

EFEITO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS E HÍBRIDOS DE MILHO NA PRODUTIVIDADE OBTIDA EM UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA

Adriano A. Anselmi¹, José P. Molin², Raj Khosla³

¹ Eng^o. Agrônomo, Doutorando em Fitotecnia, USP/ ESALQ, Piracicaba – SP, aanselmi@usp.br

² Eng^o. Agrícola, Prof. Associado, Depto. de Engenharia de Biosistemas, USP/ ESALQ, Piracicaba-SP

³ Eng^o. Agrônomo, Prof. Titular, Depto de Solos e Produção Vegetal, CSU, Fort Collins - CO, EUA

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014
14 a 17 de setembro de 2014 – São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: A população de plantas é um dos fatores que impacta fortemente na produtividade da cultura do milho (*Zea mays*). Ajustar a população de plantas é uma das estratégias para gerenciar a variabilidade das lavouras e otimizar os recursos do ambiente que não estão sob o controle do produtor rural, como o tipo de solo e a capacidade de retenção de água. O objetivo de estudo foi avaliar a estratégia de semeadura em taxas variáveis (STV) em unidades de gestão diferenciada (UGD). Foram utilizados dez híbridos de milho e cinco populações de plantas variando de menos 40% a mais 40% da população regularmente recomendada. Três experimentos de campo foram conduzidos durante 2012 e 2013 em duas regiões com diferentes estações de crescimento. Os atributos utilizados para definição das unidades de gestão diferenciada foram a Condutividade Elétrica Aparente do Solo (EC_a), Mapas de Produtividade (MP), e elevação. A qualidade das taxas de semeadura (indicador do espaçamento entre plantas) obtida variou de 88% a 95% de espaçamentos aceitáveis entre os locais avaliados. A análise de variância foi significativa ($P < 0,05$) para interação tripla entre híbridos, população de plantas e unidades de gestão diferenciada em uma das áreas estudadas. A produtividade de milho foi maior nas unidades de gestão diferenciada de alto potencial de resposta (UGDA) comparativamente às unidades de gestão de baixo potencial de resposta (UGDB). As altas taxas de populações de plantas resultaram nas maiores produtividades independentemente das UGD. A produtividade de milho foi influenciada pelas unidades de gestão diferenciada e a população de plantas ótima pode variar dependendo da UGD. No entanto, não se tem uma recomendação simples a respeito da população de plantas ótimas para cada unidade de gestão diferenciada.

PALAVRAS-CHAVE: zonas de manejo, densidade de plantas, milho, semeadura em taxas variáveis

EFFECT OF PLANT POPULATION AND HYBRIDS ON MAIZE GRAIN YIELD ACROSS MANAGEMENT ZONES

ABSTRACT: Plant population per unit area is one of the most important aspects under farmer control that can influence maize grain yield. Adjusting plant population in crop fields is a strategy to manage spatial variability and optimize environmental resources that are not under farmer control like soil type and water availability. This study aims to evaluate the strategy of variable rate seeding (VRS) by management zones (MZ). Different hybrids and five plant populations ranging from 40% below to 40% above the local planting density recommendation were used. Three field experiments were conducted during 2012 and 2013 in two regions with distinct growing seasons, both under rain fed and non-tillage system. The attributes used to delineate MZ were apparent soil electrical conductivity (EC_a), yield maps (YM) and elevation. The quality of seed rate (indicator of spacing between plants) was over 95% of single spacing in one site. At other two sites, high seed density affected the quality of

seed rate. The analyses of variance were significant ($P < 0.05$) for triple interaction between hybrids, plant population, and the MZ. The high MZ reached higher average yield compared to the low MZ and high populations reached higher yield regardless of MZ. Management zones influenced the maximum attainable yield. The optimum plant population varied across zones. However, there is no simple recommendation regarding the optimal plant population

KEYWORDS: maize; management zone (MZ); plant density; corn yield; spatial variability

INTRODUÇÃO

Existe uma população de plantas ótima em que a produtividade das culturas é maximizada (Duvick, 1997, Sangoi et al., 2002). No entanto a variabilidade espacial e temporal das lavouras sugere que não existe uma população padrão com a qual a produtividade é otimizada na lavoura como um todo.

