

RELAÇÃO ENTRE TOLERÂNCIA DO MILHO A BAIXO TEOR DE FOSFORO NO SOLO E RESPONSABILIDADE A ADUBAÇÃO FOSFATADA

RELATIONSHIP BETWEEN MAIZE TOLERANCE TO LOW PHOSPHORUS CONTENT IN THE SOIL AND THE PHOSPHORUS RESPONSIVENESS

Ronaldo Rodrigues COIMBRA¹; Roberto FRITSCHÉ-NETO²; Diego Barbosa COIMBRA³; Lucas Koshy NAOE¹; Expedito Alves CARDOSO¹; Diego RAONI¹; Glauco Vieira MIRANDA²

1. Professor, Doutor, Universidade Federal do Tocantins – UFT, Porto Nacional, TO, Brasil. ronaldo.rc@uft.edu.br. 2. Professor, Doutor, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, Brasil. 3. Bolsista de Iniciação Científica – UFT, Porto Nacional, TO, Brasil.

RESUMO: Para atender à crescente demanda mundial por alimentos, haverá aumento significativo na fração dos cultivos agrícolas realizados em solos de baixa fertilidade. Com isto, diversos programas direcionaram o melhoramento de plantas para condições de estresse por baixa disponibilidade de fósforo (P). Neste contexto, duas estratégias podem ser consideradas: tolerância à baixa disponibilidade de P no solo e responsividade a sua disponibilidade. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi identificar a relação entre tolerância a baixos níveis de P no solo e responsividade à adubação fosfatada em cultivares de milho tropical. Foram conduzidos dois experimentos no complexo de Ciências Agrárias da UNITINS (48°21'47"W; 10°24'09"S), Palmas, TO, no ano agrícola de 2004/2005. Nestes, foram avaliados 36 cultivares comerciais em duas condições contrastantes de disponibilidade de P no solo. O delineamento experimental utilizado foi látice simples (6 x 6), sendo a parcela experimental constituída de duas linhas de 5,0 m, espaçadas por 1,0 m, com densidade de semeadura de 50.000 plantas.ha⁻¹. Foi avaliada a produtividade de grãos e os índices a) resposta à disponibilidade do nutriente, b) eficiência no uso de P em baixa disponibilidade deste (considerado como tolerância). As cultivares mais responsivas foram NB 7361, BALU 551, SHS 4070 e SHS 4080. Por outro lado, as cultivares mais tolerantes foram XB 7253, AG 7040, CD 308, CD 307 e XB 2271. Foi observada relação negativa entre tolerância e responsividade (-0,58**) em cultivares de milho tropical.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L. Estresse abiótico. Eficiência no uso de fósforo.

INTRODUÇÃO

A população mundial irá continuar crescendo até aproximadamente 2050, ano em que, segundo previsões da ONU, se estabilizará, atingindo o impressionante número de 9,1 bilhões de pessoas. Com isto, um dos grandes desafios será produzir alimentos para atender à demanda mundial. Esta, por sua vez, será certamente pressionada por diversos fatores, entre eles o aumento do poder aquisitivo da população mundial, em especial dos países emergentes que formam o grupo conhecido como BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) e a competição por área entre a produção de grãos e a energia renovável (BEDDINGTON, 2010).

Para atender a crescente demanda mundial por alimentos, podem-se explorar: outras épocas de plantio como a entressafra (o que gera, na maioria das vezes, rendimentos menores); aumentar a produtividade; expandir as áreas de cultivo (ainda viável no Brasil). Neste contexto, uma fração significativa dos cultivos agrícolas poderá ser realizada em solos de áreas marginais, os quais, em sua grande maioria, apresentam baixa fertilidade (GIAVENO et al., 2007).

O fósforo (P) é um nutriente limitante em várias regiões do mundo, principalmente nos solos intemperizados dos trópicos. Quando a disponibilidade desse nutriente no solo é limitante durante o crescimento e desenvolvimento vegetal, ocorre redução no metabolismo, diminuição da biomassa e da superfície de vários órgãos das plantas, como por exemplos das folhas e das raízes, afetando negativamente a produtividade. Isto se deve ao fato de P estar envolvido na transformação e transporte de carboidratos, na fotossíntese e na composição dos ácidos nucleicos, açúcares fosfatados, fosfolipídios e coenzimas (TAIZ E ZEIGER, 2006).

