

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE SORGO SACARINO VIA MODELOS MISTOS

Vander Fillipe de Souza¹, Michele Jorge da Silva², Álvaro Eugenio Duarte França³, Pedro César de Oliveira⁴, Renan Silva e Souza⁵, Karine da Costa Bernardino⁶, Rafael Augusto da Costa Parrella⁷, Cynthia Maria Borges Damasceno⁸, Maria Marta Pastina⁹, Robert Eugene Schaffert¹⁰

¹ Doutorando em Bioengenharia - UFSJ, vanderfsouza@gmail.com; ^{2,6} Mestranda em Genética e Melhoramento - UFV, michelejorgesilva@gmail.com, karinecosta23@gmail.com; ³ Mestrando em Melhoramento de Plantas - UFPE, alvarofranca@hotmail.com; ⁴ Graduando em Engenharia agrônoma - UFSJ, pedroagroufsj@yahoo.com.br, renan9105@yahoo.com.br; ^{6,7,8,9,10} Pesquisador(a) - Embrapa Milho e Sorgo, rafael.parrella@embrapa.br, cynthia.damasceno@embrapa.br, marta.pastina@embrapa.br, robert.schaffert@embrapa.br

¹ Universidade Federal de São João del-Rei - DEPEB - Campus Dom Bosco, CEP: 36301-160, São João del Rei – MG.
^{2,6} Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP: 36570-900, Viçosa – MG.
³ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife - PE.
^{4,5} Universidade Federal de São João del-Rei; Rodovia MG 424 – Km 47, CEP: 35701-970, Sete Lagoas – MG
^{7,8,9,10} Embrapa Milho e Sorgo, Rodovia MG-424, Km 45 Caixa Postal: 285 ou 151, CEP: 35701-970, Sete Lagoas - MG;

RESUMO

O sorgo sacarino apresenta-se como interessante matéria-prima para produção de etanol. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produtividade, adaptabilidade e estabilidade de 25 genótipos de sorgo sacarino, em três ambientes e duas safras de cultivo, por meio da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG). As variáveis analisadas foram: Florescimento; Altura; Produção de Biomassa Fresca (PBF); Sólidos Solúveis Totais (Brix) e Tonelada de Brix por Hectare (TBH). As propriedades intrínsecas ao método MHPRVG predizem os valores genotípicos pelo procedimento BLUP e penalizam as cultivares pela instabilidade através dos locais e ao mesmo tempo capitalizam a capacidade de resposta (adaptabilidade) à melhoria do ambiente. Dentre os genótipos avaliados, destacaram-se as cultivares CMSXS643, CMSXS648, CMSXS633, CMSXS645 e CMSXS644, quanto à produtividade, adaptabilidade e estabilidade.

Palavras Chave: *Sorghum bicolor*; Etanol; Bioenergia.

SUMMARY

ADAPTABILITY AND STABILITY OF SWEET SORGHUM CULTIVARS VIA MIXED MODELS

Sweet sorghum is presented as an interesting material for ethanol production. The objective of this study was to evaluate the yield, adaptability and stability of 25 genotypes of sweet sorghum in three environments and two cultivation seasons, through harmonic mean of the relative performance of genotypic values (HMRPGV). The variables analyzed were: Flowering; Height; Fresh Biomass Production (FBP); Total Soluble Solids (Brix) and Ton of Brix per hectare (TBH). Intrinsic properties of the HMRPGV method predict genotypic values by BLUP procedure and penalize cultivars due to instability of different sites and at the same time it capitalizes the responsiveness (adaptability) to environment improvement. Among the genotypes evaluated, the cultivars CMSXS643, CMSXS648, CMSXS633, CMSXS645 and CMSXS644 stood out for yield, adaptability and stability.

Keywords: *Sorghum bicolor*; Ethanol; Bioenergy

INTRODUÇÃO

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma cultura eficiente em produção de biomassa e açúcares em um rápido ciclo de cultivo (aproximadamente quatro meses). Sua utilização possibilita matéria-prima

de qualidade para abastecer o mercado na entressafra da cana-de-açúcar, e, desta forma, reduzir a instabilidade do mercado de etanol no Brasil (MAY, 2012).

A identificação e indicação de cultivares com alto potencial produtivo, estáveis e adaptadas às regiões de cultivo são alguns dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético de sorgo sacarino. O estudo da adaptabilidade e estabilidade permite identificar genótipos com comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais positivas. Existem diversos métodos para esta finalidade: Tradicional; Wricke (1965); Eberhart & Russell (1966); Lin & Binns (1988); Annicchiarico (1992); AMMI; GGE Biplot; entre outros.