Através de práticas de Agricultura de Precisão (AP) é possível mapear a variabilidade das lavouras e gerenciar separadamente regiões com diferentes potenciais de resposta. A aplicação de Sementes em Taxas Variáveis (STV) é uma das possibilidades de gestão da variabilidade presente nas lavouras. Assim, atuar em Unidades de Gestão Diferenciada (UGD) e entender como a população de plantas se desenvolve nessas unidades, é fundamental para otimizar a produtividade.

O aumento do número de plantas por área é um dos principais fatores que levaram ao aumento de produtividade de milho nos últimos anos (Duvik, 1997). São reportados incrementos de 250% na população de plantas desde a década de 1930 e ganhos de produtividade superior a 70 kg ha^{-1} ao ano (Duvik, 1997). De outro lado, o uso de taxas elevadas de semeadura encarece os custos de produção e faz com que os produtores busquem técnicas para otimizar o uso das sementes.

Dentre os fatores responsáveis pela variabilidade das lavouras poucos são passíveis de serem manejados pelo produtor, ou seja, diagnosticados, quantificados e tratados de forma precisa e específica para cada local dentro da área de cultivo. Nos casos de fatores que não podem ser facilmente modificados é necessário gerenciá-los, não com vistas a homogeneizar a lavoura, mas sim, segundo Molin (2003), o objetivo deve ser conviver e tirar proveito da variabilidade otimizando o uso de insumos e de recursos ambientais para alcançar melhores rendimentos produtivos.

Estudos sugerem que a definição das Unidades de Gestão Diferenciada (UGD) deve ser feita com base nos mapas de produtividade (MP), acumulando um histórico de mapas de diferentes safras ao longo dos anos (Molin, 2001; Schepers et al., 2004; King et al., 2005; Khosla et al., 2008); mapas de condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) (Ehsani et al., 2005; Abendroth & Elmore, 2007; Sun, 2011); e mapa de relevo (Schepers et al., 2004; Khosla et al., 2008). Essas práticas podem identificar a variabilidade espacial de maneira rápida e eficiente com baixo custo e têm potencial para orientar a recomendação de um tratamento em taxas variáveis de sementes (Sudduth et al., 1998; Godwin et al., 2003; Shanahan et al., 2004; Griffin, 2010).

A hipótese levada em conta nessa pesquisa é aumentar a população de plantas em unidades definidas como de alto potencial de resposta buscando beneficiar a cultura com as condições favoráveis presentes nesses locais, e reduzir a população de plantas em unidades de baixo potencial de resposta buscando minimizar riscos. Essa estratégia deve incrementar produtividade nas unidades de alto potencial e reduzir custos com sementes nas áreas de baixo potencial.

O objetivo desse estudo foi avaliar a produtividade de diferentes populações de plantas e híbridos de milho em unidades de gestão diferenciada. Especificamente foi avaliado se diferentes populações de plantas respondem às UGD.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em áreas de lavoura comercial de milho, sob plantio direto, em duas regiões geográficas diferentes. No Paraná o cultivo foi feito na primeira safra de verão (durante os meses de Outubro a Março), latitude $-24^{\circ} 22'$ e altitude de 1036 acima do nível do mar. No Mato Grosso do Sul o cultivo de milho foi feito na segunda safra (durante os meses de Fevereiro a Julho),

latitude de $-21^{\circ} 24'$ e altitude de 384 metros. O tipo de solo predominante nas áreas de estudo foi o Latossolo vermelho amarelo distrófico típico.

Três experimentos foram realizados durante 2012 e 2013 e foram denominados Área 1 (PR, 2012/2013), Área 2 (MS, 2013) e Área 3 (2013/2014). Os tratamentos foram formados por cinco populações de milho que variaram até 40% para mais e para menos da população regularmente recomendada em cada região (TABELA 1). Outro fator que variou foram os híbridos utilizados. Foram utilizados pelo menos quatro genótipos diferentes em cada área.

Os experimentos foram instalados em faixas longas (6m de largura por aproximadamente 700 m de comprimento) ao longo das unidades de gerenciamento diferenciado. Cada faixa foi semeada em taxa fixa com doze linhas espaçadas de 0.5m e com três repetições.

TABELA 1. População de plantas planejadas para cada região de estudo.

