

AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE SORGO GRANÍFERO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

Thais Fernanda da Silva², Izadora Cristina Martins de Oliveira¹, Fabiane Ferreira de Souza¹, Cristiane de Carvalho Guimarães¹, Cícero Beserra de Menezes¹, Maria Lúcia Ferreira Simeone¹

¹Embrapa Milho e Sorgo, Rodovia MG424, km 45, Sete Lagoas – MG, Brasil
(thaisfernanda.agro@gmail.com)

²Universidade Federal de São João del-Rei – Campus Sete Lagoas, Rodovia MG 424, km Sete Lagoas – MG, Brasil

Resumo: O estudo avaliou 25 cultivares de sorgo granífero em Sete Lagoas-MG para produção de bioetanol. Os híbridos 2217G25, CMSXS3011, CMSXS3012, CMSXS3015, CMSXS3021, CMSXS3023 e BRS373 destacaram-se por produtividade acima de 3,5 t ha⁻¹ e produção de etanol superior a 72 g L⁻¹, atingindo rendimento de 407 L t⁻¹. A variabilidade genética e a composição físico-química (amido e proteína) são importantes para a eficiência industrial e para a seleção de cultivares para uso bioenergético.

Palavras-chave: bioenergia; composição físico-química; amido; rendimento de etanol;

INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alternativas energéticas sustentáveis tem impulsionado a busca por biocombustíveis que mitiguem as emissões de gases de efeito estufa e promovam a segurança energética (Cecon et al., 2018). Neste contexto, o sorgo granífero surge como matéria-prima estratégica e promissora, devido à sua rusticidade, à ampla adaptabilidade edafoclimática e à capacidade de produzir grãos para conversão energética (Silva et al., 2022). A composição química do grão caracteriza-se por uma matriz proteica que envolve os grânulos de amido, fator determinante da cinética de hidrólise enzimática durante o processo industrial. Adicionalmente, a variabilidade genética entre cultivares reflete-se na proporção entre amilose e amilopectina, características que impactam diretamente a acessibilidade do amido às enzimas responsáveis pela sacarificação (Malherbe et al., 2023). A resistência a estresses hídricos e a capacidade de adaptação a climas mais quentes conferem a essa cultura uma vantagem comparativa em relação ao milho, o que permite que a produção de energia ocorra de forma integrada à segurança alimentar (Wu et al., 2007).

Dessa forma, a exploração dessa cultura apresenta-se como uma alternativa viável para diversificar a matriz bioenergética, especialmente por sua adequação a

sistemas que buscam otimizar o uso do solo e reduzem o impacto ambiental em comparação às fontes fósseis

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar o potencial produtivo de diferentes cultivares de sorgo granífero para etanol, incluindo a composição físico-química do grão, bem como a produção e o rendimento de etanol. Por meio dessas análises, busca-se identificar cultivares de sorgo com maior produtividade (PROD) de grãos (acima de 3,5 t ha⁻¹) e maior produção de etanol (ETOH, g L⁻¹), > 72 g L⁻¹, (Silva et al., 2022; Malherbe et al., 2023), fornecendo dados técnicos que subsidiem o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas à demanda do setor bioenergético.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas 25 cultivares de sorgo granífero isentas de taninos do Programa de Melhoramento Genético (PMG) de Sorgo da Embrapa, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições de campo, na safra de 2023/24, em Sete Lagoas – MG.

As características avaliadas foram a PROD, a composição físico-química, a produção (ETOH) e o rendimento de etanol (RETOH, L t⁻¹) conforme descrito abaixo:



Produtividade de grãos

Para a avaliação da PROD, os grãos de cada cultivar avaliada foram colhidos no campo e levados ao galpão de processamento, onde foram trilhados em trilhadeira para a retirada de palhas e de restos de panícula. O peso obtido em cada parcela foi registrado para posterior avaliação.

Em seguida, os grãos foram secos em estufa a 65 °C e triturados em moinho Marconi (MA020, Piracicaba-SP, Brasil) até atingirem granulometria de 0,5 mm.

Avaliação físico-química, produção e rendimento de etanol.

