

Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta

Spatial variability of grain yield of irrigated corn and its correlation with explanatory plant variables

André Luis Vian^{1*} Antônio Luis Santi^{II} Telmo Jorge Carneiro Amado^{III} Maurício Roberto Cherubin^{IV}
Diego Henrique Simon^{II} Junior Melo Damian^{II} Christian Bredemeier^I

RESUMO

Em decorrência da instabilidade da produtividade das principais culturas associada ao déficit hídrico, tem se tornado cada vez mais frequente a necessidade do uso de tecnologias como a irrigação e a agricultura de precisão (AP). O presente trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial da produtividade de grãos de milho e sua correlação com variáveis explicativas de planta em área irrigada. O estudo foi conduzido nas safras agrícolas 2010/2011 e 2011/2012, em área de 35ha, manejada em sistema plantio direto e irrigação por pivô central. Os componentes de produtividade e a produtividade de grãos foram avaliados seguindo uma malha amostral de 100x100m. A produtividade de grãos e a maior parte dos componentes de produtividade apresentaram baixa dispersão dos dados, condicionando a normalidade dos dados. A produtividade de grãos, mesmo com a irrigação, apresentou elevada variabilidade espacial. Na análise de trilha, verificaram-se altos coeficientes de determinação dos componentes de produtividade com a produtividade de grãos.

Palavras-chave: agricultura de precisão, componentes de produtividade, irrigação, população de plantas.

ABSTRACT

Due to yield instability of main crops associated to drought, the use of technologies such irrigation and precision agriculture (PA) have been recently adopted in large scale. This study had the objective to assess the spatial variability of corn yield and its correlation with explanatory plant variables in an irrigated field. The study was carried out during the growing seasons 2010/2011 and 2011/2012, in an area of 35ha managed under no-till and center-pivot irrigation. Corn yield and yield components were evaluated following a sampling grid of 100x100m. Grain

yield and most yield components showed low dispersion data, resulting in data normality. Even under irrigation, corn yield showed high spatial variability. In path analysis, it was found high determination coefficients of corn yield with yield components.

Key words: precision agriculture, yield components, irrigation, plant population.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho foi cultivada em mais de 15,5 milhões de hectares na safra 2013/2014, com produtividade média de 5,18Mg ha⁻¹ (CONAB, 2015), sendo que, nos últimos anos, têm-se observado relevantes incrementos na produtividade de grãos dessa cultura (HÖRBE et al., 2013). Isso se deve a mudanças tecnológicas recentes, tais como avanços no melhoramento genético, qualificação das adubações de base e de cobertura, modernização da mecanização agrícola, uso de irrigação e aprimoramento na gestão dos recursos agrícolas pela adoção da agricultura de precisão (AP). Contudo, projeta-se diminuição da área cultivada com este cereal no estado do Rio Grande do Sul (RS) (CONAB, 2015), em função da falta de competitividade em relação à soja. Também a disponibilidade hídrica aquém da demanda da cultura do milho frequentemente é responsável por

¹Departamento de Plantas de Lavouira, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: andreluisvian@hotmail.com. *Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Ciências Agrômicas e Ambientais, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen, RS, Brasil.

^{III}Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

^{IV}Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, Brasil.

limitar a obtenção de elevadas produtividades. Dessa forma, a utilização da irrigação vem sendo ampliada em lavouras comerciais no país e, principalmente, no estado do RS, o qual possui histórico de instabilidade da produção agrícola em função da variação do regime pluvial, causada pela ocorrência dos fenômenos *El niño* e *La niña*. Conforme SERPA et al. (2012), prolongados períodos de deficiência hídrica durante o pendoamento e enchimento de grãos, fases fenológicas críticas para a definição do potencial produtivo da cultura, vêm se tornando mais frequentes nos últimos anos.

De acordo com BALBINOT JR. et al. (2005), o potencial de produtividade de grãos de milho é determinado pela densidade de semeadura, população final de plantas, número de espigas por planta, comprimento de espigas, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa média do grão e pelo genótipo utilizado. O potencial produtivo da cultura é função da interação entre ambiente (solo, clima) e genética (cultivares para altas produtividades), onde, em geral, as cultivares representam apenas 40% da produção total e o ambiente é responsável por cerca de 60% (RESENDE et al., 2003). Os mesmos autores indicaram que a cultura do milho conduzida em condições controladas de crescimento pode atingir produtividade de grãos de até 30Mg ha⁻¹.