	População de plantas (plantas ha ⁻¹)				
	Menos 40%	Menos 20%	População padrão	Mais 20%	Mais 40%
Região Centro Oeste (MS)/ Segunda safra	42000	56000	70000	84000	98000
Região Sul (PR)/ Primeira safra	33000	44000	55000	66000	77000

A qualidade das taxas de semeadura foi obtida medindo as distancias entre plantas após a emergência. Para avaliar a distância entre plantas foi seguido o padrão sugerido na ISO 7256-1 (International Standardization Organization, 1984). Para cada população de plantas foi calculado o espaçamento teórico (x_{ref}) (metros lineares em um hectare/número de sementes) e este foi comparado com os espaçamentos reais medidos em campo para cada população. Os espaçamentos entre plantas medidos em campo foram classificados em três grupos: (1) múltiplo: espaçamentos menores que o espaçamento teórico e compreendem espaçamentos de 0 a 0.5 vezes o x_{ref} ; (2) aceitável: espaçamentos que correspondem ao espaçamento teórico e compreendem espaçamentos entre 0.5 e 1.5 vezes o x_{ref} ; e (3) falha: refere-se aos espaçamentos maiores que o espaçamento teórico e correspondem aos espaçamentos maiores que 1.5 vezes o x_{ref} .

Para automatizar as taxas de semeadura foi instalado um motor hidráulico na semeadora do produtor. A colheita foi feita individualmente para cada faixa de semeadura e sempre na mesma direção para evitar possíveis erros do sensor de produtividade decorrentes da inclinação do terreno. Os dados de produtividade foram coletados por sensor gravimétrico e georreferenciados por um receptor GPS Starfire SF1 (John Deere®).

As unidades de gerenciamento diferenciado (UGD) foram definidas conforme Molin (2002) utilizando mapas de produtividade, mapa de condutividade elétrica aparente do solo, e mapa do relevo. Os mapas foram interpolados no formato *raster* em células de 20x20 m utilizando o método do inverso da distância (FIGURA 1).

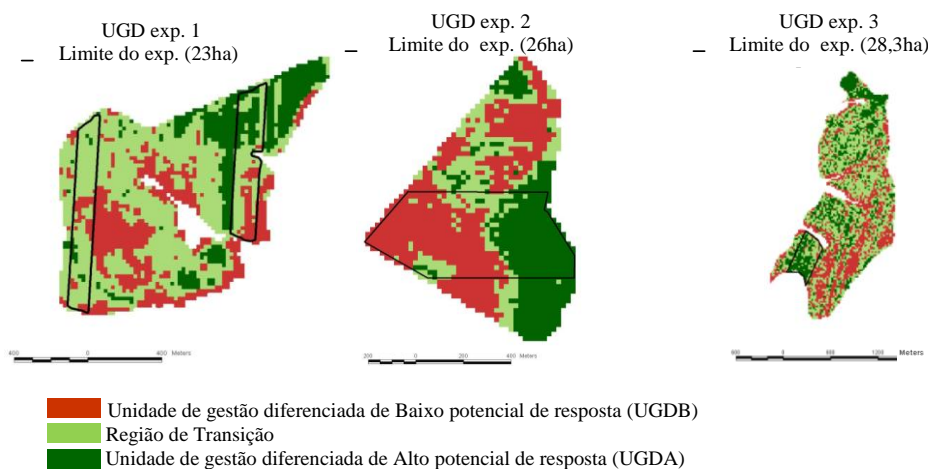


FIGURA 1. Unidades de gestão diferenciada (UGD) e delimitação dos experimentos para cada área de estudo.

Foi aplicada a análise fatorial para avaliar os fatores: população de plantas, híbridos e unidades de gestão diferenciada (UGD). A variável resposta foi a produtividade em kg ha^{-1} . A análise de regressão foi utilizada para determinar a associação entre a produtividade de milho e os fatores testados (população, híbridos e UGD). A análise descritiva foi aplicada para analisar os dados de distribuição longitudinal de plantas. O *software* estatístico R[®] (R Development Core Team, 2012) foi utilizado para todas as referidas análises estatísticas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação média mensal registrada na Área 1 durante o ciclo da cultura foi próximo à média histórica dos últimos vinte anos, enquanto que na Área 3 (mesma região de estudos porém no ano seguinte) a precipitação média ficou abaixo da média (FIGURE 2a). Devido à intempéries no final do ciclo a colheita e conseqüentemente os resultados do experimento na Área 1 foram comprometidos. Na Área 3, a precipitação média mensal durante o ciclo da cultura do milho, segunda safra de verão, ficou acima da média dos últimos 20 anos, o que caracteriza uma condição favorável para o desenvolvimento da cultura (FIGURA 2b).