No contexto dos modelos mistos, um método para classificação de cultivares por valores genéticos (produtividade) e estabilidade, simultaneamente, é o procedimento BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) sob médias harmônicas (RESENDE, 2002). Neste caso, quanto menor for o desvio-padrão do comportamento genotípico nos locais de avaliação, maior será a média harmônica. Assim, a seleção pelos maiores valores da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) implica simultaneamente a seleção para produtividade, adaptabilidade e estabilidade (CARBONELL et al., 2007; BASTOS et al., 2007).

Algumas das principais vantagens do procedimento MHPRVG são: considerar os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornecer estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos preditos e não de valores fenotípicos; ser aplicável a qualquer número de ambientes; eliminar os ruídos da interação genótipos x ambientes; e gerar resultados na própria grandeza ou escala do caráter avaliado (RESENDE, 2004).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade, adaptabilidade e estabilidade de 25 genótipos de sorgo sacarino, em três ambientes e duas safras de cultivo, por meio da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nas cidades de Sete Lagoas-MG, Nova Porteirinha-MG e PelotasRS, nas safras de 2009/10 e 2010/11. Foram avaliadas 25 cultivares de sorgo sacarino do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, sendo 24 variedades e um híbrido, o BRS601. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por duas fileiras de 5 metros de comprimento e espaçadas por 0,70 m. A população utilizada foi de 125.000 plantas.ha⁻¹ e adubação de plantio de 400 kg.ha⁻¹ do formulado 08-28-16 e 200 kg.ha⁻¹ de ureia em cobertura. Os demais tratamentos culturais normalmente utilizados para a cultura do sorgo foram adotados.

As seguintes variáveis foram analisadas: Florescimento; Altura; Produção de Biomassa Fresca (PBF); Sólidos Solúveis Totais (Brix) e Tonelada de Brix por Hectare (TBH). A altura de plantas foi determinada pela média das plantas de cada parcela, em centímetros. O número de dias para florescimento foi calculado da semeadura ao florescimento, mínimo, de 50% das plantas da parcela. A produção de biomassa fresca foi estimada pelo peso total da parcela, convertido em t.ha⁻¹. Os teores de Sólidos Solúveis Totais do caldo foram mensurados por refratômetro digital, com resultado em °Brix. O TBH foi calculado pela seguinte fórmula: TBH = PBF x Brix/100 x Extração de caldo. A extração de caldo foi considerada constante igual a 60% do peso total da biomassa.

Para a predição de valores genéticos foi considerado o modelo: $y = Xr + Zg + Wi + e$, em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), i é vetor dos efeitos da interação genótipo x ambiente (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para análises dos efeitos aleatórios foi utilizado o teste da razão de verossimilhança (LTR), realizado a partir da diferença entre as devianças para os modelos com e sem o efeito a ser testado, com significância dessa diferença usando o teste qui-quadrado com 1 grau de liberdade.

As Médias Harmônicas das Performances Relativas dos Valores Genotípicos preditos foram calculadas pela seguinte fórmula:

$$MHPRVG_i = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{Vg_{ij}}}$$

em que: n é o número de locais onde se avaliou o genótipo i ; e Vg_{ij} é o valor genotípico de i no local j , expresso como proporção da média desse local. A análise estatística foi processada utilizando-se o programa SELEGEN-REML/BLUP (Resende 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 exibe a análise de deviance (ANADEV) e os efeitos que foram significativos, ou não, pelo teste LRT. Os efeitos de genótipos foram altamente significativos ($P < 0,01$) pelo teste LTR para todas as variáveis analisadas. Este fato evidencia a existência de diferença genética entre os materiais avaliados. A interação entre genótipos x locais x anos foi significativa para Florescimento, Brix e TBH. Para Altura apenas a interação entre genótipos e locais foi significativa, mas para PBH a interação entre genótipos x anos também foi significativa. A interação entre genótipo e ambiente (locais e anos) é de grande importância no melhoramento de plantas, pois existe a possibilidade de um genótipo ser o melhor em um ambiente e não o ser em outro, fato que dificulta a recomendação de cultivares para ambientes diversos. Fato que justifica estudos mais aprofundados da adaptabilidade e estabilidade dos materiais avaliados. As interações entre genótipos e anos agrícolas são mais problemáticas uma vez que as variações climáticas, por exemplo, não são previsíveis.

Tabela 1. Análise de deviance (ANADEV) e significância via teste da razão de verossimilhança (LRT) para efeitos de genótipos e respectivas interações com locais e safras para caracteres agroindustriais de 25 cultivares de sorgo sacarino, avaliadas em Sete Lagoas-MG, Nova Porteirinha-MG e Pelotas-RS, nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11.

