

AVANÇOS NO PROGRAMA DE ADAPTAÇÃO DE MILHO A SOLOS ÁCIDOS DO CNPMS/EMBRAPA, 1994 A 1996.¹

Sidney N. Parentoni, Elto E.G.Gama, Mauricio A. Lopes, Manoel X. Santos, Paulo E. Oliveira, Alvaro Eleuterio, Antonio F.C.Bahia Filho, Vera M.C.Alves, Gonçalo E.França, Antonio M. Coelho, Luiz A. Correa, Edilson Paiva, Maria José V. Vasconcelos.²

Introdução

A tendência atual da agricultura é caminhar no sentido de atingir uma produção sustentável e que maximize a utilização dos fatores de produção. A obtenção de genótipos mais adaptados às limitações de ordem biótica e abiótica impostas pelo ambiente, mas capazes também de responder à melhoria ambiental, tem sido um objetivo maior dos programas de melhoramento, principalmente em regiões tropicais. No caso brasileiro, a principal fronteira agrícola dos anos 80 e 90 tem sido a chamada região dos cerrados. Ocupando uma área de 205 milhões de ha, esta região responde hoje por 25% da produção brasileira de milho, soja e arroz. Os principais fatores de risco para a produção agrícola nestas regiões são a presença de períodos intermitentes de seca chamados verânicos (2 a 3 semanas sem chuvas, que ocorrem geralmente por volta do florescimento) e limitações de solo tais como: baixa capacidade de retenção de água, alta saturação de alumínio, baixo pH, baixa CTC efetiva, baixa disponibilidade de fósforo e zinco e limitado suprimento de nitrogênio. A obtenção de cultivares de milho mais adaptados a estas condições vem sendo uma das principais metas do programa de melhoramento de milho do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo CNPMS/EMBRAPA nos últimos vinte anos. A metodologia de seleção utilizada até o momento consiste em três tipos básicos de avaliação: a) uso de solução nutritiva contendo 222 $\mu\text{mol/l}$ de alumínio (Magnavaca, 1982); b) avaliação de genótipos em solo ácido (saturação de alumínio variando de 36% a 50% e nível de fósforo em torno de 5 ppm) e c) avaliação de genótipos em solo sem limitação de fertilidade. Esta metodologia tem permitido identificar genótipos que associam média a alta tolerância a alumínio com alta produtividade em solos ácidos e férteis (Magnavaca et al., 1993). Dentro deste programa, trabalhos iniciais compararam a tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva de cinco populações de milho (Lopes et al., 1987) com seu comportamento em solos ácido e fértil (Gama et al., 1986). Verificou-se aí que a variedade CMS 36 mostrou alta tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva, foi a mais produtiva em solo ácido mas apresentou a mais baixa produção em solo fértil. Este tipo de resposta foi considerado típico de genótipos altamente adaptados a stress mas que não respondem a melhoria do ambiente. Posteriormente, estudo utilizando híbridos duplos avaliados em solução nutritiva, e em solos ácidos e férteis (Magnavaca et al., 1988) permitiu identificar três tipos de resposta entre diferentes genótipos: a) o mesmo tipo de resposta da variedade CMS 36 (altamente tolerante, mas não responde a melhoria do ambiente); b) genótipos altamente suscetíveis a toxidez de alumínio em solução nutritiva e adaptados somente a solos férteis (valor de b maior que 1); e c) genótipos com média tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e associando alta produtividade em solos ácidos e férteis. Uma das hipóteses utilizadas para explicar estes resultados é que genótipos que aliem tolerância a toxidez de alumínio com eficiência no uso de nutrientes (principalmente fósforo) seriam capazes de aliar alta produtividade tanto em solos ácidos quanto em solos férteis. Estudos recentes realizados no CNPMS (Magalhães, 1996) demonstraram a influência de déficit de fósforo na absorção de nitrato e amônio em milho, sendo que a absorção de nitrato foi notadamente mais reduzida do que a absorção de amônio.

Metas do programa de adaptação de milho a solos ácidos do CNPMS/EMBRAPA

Até o início da década de 90, um dos principais objetivos do programa de adaptação de milhos a solos ácidos do CNPMS/EMBRAPA foi a geração de cultivares. Uma segunda fase iniciou-se a partir de 1993 onde, além de se continuar a geração de cultivares adaptados a solos ácidos e responsivos à melhoria ambiental, tem-se como objetivos básicos os seguintes pontos:

a) Caracterizar linhagens e híbridos simples quanto à sua tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva,

¹ Trabajo presentado en la IV Reunión de Coordinadores de Programas de Maíz de Suramérica. Julio 24-29, 1996. Cali, Colombia.

² Personal científico, CNPMS-EMBRAPA, Caixa Postal 151, Sete Lagoas, M.G. Brasil.

sua eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio e seu tipo de resposta quando cultivados em solos férteis (sem nenhuma limitação de ordem nutricional) e solos com diferentes níveis de saturação de alumínio (36% e 50%);

- b) Estudar a importância relativa de tolerância a toxidez de alumínio e da eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio sobre a adaptação de milho a solos ácidos;
- c) Estudar os mecanismos ligados à tolerância à toxidez de alumínio e eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio em milho;
- d) Identificar descritores morfológicos e fisiológicos associados aos mecanismos de tolerância;
- e) Estudar a nível molecular alterações nos padrões protéicos e de DNA que possam estar associadas a tolerância a toxidez de alumínio e eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio;
- f) Estudar-se o tipo de controle gênico associado à tolerância a toxidez de alumínio e eficiência na absorção de fósforo e nitrogênio;
- g) Desenvolver técnicas de screening para eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio.

Estes objetivos são amplos, e requerem um grande esforço de caráter multidisciplinar e multiinstitucional (programas de pesquisa conjuntos com outras instituições como o CIMMYT, programas nacionais e com universidades, que complementem esforços, sem haver duplicidade de ações de pesquisa, podem otimizar recursos e acelerar a obtenção de resultados). Outro ponto importante é assegurar-se a continuidade das linhas de pesquisa ao longo do tempo, utilizando-se os resultados disponíveis em cada etapa para se fazer correções periódicas dos rumos do projeto. Parte das principais linhas de pesquisa citadas acima são organizadas de uma maneira vertical (uma etapa só se inicia após completada a anterior) e parte podem ser executadas em paralelo. Alguns resultados obtidos nos últimos três anos no CNPMS/EMBRAPA dentro do programa de adaptação de plantas a solos ácidos são discutidos abaixo.

Resultados do programa de adaptação de milho do CNPMS/EMBRAPA, 1994-1996.

I - Caracterização de linhagens e híbridos quanto à sua tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva, sua eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio e seu tipo de resposta quando cultivados em solos férteis (sem nenhuma limitação de ordem nutricional) e solos com diferentes níveis de saturação de alumínio (36% e 50%);

a) Avaliação de híbridos em solo com 36% de saturação de alumínio, solo sem problema de toxidez de alumínio e solução nutritiva com 6 ppm de alumínio, no ano agrícola 93/94.

O objetivo destes ensaios foi avaliar o comportamento de diferentes genótipos obtidos de uma amostra do germoplasma elite de linhagens tanto do programa de solos ácidos quanto do programa de solos férteis do CNPMS/EMBRAPA sob diferentes níveis de estresse de alumínio no solo e quanto à sua tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva.

No verão 93/94 foram avaliados em dois ambientes 94 híbridos simples do programa de melhoramento do CNPMS, três híbridos duplos do CNPMS e 3 híbridos testemunha. Os ambientes foram: um Le sob cerrado com 36% de saturação de alumínio e um Le sem problema de toxidez de alumínio (saturação de alumínio igual a 0). Dos 97 híbridos, 66 foram obtidos de linhagens do programa de solos ácidos do CNPMS e 31 foram obtidos a partir de linhagens avaliadas somente em solo fértil. Dentre os 12 híbridos mais produtivos quando cultivados em solo com 36% de saturação de alumínio, 9 vieram do programa de solos ácidos, dois vieram do programa de solos férteis e um foi um híbrido comercial. Já entre os 11 híbridos menos produtivos no solo com 36% de saturação de alumínio, esta relação foi de 8 para 3 (Tabela 1). A redução média de produção entre os 2 ambientes para os 12 híbridos mais produtivos em solo ácido foi de 15% e para os 11 híbridos menos produtivos em solo ácido este valor foi de 35%. Esta queda se deveu muito mais à redução de produtividade em solo ácido do que a redução de produção em solo fértil entre os 2 grupos. A média de produção dos 100 híbridos nos dois ambientes foi de 4784 e 6022 kg de espigas/ha, respectivamente, mostrando uma redução média de 21% entre ambientes. Como esperado, a maior parte dos híbridos mais produtivos no solo com 36% de saturação de alumínio foram provenientes do programa de solos ácidos. Entretanto, foi possível identificar-se alguns materiais do programa de solos férteis (como o HD82) que mostraram muito boa adaptação às condições de solos ácidos.

b) Avaliação de um dialelo entre 8 linhagens em um Le com 36% de saturação de alumínio, um Le sem problema de toxidez de alumínio e solução nutritiva com 6 ppm de alumínio.