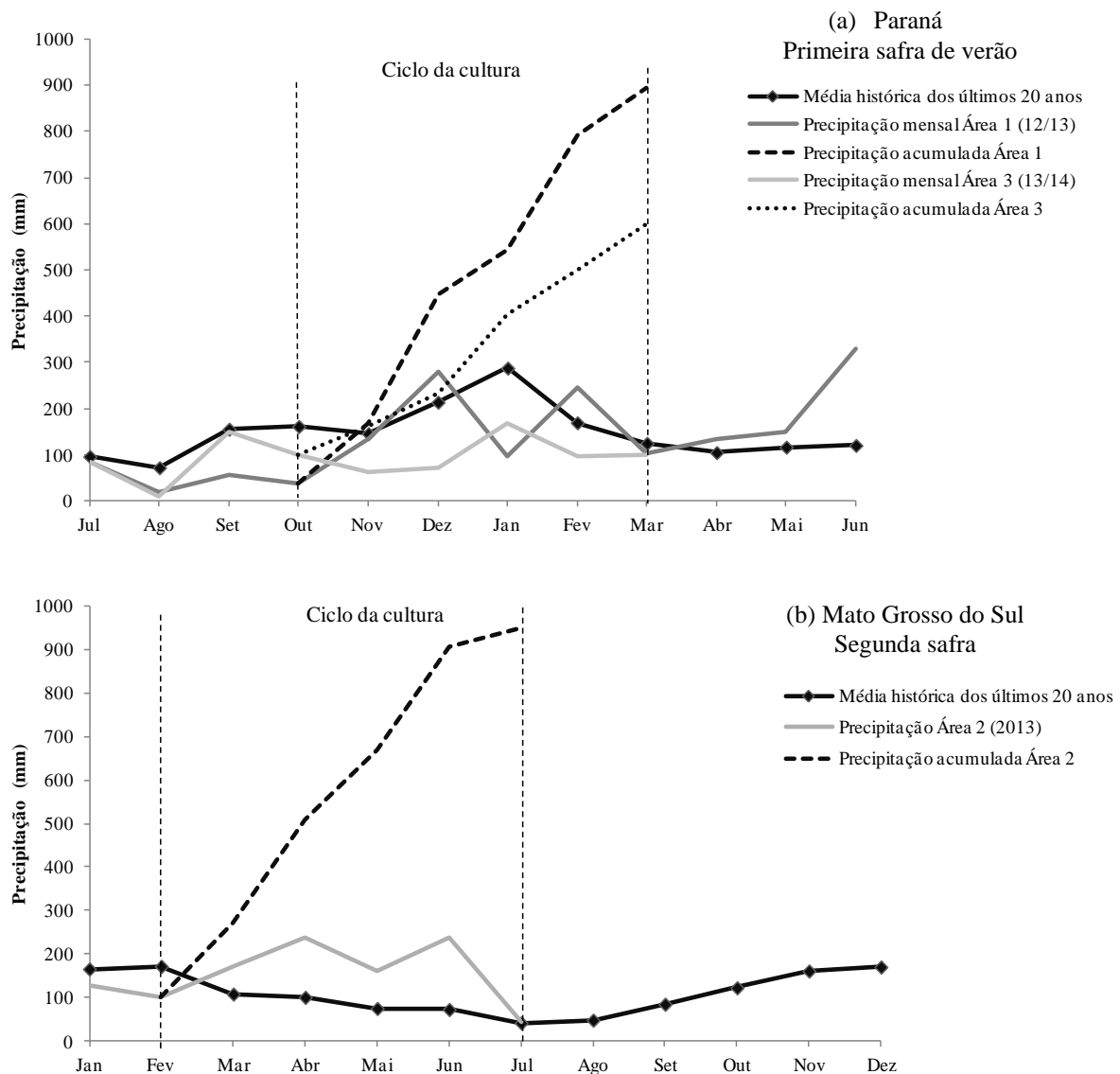


FIGURA 2. Precipitação pluvial mensal (a) Região de Pirai do sul – PR, Área 1 e Área 3 (b) Região de Maracajú – MS, Área 2.

