

Espaçamento entre plantas de sorgo granífero: produtividade de grãos e qualificação do modelo estatístico

Spacing between plants of grains sorghum: grain yield and qualification of the statistical model

Sidinei José Lopes^I Betania Brum^{II} Lindolfo Storck^I Alessandro Dal'Col Lúcio^I
Tatiani Reis da Silveira^{III} Marcos Toebe^{III}

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a regularidade do espaçamento entre plantas de sorgo granífero em relação à produtividade de grãos para a qualificação da análise estatística. O experimento com sorgo granífero, cultivar 'BR 304', foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria. Seis parcelas de sorgo foram cultivadas em duas épocas (07/12/05 e 05/01/06), três parcelas na época 1 e três parcelas na época 2. Portanto, o total de plantas avaliadas foram 864 (36 plantas/linha * 4 linhas/parcela * 3 parcela/época * 2 épocas). Cada parcela foi constituída por quatro fileiras (espaçadas em 0,5m) com 36 plantas. De cada parcela foi anotada a produtividade de grãos de cada planta (Y) e o respectivo espaçamento ocupado pela planta (X), com a identificação da fila (1 até 4) e o número de ordem da planta dentro da fila (1 até 36). Para cada variável (X e Y), foram procedidos os testes de aleatoriedade em torno da média, normalidade de Lilliefors e homogeneidade de variâncias por fila e por parcela, bem como, o teste de normalidade para cada classe de espaçamento entre plantas estabelecida (abaixo do padrão, padrão e acima do padrão). As falhas nos pressupostos (normalidade, aleatoriedade e homogeneidade de variâncias) da variável espaçamento entre plantas não afetam os pressupostos da produtividade de grãos destas plantas. A análise de covariância para a produtividade de grãos do sorgo granífero, em função do espaçamento entre plantas, deve ser usada quando o espaçamento entre plantas é alto ou em casos de espaçamentos irregulares entre plantas.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* L., aleatoriedade, normalidade, homogeneidade.

ABSTRACT

The objective of this research was to study the regularity of sorghum plants within row, its relationship to

grain yield and its effects on statistical analysis. The sorghum variety used was 'BR 304' and the experiment was conducted at the Federal University of Santa Maria at two seeding dates (12/07/05 and 01/05/06) using six plots, three plots at the seeding one date and three plots at the seeding two date. Therefore, the total of plants evaluated was 864 (36 plants/line * 4 lines/plot * 3 plot/seeding date * 2 seeding date). Each plot consisted of four rows (spaced 0.5m) totaling 36 plants. For each plot, the grain yields of each individual plants was measured (Y) and the respective row space occupied by that plant (X) identifying the row (1 to 4) and the number of the plant in the row (1 to 36). For each variable (X and Y) the following tests were conducted: randomness around the mean, Lilliefors normality and homogeneity of variances, for each row and plot as well as the normality for each established plant spacing class (below the standard, standard and above standard). Failure on the propositions (normality, randomness and homogeneity of variances) of the variable spacing among plants did not affect the propositions for grain yield of these plants. A covariance analysis for sorghum grain yield, as function of spacing among plants, should be used when spacing between plants is big or when plants are irregularly spaced within row.

Key words: *Sorghum bicolor* L., normality, aleatority, homogeneity.

INTRODUÇÃO

A competição entre as plantas da mesma cultura (intraespecífica) e dessas com as plantas daninhas (interespecífica) é uma das causas responsáveis por perdas elevadas de produtividade de grãos em algumas culturas de verão, as quais, para

^IDepartamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: sjlopes@smail.ufsm.br. *Autor para correspondência.

^{II}Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

^{III}Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

expressarem o potencial produtivo apresentam elevada demanda por radiação solar. A competição intraespecífica, normalmente, é determinada por altas densidades de semeadura associada a espaçamentos reduzidos, os quais provocam sombreamento das plantas, redução da interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura e competição por nutrientes, além da competição por água, quando em cultivo de sequeiro. Nessa situação, a disponibilidade de fotoassimilados para atender à demanda no período de enchimento dos grãos e, para a manutenção das demais estruturas da planta é reduzida (SANGOI & SALVADOR, 1997). Já a competição interespecífica ocorre, principalmente, em função de baixas densidades de plantas, as quais demoram em sombrear o solo e otimizam o ambiente para o crescimento e desenvolvimento de plantas daninhas (MAGALHÃES et al., 2003).