Table 1 Analysis of deviance (ANODEV) and significance via likelihood ratio test (LRT) for genotypes effects and their interactions with sites and harvests for agro-industrial characteristics of 25 cultivars of sweet sorghum, evaluated in Sete Lagoas-MG, Novs Porteirinha-MG and Pelotas-RS, in 2009/10 and 2010/11 harvests.

ANADEV		Efeito				
		Completo	Genótipos (G)	G x Locais (L)	G x Anos (A)	G x L x A
Floresc. (dias)	Deviance	1663.18	1761.98	1748.73	1701.06	1671.27
	LRT		98.8**	85.55**	37.88**	8.09**
Altura (cm)	Deviance	3252.32	3263.7	3263.68	3253.88	3253.83
	LRT		11.38**	11.36**	1.56 ^{NS}	1.51 ^{NS}
PBF (t.ha⁻¹)	Deviance	2345.04	2369.54	2364.61	2355.35	2347.54
	LRT		24.50**	19.57**	10.31**	2.50 ^{NS}
Brix (%)	Deviance	1086.67	1126.43	1124.85	1115.52	1112.46
	LRT		39.76**	38.18**	28.85**	25.79**
TBH (t.ha⁻¹)	Deviance	499.42	520.16	510.75	515.64	504.05
	LRT		20.74**	11.33**	16.22**	4.63*

** e : significativo a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste Qui-quadrado com 1 grau de liberdade. NS: não significativo.

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas de variância, herdabilidade e média genotípica das variáveis analisadas. As variâncias genotípicas representam a maior parte dos componentes de variância quando comparada com as interações entre genótipos x locais, genótipos x anos e genótipos x locais x anos. Porém, apenas na variável florescimento a variância genotípica foi superior à variância residual. A herdabilidade (h^2_g) corresponde à proporção da variabilidade total que é de natureza genética, ou o quociente entre a variância genética e a variância total. Os valores de herdabilidade foram atenuados nesse caso em razão da complexidade dos efeitos de locais e anos, e dissimilaridade entre ambientes. De acordo com Cruz (2005), o aumento da herdabilidade de um caráter pode ser obtido pela minimização da influência ambiental sobre a característica, o que é complexo nessa situação.

Na Tabela 3 são apresentados os ordenamentos com a respectiva média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) das cultivares avaliadas. O valor de MHPRVG fornece o valor genotípico médio das linhagens nos locais avaliados, valor já penalizado pela instabilidade e capitalizado pela adaptabilidade. Conforme Resende (2004), este procedimento é similar ao método de Linn & Binns (1988), porém, no contexto genotípico e não no contexto fenotípico.

A cultivar CMSXS648 apresentou a maior produtividade de biomassa fresca por hectare (53.8 t.ha⁻¹), porém, apresentou teor de sólidos solúveis no caldo abaixo da média geral. Para ponderar esta ocorrência foi calculado o índice multiplicativo TBH. O TBH é um interessante índice de recomendação de cultivares de sorgo sacarino, por ser um índice multiplicativo que expressa o potencial produtivo de biomassa e de sólidos solúveis totais, que de acordo com Guigou et al. (2011) é altamente correlacionado com teor de açúcares totais ($R^2 = 0,96$), e consequentemente com a produção de etanol.

Tabela 2. Estimativas da variância genotípica (σ^2_g), variância da interação genótipos x anos (σ^2_{ga}), variância da interação genótipos x locais (σ^2_{gl}), variância da interação genótipos x locais x anos (σ^2_{gla}), variância residual (σ^2_e), variância fenotípica (σ^2_f), herdabilidade (h^2_g) e média genotípica predita para caracteres agroindustriais de 25 cultivares de sorgo sacarino, avaliadas em Sete Lagoas-MG, Nova Porteirinha-MG e Pelotas-RS, nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11.

Table 2. Estimation of genotypic variance (σ^2_g), variance of genotype x year (σ^2_{ga}), variance of genotype x location (σ^2_{gl}), variance of genotype x location x year (σ^2_{gla}), residual variance (σ^2_e), phenotypic variance (σ^2_f), heritability (h^2_g) and predicted genotypic mean for agro-industrial characteristics of 25 cultivars of sweet sorghum, evaluated in Sete Lagoas-MG, Nova Porteirinha-MG and Pelotas-RS, in 2009/10 and 2010/11 harvests.