A qualidade da taxa de semeadura representada pela frequência de espaçamentos aceitáveis entre plantas ficou próxima aos 95% na Área 3 e não foi influenciada pelas taxas de semeadura. O coeficiente de variação (CV) foi de 28% e a velocidade de plantio foi 1.5 m s^{-1} . No entanto, o aumento nas taxas de sementes impactaram negativamente no número de espaçamentos aceitáveis obtidos na Área 1 e Área 2 (FIGURA 3). O CV médio dos espaçamentos entre plantas na Área 2 foi de 34% e a velocidade de semeadura 2.0 m s^{-1} . Na Área 1, o problema foi a quantidade e a condição da palhada de Aveia (*Avena sativa*) cultivada anteriormente para cobertura do solo, o que dificultou a operação de semeadura e prejudicou a distribuição de plantas.

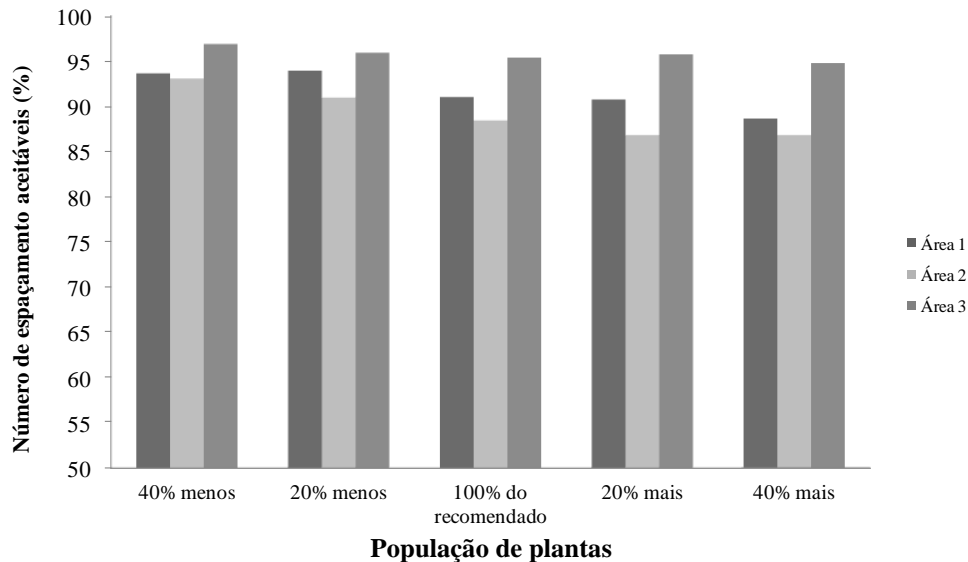


FIGURA 3. Espaçamentos aceitáveis entre plantas para as diferentes taxas de população de plantas de milho nas três áreas experimentais.

A análise de variância para a Área 2 identificou diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0.05$) para interação tripla entre híbridos, população e UGD. A UGDA atingiu médias de produtividade superiores em relação à UGDB em todas as populações de plantas testadas (FIGURA 4). No entanto, é possível que em anos onde a disponibilidade de água para as plantas for um limitante o patamar de produtividade seja atingido em populações menores.

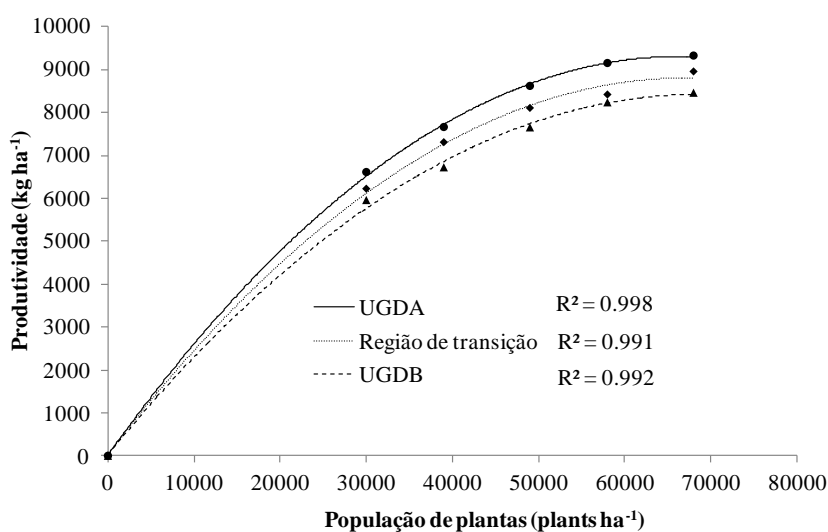


FIGURA 4. Efeito da população de plantas na produtividade de milho em diferentes UGD. Unidade de gestão de baixo potencial de resposta (UGDB), unidade de gestão de alto potencial de resposta (UGDA). Cada símbolo representa a média de quatro híbridos. Área 2, MS, segunda safra.