Em ambas as situações é fundamental o conhecimento de algumas características da cultura a ser implantada, bem como, do manejo cultural a ser adotado. DOURADO NETO (1999) afirma que a maximização da produção das culturas dependerá da população empregada, que será função: da capacidade suporte do meio e do sistema de produção adotado; do índice e da duração da área foliar fotossinteticamente ativa; da época de semeadura; e, da adequada distribuição espacial de plantas na área, em conformidade com suas características genotípicas.

O sorgo é uma planta C4, de dia curto e com altas taxas fotossintéticas. Assim, a planta de sorgo depende das folhas como os principais órgãos fotossintéticos, e a taxa de crescimento da planta depende tanto da taxa de expansão da área foliar como da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar. A medida que a copa da planta se fecha, outros incrementos no índice de área foliar têm pouco ou nenhum efeito sobre a fotossíntese, a qual passa a depender da radiação solar incidente e da estrutura da copa vegetal (MAGALHÃES et al., 2003). Fatores genéticos e a distribuição das plantas de sorgo são determinantes da produtividade por proporcionar rápido fechamento do dossel e maior interceptação da radiação solar (HAMMER & BROAD, 2003; MAGALHÃES et al., 2003).

Em princípio, toda e qualquer irregularidade na distribuição das plantas nas parcelas, responsáveis por modificação na estimativa da produtividade de grãos, é fonte de erro experimental porque aumenta o valor do quadrado médio do erro, pois, entre as diferentes repetições de um mesmo tratamento, a irregularidade e por consequência a produção de grãos não é a mesma. A irregularidade na distribuição das

plantas nas parcelas pode ser efeito da heterogeneidade do vigor das sementes, das diferenças na profundidade de semeadura e aplicação do adubo, das condições de umidade para a emergência, do ataque de pragas e doenças, das plantas daninhas, entre outras (STORCK et al., 2006). Como solução para contornar esta fonte de erro experimental recomenda-se a semeadura em excesso, com posterior desbaste para a densidade de plantas desejada, o que resulta em maior produtividade de grãos devido ao melhor aproveitamento dos recursos e insumos disponíveis (PEREIRA, 1989). Outra solução é usar a análise de covariância para a produtividade de grãos (variável principal), em que a covariável (número de plantas na parcela) é uma variável independente dos efeitos dos tratamentos (STEEL et al., 1997; STORCK et al., 2000). Usando a análise de covariância, CARGNELUTTI FILHO et al. (2006) concluíram que para a redução do erro experimental da produtividade de grãos de milho, a escolha de cultivares e o manejo devem representar maior homogeneidade do número de plantas entre as repetições, independente do ciclo e da estatura de plantas.

A qualidade da análise estatística depende da adequação às pressuposições do modelo matemático, que é necessária para validar os testes de hipóteses, para confiabilidade das conclusões (STEEL et al., 1997). O não atendimento de uma pressuposição pode decorrer do tipo de práticas culturais, de características dos tratamentos, de uma variável observada ou da forma de avaliação. A identificação das práticas culturais que afetam os pressupostos e a precisão das análises estatísticas são importantes para melhoria na qualidade das pesquisas (STORCK et al., 2000).

Embora se deva priorizar o estabelecimento da cultura com a maior regularidade possível, existem casos em que fatores adversos afetam a regularidade do espaçamento entre plantas. No entanto, para a cultura do sorgo granífero, não são conhecidas as magnitudes do efeito da falta de regularidade da distribuição de plantas em parcelas experimentais sobre a precisão experimental, na avaliação da produtividade de grãos, e sobre os pressupostos do modelo. O objetivo deste trabalho foi estudar a regularidade do espaçamento entre plantas de sorgo granífero em relação à avaliação da produtividade de grãos para a qualificação da análise estatística.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.), cultivar 'BR 304', foi conduzido

em duas épocas de semeadura (sete de dezembro de 2005 e cinco de janeiro de 2006) em três parcelas por época, na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria. O relevo é plano ondulado e o solo é classificado como Brunizem Hidromórfico (EMBRAPA, 1999). A adubação foi realizada segundo as recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 2004).