Componentes de Variância	Floresc. (dias)	Altura (cm)	PBF (t.ha ⁻¹)	Brix (%)	TBH (t.ha ⁻¹)
σ^2_g	15.69	196.23	14.68	1.79	0.22
σ^2_{ga}	2.50	2.66	5.46	0.01	0.05
σ^2_{gl}	5.76	63.84	9.65	0.06	0.08
σ^2_{gla}	2.46	44.55	7.82	1.31	0.15
σ^2_e	9.17	524.03	58.05	2.68	0.77
σ^2_f	35.58	831.31	95.67	5.85	1.27
h^2_g	0.44	0.24	0.15	0.31	0.17

Tabela 3. Médias harmônicas das performances relativas dos valores genotípicos (MHPRVG) para caracteres agroindustriais de 25 cultivares de sorgo sacarino, avaliadas em Sete Lagoas-MG, Nova Porteirinha-MG e Pelotas-RS, nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11.

Table 3. Harmonic mean of the relative performance of genotypic values (HMRPGV) for agro-industrial characteristics of 25 cultivars of sweet sorghum, evaluated in Sete Lagoas-MG, Nova Porteirinha-MG and Pelotas-RS, in 2009/10 and 2010/11 harvests.

MHPRVG	Floresc. (dias)	Altura (cm)	PBF (t.ha ⁻¹)	Brix (%)	TBH (t.ha ⁻¹)
CMSXS643	77	275	50.4	16.7	4.93
CMSXS648	83	324	53.8	14.4	4.73
CMSXS633	76	285	45.1	17.4	4.69
CMSXS645	78	282	45.0	17.6	4.65
CMSXS644	81	280	47.8	16.4	4.64
CMSXS629	74	272	44.4	16.9	4.48
CMSXS631	83	270	45.9	16.2	4.45
CMSXS616	76	262	42.7	17.5	4.42
CMSXS612	76	272	45.2	16.5	4.39
CMSXS632	76	280	50.0	14.4	4.36
CMSXS634	77	266	43.7	16.6	4.36
CMSXS641	81	257	45.5	15.6	4.30
CMSXS605	82	267	42.5	16.9	4.29
CMSXS646	82	274	43.0	16.8	4.26
CMSXS638	78	277	47.1	15.0	4.25
CMSXS635	87	261	45.4	14.5	4.00
CMSXS630	75	265	40.0	16.7	3.94
CMSXS642	74	287	40.9	16.2	3.93
CMSXS647	76	296	40.7	15.5	3.77
CMSXS602	76	287	41.0	15.4	3.75
CMSXS639	77	271	43.9	13.8	3.71
CMSXS611	81	270	43.8	13.4	3.66
BRS601	84	296	42.0	14.0	3.65
CMSXS637	71	273	38.3	15.6	3.64
CMSXS636	74	278	38.0	14.7	3.37
Média	78	277	44.2	15.8	4.18

**9º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA
SÃO PAULO – SP – 01 A 03 DE OUTUBRO DE 2014**

As cinco melhores cultivares selecionadas pela variável TBH com base no método da MHPRVG foram: CMSXS643, CMSXS648, CMSXS633, CMSXS645 e CMSXS644. Em termos de inferências sobre a produtividade esperada, tais genótipos podem ser cultivados em locais com variados padrões de interação, além da rede experimental avaliada, uma vez que as cultivares foram ordenadas com base em valores genotípicos livres da interação genótipo x ambiente.

CONCLUSÃO

Dentre os genótipos avaliados, destacaram-se as cultivares CMSXS643, CMSXS648, CMSXS633, CMSXS645 e CMSXS644, quanto à produtividade, adaptabilidade e estabilidade, pelo método MHPRVG.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Milho e Sorgo e ao Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia da UFSJ.

REFERÊNCIAS

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesq Agropec Trop** 37(4): 195-203, dez. 2007.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.193-201, 2007.

CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**/ Cosme Damião Cruz. Viçosa:UFV, 2005. 394p.

GUIGOU, M.; LAREO, C.; PÉREZ, L.V.; LLUBERAS, M. E.; VÁZQUEZ, D.; FERRARI, M. D. Bioethanol production from sweet sorghum: evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 3058-3062, 2011.

MAY, A. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol**: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 120 p.

RESENDE, M. D. V. **Software SELEGEN- REML/BLUP**: Sistema estatístico e seleção computadorizada via modelos lineares mistos. Embrapa,Colombo, 2007. 359p.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 65p. (Embrapa - Documentos, 100)

SILVA, G. O.; CARVALHO, A. D. F.; VIEIRA, J. V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.494-501, 2011.