

Estimativas de Correlações Fenotípicas e Genotípicas entre Parâmetros Agroindustriais do Sorgo Sacarino^a

Vander Fillipe de Souza¹, Séverin Hatt², Rafael Augusto da Costa Parrella³, Flávio Dessaune Tardin⁴ e Robert Eugene Schaffert⁵

¹Acadêmico da Universidade Federal de São João Del-Rei. ¹vander_agro@hotmail.com ²CIRAD, Montpellier, France ²severin.hatt@yahoo.com ^{3,4,5}Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ³parrella@cnpms.embrapa.br ⁴flavio.tardin@embrapa.br e ⁵schaffer@cnpms.embrapa.br

RESUMO - O sorgo sacarino apresenta-se como interessante matéria-prima para produção de etanol. O objetivo deste trabalho foi estimar as correlações fenotípicas e genotípicas entre características agroindustriais em linhagens de sorgo sacarino. Em um total de 225 linhagens recombinantes de sorgo sacarino, foram realizadas correlações para: produção de biomassa verde; extração de caldo; fibras no colmo; sólidos solúveis totais; açúcares redutores; sacarose; açúcares totais recuperáveis; produção de álcool por tonelada; e produção de álcool por hectare. Do total de 36 correlações fenotípicas, 31 foram significativas pelo teste t. Nas correlações genotípicas 27,8% foram consideradas muito fortes; 19,4% fortes; 36,1% moderadas; 2,8% fracas; e 13,9% muito fracas. Foi possível identificar correlação muito forte entre o teor de sólidos solúveis totais e a produção de álcool por hectare, relevante informação do ponto de vista prático. As correlações genotípicas foram maiores do que as correlações fenotípicas em todos os casos, demonstrando que os fatores genéticos contribuíram mais do que os ambientais para as correlações.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, melhoramento genético, seleção fenotípica, bioenergia, etanol.

Introdução

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] apresenta-se como interessante matéria-prima para produção de etanol, por possuir colmos suculentos com presença de açúcares diretamente fermentáveis, assim como a cana-de-açúcar (KIM e DAY, 2010). Esta semelhança possibilita a utilização da mesma estrutura agroindustrial sucroalcooleira para produção de etanol a partir dessa cultura durante a entressafra da cana-de-açúcar. O que possibilita o fortalecimento da produção nacional de etanol, reduzindo o período de ociosidade das usinas e, por consequência, a amortização de oscilações no preço do etanol ao longo do ano.

Dentre os principais objetivos dos programas de melhoramento do sorgo sacarino estão o aumento da produtividade de biomassa verde e a melhoria na quantidade e na qualidade dos açúcares presentes no colmo. Como muitas características são levadas em consideração no processo seletivo para obtenção deste ideótipo, as correlações entre

^a Pesquisa financiada pela Comissão Europeia – projeto Sweetfuel.

características podem influenciar positiva ou negativamente na seleção e, portanto, devem ser avaliadas para ampliar os ganhos por ciclo de seleção.

As estimativas de correlações permitem prever o comportamento de uma característica quando se realiza a seleção em outra correlacionada. De maneira clássica, implica na viabilidade de se promover a seleção em uma característica de fácil mensuração, visando obter ganhos em outra de difícil avaliação ou de baixa herdabilidade. Isto possibilita maior eficiência na seleção, na redução do tempo e do uso de recursos físicos, financeiros e humanos, em relação à seleção isolada para um determinado caráter.

As correlações fenotípicas possuem causas genéticas e ambientais, porém, somente as associações de natureza genética são herdáveis. Desta forma, a correlação genotípica tem maior valor prático (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). As correlações genéticas podem decorrer de ligação gênica, que é um estado transitório, tendo em vista que o desequilíbrio de ligação é perdido ao longo dos ciclos de reprodução aleatória ou devido a pleiotropia, que é a causa principal e permanente da correlação (FALCONER e MACKAY, 1996).

Este trabalho objetivou estimar as correlações fenotípicas e genotípicas entre nove características agroindustriais avaliadas em 225 linhagens endogâmicas recombinantes de sorgo sacarino, a fim de contribuir na orientação das estratégias de seleção dos programas de melhoramento genético.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas - MG, na safra 2010/2011, em delineamento de blocos incompletos com três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por duas fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas por 0,70 m, com população de nove plantas por metro. Foram avaliadas 225 linhagens endogâmicas recombinantes – RIL (*Recombinant Inbred Lines*) de sorgo sacarino, na geração F₆ do método descendente de uma única semente - SSD (*Single Seed Descent*), oriundas de duas linhagens contrastantes (BR501-Brandes x BR505-Wray) para caracteres agroindustriais como quantidade e qualidade de açúcares no caldo.

As seguintes características foram avaliadas: produção de biomassa verde (PBV); extração de caldo (Extração); fibras no colmo (Fibra); sólidos solúveis totais (Brix); açúcares redutores (AR); sacarose (Pol); açúcares totais recuperáveis (ATR); produção de álcool por tonelada (Alc ton⁻¹); e produção de álcool por hectare (Alc ha⁻¹).