Cada parcela foi constituída por quatro fileiras (espaçadas em 0,5m) com 36 plantas por fileira. Foram avaliadas três parcelas na época 1 e três parcelas na época 2. Portanto, o total de plantas avaliadas foram 864 (36 plantas linha⁻¹ * 4 linhas/parcela * 3 parcela/época * 2 épocas). Em todas as parcelas foram anotadas a produtividade de grãos de sorgo de cada planta (Y) e o respectivo espaçamento ocupado pela planta (X), com a identificação do número de ordem da fila (1 até 4) e o número de ordem da planta dentro da fila (1 até 36). A medida de espaçamento entre plantas na linha foi realizada após a colheita e corte dos colmos das plantas a 5cm da superfície do solo, medindo-se a semidistância de cada lado da planta. O comprimento da fila variou em função do espaçamento entre as 36 plantas. Foram estimadas a média, a variância e o coeficiente de variação, da produtividade de grãos e do espaçamento entre plantas, para cada fila dentro da parcela e para as quatro filas das parcelas. Foram estabelecidas três classes de espaçamentos entre plantas (baixo, médio e alto em relação ao padrão), conforme o seguinte critério: a classe de espaçamento de cada parcela foi considerada padrão quando o espaçamento estava entre os limites de média menos 0,43 desvio padrão e média mais 0,43 desvio padrão, equivalente a 33,3% das plantas. As estatísticas média, variância e coeficiente de variação, da produtividade de grãos e do espaçamento entre plantas foram estimadas para cada classe de espaçamento estabelecida.

Para cada variável (espaçamento entre plantas e produtividade de grãos) foram procedidos os testes de aleatoriedade em torno da média e normalidade de Lilliefors (SPRENT & SMEETON, 2007), por fila e por parcela, bem como, o teste de normalidade de Lilliefors para cada classe de espaçamento entre plantas. Também foi aplicado o teste de Bartlett (STEEL et al., 1997) para verificar a homogeneidade das variâncias entre filas nas parcelas.

A análise de variância, segundo modelo hierárquico foi procedida para a variável produtividade de grãos (Y) e espaçamento entre plantas (X) e a análise da covariância usando o espaçamento entre plantas como covariável. O modelo da análise de variância

contempla as variações aleatórias entre épocas, entre parcelas dentro de épocas e, entre filas dentro de parcelas versus épocas. A mesma análise foi repetida para cada classe de espaçamento entre plantas.

As análises foram realizadas com o auxílio dos programas computacionais 'software científico NTIA' do Centro Tecnológico para Informática da EMBRAPA (1997) e o Sistema de Análises Estatística e Genéticas, SAEG, de acordo com sugestões apresentadas por RIBEIRO JÚNIOR (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira época, o espaçamento médio foi de 12,54cm entre plantas e 50cm entre filas (equivalente a 159,5 mil plantas ha⁻¹) com produtividade média de 38,31g planta⁻¹ (Tabela 1). Com estes resultados, estima-se uma produtividade de grãos igual a 6,11t ha⁻¹, sendo que na segunda época, com 153,0 mil plantas ha⁻¹ e 31,81g planta⁻¹ a produtividade de grãos foi de 4,87t ha⁻¹. Estas produtividades são superiores às melhores produtividades obtidas no Estado do Rio Grande do Sul na safra 2005/2006 (INDICAÇÕES, 2006). Observa-se pouca redução na densidade (-4%) e redução maior (-20%) na produtividade de grãos na segunda época, sendo a média dos coeficientes de variação da produtividade de grãos entre as plantas pouca alterada. A avaliação da produtividade de grãos de sorgo granífero, em experimentos de competição de cultivares, é considerada de média precisão quando o coeficiente de variação está entre os limites de 10 e 18% (LÚCIO et al., 1999).

