

SELEÇÃO PARA TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO E EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO NA EMBRAPA-MILHO E SORGO.

Sidney Neto Parentoni; Vera Maria Carvalho Alves; Elto Eugenio Gomes e Gama; Antônio Marcos Coelho; Cláudia Teixeira Guimarães; Cleo Antônio Patto Pacheco; Jurandir Vieira de Magalhães; Walter Fernandes Meirelles

Embrapa-Milho e Sorgo – C.P. 151 – Sete Lagoas – MG. – 35701-970,
(sidney@cnpmc.embrapa.br)

Os solos sob vegetação de savana (no Brasil chamados de Cerrado), ocupam no mundo uma área de cerca de 850 milhões de hectares. Estes solos se caracterizam por sua baixa fertilidade, alta acidez, baixa disponibilidade de fósforo e altos níveis de saturação de alumínio. (Foy, 1992). A principal forma de se tornar estas áreas produtivas tem sido o uso de grandes quantidades de corretivos e fertilizantes. Uma abordagem mais estratégica tem sido associar níveis médios de correção de solo com genótipos mais adaptados a estes ambientes. Deste modo, adaptar plantas à solos ácidos e com níveis intermediários de fertilidade é uma estratégia economicamente mais efetiva e ambientalmente mais adequada do que a simples correção do ambiente para níveis máximos de fertilidade. Este tem sido o conceito básico do programa de melhoramento de milho da EMBRAPA para adaptação de plantas ao ambiente de cerrado.

O programa de adaptação de milho a estresses abióticos da EMBRAPA-Milho e Sorgo iniciou-se no final dos anos 70 (Bahia Filho et al., 1997). Este trabalho tem sido focado em três componentes básicos: tolerância a toxidez de alumínio, eficiência no uso de fósforo e produção em ambientes ácidos e férteis. Mais recentemente tiveram início programas de seleção para seca e eficiência no uso de nitrogênio, entretanto estas duas últimas linhas de pesquisa não serão discutidas neste trabalho. Um grande número de variedades de polinização aberta, híbridos e linhagens tem sido avaliadas tanto per se quanto em top cross para tolerância a Al, eficiência a P e produção em solos ácidos e férteis. Alguns dos principais resultados obtidos com estes estudos serão sumariados a seguir.

A tolerância a Al dos genótipos tem sido avaliada em solução nutritiva com 222 μM de Al e solução controle sem Al (Magnavaca et al., 1987). O critério de seleção utilizado tem sido Comprimento Relativo de Raiz Seminal (CRRS) ou ainda Crescimento Líquido de Raiz Seminal (CLRS). As principais conclusões baseadas em um grande número de ensaios conduzidos na EMBRAPA, referentes à herança da tolerância a toxidez de Al em milho usando avaliação em solução nutritiva são: a) tolerância a Al em solução nutritiva é uma característica de alta herdabilidade, especialmente ao nível de média de famílias; b) em milho, esta característica é quantitativa e deve ser controlada por poucos genes; c) a avaliação simultânea de linhagens per se e em cruzamentos dialélicos utilizando ensaios em solução nutritiva envolvendo ou não o uso de avaliação em soluções controle sem Al permitiu verificar que o uso de solução controle aumenta a relação entre variância aditiva e não aditiva (ϕ_g/ϕ_s) quase 5 vezes, quando comparado a experimentos em que os genótipos são avaliados somente em solução contendo Al. Desta forma, o uso simultâneo de avaliações em solução com e sem Al permite obter coeficientes de correlação relativamente altos entre avaliação per se das linhagens e a capacidade geral de combinação das mesmas (Parentoni et al., 2001); d) quanto ao germoplasma com mais altas frequências de genótipos mais tolerantes a Al tem sido verificado que os mesmos ocorrem em maior frequência na raça de milho Cateto e mais baixas frequências tem sido observado em genótipos derivados de Tuxpeno e Pool 25; e) trabalhos conjuntos com outros países tropicais tem permitido identificar boas fontes de tolerância em genótipos oriundos do Kenya e de Camarões; f) um sintético com alta tolerância a Al foi obtido em 2003 recombinando-se as 4 linhagens mais tolerantes a Al do programa. O mesmo mostrou um índice de CLRS superior a qualquer um dos parentais. Este sintético encontra-se no terceiro ciclo de seleção divergente para tolerância a Al; g) populações F2 e F3 obtidas do cruzamento entre a linhagem tolerante Cateto 237/67 (L 1327) e a linhagem sensível L 53 foram utilizadas para o mapeamento de genes de tolerância a Al. Foram identificados cinco QTLs que explicaram 60% da variância fenotípica deste cruzamento (Nimango Cardenas et al., 2003); h) um conjunto de 150 linhas recombinantes F9 obtidas a partir do referido cruzamento foram desenvolvidas e estão sendo utilizadas para mapeamento fino das regiões identificadas.