A diferença de produtividade entre as UGD foi maior nas taxas de população mais elevadas, ou seja, o efeito das UGD é mais expressivo quando a competição por recursos naturais (água e nutrientes) é maior.

Os coeficientes de determinação foram altamente significativos ao analisar híbridos dentro das UGD (FIGURAS 5a e 5b). O melhor modelo ajustado para população e produtividade dos híbridos foi quadrático. Híbridos respondem de maneira diferente ao incremento de população, portanto, é imprescindível levar em conta o comportamento de cada híbrido no intuito de recomendar população de plantas em taxas variáveis.

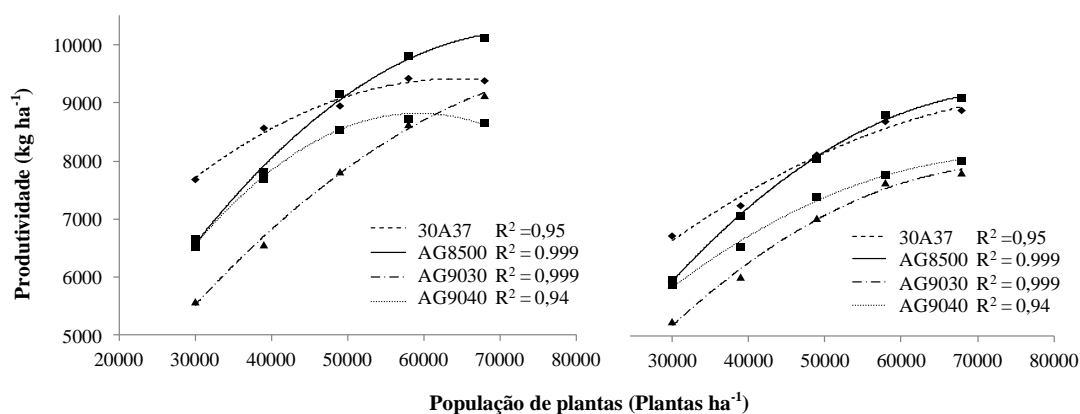


FIGURA 5. Efeito da população de plantas na produtividade de milho para quatro híbridos de e duas unidades de gestão diferenciada. Unidade de gestão diferenciada de alto potencial de resposta (UGDA). Unidade de gestão diferenciada de baixo potencial de resposta (UGDB). Área 2, MS, segunda safra.

O aumento na população de plantas de 30000 para 68000 pl ha⁻¹ promoveu um incremento de produtividade de 63% para o híbrido AG9030 e 52% para AG8500. Esses dois híbridos se mostraram mais responsivos ao aumento no número de plantas por área e mais responsivos à UGDA em comparação com os demais híbridos avaliados. O incremento para o híbrido AG9040 foi de 33% e 22% para o 30A37. Shanaha *et al.* (2004) encontraram resultados onde o incremento de produtividade em resposta ao aumento no número de plantas por área pode chegar a 50% em UGDA e 25% em UGDB. Nessa pesquisa os incrementos de produtividade proporcionados pelo ajuste na população foram, em média, 41% na UGDA e 42% na UGDB. Cabe considerar que os patamares da UGDA foram superiores à UGDB.

O aumento de produtividade obtido pelo aumento da população é proporcionado pela capacidade genética dos híbridos modernos de tolerar um ambiente com mais plantas. Essa tolerância é obtida pela seleção de características genéticas que conferem menor tamanho do pendão, arquitetura foliar mais compacta, plantas menores com menos folhas, folhas mais curtas e mais eretas que melhoram a interceptação da radiação solar e inserção mais baixa da espiga, plantas menos suscetíveis ao tombamento (Tokatlidis & Koutroubas, 2004; Sangoi et al., 2002). Essas características associadas a altas populações possibilitam o melhor aproveitamento da luz solar devido ao maior índice de área foliar presente em estágios vegetativos iniciais (Fancelli; Dourado-Neto, 2003; Sangoi, 2000). A diferença de produtividade obtida entre as unidades de gestão diferenciada estão diretamente ligadas ao ambiente, o qual pode favorecer ou não a expressão do potencial genético dos híbridos. Tais resultados sustentam o conceito de gestão de híbridos e populações de plantas em UGD.