Em altas densidades de plantas, a competição intraespecífica na cultura de sorgo foi confirmada por LOPES et al. (2005), os quais observaram maior produtividade de grãos por planta na menor densidade (100 mil plantas ha⁻¹), comparado à maior densidade (220 mil plantas ha⁻¹), nos dois espaçamentos estudados (0,5 e 0,8m). Porém, esses autores observaram que o aumento do número de plantas, na linha, não proporciona incrementos na produtividade de grãos por área, devido à capacidade de compensação individual das plantas de sorgo em baixas densidades. Segundo TOLLENAAR (1977), em híbridos modernos, como o BR 304 usado neste estudo, verifica-se maior eficiência de utilização de radiação no período de enchimento de grãos, em relação aos híbridos clássicos, devido a menor quantidade de fitomassa por planta, que permite colocar mais indivíduos por área, resultando em aumento do índice de área foliar e favorecendo uma interceptação mais efetiva da luz.

Tabela 1 - Média (Med), variância (Var), coeficiente de variação (CV), aleatoriedade em torno da média (A) e distribuição de probabilidade (D) para produtividade de grãos (g planta⁻¹) e espaçamento entre respectivas plantas (cm) de sorgo granífero, por fila com 36 plantas e por parcela com 144 plantas, em duas épocas e três parcelas./época Santa Maria, 2006.

Parcela	Fila	-----Produtividade de grãos (g planta ⁻¹)-----					-----Espaçamento entre planta (cm)-----				
		Med	Var	CV	A ⁺	D ⁽¹⁾	Med	Var	CV	A ⁺	D ⁽¹⁾
1/1	1	43,91	364,66	43,5	A	N	11,64	7,35	23,3	A	N
	2	35,18	470,92	61,7	A	N	12,72	7,00	20,7	A	-
	3	39,82	343,68	46,5	A	N	11,81	10,26	27,1	Na	N
	4	43,54	370,64	44,2	A	N	12,54	6,18	19,8	Na	N
	Parcela	40,61	391,83	48,7	A	N	12,18	7,75	22,8	Na	-
1/2	1	30,51	253,67	52,2	A	N	14,16	13,56	25,9	Na	N
	2	25,85	196,98	54,4	A	N	12,12	7,33	22,3	A	N
	3	32,60	263,14	49,7	A	N	14,35	8,06	19,7	Na	N
	4	41,14	358,23	46,0	A	N	12,70	7,03	20,8	A	N
	Parcela	32,52	293,29	52,6	A	-	13,34	9,71	23,3	Na	-
1/3	1	37,88	381,39	51,5	A	N	12,33	3,45	15,1	Na	N
	2	47,56	404,07	42,2	A	-	12,69	7,62	21,7	A	N
	3	43,62	326,41	41,4	Na	-	11,83	11,06	28,1	A	N
	4	38,14	495,85	58,4	A	N	11,57	8,21	24,7	Na	-
	Parcela	41,80	409,94	48,4	A	N	12,11	7,62*	22,8	Na	-
Média	-	38,31	352,47	49,3			12,54	8,09	22,4		
2/1	1	26,14	200,42	54,1	A	N	12,99	4,84	16,9	A	-
	2	31,09	187,29	44,0	A	N	12,71	2,14	11,5	A	N
	3	29,90	230,84	50,8	A	N	13,20	3,99	15,1	Na	N
	4	29,85	180,44	44,9	A	N	13,01	6,66	19,8	A	N
	Parcela	29,25	199,05	48,2	A	N	12,98	4,35*	16,0	Na	-
2/2	1	32,84	318,42	54,3	A	N	12,50	18,40	34,3	Na	-
	2	37,48	385,37	52,3	A	N	12,32	10,02	25,6	A	N
	3	30,83	329,15	58,8	A	N	12,79	17,51	32,7	A	N
	4	33,44	339,27	55,1	A	N	14,20	24,78	35,0	Na	N
	Parcela	33,65	341,73	54,9	A	-	12,95	17,86	32,6	Na	-
2/3	1	32,29	217,30	45,6	A	N	14,54	29,44	37,3	Na	-
	2	36,21	144,70	33,2	A	N	14,24	15,18	27,3	A	-
	3	32,72	293,38	52,3	A	N	12,71	9,26	23,9	A	N
	4	28,87	267,56	56,6	A	-	11,68	9,70	26,6	A	N
	Parcela	32,52	232,71	46,9	A	N	13,29	16,92*	30,9	Na	-
Média	-	31,81	257,85	50,2			13,07	12,66	25,5		