A avaliação físico-química do teor de proteína (PTN), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), matéria seca (MS), amido (% em base seca), ETOH (g L⁻¹) e RET (L t⁻¹) foi realizada diretamente na amostra moída em equipamento NIR (Near-Infrared Reflectance), modelo NIRFlex 500 (Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland), utilizando calibrações desenvolvidas e validadas pela Embrapa Milho e Sorgo (Simeone et al., 2024).

Análise estatística

Os resultados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) e do teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software Rbio (Bhering, 2017). Também foi realizada a análise de correlação de Pearson entre as características avaliadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) revelou diferenças significativas entre as cultivares avaliadas (Tabelas 1 e 2). As médias das cultivares foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$) em dois grupos para o teor de proteína e em quatro grupos para o teor de amido (Tabela 1). Os constituintes EE, MM e MS não apresentaram diferenças significativas no teste F (Tabela 2).

Tabela 1. Teor de proteína (%) e de amido (%) em base seca, avaliados em 25 cultivares de sorgo em Sete Lagoas – MG, na safra 23/24.

Genótipo	PTN %		Amido %	
2220034G	14,35	b	70,69b	a
CMSXS3015	13,58	b	70,58a	a
1822053	14,25	b	69,56b	b
CMSXS3011	15,00	a	69,50b	b
CMSXS3029	15,22	a	69,39b	b
CMSXS3012	14,87	b	69,04b	b
CMSXS3023	14,47	b	69,04b	b
CMSXS3021	15,20	a	69,01b	b
CMSXS3013	15,09	a	68,97b	b
CMSXS3002	15,57	a	68,92b	b
2217G33	15,39	a	68,89b	b
2217G29	15,01	a	68,84b	b
AG1085	14,81	b	68,75b	b
CMSXS3004	15,60	a	68,72b	b
1822048	15,71	a	68,66b	b
2217G25	15,90	a	68,64b	b
BRS373	15,87	a	68,58b	b
BRS3318	15,59	a	68,37c	c
1621057	14,25	b	68,26c	c
CMSXS3025	15,78	a	68,23c	c
CMSXS3018	14,02	b	68,20c	c
2217G23	15,63	a	68,17c	c
CMSXS3017	16,14	a	67,85c	c
CMSXS3020	16,12	a	67,82c	c
CMSXS3019	15,31	a	66,26d	d

PTN: proteína;

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, segundo o teste Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

Em relação à PROD, à ETOH e ao RETOH, podemos verificar na Tabela 3 que os resultados de PROD variaram de 0,84 a 6,32 t ha⁻¹, de ETOH de 63,98 a 76,47 g L⁻¹ e de RETOH de 337,50 a 403,38 L t⁻¹, resultando em dois grupos de médias para cada variável analisada.

Ao analisarmos a correlação de Pearson entre todas as características avaliadas (Figura 1), podemos verificar que PTN apresentou correlações negativas e



significativas com amido, rendimento de etanol EOTH e ETOH e positivas com MM.

Tabela 2. Teor de extrato etéreo (%), matéria mineral (%) e matéria seca (%) avaliados em 25 cultivares de sorgo em Sete Lagoas – MG, na safra 23/24.

Genótipo	EE % ^{ns}	MM % ^{ns}	MS % ^{ns}
1621057	3,88	1,71	90,06
2217G23	3,84	1,93	90,10
1822048	4,11	1,52	90,21
1822053	4,34	1,32	90,36
2217G33	4,12	1,39	90,52
2217G29	4,28	1,19	90,51
2217G25	3,67	1,74	90,32
2220034G	3,81	1,28	89,99
CMSXS3002	3,87	1,89	90,19
CMSXS3004	4,32	1,20	90,56
CMSXS3011	3,99	1,74	90,14
CMSXS3012	4,36	1,90	90,26
CMSXS3013	3,78	1,66	90,14
CMSXS3015	3,89	1,16	90,04
CMSXS3017	4,07	1,82	90,42
CMSXS3018	4,28	1,46	90,25
CMSXS3019	4,15	1,82	90,09
CMSXS3020	4,42	1,77	90,25
CMSXS3021	4,55	1,52	90,37
CMSXS3023	3,99	1,45	90,04
CMSXS3025	4,04	1,92	90,07
CMSXS3029	3,86	1,58	90,05
BRS3318	4,65	1,67	90,10
AG1085	3,48	1,74	89,93
BRS373	4,17	1,76	90,19

EE: extrato etéreo, MM: matéria mineral e MS: matéria seca.

ns.: Não significativo pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Esses resultados corroboram a existência de variabilidade genética significativa entre os genótipos, permitindo a identificação de materiais com atributos superiores para diferentes fins industriais ou forrageiros (Silva et al., 2022).