Na Área 1, o experimento foi comprometido devido aos fortes ventos e chuvas poucos dias antes da colheita. Devido a isso, a abordagem dos resultados da Área 1 visa destacar os riscos envolvidos com o uso de altas populações. A produtividade registrada pelo sensor da colhedora foi, em média, 42% menor que a produtividade obtida pela colheita manual. Devido ao tombamento das plantas a colhedora não conseguiu colher todas as plantas da área. As perdas foram maiores para os híbridos de

ciclo precoce e altas populações. Populações de plantas de 99000 pl ha⁻¹ tiveram perdas de 54% enquanto que em populações menores, 44000 pl ha⁻¹, as perdas foram de 23%.

As análises de variância para unidades de gestão diferenciada e populações de plantas na Área 3 foram significativas ($P < 0.05$). No entanto, a interação entre UGD e população de plantas não apresentou diferença estatística (FIGURA 6). Considerando o volume de chuva abaixo da média histórica e a ausência de problemas na semeadura, esperava-se obter efeito mais significativo das UGD sobre a produtividade de milho. As regiões de CE_a acima da média do talhão e CE_a abaixo da média, utilizadas como uma camada de informação para delinear as UGD do talhão, deveriam favorecer um resultado mais contrastante durante uma estação seca por ser um parâmetro de variabilidade espacial do solo relacionado aos teores de argila, capacidade de troca de cátions, matéria orgânica do solo e umidade do solo (Sudduth et al., 2003). Nesse sentido, regiões de maior CE_a deveriam resultar em maiores produtividades. No entanto, as maiores produtividades foram observadas nas UGD. De outro lado, a falta de chuva pode ter limitado a produtividade nas populações mais elevadas, o que reduz a amplitude da produtividade entre as diferentes populações testadas.

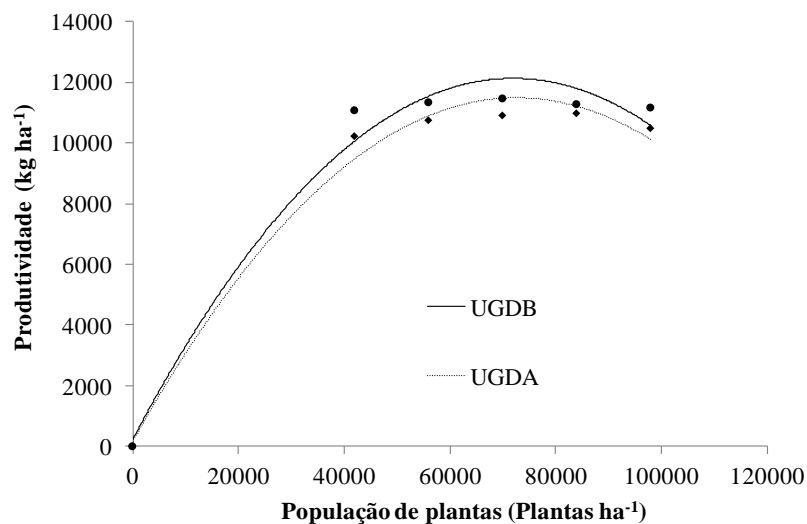


FIGURA 6. Efeito da população de plantas na produtividade de milho em diferentes UGD. Unidade de gestão de baixo potencial de resposta (UGDB), unidade de gestão de alto potencial de resposta (UGDA). Cada símbolo representa a média de seis híbridos. Área 3, PR.

O comportamento inverso ao esperado, maior produtividade na UGDB, pode estar relacionado com variabilidade da área e a definição das UGD. Na Área 3 (PR) as UGD não são contrastantes como as UGD da Área 2 (MS). A definição das UGD é uma etapa fundamental para a aplicação de semeadura em taxas variáveis e quando os padrões das UGD não são facilmente identificados ou não têm estabilidade ao longo do tempo é difícil definir uma estratégia de uso da semeadura em taxas variáveis e os possíveis benefícios decorrentes dessa prática decaem.

Portanto, não é fácil obter uma recomendação padrão para a semeadura em taxas variáveis bem como um procedimento estanque para a delimitação de unidades de gestão diferenciada. Quanto melhor definidas e maiores forem as diferenças entre as UGD maior também será os benefícios obtidos com a aplicação em taxas variáveis.