Na mesma área descrita no item "a", no verão 93/94 foram também avaliados os 28 híbridos simples obtidos do dialelo entre 8 linhagens do programa de melhoramento do CNPMS. A média e o CV peso de espigas dos 28 híbridos simples em solo ácido foi de 4751 kg/ha e CV 17.6% e para o solo fértil estes valores foram de 5990 kg/ha e CV = 16.4%. A análise de variância do dialelo em cada um dos ambientes mostrou significância para cruzamentos, capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). Os valores de CGC foram de 3 a 4 vezes superiores aos de CEC respectivamente para o ensaio em solo ácido e solos férteis, indicando que efeitos aditivos foram mais importantes para produção de espigas nos dois ambientes. Na Tabela 2 encontram-se os dados de CGC para produção de espigas nos dois ambientes. Verificou-se que o comportamento em cruzamento das diversas linhagens foi diferente quando avaliadas nos dois ambientes. A linhagem 1 (L11) apresentou baixa CGC em solo ácido e o mais alto valor de CGC em solo fértil, indicando que a mesma produziria híbridos melhores para as condições de solos férteis. O oposto se verificou com as linhagens 2 (L13) e 6 (L726), que seriam mais apropriadas para produção de híbridos a serem cultivados em solos ácidos. Linhagens como as de número 3(L36) e 5 (L723), mostraram alta CGC nos dois ambientes, sendo este o tipo de resposta ideal para um programa de melhoramento que vise obter híbridos produtivos nos dois ambientes.

Os 28 híbridos simples e as 8 linhagens parentais avaliados a nível de campo em solo ácido e fértil foram também avaliados em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio no inverno de 1995. O parâmetro avaliado foi o crescimento relativo de raiz seminal (CRRS), medido como: $((\text{crescimento final}/\text{crescimento inicial}) - 1) \times 100$. O efeito de tratamento foi altamente significativo ($p < 0.01$). Os valores de CRRS para cada um dos 28 cruzamentos e para os 8 parentais encontram-se na Tabela 3. Verifica-se aí que o CRRS para os 28 híbridos variou de 16.1 (36 x 723) a 66.10 (13 x 1143). Para as linhagens avaliadas per se, verifica-se que as mais tolerantes a toxidez de alumínio foram 1143, 64, 1167, e 13. As linhagens 723 e 726 foram intermediárias e as linhagens 11 e 36 foram muito suscetíveis à toxidez de alumínio. O padrão de tolerância a alumínio (variedade CMS 36) mostrou alta tolerância, e o BR 201, mostrou tolerância intermediária a toxidez de alumínio (resposta típica de genótipos que associam certo nível de tolerância a alumínio com alta responsividade de produção quando se melhora o ambiente).

A análise dialélica do parâmetro CRRS em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio (Tabela 4) mostrou efeito significativo para cruzamentos, capacidade geral (CGC) e capacidade específica (SCA) de combinação. O quadrado médio para CGC foi mais de dez vezes superior ao de capacidade específica de combinação, indicando a importância dos efeitos aditivos no controle da tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva. Os efeitos de capacidade geral de combinação para cada uma das linhagens pode ser visto na Tabela 5. Verifica-se aí que as linhagens 13 e 1143 aumentam o CRRS em 13.2 e 17.4% respectivamente nos cruzamentos nos quais participam. As linhagens 1167 e 64 tem um pequeno efeito positivo sobre o CRRS dos cruzamentos em que participam (3.92 e 2.78%), a linhagem 726 tem um pequeno efeito negativo sobre o CRRS (-4.44%), e as linhagens 11, 36 e 723 tiveram grande efeito negativo sobre o CRRS (-8.85, -10.64 e -13.54%, respectivamente). O coeficiente de correlação entre CRRS das 8 linhagens per se e seu efeito de capacidade geral de combinação foi de 0.79 ($p = 0.016$), indicando que a avaliação per se das linhagens em solução nutritiva pode ser um bom indicador de seu comportamento em cruzamentos. Esta afirmação será retestada em novos dialelos, e caso comprovada, permite estimar-se a capacidade da linhagem em transmitir tolerância a toxidez de alumínio a seus cruzamentos, avaliando-se o CRRS da linhagem per se. A possível importância relativa entre tolerância a toxidez de alumínio e eficiência na utilização de fósforo em solos com nível médio de saturação de alumínio (36%) é discutida no item "c" abaixo.

c) Avaliação de híbridos simples de milho sob dois níveis de fósforo em 93/94.

No verão 93/94 100 híbridos de milho foram avaliados em um Latossolo Vermelho escuro (Le) sob dois níveis de fósforo (5 ppm = 50% do nível crítico e 10 ppm de P). Verificou-se uma redução média de peso de espigas (kg/ha) de 17% do nível 5 ppm para o nível de 10 ppm de P. Foram significativos os efeitos de níveis de P, híbridos e níveis x híbridos (Tabela 6). Na Tabela 7 encontram-se os dados de altura de planta (AP), porcentagem de acamamento e quebramento (AQ), índice de espigas (IE), % de espigas doentes (%), umidade de grãos e peso de espigas (kg/ha). Verifica-se que sob nível mais baixo de P, ocorreu um atraso no ciclo (verificado tanto para dias até o florescimento masculino-FM e dias até o florescimento feminino-FF quanto para umidade de grãos -U), uma redução no acamamento e quebramento e um aumento na proporção de espigas doentes. A redução média da produção (kg espigas despalhadas/ha) do nível mais alto para o mais baixo de P foi de 1016 kg/ha. Na Fig. 1 encontra-se a distribuição dos 100 híbridos de acordo com sua

produção de espigas nos dois níveis de P. Pode-se determinar aí quatro quadrantes com base na média de cada nível de P: a) híbridos não eficientes e não responsivos; b) híbridos não eficientes e responsivos; c) híbridos eficientes e não responsivos e d) híbridos eficientes e responsivos. Este último quadrante contém os genótipos de maior interesse para um programa de melhoramento. Na Tabela 8, pode-se ver que o híbrido simples HS30 e o híbrido duplo BR201 apresentaram pequena diferença de produção entre níveis de P (eficientes). Observa-se também a grande queda de produção ocorrida entre níveis de P para os HS48, HS8 e HS24 mostrando a suscetibilidade destes híbridos a baixos níveis de P.

Algumas das linhagens utilizadas como parentais no dialelo entre 8 linhagens avaliadas em solo com dois níveis de saturação de alumínio (0% e 36%) e em solução nutritiva (ver item b), participaram em vários dos híbridos simples avaliados sob 2 níveis de fósforo. As linhagens 36, 723, 1143 e 1167 participaram como um dos parentais em respectivamente 11, 8, 5 e 7 híbridos simples, entre os 100 híbridos avaliados sob dois níveis de fósforo. Dos 11 cruzamentos em que a L36 participou, 8 foram classificados como eficientes e responsivos a P. Para a linhagem 723, 7 dos 8 cruzamentos foram classificados como eficientes e responsivos a P. Já para a linhagens 1143, todos os 5 cruzamentos em que ela participou foram classificados como ineficientes e não responsivos a fósforo. Baseados nestes resultados, as linhagens 36 e 723 tenderiam a produzir híbridos mais eficientes na utilização de fósforo e as linhagens 1143 e 1167 teriam o efeito oposto. Uma conclusão possível com base nos dados dos experimentos discutidos nos itens b e c seria que em solos com níveis médios de saturação de alumínio (em torno de 30%) e onde não ocorra déficit hídrico (os experimentos foram irrigados), eficiência na utilização de fósforo pode vir a ser vantagem adaptativa mais importante que tolerância a toxidez de alumínio.

Os dados do ensaio de avaliação de 100 híbridos simples sob 2 níveis de fósforo, conduzidos em 93/94 foram utilizados para selecionar-se um grupo de linhagens candidatas à eficiência ou ineficiência na utilização de fósforo. Linhagens que participaram como um dos parentais em pelo menos 7 cruzamentos e que tiveram 30% ou mais dos seus cruzamentos entre os 20 híbridos simples mais eficientes ou entre os 20 híbridos simples menos eficientes, foram selecionadas (Tabela 9). As linhagens 36, 723 e 64 foram identificadas como candidatas a eficiente na utilização de fósforo; as linhagens 40 e 724 foram selecionadas como candidatas a ineficiência na utilização de fósforo e a linhagem 20 não pode ser classificada em nenhum dos dois grupos. Com base nos resultados do dialelo entre 8 linhagens avaliadas sob 2 níveis de saturação de alumínio em 93/94 (vide item b), selecionou-se a linhagem 11 pelo seu padrão de resposta de produzir híbridos mais adaptados a ambientes de maior fertilidade e a linhagem 13 que no mesmo ensaio mostrou efeito oposto. Para completar um grupo de 10 linhagens foram escolhidas as linhagens L16 e L22 por virem sendo utilizadas em vários híbridos elite do programa de melhoramento do CNPMS. A população de origem das 10 linhagens selecionadas encontra-se na Tabela 10. Em 1995 foram obtidos os 45 cruzamentos entre estas 10 linhagens e no verão 95/96 este dialelo foi avaliado em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico sob 2 níveis de fósforo no solo: 5 ppm (50% do nível crítico) e 10 ppm de P. Os resultados são discutidos abaixo.

d) Avaliação de 45 híbridos simples de milho obtidos do dialelo entre 10 linhagens, sob dois níveis de fósforo no solo: 5 ppm e 10 ppm, no verão 95/96.