Baligar & Fageria (2001) compararam a eficiência do uso de nitrogênio, fósforo e potássio em diferentes culturas. Os autores reportam que, para o nitrogênio, os valores encontrados foram geralmente inferiores a 50%, para potássio estes valores foram de

cerca de 40% e para fósforo os mesmos chegaram em alguns casos a cerca de 10%, indicando a importância de estudos visando melhorar a eficiência no uso de P em plantas cultivadas. Um problema em estudos de eficiência no uso de P é que este nutriente se movimenta no solo por difusão e não via fluxo de massa como ocorre com o N e o K. Por este motivo, não existe até o momento métodos de screening em solução nutritiva que simulem exatamente o que acontece no solo e em geral, uma baixa correlação tem sido verificada entre dados obtidos em solução nutritiva com aqueles obtidos em ensaios conduzidos em solo (Romer e Schenk, 1998). Outro fator a ser considerado em ensaios de avaliação de eficiência a fósforo utilizando plântulas é que o P contido na semente tem grande influência nos resultados e este problema não é minimizado mesmo quando se remove os restos do endosperma logo após a germinação (Alves et al., 1988).

Dentro do programa de seleção para eficiência no uso de P na EMBRAPA, as avaliações de eficiência e responsividade tem sido conduzidas em um Latossolo Vermelho Escuro com pH próximo de 5 onde os genótipos são cultivados até a maturação fisiológica simultaneamente em áreas com baixos níveis de P (2 a 5 mg kg⁻¹) e áreas com alto P (15 ou mais mg kg⁻¹). O critério de seleção utilizado tem sido produção de espigas ou de grãos nos níveis alto e baixo de P. Eficiência tem sido definida como a capacidade do genótipo de produzir sob baixo P no solo e responsividade como o aumento de produção no ambiente sob alto P. As conclusões mais importantes baseadas em diversos estudos de eficiência no uso de P em genótipos de milho conduzidos na EMBRAPA são: a) a variabilidade espacial de níveis de P observada em sítios de avaliação pode ser melhor controlada não só com uso adequado dos princípios básicos de experimentação mas também com o auxílio de técnicas como Global Positioning System-GPS e Geographic Information System-GIS (Coelho, 2004); b) uma redução média de produção em torno de 45% tem sido observada entre os níveis altos e baixos de P no solo utilizados nestes estudos. Redução de produção entre níveis de P no solo variando de menos de 10% até 90% tem sido observada em diferentes genótipos; c) um grande número de híbridos simples tem sido avaliados nestes ambientes. A frequência com que determinadas linhagens parentais aparecem em híbridos simples eficientes ou ineficientes tem sido determinada. Estas linhagens são avaliadas per se e em cruzamentos dialélicos sob alto e baixo nível de P no solo; d) estudos dialélicos tem mostrado que os efeitos não aditivos são superiores aos aditivos no controle da eficiência no uso de P em milho (Parentoni et al. 2000); e) híbridos de

milho com diferentes níveis de eficiência e responsividade tem sido identificados; f) parte dos genótipos eficientes no uso de P identificados pelo programa tem sido avaliados em solos com baixo nível de P no Kenya mostrando boa adaptação nestes ambientes; g) foram desenvolvidos híbridos comerciais com alta eficiência no uso de P como o BRS 1010. Estes materiais tem mostrado também uma boa estabilidade de produção em ensaios conduzidos em diversos ambientes; h) estudos mais detalhados da genética da eficiência no uso de P estão em andamento; i) um grupo de 160 linhagens recombinantes F8 foram obtidas a partir do cruzamento de uma linhagem eficiente no uso de P (L3) e uma linhagem ineficiente (L22) e serão utilizadas para o mapeamento de genes de eficiência no uso de P em milho.

