por isso, os menos produtivos (Tabela 1). O PMV desses dois híbridos, nas condições edafoclimáticas do Distrito Federal, apresentou médias inferiores às obtidas por Silva et al. (2022) em Cáceres, MT, que foram de 33,30 e 35,59 t ha⁻¹ respectivamente, para BRS 658 e Volumax. Essa diferença de desempenho produtivo, provavelmente ocorreu devido à maior adaptabilidade dos híbridos ao ambiente de Cáceres, MT.

A percentagem média de matéria seca (MS, %) dos híbridos foi de 33,51%, variando de 39,07% (202327B004 e BRS716) a 20,93% (Volumax) (Tabela 1). A média de produção de massa seca (PMS) dos híbridos foi de 18,29 t ha⁻¹ (Tabela 1). Para essa variável, verificou-se a formação de nove grupos pelo teste de Scott-Knott (Tabela 1), cujas médias variaram de 29,40 t ha⁻¹ a 5,30 t ha⁻¹, respectivamente, para CMSXS7052 e Volumax, que não diferiu significativamente de BRS658 (5,75 t ha⁻¹). O grupo constituído pelos híbridos CMSXS7052 (29,40 t ha⁻¹), CMSXS7100 (28,30 t ha⁻¹) e 202327B006 (27,73 t ha⁻¹), provavelmente em razão dos elevados teores de MS (38,87%, 34,40% e 30,40%, respectivamente para CMSXS7052, CMSXS7100 e 202327B006) destacou-se dos demais híbridos em avaliação (Tabela 1). Dado que materiais com maior produção de massa seca são os que promovem maior combustão (Oliveira et al., 2019), esses híbridos têm um bom desempenho produtivo no Distrito Federal.

Conclusão

Considerando a variável produção de massa seca (PMS), os híbridos CMSXS7052 (29,40 t ha⁻¹), CMSXS7100 (28,30 t ha⁻¹) e 202327B006 (27,73 t ha⁻¹) demonstram o potencial

do sorgo biomassa como uma cultura promissora na produção de biomassa para cogeração de energia renovável e outros fins.

Agradecimentos

Ao pesquisador da Embrapa Cerrados, Thomaz Adolpho Rein, pela recomendação da adubação do experimento; aos assistentes de pesquisa da Embrapa Cerrados, Antônio Reinaldo da Cunha e Robson Santos Alves, pela contribuição na condução das atividades de campo e de laboratório.

Referências

- ADEBAYO, T. S.; RJOUB, H. A new perspective into the impact of renewable and nonrenewable energy consumption on environmental degradation in Argentina: a time-frequency analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 11, p. 16028-16044, 2022.
- ALPER, A.; TEKIN K.; KARAG, B.; RAGAUSKAS, A. J. Sustainable energy and fuels from biomass: a review focusing on hydrothermal biomass processing. **Sustainable Energy Fuels**, v. 4, p. 4390-4414, 2020.
- CASTRO, F. M. R. **Potencial agrônomo e energético de híbridos de sorgo biomassa**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- HABYARIMANA, E.; LAURETI, D.; DE NINNO, M.; LORENZONI, C. Performance of biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under different water regimes in Mediterranean region. **Industrial Crops and Products**, v. 20, n. 1, p. 23-28, 2004.
- MARA, D.; NATE, S.; STAVYTSKY, A.; KHARLAMOVA, G. The Place of Energy Security in the National Security Framework: An Assessment Approach. **Energies**, v. 15, n. 2, p. 1-29. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15020658>.
- MAY, A.; SOUZA, V. F.; GRAVINA, G. A.; FERNANDES, P. G. Espaçamento entrelinhas e população de plantas no desempenho produtivo do sorgo biomassa. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 434-439, 2016.
- MEHMOOD, M. A.; IBRAHIM, M.; RASHID, U.; NAWAZ, M.; ALI, S.; HUSSAIN, A.; GULL, M. Biomass production for bioenergy using marginal lands. **Sustainable Production and Consumption**, v. 9, p. 3-21, 2017.
- MEKI, M. N.; OGOSHI, R. M.; KINIRY, J. R.; CROW, S. E.; YOUKHANA, A. H.; NAKAHATA, M. H.; LITTEJOHN, K. Performance evaluation of biomass sorghum in Hawaii and Texas. **Industrial Crops & Products**, v. 103, p. 257-266, 2017.