A variabilidade espacial ou a heterogeneidade da produtividade de grãos pode estar associada a uma série de fatores que interagem de forma complexa e condicionam a expressão da cultura. O estudo da variabilidade espacial de atributos de solo e de planta e da produtividade da cultura é fundamental para o entendimento dos fatores que determinam a expressão do potencial produtivo da cultura e sua variabilidade em uma área agrícola, o que pode levar ao desenvolvimento de práticas de manejo sítio-específicas, visando à maximização do potencial produtivo em diferentes zonas da lavoura.

AMADO et al. (2009) afirmam que, em cultivos sob sistemas de irrigação com pivô central, existe maior controle da disponibilidade de água, fator limitante ao desenvolvimento das culturas. A intensificação dos cultivos acelera os processos de alterações na dinâmica de propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, condicionando possíveis incrementos na variabilidade espacial da produtividade de grãos.

Diante desse cenário, verifica-se que ainda são escassas as informações acerca das variáveis que controlam a expressão do potencial produtivo da cultura do milho em áreas irrigadas. Portanto,

pesquisas que permitam aprimorar as técnicas de produção e aumentar a produtividade da cultura, a partir da melhor compreensão da resposta das plantas à competição intraespecífica e sua relação com o ambiente produtivo irrigado, são necessárias. Além disso, o entendimento da contribuição de cada componente do rendimento de grãos na variabilidade espacial da produtividade é importante para o ajuste de práticas de manejo, tais como a definição da população de plantas e o momento de aplicação de nitrogênio em cobertura, visando maximizar a expressão de cada componente. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da produtividade de grãos de milho e sua correlação com variáveis explicativas de planta em área irrigada sob pivô central, na região do Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nas safras agrícolas 2010/2011 e 2011/2012, em área de 35ha, localizada no município de Seberi (RS), situada entre as coordenadas geográficas de latitude 26°29'07" S a 26°37'28" S e longitude 69°43'90" O a 69°44'93" O. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, apresentando textura argilosa (SANTOS et al., 2013). O relevo da área é suave ondulado, com altitude aproximada de 513m. O clima da região é subtropical com primavera úmida, temperatura média anual de 18,1°C e precipitação pluvial média anual de 1.919mm (MALUF, 2000). A área vem sendo manejada sob sistema plantio direto há 15 anos e apresenta sistema de irrigação por pivô central.

Nas duas safras, a semeadura foi realizada na segunda quinzena de julho, com máquina equipada com sistema pneumático de distribuição de sementes e sulcador tipo disco, profundidade média de 5cm e umidade do solo na condição friável. A população desejada de plantas foi de 100.000 e 90.000 plantas ha⁻¹ nas safras 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente, com espaçamento entre linhas de 0,45m. O híbrido utilizado nos dois anos foi o DKB 240 e a cultura antecessora foi nabo forrageiro, com alta produção de biomassa e dessecado 7 dias antes da semeadura do milho. Na safra 2011/2012, houve ocorrência de temperaturas noturnas do ar entre -1°C e 8°C nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. A adubação, realizada uniformemente na área, e os demais tratamentos culturais seguiram as recomendações técnicas da cultura do milho para o estado do Rio Grande do Sul (REUNIÃO, 2013).

Na colheita, seguindo malha amostral regular de 100x100m, foram avaliadas plantas em cinco metros lineares, em três linhas de semeadura, em cada um dos pontos georreferenciados com GPS de navegação (modelo Etrex, GARMIN). Nessas plantas, foram determinados os seguintes componentes de produtividade (variáveis explicativas): população de plantas dominadas por área (PD) (plantas com desenvolvimento inferior em relação às plantas vizinhas, sem a formação de espiga ou com espiga de tamanho inferior a 0,10m), população final de plantas por área (PF), número de espigas por área (NE), distribuição linear de plantas por metro (DE), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), comprimento da espiga (CE), peso de 100 grãos (P100) e produtividade de grãos (PROD) (variável básica). Os componentes NFE e NGF foram determinados por contagem destas variáveis nas espigas colhidas.

