

SORGO SUBMETIDO À ADUBAÇÃO NITROGENADA CONVENCIONAL E FERTIRRIGADA: ANÁLISE DE TRILHA DA PRODUTIVIDADE E COMPONENTES

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho avaliar a associação entre a produtividade e seus componentes do sorgo submetido a adubação convencional, fertirrigada e sem adubação mediante as análises de correlação e trilha. O experimento foi conduzido na área experimental da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará, no período de março a julho de 2008. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições. As doses testadas foram: 0; 30; 60; e 120 kg ha⁻¹ pelo método convencional e por fertirrigação. As variáveis estudadas foram: produtividade de grãos (PG), peso de sementes (P100), peso da panícula (PP), diâmetro maior da panícula (DMP) e comprimento da panícula (CP), PP/DMP e PP/CP. Correlações significativas da produtividade de grãos do sorgo foram constatadas com diâmetro maior da panícula, relação peso da panícula/diâmetro maior da panícula, relação peso da panícula/comprimento da panícula. Efeitos diretos positivos foram constatados na peso de 100 sementes, peso da panícula, comprimento da panícula e relação peso da panícula/comprimento da panícula sobre a produtividade de grãos do sorgo.

Palavras-chave – *Sorghum bicolor* L. Moench, associação de caracteres, caracteres agronômicos

SORGHUM SUBMITTED TO CONVENTIONAL AND FERTIGATION NITROGEN: PATH ANALYSIS OF PRODUCTIVITY AND COMPONENTS

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the association between yield and its components of sorghum subjected to conventional fertilization, fertigation and without fertilization by analysis of correlation and path. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Meteorological Department of Agricultural Engineering, Federal University of Ceará, Fortaleza, Ceará, in the period March to July of 2008. Used the EA 955 cultivar, harvest of grain sorghum in 2007. The irrigation systems used in conducting the experiment was dripping. The experimental design was randomized blocks with seven treatments and four replications. The levels tested were 0, 30, 60, and 120 kg ha⁻¹ by conventional method and by fertigation. The variables studied were: yield, 100 seed weight, ratio panicle weight/diameter of the panicle, ratio panicle weight/length of panicle, weight, larger diameter and length of panicle. Significant correlations of yield of sorghum were found with a larger diameter of the panicle, ratio panicle weight/diameter of the panicle, ratio panicle weight/length of panicle. Positive direct effects were observed in 100 seed weight, panicle weight, length of panicle and ratio panicle weight/length of panicle.

Key words – *Sorghum bicolor* L. Moench, character association, agronomic characters

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é originário da África, embora algumas evidências indiquem que possa ter havido duas regiões de dispersão independentes: África e Índia. A domesticação do sorgo, segundo registros arqueológicos, deve ter acontecido por volta de 3000 AC (RIBAS, 2003). Essa planta pertence à família das gramíneas, prefere clima tropical, sendo cultivado comercialmente entre os paralelos 40°N e 40°S do equador (WINCH, 2006).

A associação da produtividade de grãos do sorgo com caracteres agronômicos, os componentes do crescimento vegetal, representam grande significância nos estudos de manejo cultural. Segundo Coimbra et al. (2005) os coeficientes de correlação expressam somente uma medida de associação, portanto não permitindo conclusões

sobre causa e efeito, não possibilitando inferências com relação ao tipo de associação que o par de caracteres Y/X.

Para sanar o problema com relação à interpretação dos coeficientes de correlação, os quais não indicam a magnitude dos efeitos diretos e indiretos, Wright (1921) desenvolveu o método de análise de trilha. Esse método desdobra as correlações estimadas em efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável considerada principal.

A análise de trilha ou de caminhamento tem sido empregada em estudos com plantas cultivadas, a exemplo, sorgo (EZEAKU & MOHAMMED, 2006; DEEPALAKSHMI & GANESAMURTHY, 2007) mamona (SARWAR & CHAUDHRY, 2008), pinhão manso (SPINELLI et al., 2010) e em girassol (AMORIM et al., 2008; YASIN; SINGH, 2010).

Objetivou-se com este trabalho avaliar a associação entre a produtividade e seus componentes do sorgo submetido a adubação convencional, fertirrigada e sem adubação mediante as análises de correlação e trilha.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na área experimental da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, Campus do

Pici, Fortaleza, Ceará, no período de março a julho de 2008.