- MORALES, M. M.; TARDIN, F. D.; CARVALHO, L. M. P.; RIBEIRO, I. S.; SIMEONE, M. L. F.; PARRELLA, R. A. C. **Sorgo-biomassa como alternativa à madeira para geração de energia**. Colombo: Embrapa Florestas, 2024. (Embrapa Florestas. Documentos, 394).
- MURPHY, R. L.; MORISHIGE, D. T.; BRADY, J. A.; ROONEY, W. L.; YANG, S.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E. Ghd7 (Ma6) represses sorghum flowering in long day: Ghd7 alleles enhance biomass accumulation and grain production. **Alliance of Crop, the Plant Genome**, v. 7, n. 2, 1-15, 2014.
- NATE, S.; BILAN, Y.; CHEREVATSKYI, D.; KHARLAMOVA, G.; LYAKH, O.; WOSIAK, A. The impact of energy consumption on the three pillars of sustainable development. **Energies**, v. 14, n. 2, p. 1-20, 2021.
- OLIVEIRA, I. C. M.; DAMASCENO, C. M. B.; PASTINA, M. M.; PARRELLA, R. A. C. **Desempenho produtivo de híbridos de sorgo biomassa do programa de melhoramento da Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 187).
- PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).
- PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGAL, A. F.; DAMASCENO, C. M. B. **Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).
- PEREIRA, G. de A.; PARRELLA, R. A. C.; PARRELLA, N. N. L. E.; SOUZA, V. F.; SCHAFFERT, R. E.; COSTA, R. K. **Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos. Campinas: Instituto Agrônômico; Sete Lagoas: Associação Brasileiro de Milho e Sorgo, 2012. p. 82-88.
- R CORE Team. R: a language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Versão 4.2.1. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 set. 2023.
- RETORE, M.; CECCON, G.; GARCIA, R.A.; SAWA, W. **Sistema Diamantino para produção de silagem e renovação de pastagem**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2024. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 56).
- ROCATELI, A. C.; RAPER, R. L.; BALKOM, K. S.; ARRIAGA, F. J.; BRANSBY, D. I. Biomass sorghum production and components under different irrigation/tillage systems for the southeastern U.S. **Industrial Crops and Products**, v. 36, n. 1, p. 589- 598, 2012.
- ROONEY, W. L.; BLUMENTHAL, J.; BEAN, B.; MULLET, J. E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, n. 2, 147-157, 2007.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- SILVA, A. L.; TARDIN, F. D.; ROTTA, G. W.; BALDONI, A. B.; BARELLI, M. A. A.; SILVA, A. F.; GONÇALVES, D. B.; SILVA, F. B.; RIBEIRO, J. R. D.; PARRELLA, R. A. C. Characterization of biomass sorghum cultivars aiming to generate energy for the north region of Mato Grosso, Brazil. **Nativa**, v. 4, n. 3, p. 175-178, 2016.
- SILVA, D. A.; OLIVEIRA, A. J. de; OLIVEIRA, T. C. de; MORAIS, L. H. P.; LIMA, F. R. D.; SILVA, V. P. de; ELIAS, J. C. F.; TARDIN, F. D.; BARELLI, M. A. A. Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa avaliados na mesorregião Centro-Sul mato-grossense. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.
- SILVA, M. J.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, N. N. L. D.; PASTINA, M. M.; SIMEONE, M. L. F.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. Evaluation of the potential of Desempenho Produtivo de Híbridos de Sorgo Biomassa do Programa de Melhoramento da Embrapa 17 lines and hybrids of biomass sorghum. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 379-385, 2018.
- STEFANIAK, T.; DAHLBERG, J. A.; BEAN, B. W.; DIGHE, N.; WOLFRUM, E. J.; ROONEY, W. L. Variation in Biomass Composition Components among Forage, Biomass, Sorghum-Sudangrass, and Sweet Sorghum Types. **Crop Science**, v. 52, p. 1949-1954, 2012.
- SURYANINGSIH, R.; IRHAS. Bioenergy plants in Indonesia: sorghum for producing bioethanol as an alternative energy substitute of fossil fuels. **Energy Procedia**, v. 47, n. 8, p. 211-216, 2014.
- VENDRUSCOLO, T. P. S.; BARELLI, M. A. A.; CASTRILLO, M. A. S.; SILVA, R. S.; OLIVEIRA, F. T.; CORRÊA, C. L.; ZAGO, B. W.; TARDIN, F. D. Correlation and path analysis of biomass sorghum production. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 4, 2016.
- WENG, J. K.; LI, X.; BONAWITZ, N. D.; CHAPPLE, C. Emerging strategies of lignin engineering and degradation for cellulosic biofuel production. **Current Opinion Biotechnology**, v. 19, p. 166-172. 2008.
- WIGHT, J. P.; HONS, F. M.; STORLIEN, J. O.; PROVIN, T. L.; SHAHANDEH, H.; WIEDENFELD, R. P. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. **Biomass and Bioenergy**, v. 46, p. 593-604, 2012.



*Ministério da
Agricultura e
Pecuária*