A versatilidade do sorgo granífero é reconhecida por sua eficiência na produção de biocombustíveis e por sua adaptabilidade a diversas condições

edafoclimáticas, o que consolidou essa cultura como uma alternativa estratégica para o setor sucroenergético, com aplicações práticas e resultados promissores no aproveitamento industrial de seus grãos para a produção de etanol (Yan et al., 2011).

Tabela 3. Médias de produtividade e rendimento de etanol dos 25 cultivares de sorgo em Sete Lagoas-MG, na safra 23/24.

Cultivares	Produtividade		Rendimento de Etanol*		
	t ha ⁻¹		g L ⁻¹	L t ⁻¹	
2217G25	3,6	a	77,23	a	407 a
CMSXS3002	2,09	b	76,52	a	404 a
CMSXS3017	2,93	b	76,28	a	402 a
CMSXS3012	4,60	a	76,15	a	402 a
CMSXS3013	2,96	b	76,09	a	401 a
CMSXS3023	4,03	a	76,00	a	401 a
CMSXS3015	4,56	a	75,90	a	400 a
CMSXS3011	4,52	a	75,88	a	400 a
2220034G	1,81	b	75,59	a	399 a
1822048	3,23	b	75,38	a	398 a
BRS373	3,79	a	75,31	a	397 a
2217G23	3,37	a	75,23	a	397 a
CMSXS3021	3,56	a	74,95	a	395 a
CMSXS3029	2,68	b	74,91	a	395 a
BRS3318	3,72	a	74,49	b	393 b
AG1085	4,17	a	74,4	b	393 b
CMSXS3018	3,84	a	74,21	b	392 b
CMSXS3025	3,65	a	74,02	b	391 b
2217G29	3,12	b	73,85	b	390 b
1822053	3,04	b	73,61	b	388 b
CMSXS3020	4,31	a	73,5	b	388 b
2217G33	2,12	b	73,16	b	386 b
CMSXS3004	3,84	a	72,74	b	384 b
1621057	2,49	b	72,66	b	383 b
CMSXS3019	3,84	a	71,13	b	375 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, segundo o teste Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

O teor de amido apresentou correlação significativa, tanto negativa com matéria mineral (-0,38), quanto positiva com ETOH (0,46) e RETOH (0,46).

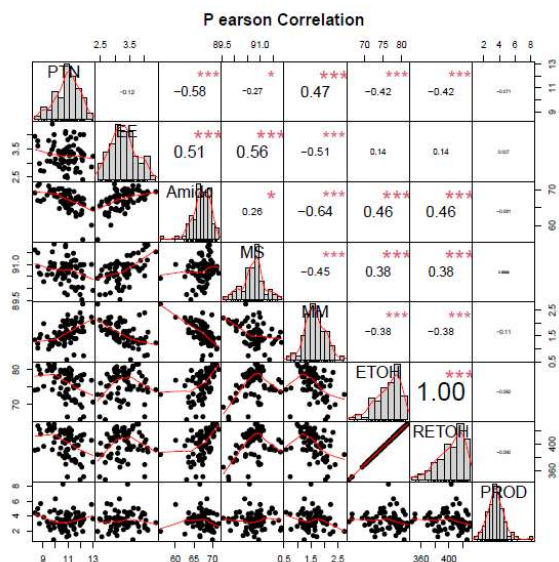


Figura 1. Correlação de Pearson entre os constituintes físico-químicos do sorgo granífero (%), o rendimento de etanol (g L^{-1} e L t^{-1}) e a produtividade de grãos (t ha^{-1}).

Já a PROD não apresentou correlação significativa com nenhuma das características avaliadas.

Os híbridos 2217G25, CMSXS3011, CMSXS3012, CMSXS3015, CMSXS3021, CMSXS3023 e BRS373 destacaram-se pela alta produtividade de grãos (acima de $3,5 \text{ t ha}^{-1}$) e de etanol ($> 72 \text{ g L}^{-1}$), o que resultou em um rendimento de 395 L t^{-1} .