O solo da área experimental é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO. Na Tabela 1 estão os dados das características químicas do solo da área experimental na profundidade de 0 - 20 cm.

Tabela 1 - Caracterização do solo da área experimental na profundidade de 0 – 20 cm, Fortaleza, Ceará, 2008

Prof. (cm)	pH	Complexo sortivo (cmol _c dm ⁻³)							V(%)	Al ³⁺ (mg dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	M.O (g kg ⁻¹)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	H ⁺ +Al ²⁺	T				
0-20	7,2	17,0	7,0	0,43	1,0	25,4	6,6	32,0	79,4	0,0	6,0	6,7

Fonte: Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará.

A cultura utilizada na pesquisa foi o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivar EA 955 safra de 2007. O sistema de irrigação localizada para a condução do experimento foi do tipo gotejamento.

A adubação da área experimental foi realizada com NPK, na fórmula de 60-70-50 kg ha⁻¹, respectivamente, conforme interpretação da análise de solo, baseada na recomendação de adubação e calagem para o estado do Ceará (UFC, 1993), para o sorgo. Os fertilizantes empregados na adubação dos experimentos foram: uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio.

O delineamento estatístico empregado foi de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais. Nesse experimento, foram avaliadas doses de nitrogênio aplicadas pelo método da adubação convencional e por fertirrigação. Os tratamentos foram constituídos da seguinte forma: 0 (controle); dose recomendada pela análise de solo (60 kg ha⁻¹ de nitrogênio); metade (30 kg ha⁻¹) e o dobro (120 kg ha⁻¹) da dose recomendada aplicadas pelo método convencional e fertirrigado.

A área total do experimento foi de 164 m², com área útil de 56 m², na qual cada parcela experimental foi constituída de uma área 2 m², com 30 plantas úteis, totalizando 120 plantas úteis por tratamentos.

A adubação de fundação no experimento foi realizada inicialmente com fósforo (70 kg ha⁻¹) e potássio (50 kg ha⁻¹) aplicados em uma única vez, enquanto o nitrogênio foi parcelado de acordo com as doses pré-estabelecidas aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As correlações entre produtividade de grãos do sorgo (Y₁) e as variáveis peso de 100 sementes (Y₂), peso da panícula (Y₃), diâmetro maior da panícula (Y₄), relação peso da panícula/ diâmetro maior da panícula (Y₆), relação peso da panícula/comprimento da panícula (Y₇) diferiram

Na semeadura colocando-se sementes de sorgo granífero, em sulcos de 4 a 5 cm de profundidade, posteriormente cobertas com uma fina camada de solo. Quando cerca 90% das sementes estavam germinadas foi realizado o raleamento, deixando-se 15 plantas por metro linear, ou seja, um espaçamento médio de 0,0667 m entre plantas, aquelas que apresentaram crescimento mais vigoroso.

Os tratamentos de fertirrigação nitrogenados foram realizados da seguinte forma: 1/3 de N foi aplicado na adubação de fundação e 2/3 de N foram parcelados em 8 vezes aplicados semanalmente aos 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, e 70 dias após a emergência (DAE). E, para os tratamentos de adubação convencional foram aplicados 1/3 no plantio, 1/3 aos 20 dias e 1/3 aos 45 DAE. E aos 21 DAE, foi iniciada a aplicação dos tratamentos por fertirrigação, semanalmente, baseado nas doses de N para cada tratamento.

A colheita das panículas do sorgo granífero foi de forma manual quando os grãos haviam atingido o ponto de colheita de acordo com a metodologia de Pitombeira (2005). Após esse procedimento, foi iniciada a colheita, selecionando-se cinco plantas aleatoriamente da área útil para avaliação.

As variáveis analisadas no experimento foram: produtividade de grãos (PG), peso de 100 sementes (P100), peso da panícula (PP), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), relações PP/DMP e PP/CP. Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise dos coeficientes de correlação de Pearson e a análise de trilha empregou-se o programa genes computacional (CRUZ, 2006).

estatisticamente pelo teste t (tabela 2). Os pares Y₁ x Y₄, Y₁ x Y₆ e Y₁ x Y₇ revelaram respostas significativas e positivas, sugerindo uma base de relacionamento estreita entre as variáveis agrônomicas analisadas, indicando um possível efeito de interferência nas variáveis correlatas para a expressão do rendimento (Tabela 2). Ao passo que, as combinações negativas foram Y₁ x Y₂ e Y₁ x Y₃, indicando que aumentos na segunda variável resultam em

diminuições na primeira (Tabela 2). Alguns pares apresentaram correlações baixas, a exemplo, $Y_3 \times Y_5$, $Y_5 \times Y_6$, $Y_5 \times Y_7$ (Tabela 2). Montardo et al. (2003), relataram que uma possível razão para baixa correlação entre variáveis seria a ocorrência de pouca variabilidade em

uma das mesmas, uma vez que a análise de trilha procura identificar uma eventual associação na variação das características em estudo.