Diante desta constatação, diversos programas de melhoramento surgiram ou direcionaram linhas de pesquisa para o melhoramento de plantas para condições de estresse por baixa disponibilidade de P, sendo que duas estratégias de melhoramento devem ser consideradas: tolerância à baixa disponibilidade de P no solo e responsividade à disponibilidade desse (FRITSCHÉ-NETO et al., 2011).

O conceito de tolerância a um determinado estresse é bastante amplo, mas está relacionado à capacidade da planta resistir à condição adversa,

sobreviver e deixar descendentes. O gasto de energia metabólica para garantir a sobrevivência da planta, depende das características do estresse, sendo para isso envolvidos diferentes mecanismos. Num sentido mais agrônomo, Miti et al. (2010), definem a tolerância como a capacidade produzir de forma economicamente viável em áreas de baixa fertilidade ou em condições limitantes. Contudo, Cavatte et al. (2011), reportam que os genótipos que apresentam tolerância a ambientes desfavoráveis (condições de estresse) são, em geral, os menos produtivos.

Outra questão importante, é que o germoplasma selecionado como tolerante para estresses abióticos deve ser também responsivo à melhoria do ambiente, pois se espera que o produtor melhore o seu ambiente com o passar do tempo. Além disso, o produtor deseja cultivares que apresentem produtividade satisfatória quando cultivados em condições de estresses, mas que, em condições ideais ou favoráveis, apresentem resposta favorável aos incrementos da produção. Entretanto, parece contraditório, em termos fisiológicos, o melhoramento simultâneo para tolerância e para responsividade à disponibilidade de recursos (FRITSCHÉ-NETO et al., 2011).

Neste contexto, nota-se a necessidade de comparar as metodologias de seleção em condições de estresse e sem estresse por baixa disponibilidade de P, visando com isto aumentar a eficiência dos programas de melhoramento (WORKU et al., 2007). Além disso, muitos trabalhos confundem os termos tolerância e responsividade e, conseqüentemente, os seus objetivos e linhas de pesquisa (FRITSCHÉ-NETO et al., 2011).

Diante do exposto, o objetivo dessa pesquisa foi identificar a relação entre tolerância a

baixos teores de P no solo e responsividade a adubação fosfatada em cultivares de milho tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram conduzidos dois experimentos no complexo de Ciências Agrárias da Fundação Universidade do Tocantins - UNITINS (48°21'47''W; 10°24'9''S), Palmas, TO, no ano agrícola de 2004/2005. Nestes, foram avaliados 36 cultivares de milho em duas condições de disponibilidade de P no solo: alta (AP) e baixa (BP). O delineamento experimental utilizado foi látice simples (6 x 6), com duas repetições, sendo a parcela experimental constituída de duas linhas de 5,0 m, espaçadas por 1,0 m, com densidade de semeadura de 50.000 plantas ha⁻¹.

Com base nos resultados da análise de solo (Tabela 1), foi realizada a calagem da área, sendo aplicados 2.500 kg ha⁻¹ de calcário calcítico. Por meio desta também foi identificada como baixa a disponibilidade de fósforo na área. Assim, as dosagens de adubos aplicados no plantio para o BP foram de 30 kg ha⁻¹ de N e de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, ou seja, sem aplicação de adubação fosfatada. Para o AP a adubação foi de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 30 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, ou seja, aplicando a dose recomendada de P para este caso (ALVAREZ V et al., 1999). As fontes de N, P e K foram sulfato de amônia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente.