Os 45 híbridos simples obtidos do dialelo entre 10 linhagens (Tabela 10) foram avaliados em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico sob 2 níveis de fósforo no solo: 5 ppm (50% do nível crítico) e 10 ppm de P. A análise de variância para o parâmetro peso de espigas (kg/ha) corrigido para 14% de umidade (Tabela 11) mostrou efeitos significativos para níveis de fósforo, híbridos, capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC). Nenhuma das interações foi significativa. As médias dos 45 cruzamentos em cada um dos dois níveis de fósforo para peso de espigas (kg/ha), florescimento masculino e altura de planta encontram-se na Tabela 12. Da mesma maneira como identificado no ensaio de 93/94, o florescimento masculino atrasou 2,6 dias no nível mais baixo de fósforo e a altura de planta diminuiu 13,5 cm. As médias de peso de espigas (kg/ha) dos 45 híbridos simples no nível de 5 ppm e 10 ppm de P foi de 7825 e 9412. Verificou-se uma redução de 17% do nível mais baixo para o nível mais alto de fósforo. Este valor está próximo da faixa em que se decidiu trabalhar que seria reduções de produtividade próximas de 20% entre níveis. Os valores de capacidade geral de combinação para as 10 linhagens em cada um dos níveis de fósforo podem ser vistos na Tabela 13. Uma visualização gráfica destes valores encontra-se na Fig. 2. Verifica-se aí que da mesma forma que encontrado no dialelo entre 8 linhagens avaliadas em 93/94, a linhagem L11, mostrou produzir híbridos mais adaptados a ambientes sem limitação nutricional (neste caso de fósforo) enquanto a linhagem L13 que no dialelo em 93/94 avaliada em solo ácido e fértil e em solução nutritiva (vide

item b) havia mostrado média a alta tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e CGC positiva em solo ácido mas negativa em solo fértil, mostrou CGC negativa nos 2 níveis de fósforo. Ainda relacionando os dados do dialelo de 95/96 sob 2 níveis de fósforo com aqueles do dialelo de 93/94 sob 2 níveis de saturação de alumínio no solo, a linhagem L36 que em 93/94 produziu híbridos superiores tanto em solo ácido quanto em solo fértil, apesar de ser muito suscetível a toxidez de alumínio em solução nutritiva, mostrou alta CGC nos 2 níveis de P. Já a linhagem L723 que no dialelo 93/94 mostrou o mesmo comportamento que a linhagem L36, no dialelo 95/96 sob 2 níveis de P, mostrou boa CGC no nível de 10 ppm de P e uma CGC próxima de 0 no nível 5 ppm de P. As linhagens L36, L22, L20 e L64 foram as de maior CGC no ambiente com estresse de fósforo, sendo que as linhagens 64, 22 e 36 também tiveram alta CGC na ausência do estresse de fósforo, enquanto a linhagem 20 teve CGC negativa no nível mais alto de fósforo. As linhagens 16, 40 e 724 tiveram baixa CGC nos 2 níveis de fósforo. A associação entre os dados da Tabela 9 e Fig. 2, permite que classifiquemos as linhagens L36, L22, L64 e L20 como eficientes na utilização de fósforo. Já as linhagens 16, 12, 11 e 40 seriam classificadas como ineficientes na utilização de fósforo. A linhagem 723 parece ser intermediária entre os 2 grupos.

e) Avaliação de 45 híbridos simples de milho obtidos do dialelo entre 10 linhagens, sob dois níveis nitrogênio aplicado em um Latossolo Vermelho escuro: 20 kg N/ha e 120 kg N/ha.

O mesmo dialelo entre 10 linhagens descrito no item d, foi também avaliado no verão 94/95 em um Le corrigido sob dois níveis de N aplicado ao solo: 30 kg N/ha e 130 kg N/ha. As médias dos 45 híbridos simples em cada um dos níveis de N, a produção relativa (produção no nível baixo de N dividido pelo alto nível de N) a média geral dos ensaios, os coeficientes de variação e a menor diferença significativa entre dois tratamentos (LSD 5%) encontram-se na Tabela 14. A redução média de produtividade de espigas (kg/ha) entre os dois níveis de N aplicados ao solo foi de 19%. Os seis cruzamentos com maior e menor redução de produtividade entre níveis são mostrados na Tabela 15. Verifica-se que a linhagem 724 participou em 4 dos seis cruzamentos com maior relação para peso de espigas entre níveis de nitrogênio. Já entre os cruzamentos com menor relação entre níveis de N, podemos observar que as linhagens 11 e 64 participam em 3 dos 6 cruzamentos, e que a maior redução de produtividade entre níveis foi obtida com o cruzamento entre as duas. A análise conjunta para peso de espigas nos dois níveis de N mostrou significância entre níveis ($p=0.0019$), híbridos ($p<0.000$) e a interação híbridos x níveis foi não significativa ($p=0.0697$).

A dispersão dos 45 híbridos em relação às médias nos dois níveis de nitrogênio pode ser vista na Fig. 3.

A análise de variância para o dialelo avaliado nos dois ambientes pode ser vista na Tabela 16. Verifica-se aí que os efeitos de níveis de N, genótipos, CGC, CEC, interação Genótipos x ambiente, e CGC x ambiente foram altamente significativos ($p<0.01$), e a interação CEC x ambiente foi não significativa. Os efeitos de CGC para peso de espigas foram superiores aos de CEC nos dois níveis de N. Na análise conjunta, o quadrado médio para CGC foi 2.8 vezes superior ao de CEC, indicando a importância dos efeitos aditivos no controle desta característica. Os valores de capacidade geral de combinação (CGA) para cada uma das 10 linhagens nos dois níveis de N podem ser vistos na Fig. 4. Verifica-se aí que a capacidade combinatória das linhagens variou com o ambiente. Três tipos principais de resposta podem ser destacados: a) as linhagens 11 e 64 foram aquelas que mais aumentaram sua CGC do nível 30 para 130 kg N/ha, indicando que híbridos produzidos com estas linhagens tenderão a ser mais exigentes em fertilização com nitrogênio para alcançarem seu máximo potencial de produção; b) a linhagem 724 mostrou CGC muito maior sob baixo nível de nitrogênio que sob alto N, indicando que híbridos produzidos com esta linhagem, quando plantados em ambientes com menor disponibilidade de nitrogênio tendem a atingir produções maiores que os híbridos produzidos com as outras linhagens testadas; c) a linhagem 36 mostrou o tipo ideal de resposta ou seja, mostrou alta CGC nos dois níveis de N.

Os dados de CGC em cada um dos níveis de N concordam com aqueles mostrados na Tabela 15, que também indicam as linhagens 11 e 64 como as que produzem híbridos mais exigentes em nitrogênio e a linhagem 724 como a mais adaptada a ambiente com baixo nível de nitrogênio.

O mesmo dialelo entre 10 linhagens avaliado nos itens "d" e "e", vai ser avaliado em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio e em solo com diferentes níveis de acidez. Com os dados que dispomos até o momento podem-se fazer as seguintes considerações:

f) Síntese de pontos comuns aos experimentos descritos nos itens "a", "b", "c" e "d".

Algumas linhagens que mostraram padrão típico de resposta quando seus híbridos foram avaliados em

diferentes condições de estresse são descritas abaixo. Informação mais detalhada será obtida em 96/97 quando o dialelo entre estas 10 linhagens será avaliado em solo com diferentes níveis de saturação de alumínio (0, 36 e 50%) e também em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio.

Fig.1). Híbridos produzidos com a linhagem L11 mostram resposta típica de genótipos adaptados a ambientes sem nenhum tipo de estresse e altamente exigentes no suprimento de nutrientes (fósforo e nitrogênio). Isto pode ser confirmado pela sua baixa tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva (tanto CGC quanto per se), sua alta CGC em solo fértil e baixa CGC em solo ácido (vide ítem b). Esta linhagem mostrou ainda valores negativos de CGC tanto sob estresse de fósforo quanto sob estresse de nitrogênio, enquanto nos ambientes sem estresse ela consistentemente mostra valores positivos de CGC (vide ítems "d" e "e").