Para cada atributo de planta investigado, foi realizada análise estatística descritiva no programa *Statistical Analysis System* – SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, EUA). Além disso, foi realizada análise dos efeitos diretos e indiretos dos componentes de produtividade do milho (variáveis explicativas) sobre a produtividade de grãos (variável básica), por meio da análise de trilha, utilizando o programa Genes, versão 2008 (CRUZ, 2013).

Os modelos dos semivariogramas foram ajustados com base no maior valor do coeficiente de determinação (r^2) e menor soma de quadrados do resíduo (SQR). Os parâmetros dos modelos utilizados e ajustados aos semivariogramas foram efeito pepita (C_0), patamar (C) e alcance (A). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado pela equação $IDE = [C_0 / (C_0 + C_1)] * 100$, cuja classificação é de forte ($IDE < 25\%$), moderado ($IDE = 25$ a 75%) e fraco ($IDE > 75\%$) (CAMBARDELLA et al., 1994). A variabilidade espacial da produtividade de grãos foi espacializada por meio de mapas temáticos, utilizando a interpolação por krigagem e o programa CR Campeiro 7 (Departamento de Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, RS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, é apresentada a análise descritiva dos componentes de produtividade (variáveis explicativas) e da produtividade de grãos (variável básica) nos dois anos de estudo. Analisando os valores do coeficiente de variação (CV), observou-se que, na safra 2010/2011, o componente plantas

dominadas (PD) alcançou altos valores de CV (97,2%), enquanto que os demais componentes apresentaram baixa dispersão dos dados. Na safra 2011/2012, o componente PD apresentou incremento na variação (103,1%), enquanto que os componentes: população de plantas (PF), distribuição linear de plantas por metro (DE) e produtividade (PROD) apresentaram média dispersão (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002). Os demais componentes apresentaram baixa dispersão dos dados (Tabela 1). Esses resultados podem ser atrelados a uma série de fatores, como aos eventos meteorológicos ocorridos durante a semeadura (elevada umidade do solo associada a baixas temperaturas, desfavoráveis à germinação e ao desenvolvimento da plântula) e ao erro associado à distribuição de sementes pela semeadora, podendo ser a deposição das sementes e a profundidade destas, prejudicando o estande inicial e o estabelecimento das plantas na lavoura. SANGOI et al. (2012) verificaram que o aumento do CV na distribuição espacial de plantas na linha impacta negativamente a produtividade de grãos do milho.

Os componentes de produtividade que apresentaram distribuição normal, na safra 2010/2011, foram PF, NE, NGF, NGE, CE, P100 e PROD, enquanto que, na safra 2011/2012, estes foram DE, NE, NFE, NGF, NGE, CE, P100 e PROD. Esses resultados são confirmados pelos valores de C_s (coeficiente de assimetria) e C_k (coeficiente de curtose) mais próximos a zero quando a distribuição é normal. A ausência de normalidade da população final de plantas (PF) na safra 2011/2012 pode ser explicada pela população alcançada e não pela população esperada observada nos pontos amostrais, conforme discutido anteriormente (Tabela 1).

A partir da análise geostatística, observou-se que os componentes de produtividade PF, NE, NFE, NGF e NGE (safra 2010/2011) e PF, NE, DE, CE, NGE e P100 (safra 2011/2012) não apresentaram estrutura espacial definida, indicando que a distribuição dessas variáveis na área e sua variabilidade são aleatórias (efeito pepita puro). Esse efeito indica que a distribuição espacial do atributo na área de estudo é homogênea, aleatória ou que a malha amostral utilizada não possui pontos suficientes para detectar a dependência espacial, que, se existente, será manifestada a distâncias menores que o menor espaçamento entre amostras (WEBSTER & OLIVER, 2007). Para a variável plantas dominadas (PD), nas safras 2010/2011 e 2011/2012, ajustou-se modelo esférico ao semivariograma, com valores de alcance de 1.817 e 2.110m, respectivamente, e dependência espacial (IDE) classificada como fraca

Tabela 1 - Análise descritiva das variáveis de planta da cultura do milho em área irrigada nas safras de 2010/2011 e 2011/2012.