Tabela 2 - Matriz de correlação entre 7 variáveis agronômicas em 7 tratamentos do sorgo sob sistema de adubação convencional, fertirrigado e controle sem adubação. Fortaleza-CE, 2008

Variáveis	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
Y ₁	1	-0,7370 **	-0,6259**	0,7166**	-0,2241 ^{ns}	0,7117**	0,94902**
Y ₂	-0,7370 **	1	0,6009**	-0,6670**	-0,1389 ^{ns}	0,6844**	-0,7959**
Y ₃	-0,6259**	0,6009**	1	-0,5604**	0,3875*	0,5848**	-0,6914**
Y ₄	0,7166**	-0,6670**	-0,5604**	1	-0,2791**	0,7033**	0,7825**
Y ₅	-0,2241 ^{ns}	-0,1389 ^{ns}	0,3875*	-0,2791**	1	-0,3087*	-0,3333*
Y ₆	0,7117**	0,6844**	0,5848**	0,7033**	-0,3087*	1	0,7859**
Y ₇	0,94902**	-0,7959**	-0,6914**	0,7825**	-0,3333*	0,7859**	1

Y₁: produtividade de grãos (kg ha⁻¹), Y₂: peso de 100 sementes (g), Y₃: peso da panícula (g), Y₄: diâmetro maior da panícula (mm), Y₅: comprimento da panícula (mm), Y₆: relação peso da panícula/ diâmetro maior da panícula (g/mm) Y₇: relação peso da panícula/ comprimento da panícula (g/mm). Não significativo (^{ns}), significativo ao nível de 5% (*) e significativo ao nível de 1% (**) pelo teste t.

Cabe destacar que vários autores utilizaram a análise de correlação e constatarem valores significativos entre os pares, produtividade de grãos x peso de 100 sementes (EZEAKU & MOHAMMED, 2006; SHARMA et al., 2006), produtividade de grãos x comprimento de panícula e produtividade de grãos x largura da panícula (MAHAJAN et al., 2011), produtividade de grãos x peso panícula (EZEAKU & MOHAMMED, 2006). Correlações não significativas foram detectadas para produtividade de grãos x comprimento da panícula (EZEAKU & MOHAMMED, 2006; DEEPALAKSHMI & GANESAMURTHY, 2007), produtividade de grãos x

peso de 100 sementes (DEEPALAKSHMI & GANESAMURTHY, 2007).

O coeficiente de determinação da análise de trilha foi igual a 89,58 %, sugerindo que a produtividade de grãos do sorgo, pode ser explicada com base no efeito das variáveis analisadas (Tabela 3). A dispersão dos dados avaliados 10,42 % em relação à produtividade do sorgo, sendo atribuída a fatores de natureza aleatória durante a condução do experimento (Tabela 3). Amorim et al. (2008) salientaram que o valor do coeficiente de determinação, tendo a produtividade como variável principal na análise de trilha, se restringe as variáveis

agronômicas avaliadas, em virtude ser um caráter quantitativo.

O valor do efeito residual da análise de trilha foi igual a 0,3222, sorgo sob sistema de adubação convencional, fertirrigado e controle sem adubação (Tabela 3). MAHAJAN et al., (2011) reportam em estudos desenvolvido com a cultura do sorgo e avaliado por meio da análise de trilha, efeito residual de 0,2034, indicando que as variáveis escolhidas para explicar a produtividade da cultura foram adequadas. Segundo Montardo et al. (2003) parte da variação ocorrida no rendimento de sementes pode não ser atribuída a nenhuma das variáveis consideradas no estudo, sendo, portanto, contabilizada como efeito residual.