Fig.2). A linhagem L13, mostrou boa tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e boa CGC em solo ácido, apesar de seus cruzamentos não responderem à melhoria do ambiente (CGC negativa em solo ácido - vide ítem a). Esta linhagem mostrou baixa CGC tanto sob estresse de fósforo quanto de nitrogênio (ítems "d" e "e"). Este tipo de resposta é típico de genótipos que não respondem à melhoria ambiental, como o caso clássico da variedade de milho CMS 36 (não confundir com linhagem L36), descrito no início deste trabalho.

Fig.3). A linhagem L36 entre as estudadas é a que reúne o maior número de características favoráveis, produzindo híbridos adaptados tanto a solos ácidos quanto férteis (ítem b), e eficientes e responsivos tanto a estresse de fósforo quanto a estresse de nitrogênio (ítems "d" e "e"). Entretanto esta linhagem mostrou alta suscetibilidade a toxidez de alumínio em solução nutritiva. A avaliação do dialelo 10 x 10 em solos com diferentes graus de saturação de alumínio a ser realizada em 96/97 vai responder à questão se esta linhagem também mostraria alta CGC sob níveis mais elevados de saturação de alumínio no solo (50% ou mais de saturação de alumínio).

Fig.4). A linhagem L64, mostrou boa tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva (vide ítem b), boa eficiência a fósforo (vide ítem d) e foi neutra quanto à sua eficiência no uso de nitrogênio (CGC sob estresse de nitrogênio foi próxima de zero). O que mais chamou a atenção nesta linhagem foi a sua tremenda capacidade de responder à melhoria ambiental observada tanto no ensaio com 2 níveis de fósforo (ítem d) quanto no ensaio sob 2 níveis de nitrogênio (ítem e). A avaliação deste dialelo entre 10 linhagens sob diferentes níveis de saturação de alumínio no solo a ser realizado em 96/97 deve permitir uma melhor avaliação de seu comportamento em diferentes níveis de acidez, já que os resultados do dialelo de 93/94 sob 36% de saturação de alumínio (ítem b), não mostraram tendência clara quanto ao comportamento desta linhagem em diferentes níveis de acidez do solo.

g) Avaliação de 100 híbridos simples de milho em 5 ambientes em 95/96.

Um dos objetivos finais de todos estes estudos é tentar se obter híbridos mais estáveis às variações causadas por estresse nutricional. Com base nos resultados obtidos nas avaliações feitas em 93/94 e 94/95, descritas nos ítems a e b, foram selecionados híbridos simples que mostraram comportamento extremo (tolerância e suscetibilidade a diferentes níveis de saturação de alumínio no solo e diferentes tipos de resposta a fósforo) para serem avaliados no verão 95/96 em 5 ambientes. Neste grupo de híbridos simples foram incluídos também novos híbridos simples considerados elite dentro do programa de melhoramento do CNPMS por terem mostrado bom desempenho por 2 anos consecutivos em 4 locais do país. Os 5 ambientes utilizados na avaliação foram: um solo aluvial sem problema de nutrientes ou toxidez de alumínio, um Latossolo Vermelho Escuro sob 2 níveis de alumínio (36 e 50%) e um Latossolo Vermelho escuro corrigido (0% de alumínio), sob 2 níveis de fósforo (5 e 10 ppm no solo). Os resultados são descritos abaixo.

As médias, c.v., menor diferença significativa (LSD) para florescimento masculino, altura de planta e peso de espigas (kg/ha) nos 5 ambientes encontra-se na Tabela 17. Houve diferença significativa entre locais para todos os parâmetros estudados. O ensaio conduzido no solo aluvial foi plantado mais tarde e por isto sua média de produção não foi superior àquela obtida no Le sob 2 níveis de fósforo. Houve diferença significativa para peso de espigas entre níveis de fósforo, apesar da redução média em produção entre níveis ter sido de 9%. A diferença média entre dias até o florescimento entre níveis de P foi de cerca de 2 dias e para altura de planta este valor foi de 15.4 cm. Se tomarmos o ambiente de maior média para peso de espigas (Le com 10 ppm de fósforo) como referencial, veremos que a redução média de produtividade em solo com 36% de

alumínio foi de 33,2% e em solo com 50% de saturação de alumínio esta redução foi de 63.1%. Os dados por ambiente para peso de espigas dos 11 híbridos simples mais produtivos na média dos 5 ambientes e o coeficiente de estabilidade (b, Eberhart and Hussel, 1966) encontram-se na Tabela 18. O híbrido simples HS36(20x28.41) mostrou o tipo ideal de resposta (média alta) e valor de b próximo de 1. Este híbrido foi o mais produtivo no ambiente com 50% de saturação de alumínio. O HS36 está sendo utilizado como novo híbrido testador para o programa de desenvolvimento de híbridos adaptados a solos ácidos do CNPMS. Outro dado importante é a interação entre genótipos quando avaliados sob diferentes níveis de alumínio no solo (36% e 50%). Observa-se que o HS36 foi o mais produtivo no solo com 50% de saturação de alumínio e ocupou a vigésima oitava posição entre os 100 híbridos no solo com 36% de alumínio. Verifica-se entretanto que sua produção neste nível de saturação de alumínio não diferiu estatisticamente do híbrido mais produtivo neste ambiente (HS56). Ou seja, híbridos que foram pouco produtivos em solo com 50% de saturação de alumínio, conseguiram boa performance no nível de 36% de saturação. Um exemplo típico deste tipo de resposta são os HS56(36x724), HS31(19x36) e HS44(22x36). Estes híbridos foram respectivamente o 1°, 9° e o 6° híbrido mais produtivo no solo com 36% de alumínio, enquanto este ranking no solo com 50% de saturação de alumínio foi de 27°, 71° e 23°. Uma observação importante é que a linhagem L36 foi um dos pais destes tres híbridos simples. Como discutido no item "f" acima, esta linhagem transmite a seus híbridos alta eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio, mas é altamente suscetível à toxidez de alumínio. Este fato reforça a hipótese de que, em níveis intermediários de saturação de alumínio, a eficiência na utilização de nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio) é mais importante que tolerância à toxidez de alumínio. Já em altos níveis de saturação de alumínio no solo, tolerância a toxidez de alumínio seria vantagem adaptativa mais importante.

h) Obtenção de linhas semi-isogênicas para tolerância a toxidez de alumínio.

Dois metodologias distintas tem sido utilizadas.

h.1) Backcross com seleção para tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva.

As linhagens utilizadas como parentais foram SLP 181/71 (susceptível a toxidez de alumínio) e Cateto Colômbia 96/71 (tolerante a toxidez de alumínio). Foi obtido o F1 entre estas duas linhagens e este F1 foi retrocruzado para o pai susceptível (SLP 181/71). Em junho de 93 foram avaliadas em solução nutritiva com 6 Pm de alumínio 560 seedlings provenientes deste retrocruzamento 1. O parâmetro avaliado foi o crescimento relativo de raiz seminal (CRRS) após 6 dias na solução. Os valores de CRRS (medido como crescimento final subtraído do crescimento inicial e dividido pelo crescimento inicial da raiz seminal) variaram de 0 a 1.28. Os 12 BC1 mais tolerantes (CRRS variando de 0.9 a 1.28) foram transplantados para o campo e retrocruzados com o pai susceptível, obtendo-se 12 espigas BC2.

Setenta seedlings de cada um dos 12 BC2 foram novamente avaliados em solução nutritiva com 6 Pm de alumínio em novembro de 93. De cada um dos 12 BC2 foram transplantados para solo os 10 seedlings mais tolerantes (total de 120 seedlings). Foi obtido então o backcross 3 entre os 120 BC2 selecionados e o pai recorrente (SLP181/71). Dos 120 BC3 obtidos foram selecionados 47 (referentes aos BC2 mais tolerantes em solução nutritiva). Quatorze seedlings de cada um dos 47 BC3 foram avaliados em solução nutritiva em julho de 1994. Os 4 seedlings mais tolerantes a toxidez de alumínio em solução nutritiva provenientes de cada um dos 47 BC3 avaliados, foram transplantados para o campo onde foram autofecundados. Estes BC3 autofecundados foram colhidos em 1995. A última avaliação dos BC3 autofecundados permitirá obter-se um conjunto de linhas semi-isogênicas. Este material será de grande importância para estudos moleculares visando a identificação de marcadores associados a tolerância ao alumínio. Outra utilidade destas LSI será verificar a nível de campo (solo com alta saturação de alumínio), o comportamento destas em relação aos progenitores utilizados. Uma vez identificadas LSI para tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e solo, serão feitos estudos básicos de determinação de características morfo-fisiológicas associadas a toxidez de alumínio.

h.2) Obtenção de linhas recombinantes a partir do F2 de um híbrido simples.