Safras	Variáveis ⁽¹⁾	Parâmetros estatísticos								
		Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	Coeficientes ⁽²⁾			Teste W ⁽³⁾
							CV %	Cs	Ck	
2010/2011	PF	77.037	92.063	91.852	103.704	5.109	5,54	-0,44	1,38	0,96 ^{ns}
	PD	0,0	3.048	1.481	11.852	2.962	97,18	1,58	2,42	0,81*
	DE	22,6	25,0	24,5	33,4	2,0	8,17	2,13	7,38	0,82*
	NE	75.556	89.397	88.889	102.222	5.925	6,62	-0,16	0,17	0,97 ^{ns}
	NFE	12,4	12,9	13,0	14,2	0,3	2,86	1,11	2,84	0,90*
	NGF	33,2	36,4	36,6	40,7	1,6	4,43	0,24	0,67	0,97 ^{ns}
	NGE	427,1	470,9	471,0	516,1	23,4	4,97	0,00	-0,55	0,97 ^{ns}
	CE	13,6	16,0	15,9	18,0	0,8	5,06	-0,26	1,78	0,96 ^{ns}
	P100	23,6	28,0	28,0	33,5	2,0	7,38	0,29	0,37	0,98 ^{ns}
PROD	14.507	18.081	18.181	22.493	1.918	10,60	0,22	-0,20	0,97 ^{ns}	
2011/2012	PF	57.778	71619	72.593	85.926	8.815	12,30	0,00	-1,37	0,93*
	PD	0,0	3.852	2.963	16.296	3.972	103,11	1,63	2,78	0,82*
	DE	24,4	31,5	32,7	42,3	4,3	13,79	0,22	-0,54	0,94 ^{ns}
	NE	60.741	78.815	80.000	94.814	8.417,4	10,67	-0,34	0,30	0,95 ^{ns}
	NFE	11,8	13,3	3,5	14,6	0,6	4,52	-0,46	0,13	0,96 ^{ns}
	NGF	33,8	38,2	38,1	42,3	2,4	6,40	-0,17	-1,04	0,95 ^{ns}
	NGE	419,1	511,5	514,5	593,5	44,0	8,61	-0,16	-0,40	0,98 ^{ns}
	CE	16,8	18,9	18,8	21,0	0,9	4,89	-0,13	0,44	0,97 ^{ns}
	P100	17,0	21,2	21,4	24,7	1,8	8,83	-0,27	-0,27	0,98 ^{ns}
PROD	8.751	11.960	12.211	15.889	1.748	14,61	0,15	-0,33	0,98 ^{ns}	