A adubação de cobertura foi realizada no estádio de oito folhas completamente expandidas (V8), sendo esta de 300 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônia tanto para o BP como para o AP.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo onde foram conduzidos os experimentos de avaliação do cultivares em alta e baixa disponibilidade de fósforo

pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	M.O.
	----- (eq.mg/100 cc) -----			----- (ppm) -----		(%)
6,40	0,00	6,00	0,44	32,00	3,00	2,41
areia grossa	areia fina	silte	argila	<i>Classificação</i>		
----- (%) -----	----- (%) -----	----- (%) -----	----- (%) -----	Franco-argiloso		
19,00	22,00	29,00	30,00	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico		

Para a semeadura, o preparo do solo foi realizado de modo convencional. Foram selecionados os seguintes cultivares comerciais disponíveis na região de Palmas: SHS 4040, SHS 4070, SHS 4080, SHS 5050, SHS 5070, SHS 5080, XB 7110, XB 7116, XB 7253, XB 2270, XB 2271, XB 7118, CD 308, CD 306, CD 307, CD XD60, AG

7000, AG 7040, AG 8060, AG 5020, AG 2040, DKB 390, DKB 199, DKB 466, DKB 979, DKB 455, DKB 330, 30F90, 30P70, BALU 761, BALU 551, POINTER, GARRA, NB 7201, NB 7361 e NB 7233.

Foram avaliadas as seguintes características: estande, por ocasião da colheita, produtividade de

grãos (PG) e umidade dos grãos. Os dados de PG, obtidos em kg parcela⁻¹, foram convertidos para Kg ha⁻¹ e corrigidos para o teor de umidade de 15% e estande por meio da análise de covariância (CRUZ et al., 2004).

Inicialmente, foram realizadas as análises de variância individuais para cada nível de P, considerando o modelo estatístico abaixo, em que, somente o efeito de cultivares foi considerado fixo:

$$Y_{ijk} = m + t_i + b_{j(k)} + r_k + e_{ijk}$$

em que, Y_{ijk} é o valor do cultivar i no bloco j dentro da repetição k ; m é a média geral do experimento; t_i é o efeito do cultivar i ($i=1,2,3,\dots,36$); $b_{j(k)}$ é o efeito do bloco j dentro da repetição k ($j=1,2,3,\dots,6$); r_k é o efeito da repetição k ($k=1,2$); e_{ijk} é o erro experimental associado à observação Y_{ijk} , com $e_{ijk} \sim N(0; \sigma^2)$.

Posteriormente, foi realizada a análise de variância conjunta, considerando um modelo fixo:

$$Y_{il} = m + t_i + a_l + (ta)_{il} + \bar{e}_{il}$$

em que, Y_{il} é o valor ajustado do cultivar i no nível l de P; m é a média geral ajustada dos experimentos; t_i é o efeito ajustado do cultivar i ($i=1,2,3,\dots,36$); a_l é o efeito do nível l de P ($l=1,2$); $(ta)_{il}$ é o efeito da interação do cultivar i com o nível de l P; \bar{e}_{il} é o erro efetivo médio associado à observação Y_{il} , com $\bar{e}_{il} \sim N(0; \sigma^2)$.

Esta análise foi realizada com as médias ajustadas das análises individuais. Como estas são realizadas com recuperação da informação do resíduo intrabloco, em cada uma delas foi calculado o erro efetivo, e a média destes foi utilizada para compor o erro efetivo da análise conjunta. Neste caso, o erro efetivo foi obtido conforme apresentado por Cochran e Cox (1957):

$$QM_{EF} = QM_{EI} \left[1 + \frac{kj\mu}{j+1} \right]$$

em que, QM_{EF} é o quadrado médio do erro efetivo; QM_{EI} é o quadrado médio do erro intrabloco; k é o número de repetições; j é o tamanho do bloco do látice; $\mu = \frac{QM_{B/R} - QM_{EI}}{j(k-1)QM_{B/R}}$; $QM_{B/R}$ é o quadrado médio de bloco dentro de repetição.

Foram ainda realizados os testes de comparação de médias de Scott-Knott ($p < 0,05$), dentro de cada nível de P e, estimados os índices de resposta à utilização do nutriente - RU (FRITSCHENETO et al., 2010) e a eficiência no uso de nutrientes (MOLL et al., 1982), no caso, o fósforo - EUP:

$$EUP = \frac{PG}{Pd} \text{ (kg kg}^{-1}\text{)}$$

$$RU = \frac{PG_{AP} - PG_{BP}}{P.no.solo_{AP} - P.no.solo_{BP}} \text{ (kg kg}^{-1}\text{)}$$

em que, Pd é a quantidade de P disponível para a planta (P no solo, identificado pela análise de solo, mais o adicionado com a adubação).