Plantas F2 obtidas do cruzamento entre a linhagem L19 (susceptível à toxidez de alumínio) e a linhagem Cateto Água Limpa 237/67 foram autofecundadas e está se utilizando o método tradicional de obtenção de linhas recombinantes. Estas linhas encontram-se em F4 no momento, já sendo possível claramente distinguir os grupos tolerante e susceptível à toxidez de alumínio.

i) Seleção intrapopulacional na variedade sintético elite sob em solo com baixa disponibilidade de nitrogênio. Em 1994/95 144 famílias de meios irmãos (FMI) obtidos da população Sintético Elite com sincronização de florescimento masculino e feminino foram avaliadas em Sete Lagoas em solo com baixa e alta capacidade de suprimento de nitrogênio. No solo pobre em N a amplitude de variação das famílias para peso de espigas

foi de 1764 a 5447 kg/ha enquanto que no solo com boa disponibilidade de nitrogênio estes valores foram de 2380 a 9000 kg/ha. Os valores médios obtidos, dentro de cada ambiente, para as 20% famílias selecionadas podem ser vistos na Tabela 19. A repetibilidade entre ambientes para as famílias selecionadas foi de 46%. Em agosto de 1995 foi realizada a recombinação das 28 famílias selecionadas em área com baixa disponibilidade de nitrogênio. A Tabela 20 evidencia as estimativas dos parâmetros genéticos para os dois ambientes, constatando-se que no ambiente com estresse de N os valores foram mais baixos. A estimativa do progresso esperado no ambiente com estresse de N foi de 12,78 g/planta e corresponde a 66% em relação ao ambiente com mais alto nível de nitrogênio.

II - Estudo dos mecanismos ligados à tolerância à toxidez de alumínio e eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio em milho.

Alves (1994) observou que o híbrido BR 201 quando submetido à omissão de fósforo apresentou menor redução na taxa de crescimento radicular, o que pode ser explicado pela maior estabilidade dos teores de fósforo total solúvel em ácido e fósforo orgânico solúvel em ácido e maiores teores de açúcares solúveis nas raízes. Além disso, esse híbrido manteve maior proporção do fósforo absorvido e, conseqüentemente, de matéria seca acumulada no sistema radicular, após o ressuprimento de fósforo. Essas características permitem a exploração de maior volume de solo, o que é importante em ambientes com baixa disponibilidade de fósforo e, provavelmente, conferem maior adaptação no caso de suprimento descontínuo deste elemento. Ainda que com níveis supostamente adequados de fósforo, estresses ocasionais em virtude da queda do teor de umidade do solo a valores limitantes para difusão são especialmente críticos em solos de cerrado. Estudos de transporte desse nutriente (Novais et al., 1990) têm mostrado que, com a queda do teor de umidade do solo a valores ainda distantes do ponto de murcha permanente, tem-se uma paralisação da difusão estando as plantas, portanto, ainda túrgidas. Esse quadro caracteriza uma situação de suprimento descontínuo de fósforo em solos de cerrado, controlada, principalmente, por flutuações dos teores de umidade desses solos.

Alves (1994) observa que os maiores teores de açúcares solúveis no sistema radicular poderiam ser úteis como mecanismo de osmo-regulação, já que, provavelmente, o estresse de fósforo antecede ao hídrico nessas áreas.

Estudos de cinética de absorção de nitrato e de amônio utilizando o progenitor masculino do híbrido BR 201 (Magalhaes, 1996) mostraram que a omissão prévia de fósforo diminuiu a absorção tanto de nitrato quanto de amônio,

sendo, porém, a absorção de nitrato notadamente mais afetada (Fig. 1)

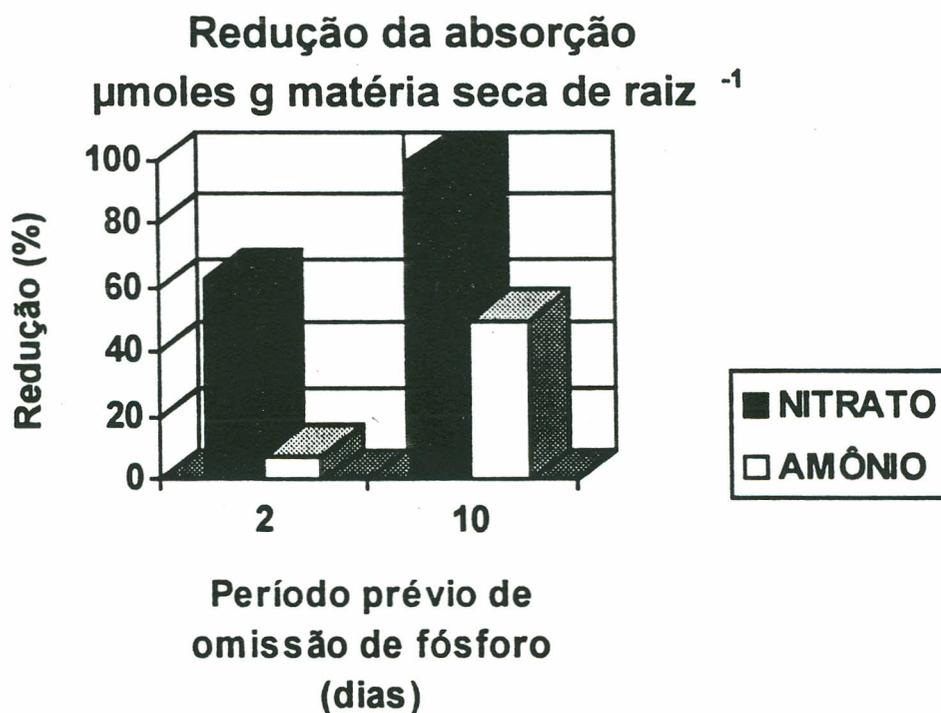


Figura 1. - Redução da absorção de nitrato e amônio na última amostragem (540 minutos) por dois e dez dias de período prévio de omissão de fósforo.

Os resultados sugerem que, durante períodos de estresse de fósforo, essas plantas estejam na dependência

do nitrogênio amoniacal do solo, o qual demanda menor dispêndio de energia para sua absorção e metabolismo. Esse aspecto nutricional é coerente com a observação de predominância de amônio com relação a nitrato em solos de cerrado verificado por Coelho, 1995 (Fig. 6), o que indica que plantas adaptadas podem ter desenvolvido melhor capacidade de utilização desse suprimento. Tanto a produção de exsudato do xilema quanto a translocação de nitrogênio foram diminuídas em condição de omissão de fósforo (Magalhães, 1996). Quando o fósforo foi ressuprido às plantas sob sua omissão prévia, houve rápida recuperação da absorção e translocação de nitrogênio, e produção de exsudato do xilema, sendo a magnitude da recuperação dependente do período prévio de omissão. Esses resultados sugerem a importância da cinética de absorção de fósforo com $V_{máx}$ incrementado, que se segue ao estresse desse nutriente. A absorção rápida de fósforo mediante a sua disponibilização pode ser um fator adaptativo de importância em condições de solos ácidos.

III. -Alterações nos padrões protéicos e de ADN que possam estar associadas à tolerância à toxidez de alumínio e eficiência na utilização de fósforo e nitrogênio em milho.

Em anos recentes, evidências têm sido acumuladas indicando que plantas respondem ao estresse de alumínio produzindo alterações no perfil de proteínas radiculares. O estudo de tais proteínas poderá abrir novas possibilidades para elucidação de mecanismos de tolerância. Para estudar o mecanismo de resposta ao alumínio, cultivares de milho previamente selecionadas como tolerantes e suscetíveis foram submetidas a estresse em solução nutritiva contendo altas concentrações deste elemento.

A Fig. 5 apresenta proteínas microssomais obtidas de raízes de um genótipo tolerante (CMS 36) e outro suscetível (L 19). Após extração, as proteínas foram separadas em um gel desnaturante de poliacrilamida (SDS-PAGE) e coradas para visualização e fotografia. Nota-se que o genótipo tolerante ao alumínio, CMS 36, apresenta uma diferença fundamental no perfil polipeptídico quando se compara plantas submetidas a soluções nutritivas com e sem alumínio. Plantas tolerantes submetidas ao estresse apresentam quantidades elevadas de um polipeptídeo de 51 kD, ao passo que plantas do mesmo genótipo tolerante não submetidas ao estresse acumulam baixa quantidade do mesmo polipeptídeo. Por outro lado, a linhagem suscetível ao alumínio (L 19) acumula baixas quantidades do polipeptídeo de 51 kD tanto na presença quanto na ausência de estresse. O acúmulo excessivo desta proteína no genótipo tolerante submetido ao estresse de alumínio pode indicar seu envolvimento no processo de tolerância. No entanto, é necessário desenvolver análises genéticas em populações segregantes para o estabelecimento de ligação definitiva entre acúmulo excessivo desta proteína e tolerância ao alumínio tóxico.

Está sendo também desenvolvido no CNPMS um estudo visando à identificação de regiões cromossômicas ligadas à tolerância à toxidez de Al em genótipos de milho.