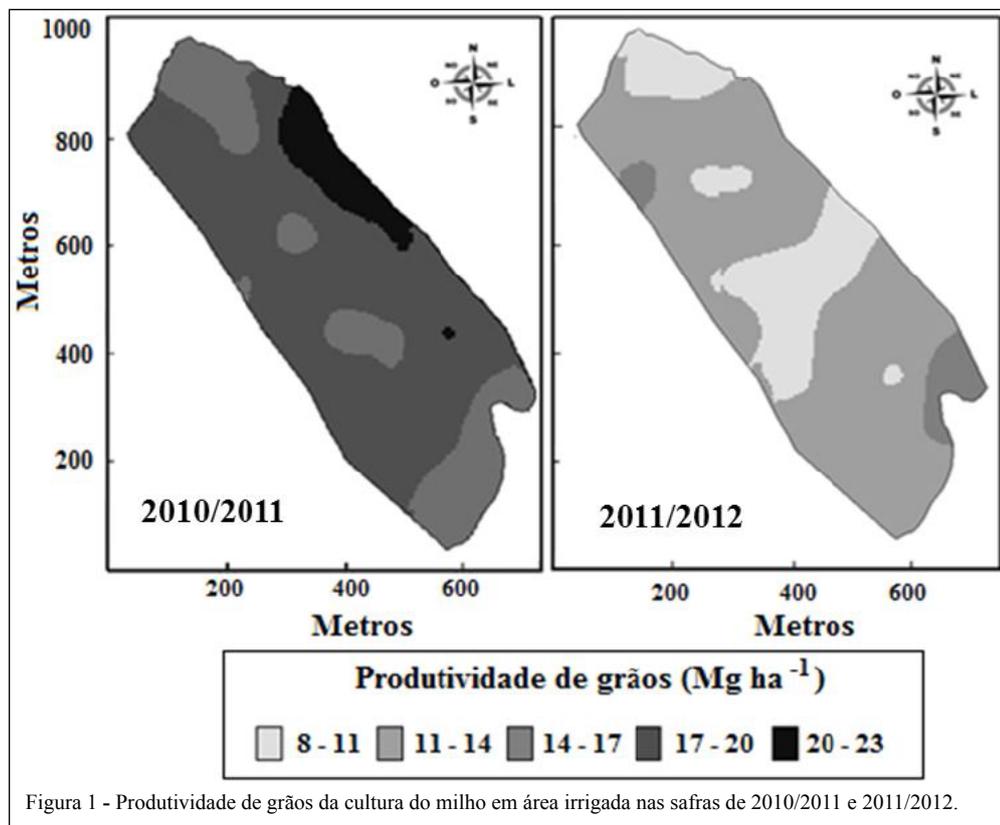
⁽¹⁾PF: População final (plantas ha⁻¹); PD: população dominada (plantas ha⁻¹); DE: distribuição linear de plantas (cm); NE: número de espigas (espigas ha⁻¹); NFE: número de fileiras por espiga (fileiras espiga⁻¹); NGF: número grãos por fileira (grãos fileira⁻¹); NGE: número de grãos por espiga (grãos espiga⁻¹); CE: comprimento de espiga (cm); P100: peso de 100 grãos (g); PROD: produtividade de grãos (kg ha⁻¹). ⁽²⁾CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose. ⁽³⁾Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de P≤0,05 e (ns) não significativo. Quando for significativo, indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

(CAMBARDELLA et al., 1994). Esses valores de alcance são semelhantes aos anteriormente reportados para atributos da fertilidade em Latossolos do estado do Rio Grande do Sul (CHERUBIN et al., 2014a; CHERUBIN et al., 2014b). Com isso, sugere-se que, para caracterizar a variabilidade espacial de plantas dominadas (PD), faz-se necessário um número de amostras por área semelhante ao utilizado para a caracterização da fertilidade do solo. Os componentes de produtividade DE, CE e P100, na safra 2010/2011, e NFE e NGF, na safra 2011/2012, apresentaram índice de dependência espacial (IDE) moderada. As estruturas espaciais observadas nessas variáveis foram semelhantes às obtidas para produtividade de grãos (PROD) nas duas safras estudadas. Para PROD, o modelo ajustado foi o gaussiano, sendo os valores de alcance iguais a 2.127 e 3.655m, nas safras 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente.

Na safra 2010/2011, a amplitude de variação da produtividade foi de 9,86Mg ha⁻¹, sendo

a produtividade máxima de 22,42Mg ha⁻¹ (Figura 1). Já na safra 2011/2012, em função da ocorrência de baixas temperaturas do ar e alta umidade do solo e formação de geada nos estádios de emergência, V₁, V₂ e V₃ da cultura, houve prejuízo ao desenvolvimento das plântulas, aumentando o CV da DE (distribuição espacial) e diminuindo o estande desejado, o que causou redução na produtividade máxima, que foi de 15,89Mg ha⁻¹, com amplitude de 8,68Mg ha⁻¹ (Figura 1). Portanto, além da variabilidade espacial, observou-se variabilidade temporal na produtividade de grãos da área estudada. Os mapas de produtividade têm por principal finalidade melhorar o entendimento da variabilidade espacial na lavoura, a fim de que se possa correlacioná-los com demais atributos que influenciam a produtividade da cultura durante o ciclo, sendo uma ferramenta que auxilia a tomada de decisão no manejo sítio-específico (SANTI et al., 2013).