Neste estudo a EUP em BP foi considerada como a tolerância a solos pobres em P, pois é o estimador da capacidade de um cultivar produzir em baixa disponibilidade nutricional (FRITSCHENETO et al., 2011; WU et al., 2011). Já o desempenho em relação a eficientes no uso de P em função da melhoria do ambiente, foi utilizado o índice RU (WU et al., 2011).

Os valores obtidos por meio destes índices para os genótipos avaliados foram submetidos a análise de variância considerando o mesmo modelo descrito anteriormente.

Para a obtenção da correlação entre os índices de seleção estudados foi utilizado o coeficiente de Pearson, pois os dados apresentavam distribuição normal. Para a realização de todas as análises utilizou-se o programa estatístico computacional Statistical Analysis System (SAS) versão 9.1 (SAS INSTITUTE, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados das análises de variância individuais para cada nível de P, pode-se observar que houve diferença significativa entre os cultivares, para produtividade de grãos - PG, apenas em baixa disponibilidade de P (BP) (Tabela 2). Isto indica a existência de diferenças genéticas entre os materiais, o que possibilita a seleção de cultivar superior em estresse por BP. Entretanto, na condição de alta disponibilidade de P (AP), não foi observado diferença significativa entre os cultivares.

Os coeficientes de variação apresentaram valores dentro do aceitável para este tipo de estudo (FRITSCHENETO et al., 2010; SOUZA et al., 2009; SOUZA et al., 2008), o que indica boa precisão experimental e confiabilidade nas estimativas (Tabela 2). O mesmo pode-se dizer em relação às eficiências do látice, as quais apresentaram valores dentro do esperado para este

tipo de experimento e com pouca diferença entre os ambientes de fósforo. Nota-se também que, no ambiente de estresse a média e o CV (%) foram menores em relação ao nível de AP. Em relação a média, isto ocorre porque em estresse há redução na produtividade. Além disso, há redução da variabilidade genotípica, pois os genótipos tendem a ter desempenhos semelhantes, dificultando, assim, a seleção (FRITSCHÉ-NETO et al., 2010). Entretanto, neste estudo foi observado efeito contrário ao descrito acima, em que, apenas no

ambiente de estresse foi verificada a existência de variabilidade genotípica significativa, evidenciando que há possibilidade de ganhos genéticos com a seleção para produtividade de grãos em solos com baixa disponibilidade de P. Por outro lado, em condições ótimas não foi observado variabilidade genética significativa, possivelmente devido ao fato de os cultivares modernos serem desenvolvidos em condições ótimas de cultivo (SOUZA et al., 2008). Assim, apenas no ambiente de estresse foi observada variabilidade genotípica significativa.

Tabela 2. Resumo das análises de variância individuais e da conjunta, teste F, médias e coeficientes de variação (CV%), para o caráter produtividade de grãos de 36 cultivares comerciais de milho, avaliados em baixa (BP) e alta disponibilidade de fósforo (AP) no solo, Palmas/TO, 2004/2005

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios	
		BP	PG
Cultivares	35	1054678,80*	1681907,01 ^{NS}
Erro efetivo	25	257452,21	1645114,64
Média		3380,49	4773,64
CV (%)		22,15	26,86
Eficiência do látice		105,01	100,09
Cultivares (C)			876037,62 ^{NS}
Níveis de P (N)			34935604,60**
C x N			612377,37 ^{NS}
Erro efetivo médio			951283,43
Média			4077,06
CV (%)			23,92

*** * e ^{NS} significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Como a relação entre os quadrados médios do resíduo das análises individuais foi menor que sete, foi possível fazer a análise de variância conjunta (PIMENTEL-GOMES, 2000). Em relação à esta, os resultados obtidos indicam que as condições contrastantes de ambiente, proporcionadas pelas duas doses de fósforo aplicadas, foram adequadas, devido à diferença significativa entre estas (Tabela 2). A diferença entre as médias de produtividade nas duas condições foi de 30%, ou seja, evidenciando a ocorrência do estresse no BP, mas permitindo a identificação da variabilidade genética. Segundo Worku et al. (2007), os alelos que controlam a PG em condições de baixa disponibilidade de nutrientes são pelo menos parcialmente diferentes dos alelos que controlam essa característica em condições ideais de cultivo. Entretanto, é importante ressaltar que, como não houve variabilidade significativa entre os

cultivares para PG no AP, era esperado que o efeito da interação Cultivar x Nível de P também fosse não significativo.