O material genético consistiu de uma população F_2 proveniente do cruzamento entre as linhagens L53 e L1327, suscetível e tolerante ao Al, respectivamente.

As plântulas desta população F_2 , foram mantidas por sete dias em solução nutritiva com nível tóxico de Al (6 ppm), sendo realizadas medições do comprimento da raiz seminal no início (CI) e no final (CF) deste período. Como medida fenotípica da tolerância ao alumínio, utilizou-se o Comprimento Relativo de Raiz Seminal (CRRS), calculado pela fórmula a seguir: $CRRS = (CF - CI)/CI$.

As plântulas que apresentaram valores extremos para CRRS foram transplantadas para o campo para produzir famílias F_3 . As famílias F_3 foram novamente avaliadas em solução nutritiva, para selecionar as não segregantes. A partir desta avaliação foram feitos bulks de DNA de indivíduos teoricamente homocigotos para a tolerância e suscetibilidade ao Al.

Nestes "bulks" empregou-se a "Bulked Segregant Analysis" com o objetivo de identificar sondas capazes de diferenciar o bulks tolerante do suscetível. Nesta análise foram testadas 113 sondas de RFLP selecionadas de maneira que cobrissem todo o genoma do milho com intervalos aproximados de 30 CM. O DNA das linhagens parentais (L53 e L1327), do F_1 e dos "bulks" foi digerido com as enzimas de restrição ECO RI, BAM HI e HIND III.

A "Bulked Segregant Analysis" identificou três sondas, no cromossoma 8, que diferenciavam, pela intensidade e posição das bandas, os "bulks" tolerantes dos suscetíveis. Duas destas sondas (UMC 103 e CSU 155) foram hibridadas com 70 indivíduos da população F_2 .

Observou-se que a sonda UMC 103 apresentou padrão de banda tipo codominante, enquanto a sonda CSU 155 mostrou padrão tipo dominante.

A partir destas análises de RFLP foram realizadas análises de regressão com o objetivo de verificar, quanto

da variação fenotípica observada na população F_2 seria explicada pelos padrões de bandas observados nas radiografias. Os coeficientes de regressão para sondas UMC 103 e CSU 155 foram estatisticamente significativos, sendo explicado 11,2 e 11,8% da variação fenotípica observada na população F_2 . O dados indicam ainda que as duas sondas devem estar ligadas a um mesmo QTL. Novos estudos utilizando famílias F3:4 estão sendo conduzidos para confirmar estes resultados.

Bibliografia

- Alves, V.M.C. 1994. Frações de fósforo, de açúcares solúveis e de nitrogênio em quatro híbridos de milho submetidos à omissão e ao ressuprimento de fósforo. Tese Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas. Univ. Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 106p.
- Coelho, A.M. 1995. Efeito de níveis de N-uréia na dinâmica de amônia e nitrato em latossolo cultivado e irrigado. *In*: Congresso Nacional de la Ciencia del Suelo, 7. Resúmen... Temuco: Univ. de la Frontera. Temuco, Chile.
- Magalhães, J.V. de. 1996. Absorção e translocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays L.*) submetidas á períodos crescentes de omissão de fósforo na solução nutritiva. Tese Mestrado em Solos e nutrição de plantas. Univ. Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 76p.
- Novais, R.F., J.C.L. Neves, N.F. Barros. 1990. Aspectos físico-químicos envolvidos na fixação de fósforo no solo. *In*: Encontro Nacional da Rocha Fosfática 5. Anais...Piracicaba: Potafos, Piracicaba. 133-164.

Tabela 1. Peso de espigas (kg/ha) dos 12 híbridos mais produtivos e dos 11 híbridos menos produtivos entre 100 híbridos avaliados em um Le com 36% de saturação de alumínio e um Le corrigido (0% saturação de alumínio). Dados são: programa de onde foi desenvolvido o híbrido simples(SA=solo ácido, SF=solo fértil) e relação PE 36% Al./PE 0% Al. CNPMS. 1994.

Hibrido	Origem	PE 36% Al. (kg/ha) A	PE - 0% Al (kg/ha) B	A/B
12 HS superiores				
HS82(28.41 X 28.91)	S.F.	6290	8438	0.74
HS13(20 X 22)	S.A.	6251	6392	0.97
HS54(20 X 723)	S.A.	6240	6443	0.96
HS30(36X723)	S.A.	6171	7903	0.78
HS25(13 X 723)	S.A.	6059	6778	0.89
HS23(13 X 36)	S.A.	6052	5861	1.00
HS31(36 X 726)	S.A.	6015	6296	0.95
PIONEER 3210	—	5960	7085	0.95
HS48(13 X 22)	S.A.	5840	7265	0.80
HS20(11X726)	S.A.	5786	6621	0.87
HS86(50-2X5)	S.F.	5685	7906	0.71
HS17(11X36)	S.A.	5678	7635	0.74
Media 12 HS sup.		6002	7051	0.85
11 HS inferiores				
HS29(36X64)	S.A.	3494	5625	0.62
HS27(13X1143)	S.A.	3540	5730	0.61
HS89(50-9X10)	S.F.	3566	6414	0.55
HS75(1096X1102)	S.F.	3571	5414	0.65
HS90(28.76X50.24)	S.F.	3597	5587	0.64
HS21(11X1143)	S.A.	3749	7302	0.51
HS43(1143X1167)	S.A.	3763	4274	0.88
HS42(726X1167)	S.A.	3906	4625	0.84
HS55(22X64)	S.A.	4006	6443	0.62
HS39(723X1143)	S.A.	4068	5694	0.71
HS34(64X723)	S.A.	4074	6617	0.61
Media 11 HS inf.		3757	5793	0.65
Media 100 HIB.		4784	6022	0.79
CV (%)		17.7	16.5	

Tabela 2. Capacidade geral de combinação (CGC) entre 8 linhagens de milho em dois ambientes: um Le com 36% de saturação de alumínio e um Le sem problema de toxidez de alumínio. CNPMS, 1994.

Linhagem	Pedigree	Origem	CGC Solo ácido	CGC Solo fértil
1	L 11	CMS 14	72.4	756.9
2	L 13	CMS14	358.2	- 400.2
3	L 36	Hibr. CNPMS	518.2	695.4
4	L 64	CMS12	- 372.0	- 147.7
5	L 723	CMS03.	317.9	538.1
6	L 726	BR105	261.7	- 328.2
7	L 1143	BR105	- 833.7	- 372.7
8	L 1167	BR105	- 322.7	- 741.7

Tabela 3. Crescimento relativo de raiz seminal (CRRS) para os 28 híbridos simples (ordenados em ordem decrescente de CRRS) e para as 8 linhagens parentais de um dialelo avaliado em solução nutritiva com 6 Tppm de alumínio. CNPMS, 1995.

Trat.	Pedigree	CRRS
12	13 x 1143	66.10 ± 16.96
21	64 x 1143	61.72 ± 14.34
6	11 x 1143	61.54 ± 14.12
17	36 x 1143	59.83 ± 25.94
9	13 x 64	55.9 ± 17.47
28	1143 x 1167	55.01 ± 22.91
27	726 x 1167	54.49 ± 16.04
13	13 x 1167	53.81 ± 12.68
22	64 x 1167	52.65 ± 16.43
24	723 x 1143	51.83 ± 9.94
1	11 x 13	50.70 ± 12.68
20	64 x 726	49.68 ± 28.59
8	13 x 36	49.48 ± 16.18
10	13 x 723	48.95 ± 15.82
11	13 x 726	47.12 ± 14.82
26	726 x 1143	43.60 ± 9.86
3	11 x 64	39.53 ± 17.44
18	36 x 1167	36.82 ± 13.20
25	723 x 1167	33.87 ± 12.64
7	11 x 1167	31.47 ± 8.80
16	36 x 726	26.46 ± 14.83
19	64 x 723	25.24 ± 8.20
5	11 x 726	21.70 ± 8.53
14	36 x 64	20.74 ± 8.93
23	723 x 726	18.62 ± 7.55
2	11 x 36	17.82 ± 8.43
4	11 x 723	16.33 ± 3.90
15	36 x 723	16.10 ± 8.29
35 (L7)	L 1143	58.89 ± 18.02
32 (L4)	L 64	44.57 ± 19.69
36 (L8)	L 1167	38.89 ± 14.56
30 (L2)	L 13	32.43 ± 10.91
34 (L6)	L 726	28.47 ± 7.78
33(L5)	L 723	24.03 ± 10.72
29 (L1)	L 11	12.99 ± 4.95
31 (L3)	L 36	11.50 ± 4.82
Média	Pais	31.47
Média	F1's	41.79
Test. 1	BR 136	64.23 ± 17.00
Test. 2	BR 201	36.50 ± 17.51

Tabela 4. Análise de variância para o cruzamento dialélico entre 8 linhagens avaliadas em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio.