Dentre os fatores responsáveis pela menor produtividade de grãos da cultura na safra 2011/2012,



pode-se citar a redução no estande de plantas (de 100.000 para 90.000 plantas ha^{-1}), diminuindo a PF, haja vista que as maiores correlações encontradas para PROD, nas duas safras avaliadas, foram com o componente número de espigas $área^{-1}$ (NE). Para a safra 2010/2011, o comprimento de espiga (CE) apresentou correlação com a PROD, enquanto que, na safra 2011/2012, o P100 apresentou influência significativa na PROD, o que mostra que este componente tem grande peso na produtividade final da cultura.

Na tabela 2, são apresentados os efeitos dos componentes de produtividade, obtidos a partir do *software* GENES, demonstrando os efeitos diretos sobre a produtividade e os demais efeitos, chamados de indiretos, que auxiliaram na sua variação. O diagnóstico da multicolinearidade, obtido a partir da definição do coeficiente k, de 0,050 (safra 2010/2011) e 0,087 (safra 2011/2012), promoveu a correção das distorções, possibilitando maior confiabilidade nas interpretações de causa e efeito das variáveis estudadas.

Na safra 2010/2011 (Tabela 2), o coeficiente de determinação dos componentes de produtividade explicou 0,74 da variação observada na produtividade de grãos. O componente de produtividade com maior correlação direta com a

produtividade foi o NE - número de espigas por área (0,627). As demais variáveis explicativas tiveram contribuição indireta muito baixa, sendo que a DE (distribuição linear de plantas) apresentou 0,16 de correlação com o NE. Importante ressaltar que a DE teve contribuição limitada gerada por questões não avaliadas neste estudo, como a desuniformidade de germinação, profundidade irregular de semeadura e outras condições adversas à emergência das plântulas. Os demais componentes não apresentaram correlação direta com a produtividade, indicando que, além da população de plantas adequada, a correta distribuição longitudinal, evitando a ocorrência de plantas dominadas, é essencial para a obtenção de altas produtividades (SANGOI et al., 2012).

Para a safra 2011/2012, o coeficiente de determinação dos componentes de produtividade explicou 0,90 da variação na produtividade de grãos. As variáveis NE, P100, NGE e NGF apresentaram efeito direto na PROD, com correlações classificadas como altas (0,65 e 0,54 para as duas primeiras variáveis) e baixas (de 0,26 e 0,23 para as duas últimas, respectivamente). O componente PF não apresentou efeito direto sobre a PROD, mas influenciou o NE indiretamente, com coeficiente de correlação de 0,38. Os resultados encontrados são semelhantes

Tabela 2 - Efeitos diretos e indiretos dos componentes sobre a produtividade de grãos na cultura do milho em área irrigada, nas safras de 2010/2011 e 2011/2012.