+Seqüência aleatória (A) e não aleatória (Na); ⁽¹⁾ Distribuição normal (N) pelo teste de Lilliefors (5%); * Variâncias entre filas heterogêneas pelo teste de Bartlett (5%).

Considera-se que as seis parcelas de sorgo apresentaram espaçamento entre plantas e produtividade de grãos normais para a cultura, com variações adequadas para o estudo dos pressupostos e da relação entre a produtividade de grãos e o espaçamento entre plantas, em nível de parcelas, filas e plantas.

O coeficiente de variação observado para produtividade de grãos é, praticamente, o dobro do observado para o espaçamento entre plantas, em todas as parcelas e nas médias de época. Este fato mostra que a relação entre espaçamento entre plantas e a produtividade de grãos não é perfeita, existem outros fatores interferindo nesta relação.

Nas seis parcelas o espaçamento entre plantas não se mostrou aleatório, com exceção de algumas filas dentro das parcelas (Tabela 1). No entanto, a produtividade de grãos destas mesmas plantas apresentou aleatoriedade para todas as parcelas e na maioria (96%) das filas. Parece que a competição pelo espaço entre as plantas não é de planta para planta, mas pode ser de grupos de plantas próximas. Observa-se ainda que, em três das seis parcelas em que o espaçamento entre plantas não tem distribuição normal e nem é aleatório, as variâncias entre as filas são heterogêneas, isto é, a irregularidade do espaçamento depende da fila. A falta de aleatoriedade dos espaçamentos entre plantas pode ser a causa da falta de normalidade da distribuição de probabilidade nestas mesmas parcelas, fato este não transferido para a produtividade de grãos destas mesmas plantas.

Ao agrupar as plantas em classes de espaçamento entre plantas (baixo, médio e alto em relação ao padrão) dentro de cada parcela, observa-se (Tabela 2) que a função de distribuição de probabilidade

da produtividade de grãos por planta é normal em 94% dos casos. No entanto, para a variável espaçamento entre plantas, a frequência de casos com distribuição normal é baixa (39%), sendo que a classe de espaçamento padrão apresentou a maioria dos casos de distribuição normal (4 das 6 parcelas). A falta de normalidade do espaçamento entre plantas não se reflete na normalidade da distribuição da produtividade de grãos, este fato pode comprovar a eficiência da planta de sorgo em compensar a produção em relação a densidade de plantas e, assim, atender o pressuposto de normalidade dos dados para a mesma variável. Assim, os pressupostos referentes à característica produtividade de grãos na cultura de sorgo, também devem ser verificados, porém deve-se ter mais cuidados ao proceder-se testes de hipóteses em relação ao espaçamento entre plantas, devido às falhas nos pressupostos (normalidade, aleatoriedade e homogeneidade de variâncias) mencionado em STEEL et al. (1997).

Tabela 2 – Número de plantas (n), média (Med), variância (Var), coeficiente de variação (CV) e distribuição de probabilidade (D) para produtividade de grãos (g planta^{-1}) e espaçamento entre as respectivas plantas de sorgo granífero (cm), por classe de espaçamento (baixo, médio e alto em relação ao padrão) em duas épocas e três parcelas/época. Santa Maria, 2006.