Entretanto, torna-se interessante avaliar que alguns cultivares apresentaram alta produtividade de grãos, mas baixo rendimento de etanol (como a cultivar CMSXS3019). Por outro lado, alguns genótipos apresentaram altos rendimentos de etanol, mas baixa produtividade de grãos (CMSXS3002).

Como demonstrado por Wu et al., (2013), o rendimento de etanol não é influenciado apenas pelo teor de amido no grão, mas também por outras características, como o teor de proteína.

Dessa forma, torna-se importante que o PMG de sorgo avalie os diferentes híbridos experimentais (2217G25, CMSXS3011, CMSXS3012, CMSXS3015, CMSXS3021, CMSXS3023) e o cultivar comercial BRS373 em outros locais (ambientes) quanto ao rendimento de etanol.

CONCLUSÃO

Os híbridos experimentais produzidos em Sete Lagoas-MG, 2217G25, CMSXS3011, CMSXS3012, CMSXS3015, CMSXS3021, CMSXS3023 e o híbrido comercial BRS373, destacaram-se pela alta produtividade de grãos (acima de $3,5 \text{ t ha}^{-1}$) e pela produção de etanol ($> 72 \text{ g L}^{-1}$), o que resultou em rendimento de etanol máximo de 407 L t^{-1} .

Tais resultados corroboram a relevância da seleção genética como ferramenta para a maximização da eficiência industrial, permitindo a incorporação de materiais que aliam desempenho agrônomo à viabilidade econômica no setor sucroenergético. Ademais, a variabilidade observada entre os genótipos ressalta a importância de considerar as condições edafoclimáticas locais e o potencial específico do sorgo granífero, cuja eficiência fermentativa depende diretamente de atributos físico-químicos dos grãos, como o teor de amido e o teor de proteína.

Portanto, a continuidade de testes em diferentes locais é indispensável para validar o desempenho superior desses genótipos, visto que a interação entre o material genético e o ambiente pode impactar diretamente a estabilidade produtiva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapemig, Finep e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa – Projeto SEG n, 20.23.01.010.00.02.002.

REFERÊNCIAS

- Bhering, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 17(2), 187–190, 2017.
- Ceccon, G., Makino, P. A., Alves, V. B., Fachinelli, R., & Luz, R. A. da (2018). Produtividade de cultivares de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura e tipos de solo. *Revista de agricultura neotropical*, 5(2), 69–75, 2018.
- Malherbe, S. J. M., Cripwell, R. A., Favaro, L., van Zyl, W. H., & Viljoen-Bloom, M., Triticale and sorghum as feedstock for bioethanol production via consolidated bioprocessing, *Renewable Energy*, 206, 498–505, 2023,
- Silva, K. J. da, Menezes, C. B. de, Teodoro, P. E. Teodoro, L. P. R. Santos, C. V. dos Campos, A. F., Barbosa, E. da S. Multi-environmental evaluation of sorghum hybrids during off-season in Brazil, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 57(Z), e02628, 2022.



Simeone, M. L. F., Pimentel, M. A. G., Queiroz, V. A. V., Santos, F., Brito, A., Aquino, L. F. M., Filho, J. C. E. C., Menezes, C. B., Paes, M. C. D., Tibola, C. S., Guimarães, P. E. O., & Trindade, R. S. Portable near-infrared (NIR) spectroscopy and multivariate calibration for reliable quality control of maize and sorghum grain chemical composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 134, Artigo 106502, 2024.

Yan, S., Wu, X., Bean, S. R., Pedersen, J. F., Tesso, T., Chen, Y. R., & Wang, D. (2011). Evaluation of Waxy Grain Sorghum for Ethanol Production. *Cereal Chemistry*, 88(6), 589–595, 2011.

Wu, X., Zhao, R., Bean, S. R., Seib, P. A., McLaren, J.S., Madl, R.L., Tuinstra, M., Lenz, M. C, and Wang, D. Factors Impacting Ethanol Production from Grain Sorghum in the Dry-Grind Process, *Cereal Chemistry*, 84: 130–136, 2007.