Variáveis ⁽¹⁾	Via de Associação	--Coeficiente de Trilha--		Variáveis ⁽¹⁾	Via de Associação	---Coeficiente de Trilha---	
		2010/11	2011/12			2010/11	2011/12
PF	Efeito Direto sobre PROD	-0,063	0,032	NFE	Efeito Direto sobre PROD	0,097	0,163
	Efeito Indireto via PD	0,003	0,003		Efeito Indireto via PF	-0,016	-0,016
	Efeito Indireto via NE	0,526	0,384		Efeito Indireto via PD	0,021	-0,009
	Efeito Indireto via DE	0,219	-0,013		Efeito Indireto via NE	0,194	-0,204
	Efeito Indireto via CE	-0,085	-0,001		Efeito Indireto via DE	0,015	0,008
	Efeito Indireto via NFE	0,025	-0,079		Efeito Indireto via CE	0,006	0,001
	Efeito Indireto via NGF	-0,046	-0,006		Efeito Indireto via NGF	-0,012	0,051
	Efeito Indireto via NGE	-0,029	-0,074		Efeito Indireto via NGE	0,067	0,182
	Efeito Indireto via P100	0,005	0,038		Efeito Indireto via P100	-0,031	-0,120
Correlação Total	0,552	0,289	Correlação Total	0,345	0,070		
PD	Efeito Direto sobre PROD	-0,113	-0,019	NGF	Efeito Direto sobre PROD	0,114	0,231
	Efeito Indireto via PF	0,002	-0,006		Efeito Indireto via PF	0,025	-0,001
	Efeito Indireto via NE	-0,336	-0,258		Efeito Indireto via PD	0,015	-0,004
	Efeito Indireto via DE	0,034	0,005		Efeito Indireto via NE	-0,144	-0,014
	Efeito Indireto via CE	0,063	0,003		Efeito Indireto via DE	-0,135	0,002
	Efeito Indireto via NFE	-0,018	0,080		Efeito Indireto via CE	0,168	0,001
	Efeito Indireto via NGF	-0,015	0,049		Efeito Indireto via NFE	-0,010	0,035
	Efeito Indireto via NGE	-0,031	0,113		Efeito Indireto via NGE	0,116	0,220
	Efeito Indireto via P100	0,002	-0,057		Efeito Indireto via P100	-0,005	0,044
Correlação Total	-0,417	-0,096	Correlação Total	0,150	0,535		
NE	Efeito Direto sobre PROD	0,627	0,651	NGE	Efeito Direto sobre PROD	0,142	0,260
	Efeito Indireto via PF	-0,052	0,019		Efeito Indireto via PF	0,013	-0,009
	Efeito Indireto via PD	0,060	0,007		Efeito Indireto via PD	0,025	-0,008
	Efeito Indireto via DE	0,162	-0,008		Efeito Indireto via NE	-0,015	-0,124
	Efeito Indireto via CE	-0,084	-0,003		Efeito Indireto via DE	-0,110	0,006
	Efeito Indireto via NFE	0,030	-0,051		Efeito Indireto via CE	0,152	0,001
	Efeito Indireto via NGF	-0,026	-0,005		Efeito Indireto via NFE	0,046	0,114
	Efeito Indireto via NGE	-0,003	-0,049		Efeito Indireto via NGF	0,094	0,195
	Efeito Indireto via P100	0,005	-0,045		Efeito Indireto via P100	-0,022	-0,029
Correlação Total	0,751	0,575	Correlação Total	0,331	0,429		
DE	Efeito Direto sobre PROD	-0,305	0,015	P100	Efeito Direto sobre PROD	0,078	0,541
	Efeito Indireto via PF	0,045	-0,028		Efeito Indireto via PF	-0,004	0,002
	Efeito Indireto via PD	0,013	-0,006		Efeito Indireto via PD	-0,003	0,002
	Efeito Indireto via NE	-0,334	-0,352		Efeito Indireto via NE	0,043	-0,054
	Efeito Indireto via CE	0,100	0,001		Efeito Indireto via DE	0,067	0,001
	Efeito Indireto via NFE	-0,005	0,091		Efeito Indireto via CE	-0,035	0,001
	Efeito Indireto via NGF	0,051	0,029		Efeito Indireto via NFE	-0,039	-0,036
	Efeito Indireto via NGE	0,051	0,104		Efeito Indireto via NGF	-0,007	0,019
	Efeito Indireto via P100	-0,017	0,031		Efeito Indireto via NGE	-0,040	-0,014
Correlação Total	-0,417	-0,114	Correlação Total	0,064	0,508		
CE	Efeito Direto sobre PROD	0,275	0,002				
	Efeito Indireto via PF	0,019	-0,002				
	Efeito Indireto via PD	-0,026	-0,003				
	Efeito Indireto via NE	-0,192	-0,097				
	Efeito Indireto via DE	-0,110	0,001				
	Efeito Indireto via NFE	0,002	0,037				
	Efeito Indireto via NGF	0,070	0,125			2010/2011	2011/2012
	Efeito Indireto via NGE	0,078	0,137		Coeficiente de determinação	0,746	0,906
	Efeito Indireto via P100	-0,010	0,077		Constante k	0,050	0,087
Correlação Total	0,121	0,277	Efeito da variável residual	0,503	0,306		

⁽¹⁾PF: População final; PD: população dominada; DE: distribuição linear de plantas; NE: número de espigas; NFE: número de fileiras por espiga; NGF: número grãos por fileira; NGE: número de grãos por espiga; CE: comprimento de espiga; P100: peso de 100 grãos; PROD: produtividade de grãos.

aos encontrados por BALBINOT Jr. et al. (2005) e SANGOI et al. (2006), nos quais o NE (número de espigas por área) foi o componente de produtividade que apresentou maior correlação direta com a PROD.