Classe de espaçamento	n	-----Produtividade de grãos (g planta^{-1})-----				-----Espaçamento entre planta (cm)-----			
		Med	Var	CV	D ⁽¹⁾	Med	Var	CV	D ⁽¹⁾
					Época 1; parcela 1				
Baixo	44	36,60	465,64	58,9	N	9,09	2,67	17,9	-
Médio	66	41,12	285,50	41,1	N	12,42	0,49	5,6	N
Alto	34	44,81	488,70	49,3	N	15,70	3,55	12,0	-
					Época 1; parcela 2				
Baixo	42	26,36	192,85	52,6	N	10,04	3,12	17,6	-
Médio	65	35,64	363,51	53,4	N	13,12	0,58	5,8	N
Alto	37	34,03	234,89	45,0	N	17,45	3,86	11,2	-
					Época 1; parcela 3				
Baixo	45	40,99	328,69	44,2	N	9,317	0,99	10,7	N
Médio	65	37,19	387,14	52,8	N	12,05	0,54	6,1	-
Alto	34	51,68	444,11	40,7	N	15,90	5,16	14,2	-
					Época 2; parcela 1				
Baixo	42	29,73	171,77	44,0	N	10,86	1,20	10,1	-
Médio	68	29,38	207,93	49,0	N	12,91	0,39	4,8	N
Alto	34	28,38	225,89	52,9	N	15,73	3,02	11,0	-
					Época 2; parcela 2				
Baixo	49	27,53	280,89	60,8	-	8,85	2,26	16,9	-
Médio	54	37,65	259,35	42,7	N	12,56	1,11	8,4	N
Alto	41	35,67	469,32	60,7	N	18,36	8,85	16,2	N
					Época 2; parcela 3				
Baixo	49	31,25	300,06	55,4	N	9,89	0,82	9,1	N
Médio	67	31,33	202,35	45,3	N	13,01	1,17	8,3	-
Alto	28	37,58	171,35	34,8	N	19,93	18,37	21,5	-

⁽¹⁾ Distribuição normal (N) pelo teste de Lilliefors (5%).

Também, na maioria das situações (época e parcela) a variação (coeficiente de variação) do espaçamento entre plantas na classe de espaçamento padrão é bem menor do que nas classes de espaçamento acima e abaixo do padrão (Tabela 2). O mesmo não ocorre com a produtividade de grãos por planta em que o coeficiente de variação é maior e sem relação com as classes de espaçamento entre plantas. LOPES et al. (2005) observaram que nas maiores densidades de semeadura (plantas na linha) ocorrem maior precisão experimental e afirmam que essa elevação na precisão está relacionada à maior representatividade da heterogeneidade do solo. Em milho, PALOMINO et al. (2000) descrevem que um menor número de plantas nas parcelas, reduz a confiabilidade da estimativa obtida, dificultando as inferências sobre o potencial de seleção de genótipos.

Observa-se efeito significativo da covariável espaçamento entre plantas (Tabela 3) quando, na análise, são consideradas todas as plantas da parcela ou quando o espaçamento entre plantas é maior do que o padrão (baixa densidade), fato explicado, possivelmente, pela maior sensibilidade das plantas à produtividade de grãos por planta com esta faixa de variação do espaçamento entre plantas. O mesmo não ocorre no espaçamento padrão e abaixo do padrão.

As causas de variação “parcela (época)” e/ou “fila (parcela e época)” (Tabela 3) têm componentes de variância que inflacionam as variâncias da estimativa da média de épocas. Em todas as classes de espaçamento e no geral, uma ou outra destas causas de variação foi significativa, mostrando que existe variação entre parcelas e entre filas dentro de parcelas, quanto a produtividade de grãos e ao espaçamento entre plantas. Ainda, em todas as situações em que a variância entre filas dentro de parcela – fila (ep parc) - é significativa para produtividade de grãos, também se observa a significância da mesma variância com o uso da covariável espaçamento entre plantas.

Para produtividade de grãos, a variância entre parcelas foi significativa com mudanças no padrão de espaçamento entre plantas (espaçamento acima e abaixo do padrão) e no geral (com toda a amplitude de variação do espaçamento), mostrando que tanto a falta como o excesso de plantas nas parcelas resultam em aumentos no erro experimental.