Um grande número de genótipos de milho do programa de melhoramento da EMBRAPA, incluindo variedades de polinização aberta, linhagens e híbridos tem sido avaliados em solos ácidos e férteis nos últimos 30 anos. Os solos ácidos utilizados nestas avaliações tem níveis de saturação de Al variando de 45 a 60%. O critério de seleção utilizado tem sido produção em solos ácidos e férteis. Um sintético desenvolvido por este programa foi o CMS-36. Este sintético é altamente adaptado a solos ácidos e tem sido utilizado com sucesso no desenvolvimento de outros compostos adaptados a solos ácidos de diferentes partes do mundo como a variedade SA-5 do CIMMYT e a variedade ATP-yellow de Camarões na África. Entretanto o CMS-36 é pouco responsivo à melhoria do ambiente. Programas de sucesso de seleção de milho para adaptação a solos ácidos tem sido também conduzidos pelo CIMMYT-Cali e os programas nacionais do Kenya e de Camarões.

Linhagens de milho avaliadas per se e em cruzamento para tolerância a toxidez de Al, eficiência no uso de P e adaptação a solos ácidos tem sido intensamente utilizadas dentro do programa de melhoramento de milho da EMBRAPA. Como resultado deste trabalho vários híbridos com estas características foram lançados ao longo do tempo, incluindo híbridos duplos (BR201, BRS2020) híbridos triplos (BRS 3060, BRS 3150) e híbridos simples (BRS 1001, BRS 1010, BRS 1030, BRS 1031 e BRS 1035). Os resultados discutidos acima indicam que a seleção para adaptação a estresses abióticos pode ser um componente importante na identificação de genótipos superiores dentro de um programa de desenvolvimento de cultivares de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, V.M.C.; Vasconcelos, C.A., Pitta, G.V.E., Maganavaca, R. 1988. Maize genotypes for P use efficiency. *Pesq. agrop. Bras.* 23(10): 1083-1090 (in portuguese).
- Bahia Filho, A.F.C.; Magnavaca, R.; Schaffert, R.E.; Alves, V.M.C. 1997. Identification, utilization and economic impact of maize germplasm tolerant to low level of phosphorium and toxic level of exchangeable aluminium in Brazilian Soil. In A.C. Moniz et al. (ed.) *Plant-Soil Interactions at Low pH*, 97-104, 1997. p.59-70.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K., HE,Z.L. 2001 Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v 32(1-8) 921-950.
- Foy,C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growt. *Asv. Soil Sci.* 19>97-131 *Apringer-Verlag*, New York.
- Magnavaca, R., Gardner C.O and Clark R.B. 1987. Evaluation of maize inbred lines for aluminum tolerance in nutrient solution. In *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Eds H W Gabelman and B C Longhman. Pp 255-265. *Martinus Nijhoff Publishers*, Dordrecht/Boston/Lancaster
- Ninamango-Cárdenas, F.E.; Guimarães, C.T.; Martins, P.R.; Parentoni, S.N.; Carneiro, N.P.; Lopes, M.A.; Moro, J.R.; Paiva, E. (2003) Mapping QTLs for aluminum tolerance in maize. *Euphytica*, 130 (2): 223-232.
- Parentoni,S.N., Vasconcelos, C. A, Alves, V.M.C., Pacheco, C.A P., Santos, M.X., Gama,E.E.G 2000. P use efficiency in maize genotypes (in portuguese) IN: *Congresso Nacional de Milho e Sorgo-23.*, 2000 Uberlândia, MG. Sete Lagoas:ABMS, 2000 392 pp. p. 92.
- Parentoni, S.N., Alves, V.M.C., Oliveira, A.C., Magalhães, Coelho, A.M., Schaffert, R.E., Guimarães, C.T., Gama,E.E.G.,2003 – Genetics of aluminum tolerance in maize evaluated in nutrient solution with and without control. 2003. CIMMYT Arnel Hallauer

International Symposium on Plant Breeding. 17-22 August 2003 – Mexico City, México, D.F., p.60-61.

Romer W., Schenk, H. 1998. Influence of genotype on phosphate uptake and utilization efficiencies in spring barley. *European Journal of Agronomy* v.8, p. 214-224.