Fonte	GL	MS	F
Rep.	2	2.283	0.08
Cruz.	27	757.865	26.26 **
CGC	7	2315.580	80.24 **
SCA	20	212.664	7.37 **
Error	54	28.857	

** Signif. à 1% de probabilidade.

Tabela 5. Capacidade combinatória de 8 linhagens de milho para o parâmetro crescimento relativo de raiz seminal e valor de CRRS das linhagens avaliadas per se em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio. CNPMS, 1995.

Linhagem	CGC para CRRS	CRRS linh. "per se"
L11	- 8.85	14.26
L13	13.27	34.93
L36	-10.64	14.28
L64	2.78	49.42
L723	-13.54	29.56
L726	-4.44	27.82
L1143	17.49	58.94
L1167	3.92	39.11

Tabela 6. Análise de variância para 100 híbridos de milho avaliados sob 2 níveis de fósforo no solo: 5 ppm e 10 ppm. CNPMS, 1994.

F.V	G.L	Q.M.	F
Níveis P	1	154813440	51.76**
Híbridos	99	4101120	1.37*
Níveis x Híbridos	99	2990762	3.68**
Erro efetivo	396	811419	
Medio			
CV (%) = 16,2			

Tabela 7. Média dos valores de 100 híbridos de milho avaliados sob 2 níveis de fósforo para as seguintes características: dias até o florescimento masculino (FM) e feminino (FF), altura de planta (AP), porcentagem de acamamento e quebramento (AQ), índice de espigas (IE), porcentagem de espigas doentes (ED), porcentagem de umidade nos grãos (U) e peso de espigas (PE). CNPMS, 1994.

Factor	Baixo P (B)	Alto P (A)	A - B
FM (dias)	60.6	57.5	-3.1
FF (dias)	64.7	61.4	-3.3
AP (CM)	191.4	203.2	11.8
AQ (%)	9.8	15.8	6.0
IE (ESP./PE)	0.90	0.96	0.06
ED (%)	25.7	21.1	-4.6
U (%)	20.0	17.2	-2.8
PE (kg/ha)	5044	6060	1016

Tabela 8. Peso de espigas (kg/ha) de 5 híbridos com menor redução na produção do nível alto (10 ppm de P) para o nível baixo de fósforo (5ppm de P) e peso de espigas (kg/ha) dos 4 híbridos com maior redução na produção devido a stress de fósforo (B-A). CNPMS, 1994.

Híbrido	10 ppm P (A)	5 ppm P (B)	Diferença (B - A)
HS 30 (36x723)	7316	7200	116
HS-BR201-M	7650	6826	824
HS-BR201-F	5749	5415	334
BR 201	6090	6055	35
Pioneer 3210	6766	5904	862
HS 48	7978	4843	3135
HS 8	7623	4591	3032
HS24	7342	3758	3584
AG510 (HT)	6320	3770	2550
Media de 100 Híbridos	6060	5044	1016

Tabela 9. Linhagens selecionadas como candidatas à eficiência (E) ou ineficiência (I) no uso de fósforo, baseado na frequência em que participaram como parentais entre os 20 híbridos simples mais eficientes ou entre os 20 híbridos simples menos eficientes na utilização de P. Dados obtidos da avaliação de 100 HS sob 2 níveis de P. CNPMS, verão 1993/94.

Linhagem	No. de vezes entre 20 HS mais eficientes a P	Número de vezes entre 20 HS menos eficientes a P	Numero total de cruzamentos em que participou	Categoria
L20	4	4	10	—
L36	5	3	12	E
L40	0	3	3	I
L64	5	2	12	E
L723	5	2	9	E
L724	2	4	12	I

* Não pode ser classificada em nenhuma das duas categorias.

Tabela 10. Linhagens utilizadas como parentais em um dialelo avaliado sob 2 níveis de P em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico: 5 ppm(50% do nível crítico) e 10 ppm de P. CNPMS, 1996.

Trat.	Linhagem	Origem
1	L 11	CMS 14
2	L 13	CMS 14
3	L 16	Br 106
4	L 20	Br 106
5	L 22	Br 106
6	L 36	Hyb/ CNPMS
7	L 40	Hyb /CNPMS
8	L 64	CMS 12
9	L 723	CMS 03
10	L 724	BR 106

Tabela 11. ANOVA para um dialelo entre 10 linhagens de milho avaliado em um Le corrigido, sob 2 níveis de fósforo no solo: 5 ppm (50% do nível crítico) e 10 ppm. CNPMS, 1996.

F.V	G.L	Q.M.	F	p
Níveis P	1	93750274	199.6	>0.000
Genótipos	44	1276089	2.71	>0.000
CGC	9	2646214	5.63	>0.000
CEC	35	923771	1.97	0002
Gen. x Níveis	44	601831	1.28	0.13 ns
CGC x níveis	9	680059	1.45	0.17 ns
CEC x níveis	35	581715	1.24	0.18 ns
Resíduo	176			

Tabela 12. Médias de dias até o florescimento masculino (FM), altura de planta (AP), e peso de espigas (PE). de 45 híbridos simples obtidos de um dialelo entre 10 linhagens de milho avaliados em um Le corrigido, sob 2 níveis de fósforo no solo: 5 ppm (50% do nível crítico) e 10 ppm. CNPMS, 1996.

Factor	Nível	Nível	A-B
	5 ppm P (B)	10 ppm P (A)	
FM (dias)	64.1	61.5	-2.6
AP (cm)	182.9	196.4	13.5
PE (kg/ha)	7825	9412	1587

Tabela 13. Capacidade geral de combinação (CGC) para peso de espigas (kg/ha) de 10 linhagens de milho avaliadas em um Le corrigido, sob 2 níveis de fósforo no solo: 5 ppm (50% do nível crítico) e 10 ppm. CNPMS, 1996.

Linhagem	CGC 5 ppm P (B)	CGC 10 ppm P (A)
L 11	-308.9	131.4
L 13	-305.8	-299.5
L 16	-731.3	-770.4
L 20	276.0	-335.5
L 22	723.5	331.9
L 36	597.5	127.6
L 40	-137.7	-193.7
L 64	199.6	866.4
L 723	-0.3	359.8
L 724	-312.4	-218.1

Tabela 14. Médias de peso de espigas (kg/ha) para 45 híbridos simples provenientes do dialelo entre 10 linhagens avaliados em um Led sob dois níveis de N: 30 kg/ha e 130 kg/ha.

Trat.	Híbrido	Pe-30 kg N (kg/ha) - A	Pe-130 kg N (kg/ha) - B	A/B
1	11 X 13	7483	9324	0.80
2	11 X 16	9979	10815	0.92
3	11 X 20	8208	11178	0.73
4	11 X 22	8076	10759	0.75
5	11 X 36	9960	12401	0.80
6	11 X 40	9221	11632	0.79
7	11 X 64	8273	13411	0.62
8	11 X 723	7239	10517	0.69
9	11 X 724	9442	12442	0.76
10	13 X 16	7745	9454	0.82
11	13 X 20	9028	9606	0.94
12	13 X 22	7573	10071	0.75
13	13 X 36	8343	10550	0.79
14	13 X 40	8532	10195	0.84
15	13 X 64	6619	8520	0.78
16	13 X 723	9980	11530	0.87
17	13 X 724	9560	10547	0.91
18	16 X 20	6762	7994	0.85
19	16 X 22	8478	9123	0.93
20	16 X 36	9233	9994	0.92
21	16 X 40	8622	11072	0.78
22	16 X 64	7778	10830	0.72
23	16 X 723	8121	10413	0.78
24	16 X 724	9137	10145	0.90
25	20 X 22	8170	9689	0.84
26	20 X 36	9867	10699	0.92
27	20 X 40	8437	10387	0.81
28	20 X 64	8179	12411	0.66
29	20 X 723	9845	12086	0.81
30	20 X 724	9758	10239	0.95
31	22 X 36	8217	12177	0.67
32	22 X 40	8502	8558	0.99
33	22 X 64	9536	12495	0.76
34	22 X 723	7811	9663	0.81
35	22 X 724	9062	9000	1.00
36	36 X 40	9184	11514	0.80
37	36 X 64	9451	13661	0.76
38	36 X 723	8311	10937	0.76

(Cont.)

Tabela 14. (Cont.)

Trat.	Híbrido	Pe-30 kg N (kg/ha) - A	Pe-130 kg N (kg/ha) - B	A/B
39	36 X 724	10286	10724	0.96
40	40 X 64	8694	11591	0.75
41	40 X 723	9353	10948	0.85
42	40 X 724	9754	10469	0.93
43	64 X 723	9727	9777	0.99
44	64 X 724	10395	11848	0.88
45	723 X 724	8316	10163	0.82
Médias		8756	10727	0.81
CV(%)		12.5	9.68	
LSD 5%		1775	1684	

Tabela 15. Relação entre produtividade de espigas no nível 30 kg N e 130 kg N/ha, para os seis cruzamentos com maior e menor redução de produtividade entre níveis de nitrogênio.