É importante observar que o coeficiente de ajuste da média da produtividade de grãos em função da média da covariável (espaçamento entre plantas), é bem maior na classe de espaçamento entre plantas acima do padrão (1,1616g de grãos por cm de espaçamento) do que no geral (0,8604g de grãos por cm de espaçamento), casos em que o efeito da

covariável é significativo (Tabela 3). Este fato mostra, com clareza, que em condições de menor densidade de plantas (espaçamento entre plantas acima do padrão) existe maior compensação do rendimento de grãos pela ausência de competição por luz, água e nutrientes entre plantas vizinhas, fato que proporciona produtividade máxima por planta e baixa por área e, à medida que aumenta a competição intraespecífica, há uma relação negativa entre o número de plantas e a produtividade por planta (PEREIRA, 1989). Assim, a produtividade de grãos máxima, por área, será obtida com o decréscimo da produtividade por planta, compensado pelo maior número de indivíduos (LOPES et al., 2005). Neste estudo, a estimativa da produtividade de grãos é igual a 6,6t ha⁻¹, com espaçamento entre plantas menor do que o padrão (alta densidade), 5,5t ha⁻¹ com espaçamento entre plantas padrão (média densidade); 4,5t ha⁻¹ com espaçamento entre plantas maior do que o padrão (baixa densidade); e, geral igual a 5,5t ha⁻¹. Considerando que, na condição de espaçamento entre plantas acima do padrão (baixa densidade) o efeito da covariância foi significativo e a variância amostral (variação da produtividade de grãos entre plantas) foi a maior, isto é, nesta condição existe relação significativa entre o espaçamento entre plantas e produtividade de grãos, deve-se proceder a análise da covariância para ajustar a média da produtividade de grãos para os diferentes tratamentos em função da média do espaçamento entre plantas.

Portanto, sabendo-se que a variação na densidade de semeadura, na classe de espaçamento entre plantas acima do padrão, da cultura do sorgo granífero afeta a produtividade de grãos, e que, a precisão experimental em baixas densidades é inferior à observada em densidades elevadas, recomenda-se à utilização de densidades maiores para o atendimento dos pressupostos do modelo matemático da análise de variância, e com isso, melhoraria a qualidade dos experimentos e das recomendações.

CONCLUSÃO

Na cultura do sorgo granífero, as falhas nos pressupostos (normalidade, aleatoriedade e homogeneidade de variâncias) da variável espaçamento entre plantas não afetam os pressupostos da produtividade de grãos destas plantas. A análise de covariância para a produtividade de grãos do sorgo granífero, em função do espaçamento entre plantas, deve ser usada quando o espaçamento entre plantas é

Tabela 3 - Análise da variância e covariância da produtividade de grãos (g planta⁻¹) de sorgo granífero e espaçamento entre plantas (cm). Santa Maria, 2006.

FV	Produtividade sorgo (Y) (g planta ⁻¹)		Espaçamento plantas (X) (cm)		Covariância (X;Y)	
	GL	QM	GL	QM	GL	PM
-----Plantas com espaçamento menor do que o padrão-----						
Época	1	1923,29ns	1	8,12ns	1	1923,29ns
Parcela (época)	4	1299,97*	4	28,22*	4	1299,97*
Fila (Ep Parc)	18	212,88ns	18	1,97ns	18	212,88ns
Covariável X	-	-	-	-	1	116,96ns
Erro Amostral	247	297,525	247	1,817	246	298,259
Média	-	32,07	-	9,65	-	32,07
CV(%)	-	53,77	-	13,96	-	53,84
-----Plantas com espaçamento padrão-----						
Época	1	2982,81ns	1	9,47ns	1	2982,81ns
Parcela (época)	4	808,28ns	4	11,16*	4	808,28ns
Fila (Ep Parc)	18	775,98*	18	0,58ns	18	775,98*
Covariável X	-	-	-	-	1	2,635ns
Erro Amostral	361	259,463	361	0,712	360	260,176
Média	-	35,27	-	12,68	-	35,27
CV(%)	-	45,66	-	6,65	-	45,72
-----Plantas com espaçamento maior do que o padrão-----						
Época	1	4643,69ns	1	123,54ns	1	4643,69ns
Parcela (época)	4	1796,05*	4	87,31*	4	1796,05*
Fila (Ep Parc)	18	219,24ns	18	7,85ns	18	219,24ns
Covariável X ⁺	-	-	-	-	1	1667,49*
Erro Amostral	184	359,495	184	6,716	183	352,34
Média	-	38,56	-	17,14	-	38,56
CV(%)	-	49,17	-	15,11	-	48,67
-----Todas as plantas-----						
Época	1	9146,25ns	1	61,94ns	1	9146,25ns
Parcela (época)	4	2211,04*	4	36,75ns	4	2211,05*
Fila (Ep Parc)	18	603,80*	18	25,81*	18	603,80*
Covariável X ⁺	-	-	-	-	1	6455,06*
Erro Amostral	840	305,163	840	10,380	839	297,833
Média	-	35,06	-	12,81	-	35,06
CV(%)	-	49,82	-	25,15	-	49,22