CONCLUSÕES

A utilização de população de plantas de milho em taxas variáveis é uma estratégia promissora para gestão da variabilidade das lavouras.

A população ótima pode variar entre as UGD e em anos favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura a produção por área pode ser maximizada nas diferentes UGD utilizando populações de plantas acima da média.

Não se tem uma recomendação simples para otimizar a população de plantas em unidades de manejo diferenciada. O desempenho da população de plantas depende do híbrido utilizado (responsividade do genótipo à população de plantas); do ambiente (unidade de gestão diferenciada); e das práticas de manejo (qualidade das taxas de semeadura que garantam um estande de plantas adequando e espaçamentos uniformes entre plantas).

Problemas relacionados ao desempenho das semeadoras podem estar afetando a qualidade da semeadura e impedindo a obtenção de maiores produtividades.

REFERÊNCIAS

ABENDROTH L.; ELMORE, R. Corn seeding rates and variable-rate seeding.2007. Disponível em: <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2007/4-9/seedingrate.html> Acessado em fev. 2012

DUVICK, D.N., What is yield? In: Edmeades, G.O., *et al.* (Ed.), **Developing Drought and Low N-tolerant maize**. CIMMYT, El Batan, Mexico, pp. 332–335. 1997.

EHSANI, M. R. *et al.* Potential Application of Electrical Conductivity (EC) Map for Variable Rate Seeding. **Agricultural Engineering International**. Vol. VII. November, 2005

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Milho: estratégias de para alta produtividade**. Piracicaba: 2003. 208p.

GODWIN, R. J. *et al.* Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to develop Management Guidelines. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 4, p. 375-391, 2003.ISSN 1537-5110.Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153751100300031X> >.

GRIFFIN, S.J, Assessment of the success of variable rate seeding based on emi maps, **In: 10th International Conference on Precision Agriculture**, 10, 2010. Precision Agriculture'10, v.1, Denver, 2010.

International Standardization Organization. 1984. Sowing equipment—Test methods—Part 1: Single seed drills (precision drills), 7256/1. Geneva, Switzerland: ISO.

KHOSLA, R.*et al.* A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: site-specific management zones in the semi-arid western Great Plains of the USA. **Precision Agriculture**, v.9, n.1, p. 85-100, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-008-9057-1> >.

KING, J. A. *et al.* Mapping Potential Crop Management Zones within Fields: Use of Yield-map Series and Patterns of Soil Physical Properties Identified by Electromagnetic Induction Sensing. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 2, p. 167-181. 2005. ISSN 1385-2256. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-1033-4> >.

MOLIN, J.P., Agricultura de precisão: situação atual e perspectivas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: 2003. 208p.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão – o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, 2001.

MOLIN, J.P. Definição de zonas de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**. v. 22, p. 83-92, 2002

R development Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. www.R-project.org (Accessed 10 Dec. 2013)

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Cienc. Rural**, vol.31, n.1, p. 159-168. ISSN 0103-8478. 2000.

SANGOI, L., GRACIETTI, M.A., RAMPAZZO, C., BIANCHETTI, P., Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant population. **Field Crops Res.** 79, 39–51. 2002.

SCHEPERS, A. R. *et al.* Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 1, p. 195-203, Jan-Feb 2004. ISSN 0002-1962. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000188437400022 >.

SHANAHAN *et al.* Feasibility of Site-Specific Management of Corn Hybrids and Plant Densities in the Great Plains. **Precision Agriculture** 5: 207, 2004.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; DRUMMOND, S. T.. Soil conductivity sensing on claypan soil: Comparison of electromagnetic induction and direct methods. **In: Proceedings of Fourth International Conference in Precision Agriculture**. p. 979–990. 1998.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; WIEBOLD, W. J., Comparison of Electromagnetic Induction and Direct Sensing of Soil. **Agronomy Journal**, v.95, n. 3, p. 472–482, May-Jun 2003. Disponível em: <https://www.agronomy.org/publications/aj/articles/95/3/472>

SUN, Y. *et al.* Map-based investigation of soil physical conditions and crop yield using diverse sensor techniques. **Soil and Tillage Research**, v. 112, n. 2, p. 149-158, 2011. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198710002412> >.

TOKATLIDIS, I.S; KOUTROUBAS, S.D.A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. **Field Crop Research** vol.88 p.103–114, 2004.