A produção de biomassa verde foi calculada por parcela e transformada em tonelada por hectares. A extração de caldo foi realizada em prensa hidráulica com pressão mínima e

constante de 250 kgf cm⁻² durante 1 minuto, sobre uma amostra de 500 g de biomassa verde desintegrada e homogeneizada. O conteúdo de fibras foi calculado pelo método de Tanimoto (1964). O teor de sólidos solúveis totais foi aferido em refratômetro digital de leitura automática em °Brix, e a sacarose foi determinada a partir da leitura do caldo em sacarímetro digital, após clarificação do caldo com mistura à base de alumínio (CONSECANA, 2006).

Levando-se em consideração que os açúcares presentes no caldo de sorgo sacarino correspondem aos da cana-de-açúcar, os coeficientes estequiométricos e os fatores de correção utilizados foram os mesmos. Para o cálculo dos demais parâmetros agroindustriais foram utilizadas as seguintes fórmulas: AR = 3,641 – 0,0343 x 100 x Pol ÷ Brix; ATR = 9,5263 x PC + 9,05 x ARC, onde PC = Pol do colmo e ARC = açúcar redutores do colmo; Alc ton⁻¹ = ATR x 10 x 0,6475 x 0,85; e Alc ha⁻¹ = Alc ton⁻¹ x PBV.

Os coeficientes de correlação fenotípica (r_f) e genotípica (r_g) foram estimados utilizando o programa Genes (Cruz, 2006), por meio das seguintes expressões:

$$r_f = \frac{PMT_{xy}}{\sqrt{QMT_X \cdot QMT_Y}} \quad e \quad r_g = \frac{\hat{\sigma}_{gxy}}{\sqrt{\hat{\sigma}^2_{gx} \cdot \hat{\sigma}^2_{gy}}}$$

Sendo:

$$\hat{\sigma}_{gxy} = \frac{PMT_{xy} \cdot PMR_{xy}}{r} \quad \hat{\sigma}^2_{gx} = \frac{QMT_X \cdot QMR_X}{r} \quad \hat{\sigma}^2_{gy} = \frac{QMT_Y \cdot QMR_Y}{r}$$

PMT_{xy} e PMR_{xy} : produtos médios associados aos efeitos de tratamentos e resíduo; $QMT_X \cdot QMT_Y$: quadrados médios associados aos efeitos de tratamentos das características x e y; $QMR_X \cdot QMR_Y$: quadrados médios associados aos efeitos de resíduos das características x e y; $\hat{\sigma}_{gxy}$: estimativa da covariância genotípica entre as características x e y; e estimativa das variâncias genotípicas das características x e y, respectivamente.

A estatística t foi utilizada para avaliar os coeficientes de correlação fenotípica (r_f), e o método de bootstrap com 200 simulações foi utilizado para avaliar os coeficientes de correlação genotípica (r_g). Para avaliar a magnitude das correlações obtidas optou-se pela classificação proposta por Shimakura e Ribeiro Junior (2006) com as seguintes classes: 0,0 a 0,19 - muito fraca; de 0,20 a 0,39 - fraca; de 0,40 a 0,69 - moderada; de 0,70 a 0,89 – forte; e de 0,90 a 1,00 - muito forte.

Resultados e Discussão

As correlações medem o grau de associação entre duas variáveis e geralmente são utilizadas por permitir a seleção para uma característica de herança complexa, por meio de outra característica correlacionada e de mais fácil mensuração. Esta estratégia permite obter

progressos mais rápidos em relação ao uso de seleção direta e aumentar os ganhos na seleção em programas de melhoramento genético (CARVALHO et al., 2004).

Do total de 36 correlações fenotípicas, 31 foram significativas pelo teste t, independentemente da significância estatística; 27,8% foram consideradas muito fortes; 16,7% fortes; 19,4% moderadas; 22,2% fracas; e 13,9% muito fracas. Na porcentagem acumulada das correlações, 63,9% enquadraram-se entre moderada e muito forte.

A relação entre correlações fenotípicas e genotípicas foi grande, as diferenças concentraram-se na mudança das correlações com PBV, de fracas para moderadas. Desta forma, na classificação genotípica, 27,8% foram consideradas muito fortes; 19,4% fortes; 36,1% moderadas; 2,8% fracas; e 13,9% muito fracas, e na porcentagem acumulada, 83,3% enquadraram-se entre moderada e muito forte. Em razão da similaridade e de seu maior valor prático, somente as correlações genotípicas serão analisadas com maior detalhe.

As características que quantificam os teores de açúcares e a produção de álcool, como Brix, AR, Pol, ATR e Alc ton⁻¹, apresentaram-se muito fortemente correlacionadas entre si. É totalmente plausível que as características estimadas, como produção de álcool, tenham alta correlação com as características de referência. A característica PBV apresentou correlação moderada com as características correspondentes aos teores de açúcares, no entanto, apresentou correlação forte com Alc ha⁻¹ ($r_g = 0,89$), uma vez que, a maior produção de biomassa resultaria em uma maior produção de álcool por hectare.