Considerando os resultados em BP, houve a formação de dois grupos de desempenho, sendo a média da produtividade foi de 3.380,50 kg ha⁻¹ e os cultivares mais produtivos XB 2271, CD 307 e CD 308, com rendimento de 4.890, 4.496 e 4.448 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3). Deste modo, há a possibilidade de recomendar estes cultivares para o cultivo em baixa tecnologia de produção ou para regiões marginais de cultivo de clima tropical. É importante ressaltar que tanto no experimento em alto nível de fósforo como no baixo, não foram observados problemas de acamamento e quebraimento das plantas, o que poderia afetar significativamente a produtividade de grãos dos híbridos avaliados e, conseqüentemente, os resultados obtidos neste trabalho.

Tabela 3. Médias da produtividade de grãos de 36 cultivares de milho tropical avaliados em baixa (BP) e alta (AP) disponibilidade de fósforo no solo, Palmas/TO, 2004/2005

Cultivares	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	
	BP*	
XB 2271	4890,68	a
CD 307	4496,52	a
CD 308	4448,41	a
AG 7040	4445,41	a
XB 7253	4321,67	a
NB 7233	4139,48	a
DKB 199	4124,21	a
AG 8060	4100,46	a
30F90t.	4099,54	a
AG 2040	4054,19	a
CDX D-60	3830,40	a
DKB 466	3829,67	a
XB 2270t.	3808,03	a
XB 7116	3801,07	a
BALU 761	3561,75	a
XB 7118	3557,84	a
DKB 466	3544,89	a
XB 7110	3470,56	a
DKB390	3467,51	a
AG 7000	3455,60	a
AG 5020	3280,82	b
DKB 979	3227,30	b
30P70	3188,76	b
CD 306	2954,69	b
NB 7201	2952,66	b
NB 7361	2789,44	b
SHS5050t.	2745,15	b
SHS 5070	2734,05	b
GARRA	2685,60	b
POINTER	2682,09	b
SHS 5080	2608,45	b
SHS 4040	2480,38	b
DKB 330	2294,53	b
SHS 4080	2060,52	b
BALU 551	2007,19	b
SHS 4070	1557,93	b

* Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade no teste de Scott-Knott.

Quanto ao desempenho dos cultivares em relação à tolerância a baixos níveis de P (estimada pela eficiência no uso de fósforo – EUP) e a responsividade a adubação fosfatada, foi observado

variabilidade genotípica significativa para ambos os parâmetros (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo das análises de variância individuais para os índices de eficiência no uso de fósforo em baixa disponibilidade deste no solo - EUP e resposta à utilização deste nutriente - RU, de 36 cultivares comerciais de milho, Palmas/TO, 2004/2005

FV	Quadrados Médios		
	GL	EUP	RU
Cultivares	35	357,58*	179,52*
Erro efetivo	25	87,29	90,21
Média		56,31	37,72
CV (%)		16,59	25,18

* significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F.

Os cultivares considerados como mais responsivos foram NB 7361, BALU 551, SHS 4070 e SHS 4080. Por outro lado, os cultivares mais EUP foram XB 7253, AG 7040, CD 308, CD 307 e XB 2271 (Figura 1). É possível observar que os cultivares que apresentaram as maiores produtividades em BP, foram, de modo geral, os mesmos que apresentaram as maiores EUP, o que é esperado pela própria natureza do estimador, o qual é a relação da produção de grãos pela quantidade de P disponível. Por outro lado os cultivares de menor produtividade apresentaram as maiores responsividades. Isto também era esperado, pois cultivares responsivos apresentam maior amplitude na produtividade entre o ambiente de estresse e ideal de cultivo (WU et al., 2011), ou seja, produções muito baixas no ambiente de baixo P e altas no ambiente de alto P. Em termos quantitativos, esta relação entre os índices EUP e RU é $-0,58^{**}$, ou seja, a obtenção de cultivares tolerantes a baixos níveis de P no solo está negativamente correlacionada ao processo de seleção de plantas responsivas a adubação fosfatada.