A análise de trilha, análise de trajetória ou também denominada de análise de caminhamento foi usada para determinar os efeitos diretos e indiretos entre a produtividade de grãos e as variáveis agrônômicas estudadas na cultura do sorgo (Tabela 3). O peso de 100 sementes correlacionou-se negativamente (Tabela 2 e 3) com a produtividade de grãos do sorgo (-0,7370), o efeito direto (Tabela 3) foi positivo e de baixa magnitude (0,0557). Os efeitos indiretos da análise de trilha foram os principais responsáveis pela formação para formação do valor da correlação entre a produtividade de grãos x peso de 100 sementes (Tabela 3). A relação peso da panícula/comprimento da panícula foi a variável que contribui com a maior parte para geração do valor da correlação (Tabela 3). Efeito direto positivo de baixa

magnitude entre peso 100 de sementes sobre a produtividade de grãos também foram observados por Deepalakshmi e Ganesamurthy (2007),

Ezeaku e Mohammed (2006).

Com relação ao peso da panícula x produtividade de grãos (Tabela 2) constatou-se correlação negativa (-0,6259), tendo efeito direto (Tabela 12) positivo (0,0047). Essa correlação foi oriunda de causas indiretas, revelando que relação peso da panícula/comprimento da panícula teve a maior participação, sugerindo incrementos nesta relação em termos relativos proporcionaram redução na produtividade de grãos do sorgo. Ezeaku e Mohammed (2006) observaram alta correlação entre o peso da panícula x produtividade de grãos (0,9763), além disso, a partição do efeito principal foi superior aos de causa indireta.

A correlação entre diâmetro maior da panícula x produtividade de grãos foi igual a 0,7166 indicando uma forte associação entre tais variáveis (Tabela 2 e 3). O efeito direto do número de racemos por planta foi negativo (-0,0276), denotando que a correlação foi oriunda dos efeitos de causa indireta, sendo a relação entre relação peso da panícula/comprimento da panícula a componente majoritária (Tabela 3). Respostas diferenciadas foi detectada por Chaudhary et al. (2001) estudando a cultura do sorgo, verificaram que a correlação e o efeito direto da largura sobre a produtividade demonstraram valores de baixa magnitude.

Tabela 3 - Estimativas de efeitos diretos (na diagonal, negritado) e indiretos (fora da diagonal) de 6 variáveis agrônômicas sobre a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em 7 tratamentos do sorgo sob sistema de adubação convencional,

Variáveis	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Total
Y ₂	0,0557	0,0028	0,0181	0,0145	0,0310	-0,8595	-0,7370 **
Y ₃	0,0334	0,0047	0,0155	0,0404	0,0265	-0,7467	-0,6259 **
Y ₄	-0,0370	-0,0026	-0,0276	-0,0291	-0,3119	0,8450	0,7166 **
Y ₅	0,0077	0,0018	0,0077	0,1044	0,0140	-0,3599	-0,2241 *
Y ₆	-0,0381	-0,0027	-0,0194	-0,0322	-0,0453	0,8487	0,7107 **
Y ₇	-0,0443	-0,0033	-0,0216	-0,0348	-0,0356	1,0799	0,9402 **
R ²	0,8958						
Efeito Residual	0,3222						

fertirrigado e controle sem adubação. Fortaleza-CE, 2008

Y₂: peso de 100 sementes (g), Y₃: peso da panícula (g), Y₄: diâmetro maior da panícula (mm), Y₅: comprimento da panícula (mm), Y₆: relação peso da panícula/ diâmetro maior da panícula (g/mm) Y₇: relação peso da panícula/comprimento da panícula (g/mm)

O comprimento da panícula correlacionou negativamente (Tabela 2) com a produtividade de grãos do sorgo (-0,2241), o efeito direto (Tabela 3) foi positivo e de baixa magnitude (0,1044), revelando que os efeitos indiretos da análise de trilha revelaram maior contribuição no valor da partição dos valores da correlação. Chaudhary et al. (2001) não observaram correlação entre o comprimento da panícula e produtividade de grãos, o efeito direto teve contribuição superiores aos indiretos.

Enquanto, Ezeaku e Mohammed (2006) detectaram baixa correlação (0,0390), efeito direto negativo (-0,0031), sendo as causas indiretas os principais componentes da partição do relacionamento entre as variáveis.

A relação peso da panícula/diâmetro maior da panícula quando correlacionada com a produtividade de grãos (Tabela 2 e 3) revelou valor positivo de alta magnitude (0,7107), o efeito direto (Tabela 3) foi negativo (-0,0453), a correlação que ocorre é originada dos efeitos indiretos.