O fato de Brix apresentar correlação muito forte com AR ($r_g = 0,99$), Pol ($r_g = 0,97$), ATR ($r_g = 0,99$) e Alc ton⁻¹ ($r_g = 0,99$); e forte com Alc ha⁻¹ ($r_g = 0,78$) possibilita a seleção indireta a partir dessa única característica, que é de fácil inferência e não demanda reagentes durante o processo, perfazendo uma informação muito importante do ponto de vista prático. Guigou et al. (2011) também demonstraram correlação muito forte ($R^2 = 0,96$) entre concentração de açúcares totais em equivalentes de glicose e brix do caldo de sorgo sacarino.

Ocorreu correlação positiva entre AR e Pol, apesar de em certas condições ocorrer fisiologicamente a inversão de sacarose em açúcares redutores, não ocasionando problemas para seleção. A extração de caldo apresentou correlação fraca com produção de álcool por hectare e muito fraca com os demais parâmetros agroindustriais, o que pode ser explicado por esta característica ser um caráter qualitativo (NAN et al., 1994), representando pouca importância, do ponto de vista da seleção, quando comparada com as demais características agroindustriais.

Fibra apresentou correlação negativa com todas as outras características avaliadas, sendo forte para Extração ($r_g = -0,73$) e moderada para as demais características. O que pode

ser um complicador no desenvolvimento de materiais com dupla aptidão para a produção de etanol de primeira e de segunda geração ou para a cogeração de eletricidade.

Conclusões

As correlações genótípicas foram maiores do que as correlações fenotípicas em todos os casos, demonstrando que os fatores genéticos contribuíram mais do que os ambientais para as correlações.

Foi possível identificar correlação muito forte entre o teor de sólidos solúveis totais (Brix) e a produção de álcool por hectare, uma relevante informação do ponto de vista prático.

Agradecimento

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro.

Literatura Citada

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária - UFPel, 2004. 141 p.

CONSECANA. Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 112 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 480 p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: biometria**. Viçosa: UFV, 2006. 382 p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Londres: Longman Group, 1996. 464 p.

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.

KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar Mills. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**. v. 38, p. 803-807, 2010.

NAN, L.; BEST, G.; CARVALHO NETO, C. C. **Integrated energy systems in China: the cold Northeastern region experience**. Rome: FAO, 1994. 475 p.

OLIVEIRA, E. J.; SANTOS, V. S.; LIMA, D. S.; MACHADO, M. D.; LUCENA, R. S.; MOTTA, T. B. N. Estimativas de correlações genotípicas e fenotípicas em germoplasma de maracujazeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 255-261, 2011.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian Planter's Record**, Honolulu, v. 57, n. 2, p. 133-150, 1964.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no melhoramento**. Ribeirão Preto: SBG, 1992. 496 p.

Tabela 1: Estimativas das correlações genotípicas (diagonal superior) e fenotípicas (diagonal inferior) entre as características: produção de biomassa verde (PBV); extração de caldo (Extração); fibras no colmo (Fibra); sólidos solúveis totais (Brix); açúcares redutores (AR); sacarose (Pol); açúcares totais recuperáveis (ATR); produção de álcool por tonelada (Alc ton⁻¹) e produção de álcool por hectare (Alc ha⁻¹). Obtidas pelo cultivo de 225 linhagens recombinantes de sorgo sacarino, em Sete Lagoas - MG na safra 2010/2011.

	PBV	Extração	Fibra	Brix	AR	Pol	ATR	Alc ton ⁻¹	Alc ha ⁻¹
PBV		0.55 **	-0.51 **	0.42 **	0.45 **	0.41 **	0.48 **	0.45 **	0.89 **
Extração	0.34 **		-0.73 **	0.11 **	0.12 **	0.07 **	0.19 **	0.12 **	0.37 **
Fibra	-0.34 **	-0.72 **		-0.60 **	-0.63 **	-0.59 **	-0.69 **	-0.63 **	-0.62 **
Brix	0.28 **	0.04 NS	-0.49 **		0.99 **	0.97 **	0.99 **	0.99 **	0.78 **
AR	0.29 **	0.04 NS	-0.51 **	0.97 **		1.00 **	1.00 **	1.00 **	0.80 **
Pol	0.28 **	0.02 NS	-0.50 **	0.95 **	0.99 **		0.99 **	1.00 **	0.78 **
ATR	0.31 **	0.12 NS	-0.59 **	0.96 **	0.99 **	0.98 **		1.00 **	0.82 **
Alc ton ⁻¹	0.29 **	0.04 NS	-0.51 **	0.97 **	1.00 **	0.99 **	0.99 **		0.80 **
Alc ha ⁻¹	0.86 **	0.22 **	-0.47 **	0.68 **	0.71 **	0.70 **	0.72 **	0.71 **	

** e NS : Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

** : Significativo a 1% pelo método de bootstrap com 200 simulações.