Neste contexto, alguns autores tratam como tolerância à escassez de nutrientes, outros como

eficiência no uso, ou ainda, responsividade a disponibilidade nutricional (MAIA et al., 2011). Em ambos os casos, a planta utiliza mecanismos fisiológicos e, algumas vezes anatômicos, para evitar ou recuperar-se rapidamente do efeito do estresse (TAIZ; ZEIGER, 2006). Assim, o controle genético, tanto da tolerância como o responsividade, são quantitativos e envolvem vários locos distribuídos em diferentes regiões do genoma das espécies cultivadas. Assim, nota-se a importância de estabelecer bem a metodologia de seleção do cultivar a ser desenvolvido, pois dependendo dos critérios ou índice de seleção empregado, materiais bem diferentes serão obtidos (MAIA et al., 2011), sendo difícil a seleção simultânea para ambas, tolerância e responsividade. Isto fica evidenciado pelo fato de que os cultivares identificados como “tolerantes” neste estudo são de empresas de melhoramento diferentes das que desenvolveram os cultivares identificados como “responsivos”, ou seja, as empresas possuem critérios diferentes de seleção dos seus genótipos, o que conduz a obtenção de híbridos com características diferentes quanto ao uso do P (Figura 1).

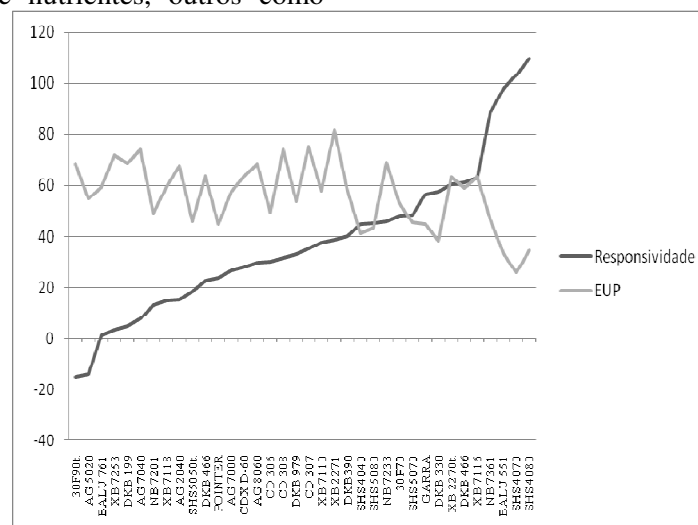


Figura 1. Eficiência no uso de fósforo - EUP em baixa disponibilidade desse no solo (considerado como tolerância) e responsividade da produtividade de grãos a adubação fosfatada, de 36 cultivares de milho tropical, Palmas/TO, 2004/2005.

Diante do exposto é importante ressaltar que o entendimento da relação genética entre essas duas estratégias de melhoramento na seleção de plantas são fundamentais para se direcionar os programas de melhoramento e aumentar-lhes a eficácia. Segundo Fritsche-Neto et al. (2011), na maioria dos casos de estresse nutricional e de déficit hídrico, devem-se buscar genótipos que respondam positivamente aos acréscimos dos recursos que potencializam a produtividade. Entretanto, considerando questões de segurança alimentar ou de outros fatores restritivos de cultivo, como temperatura, teor de alumínio no solo, salinidade etc., deve-se buscar genótipos tolerantes.

CONCLUSÕES

Dos cultivares avaliados, os mais responsivos à disponibilidade de P no solo são NB

7361, BALU 551, SHS 4070 e SHS 4080 e os mais tolerantes à baixa disponibilidade de P foram XB 7253, AG 7040, CD 308, CD 307 e XB 2271.

A seleção de cultivares tolerantes a baixos níveis de P está negativamente correlacionada ao processo de seleção de plantas responsivas.

Diferentes estratégias de seleção devem ser usadas para o desenvolvimento de cultivares tolerantes a baixos níveis de P no solo ou responsivos a adubação fosfatada.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Coordenação de Pessoal de Nível Superior pelo suporte financeiro.