Na Tabela 3, observa-se a análise de trilha e constata-se que a variável relação peso da panícula/comprimento

da panícula x produtividade de grãos apresentou alta correlação 0,9402 (Tabela 2 e 3), significativa estatisticamente ao nível de 1% pelo teste t, o efeito direto igual a 1,0799. Hoogerneide et al. (2007) comentaram que quando ocorre esse tipo de resposta recomenda-se a seleção truncada, a qual pode vir a proporcionar ganho satisfatório na produtividade.

CONCLUSÕES

1. Correlações significativas da produtividade de grãos do sorgo foram constatadas com diâmetro maior da panícula, relação peso da panícula/diâmetro maior da panícula, relação peso da panícula/comprimento da panícula.

2. Efeitos diretos positivos foram constatados na peso de 100 sementes, peso da panícula, comprimento da panícula e relação peso da panícula/comprimento da panícula sobre a produtividade de grãos do sorgo.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, E. P.; RAMOS, N. P.; UNGARO, M. R. G.; KIIH, T. A. M. Correlações e análise de trilha em girassol. **Bragantia, Campinas**, v. 67, n. 2, p. 307 – 316, 2008.
- ANJANI, K. Extra-early maturing germplasm for utilization in castor improvement. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 1, p. 139-144, 2010.
- BINODH, A. K.; MANIVANNAN, N.; VARMAN, P. V. Character association and path analysis in sunflower. **The Madral Agricultural Journal**, v. 95, n. 7-12, p. 425-428, 2008.
- COIMBRA, J. L. M.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; OLIVEIRA, A. C. DE; CARVALHO, F. I. F.; GUIDOLIN, A. F.; SOARES, A. P. Consequências da multicolienaridade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 35, n. 2, p. 347-352, 2005.
- CRUZ, C.D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006.
- DEEPALAKSHMI, A. J.; GANESAMURTHY, K. Studies on genetic variability and Character association in kharif sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Indian Journal of Agricultural Research**, v.41, n.3, p.-177-182, 2007.
- EZEAKU, I. E.; MOHAMMED, S. G. Character association and path analysis in grain sorghum. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n.14, p. 1337-1340, 2006.
- HOOGERHEIDE, E. S. S.; VENCOSKY, R.; FARIAS, F. J. C.; FREIRE, E. C.; ARANTES, E. M. Correlações e análise de trilha de caracteres tecnológicos e a produtividade de fibra de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.10, p.1401-1405, 2007.
- MAHAJAN, R. C.; WADIKAR, P. B.; POLE, S.P.; DHUPPE, M. V. Variability, correlation and path analysis studies in sorghum. **Research Journal of Agricultural Sciences**, v.2, n.1, p.101-103, 2011.
- MONTARDO, D. P.; AGNOL, M. D.; CRUSIUS, A. F.; PAIM. Análise de Trilha para Rendimento de sementes em trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1076-1082, 2003.
- RIBAS, P. M. **Sorgo: Introdução e importância econômica**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2003, 14p. (Documentos, 26).
- SARWAR, G.; CHAUDHRY, M. B. Evaluation of castor (*Ricinus communis* L.) induced mutants for possible selection in the improvement of seed yield. Short Communication, **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 4, p. 629-634, 2008.
- SHARMA, H. D. K.; SHARMA, V. Genetic variability and path coefficient analysis in sorghum. **Indian Journal of Agricultural Research**, v.40, n.4, p.310-312, 2006.
- SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JUNIOR, J. R.; FERNANDES, C. DE, F.; MILITÃO, J. S. L. T.; DIAS, L. A. DOS, S. Componentes primários e secundários do rendimento do óleo de pinhão – manso. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, 2010.
- Universidade Federal do Ceará-UFC. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza, 1993, 248p.
- YASIN, A. B.; SINGH, S. Correlation and path coefficient analysis in sunflower. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 2, n. 5, p. 129-133, may, 2010.
- WINCH, T. DESCRIPTION AND CHARACTERISTICS OF THE MAIN FOOD CROPS – Sunflower. In: **Growing Food: A Guide to Food Production**, Springer, 342 p, 2006.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, n. 7, p. 557-587, 1921.

Recebido em 14 09 2011

Aceito em 24 12 2011