As diferentes correlações obtidas para a população final de plantas (PF) entre as safras 2010/2011 e 2011/2012 mostra influência no NE, onde se obteve 0,52 e 0,38 de correlação, respectivamente. Esse decréscimo na correlação pode estar atrelado aos problemas na germinação, os quais comprometeram o estabelecimento da cultura. Outro fator que pode ter interferido no componente PD, na safra 2010/2011, foi a alta densidade de plantas por hectare, o que resultou em aumento na competição intraespecífica durante o estabelecimento da lavoura e, para a safra 2011/2012, foram as falhas na emergência das plântulas causadas por efeitos meteorológicos, o que proporcionou maior penetração de radiação no dossel, favorecendo o crescimento das plantas daninhas. Sendo assim, a PF não interferiu no NE e na PROD, podendo salientar que existem outras características que podem ter influenciado a PROD na safra 2011/2012, como os componentes de produtividade avaliados referentes à espiga (NE, NFE, NGF e CE).

CONCLUSÃO

A produtividade de grãos apresenta elevada variabilidade espacial e temporal, condicionada por aspectos relacionados ao estabelecimento e desenvolvimento da cultura. A obtenção de altas produtividades de grãos da cultura do milho é condicionada pela população final de plantas, com distribuição espacial uniforme de plantas na área e o mínimo possível de plantas dominadas. O componente que melhor se correlacionou com a produtividade da cultura do milho em área irrigada, com adequada uniformidade espacial de plantas, foi o número de espigas por área.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T.J.C. et al. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.831-843, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000400008>. Acesso em: 25 ago. 2013. doi: 10.1590/S0100-06832009000400008.
- BALBINOT JR. A. et al. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n.2, p.161-166, 2005. Disponível em: <<http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/viewFile/1184/977>>. Acesso em: 20 abr. 2013.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. Disponível em: <<https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/58/5/SS0580051501>>. Acesso em: 24 jul. 2013. doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.
- CHERUBIN, M.R. et al. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial e fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.425-432, 2014a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782014000300007&script=sci_arttext>. Acesso em: 12 jun. 2014. doi: 10.1590/S0103-84782014000300007.
- CHERUBIN, M.R. et al. Sampling grids used to characterise the spatial variability of pH, Ca, Mg and V% in Oxisols. **Ciência Agronômica**, v.45, n.4, p.659-672, 2014b. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/2858/1003>>. Acesso em: 12 dez. 2014. doi: 10.1590/S1806-66902014000400004.
- CONAB (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2014-2015**. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_11_14_07_48_boletim_graos_marco_2015.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2015.
- CRUZ, C.D. Genes – A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asagr/v35n3/v35n3a01.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2014. doi: 10.4025/actasciagr.v35i3.21251.
- HÖRBE, T.A.N. et al. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.14, n.4, p.450-465, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2F978-93-908-7>>. Acesso em: 07 maio, 2014. doi: 10.1007/s11119-013-9308-7.
- MALUF, J.R.T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.1, p.141-150, 2000. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/rba/p14181.html>>. Acesso em: 25 abr. 2014.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- RESENDE, M. et al. **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 317p.
- REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO. **LVIII Reunião Técnica Anual de Milho e XLI Reunião Técnica Anual de Sorgo**: indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 124p.
- SANGOI, L. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.2, p.218-231, 2006. Disponível em: <<http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/185/181>>. Acesso em: 23 ago. 2013.
- SANGOI, L. et al. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.3, p.268-277, 2012. Disponível em: <<http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/388>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

SANTI, A.L. et al. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.510-515, 2013. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v8i3a2489&path%5B%5D=1443>. Acesso em: 25 jun. 2014. doi: 10.5039/agraria.v8i3a2489.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SERPA, M.S. et al. Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p.541-549. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n4/47n04a10.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2012000400010.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for environmental scientists**. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. 330p.