ABSTRACT: Looking for meet the growing worldwide demand for food a significant fraction of crops can be performed on infertile soils. Thus, several programs directed the plant breeding for stress conditions due to low availability of phosphorus (P). In this context, two strategies can be considered: tolerance to low soil P availability, and responsiveness to their availability. So, the aims of this research were to identify the relationship between tolerance to low soil P levels and responsiveness to phosphorus fertilization in tropical maize cultivars. Two experiments were conducted in the Agricultural Sciences Complex of UNITINS (48°21'47"W, 10°24'09"S), Palmas, TO, in the 2004/2005 growing season. Thirty six commercial cultivars were evaluated in two contrasting P availability in soil (in each trial). The experimental design was simple lattice (6 x 6), where the plots consisted of two rows of 5.0 m, spaced by 1.0 m, with a density of 50,000 plants ha⁻¹. The traits evaluated were grain yield and the indexes a) response to the nutrient availability; b) phosphorus use efficiency (considered as tolerance). The most responsive cultivars were NB 7361, 551 BALU, SHS 4070 and SHS 4080. On the other hand, the cultivars XB 7253, AG 7040, CD 308, CD 307 and XB 2271 were more tolerant. In addition, negative significant correlation between tolerance and responsiveness (-0.58**) in tropical maize cultivars was observed.

KEYWORDS: *Zea mays* L. Abiotic stress. Phosphorus use efficiency.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^a Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- BEDDINGTON, I. Food security: Contributions from science to a new and greener revolution. **Philosophical Transactions of The Royal Society**, London, v. 365, n. 1, p. 61-71, jan. 2010.
- CAVATTE, P. C.; MARTINS, S. C. V.; MORAIS, L. E.; SILVA, P. E. M.; SOUZA, L. T.; DAMATTA, F. M. A fisiologia dos estresses abióticos. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BOREM, A. (Ed.) **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 39-79.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. 390 p.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. Experimental designs. New York: Wiley International, 1957. 611 p.

FRITSCHÉ-NETO, R.; MIRANDA, G. V.; DELIMA, R. O.; SOUZA, L. V.; SILVA, J. Herança de caracteres associados à eficiência de utilização do fósforo em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 465-471, mai. 2010.

FRITSCHÉ-NETO, R.; DOVALE, J. C.; CAVATTE, P. C. Melhoramento para tolerância a estresses ou para eficiência no uso de recursos? In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BOREM, A. (Ed.) **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 29-38.

GIAVENO, C. D.; RIBEIRO, R. V.; SOUZA, G. M.; OLIVEIRA, R. F. Screening of tropical maize for salt stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 7, n. 3, p. 304-313, ago. 2007.

MAIA, C.; DOVALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; CAVATTE, P. C.; MIRANDA, G. V. Difference between breeding for nutrient use efficiency and nutrient stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 11, n. 3, p. 270-275, ago. 2011.

MITI, F.; TONGOONA, P.; DERERA, J. S₁ selection of local maize landraces for low soil nitrogen tolerance in Zambia. **African Journal of Plant Science**, Nairobi, v. 4, n. 3, p. 67-81, mar. 2010.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-564, mar. 1982.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística experimental. 14 ed. Piracicaba: FEALQ, 2000. 477 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT software 9.1**. Cary, 2003.

SOUZA, L. V.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; ECKERT, F. R.; MANTOVANI, E. E.; DELIMA, R. O.; GUIMARÃES, L. J. M. Genetic control of grain yield and nitrogen use efficiency in tropical maize. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1517-1523, nov. 2008.

SOUZA, L. V.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; SANTOS, I. C. Combining ability of maize grain yield under different levels of environmental stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1297-1303, out. 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 4. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 764p.

WORKU, M.; BÄNZIGER, M.; ERLEY, G. S.; FRIESEN, D.; DIALLO, A. O.; HORST, W. J. Nitrogen uptake and utilization in contrasting nitrogen efficient tropical maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 519-528, mar. 2007.

WU, Y.; LIU, W.; LI, X.; LI, M.; ZHANG, D.; HAO, Z.; WENG, J.; XU, Y.; BAI, L.; ZHANG, S.; XIE, C. Low-nitrogen stress tolerance and nitrogen agronomic efficiency among maize inbreds: comparison of multiple indices and evaluation of genetic variation. **Euphytica**, Wageningen, v. 180, n. 2, p. 281-290, jul. 2011.