⁺ Estimativa do ajustamento = 1,1616g de grão por cm de espaçamento entre plantas

⁺ Estimativa do ajustamento = 0,8604g de grão por cm de espaçamento entre plantas

*Efeito significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade de erro; ns não significativo.

alto (baixa densidade) ou em casos de espaçamentos irregulares entre as plantas (grande variação).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão de bolsa ao pesquisador Brum.

REFERÊNCIAS

CARGNELUTTI FILHO A. et al. Interferência da variabilidade da população de plantas de milho sobre a precisão experimental. *Ciência Rural*, v.36, n.1, p.42-50, 2006.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. *Recomendações de adubação e calagem para o estado do*

- Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 4.ed. Passo Fundo: SBCC, 2004. 224p.
- DOURADO NETO, D. **Modelos fitotécnicos referentes á cultura do milho**. 1999. 229f. Tese (livre docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- EMBRAPA. **Ambiente de software NTIA**, versão 4.2.2: manual do usuário – ferramental estatístico. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura, 1997. 258p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.
- HAMMER, G.L.; BROAD, I.J. Genotype and environment effects on dynamics of harvest index during grain filling in sorghum. **Agronomy Journal**, v.95, p.199-206, 2003.
- INDICAÇÕES técnicas para o cultivo do milho e de sorgo no Rio Grande do Sul – 2006/2007. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 184p.
- LOPES, S.J. et al. Tamanho de parcela para produtividade de grãos de sorgo granífero em diferentes densidades de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.6, p.525-530, 2005.
- LÚCIO, A.D. et al. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, n.1, p.99-103, 1999.
- MAGALHÃES, P.C. et al. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: MG. EMBRAPA-CNPMS, 2003. 4p. (Boletim técnico-86).
- PALOMINO, E.C. et al. Tamanho da amostra para avaliação de famílias de meios-irmãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1433-1439, 2000.
- PEREIRA, A.R. Competição intra-específica entre plantas cultivadas. **O Agrônomo**, v.41, n.1, p.5-11, 1989.
- RIBEIRO JÚNIOR, J.I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001. 301p.
- SANGOI, L.; SALVADOR, R.J. Dry matter production and partitioning of maize hybrids and dwarf lines at four plant populations. **Ciência Rural**, v.27, n.1, p.1-6, 1997.
- SPRENT, P.; SMEETON, N.C. **Applied nonparametric statistical methods**. 4.ed. Boca Raton: Chapman & Hall, 2007. 530p.
- STEEL, R. G. D. et al. **Principles and procedures of statistics**. 3.ed. Nova York: McGraw Hill Book, 1997. 666p.
- STORCK, L. et al. Análise de covariância para melhoria da capacidade de discriminação em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1311-1316, 2000.
- STORCK, L. et al. **Experimentação vegetal**. 2.ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 198p.
- TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize: a review. **Maydica**, v.23, p. 49-75, 1977.