Cruzam.	Pe 30/ Pe 130
22 X 724	1.00
22 X 40	0.99
64 X 723	0.99
36 X 724	0.96
20 X 724	0.95
40 X 724	0.93
11 X 64	0.62
11 X 723	0.69
20 X 64	0.66
22 X 36	0.67
16 X 64	0.72
11 X 20	0.73

Tabela 16. ANOVA para um dialelo entre 10 linhagens de milho avaliado em um Le corrigido, sob 2 níveis de N aplicado ao solo: 30 kg N/ha e 130 kg N/ha. CNPMS, 1995.

FV	GL	QM	F	p
Níveis N	1	188750872	496.64	>0.000
Genótipos	44	1756745	4.62	>0.000
CGC	9	3578193	9.41	>0.000
CEC	35	1288373	3.39	>0.000
Gen. x Níveis	44	730352	1.92	0.001
CGC x níveis	9	1523223	4.01	>0.000
CEC x níveis	35	526474	1.39	0.087 ns
Resíduo	176	380052		

Tabela 17. Médias de dias até o florescimento masculino (FM), altura de planta (AP), e peso de espigas (PE) de 100 híbridos simples avaliados em 5 ambientes: um solo aluvial, um Le corrigido sob 2 níveis de fósforo: 5 e 10 ppm e um Le sob dois níveis de saturação de alumínio: 36% e 50%. CNPMS, 1996.

	Aluvial	Le 10 ppm P (A)	Le 5 ppm P (B)	Le 36% alum.	Le 50% alum.
FM (dias)	59.0	61.6	63.5	61.9	73.5
CV (%)	3.2	5.8	4.0	3.6	4.0
AP (cm)	177.2	191.8	176.4	143.3	105.3
CV (%)	6.9	6.9	7.6	9.0	12.9
PE (kg/ha)	6601	7371	6774	4777	2499
CV (%)	13.4	13.0	14.4	19.1	31.7

Tabela 18. Peso de espigas (kg/ha) dos 11 híbridos simples mais produtivos entre 100 híbridos simples avaliados em 5 ambientes: solo aluvial, Le com 10 ppm de fósforo, Le com 5 ppm de fósforo, Le com 36% de saturação de alumínio e Le com 50% de saturação de alumínio, no ano agrícola 95/96. Dados são: média de cada híbrido em cada ambiente, ranking entre os 100 híbridos (em parentesis), e coeficiente de estabilidade (b). CNPMS, 1996.

Híbrido	Aluvial	P ppm		Aluminio		Média	b
		Le 10	Le 5	Le 36%	Le 50%		
HS85 (7X2891)	9245 (3)	8230 (27)	8389 (10)	4869(45)	4212(2)	6989	1.04
HS36(20X28.41)	8312 (9)	8596 (16)	8151 (13)	5388(28)	4347(1)	6958	0.95
HS8(10X28.41)	8022 (10)	8744 (12)	8810 (2)	5934(14)	2966(22)	6895	1.24
HS56(36X724)	6842 (42)	9188 (7)	8651 (5)	6800(1)	2819(27)	6860	1.18
HS47(26X28.41)	8871 (4)	9447 (2)	8646 (6)	4299(68)	2884(25)	6829	1.46
HS31(19X36)	7461 (24)	9338 (4)	8618 (7)	6149(9)	2170(71)	6747	1.4
HS52(28.41X28.91)	9880(1)	7991 (30)	7490 (26)	5491(27)	2863(26)	6743	1.21
HS69(161-1X228-2)	7498 (21)	8494 (20)	7838 (21)	6421(5)	3441(8)	6738	0.98
HS44(22X36)	7578 (19)	9707 (1)	7061 (42)	6370(6)	2962(23)	6735	1.16
HS4(8X26)	7731 (15)	8459 (22)	8036 (19)	5953(13)	3065(15)	6648	1.11
HS1(5X28.41)	9444 (2)	9070 (8)	7017 (43)	4980(42)	2638(39)	6630	1.36
Média 100 Híbridos	6601	7371	6774	4777	2499	5604	
CV (%)	13.4	13	14.4	19.1	31.7		
LSD 5 %	1431	1554	1572	1470	1270		

Tabela 19. Valores médios obtidos, considerando o caráter peso de espigas (kg/ha), para as 20% famílias selecionadas em Sete Lagoas-MG em solos fértil (N+) e com deficiência de nitrogênio (N-) em comparação com a testemunha BR 106 (T). CNPMS, 1994/95.

Peso espigas			
Tratamentos	Sete Lagoas (N+)	Tratamentos	Sete Lagoas(N-)
58	9000	58	5447
55	6812	91	5320
116	6749	141	5102
19	6697	31	5092
59	6661	16	4887
110	6649	55	4863
94	6566	71	4853
90	6418	47	4800
88	6405	50	4726
9	6396	90	4615
20	6328	99	4612
92	6195	129	4604
44	6154	125	4603
34	6114	77	4592
131	6051	144	4524
48	6018	21	4514
107	5967	116	4511
108	5933	88	4478
137	5908	9	4464
3	5898	20	4427
141	5884	62	4368
73	5880	34	4345
50	5847	142	4303
144	5688	97	4282
37	5673	114	4266
51	5659	69	4212
17	5648	87	4171
87	5602	48	4114
BR 106(Test.)	5585	BR 106(Test.)	1910

Tabela 20. Estimativas dos parâmetros genéticos obtidas para o caráter peso de espigas, em g/planta, considerando os ambiente fértil (N+) e com deficiência de nitrogênio (N-). CNPMS, 1994/95.

Estimativa	N+	N-
σ_p^2	304.321	141.875
σ_A^2	1217.284	567.500
σ_F^2	483.898	241.354
σ_e^2	253.084	141.406
σ_d^2	2530.840	1414.060
$h^2\%$	39.42	33.43
$h_x^2\%$	62.89	58.78
b	0.92	0.84
Δg	19.37	12.78

σ_p^2 = variância genética entre famílias ; σ_A^2 = variância genética aditiva; σ_F^2 variância fenotípica entre médias de famílias; σ_e^2 = variância ambiental entre parcelas; σ_d^2 = variância fenotípica dentro de famílias ($\sigma_d^2 = 10 \sigma_e^2$); h^2 = herdabilidade no sentido restrito ao nível de plantas; h_x^2 = herdabilidade no sentido restrito ao nível de médias; b = CVg/CVe que é um índice de variação; Δg = progresso genético esperado com a seleção de 20% entre famílias e 10% dentro de famílias.

Fig. 1. Distribuição de peso de espigas de 100 híbridos de milho avaliados sob dois níveis de P no solo: 5 ppm 10 ppm. CNPMS, 1994.

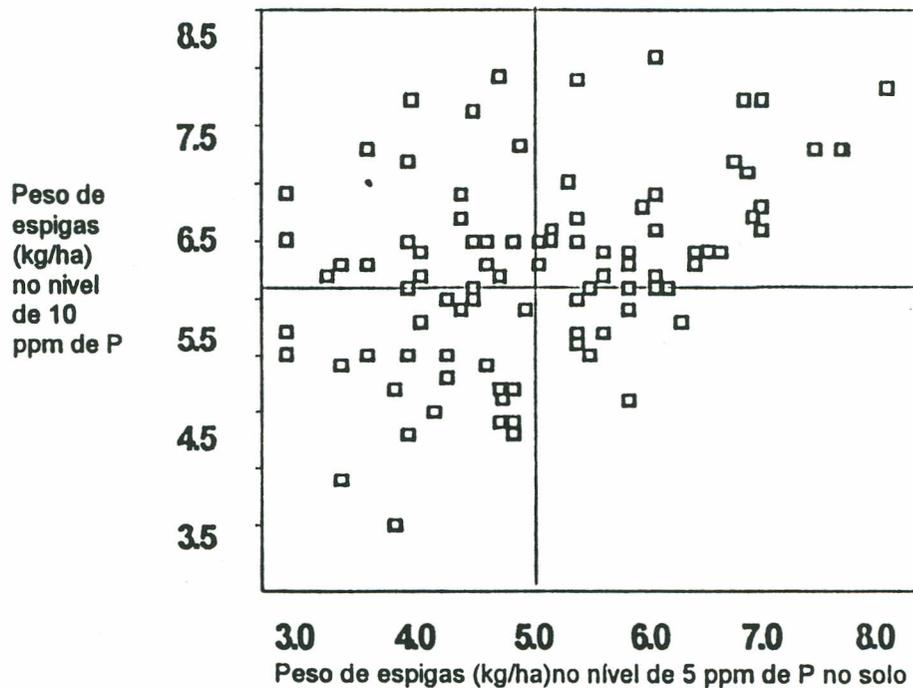


Fig. 2 Capacidade combinatória de 10 linhagens de milho avaliadas sob dois níveis de fósforo no solo: 5 ppm (50% do nível crítico) e 10 ppm.

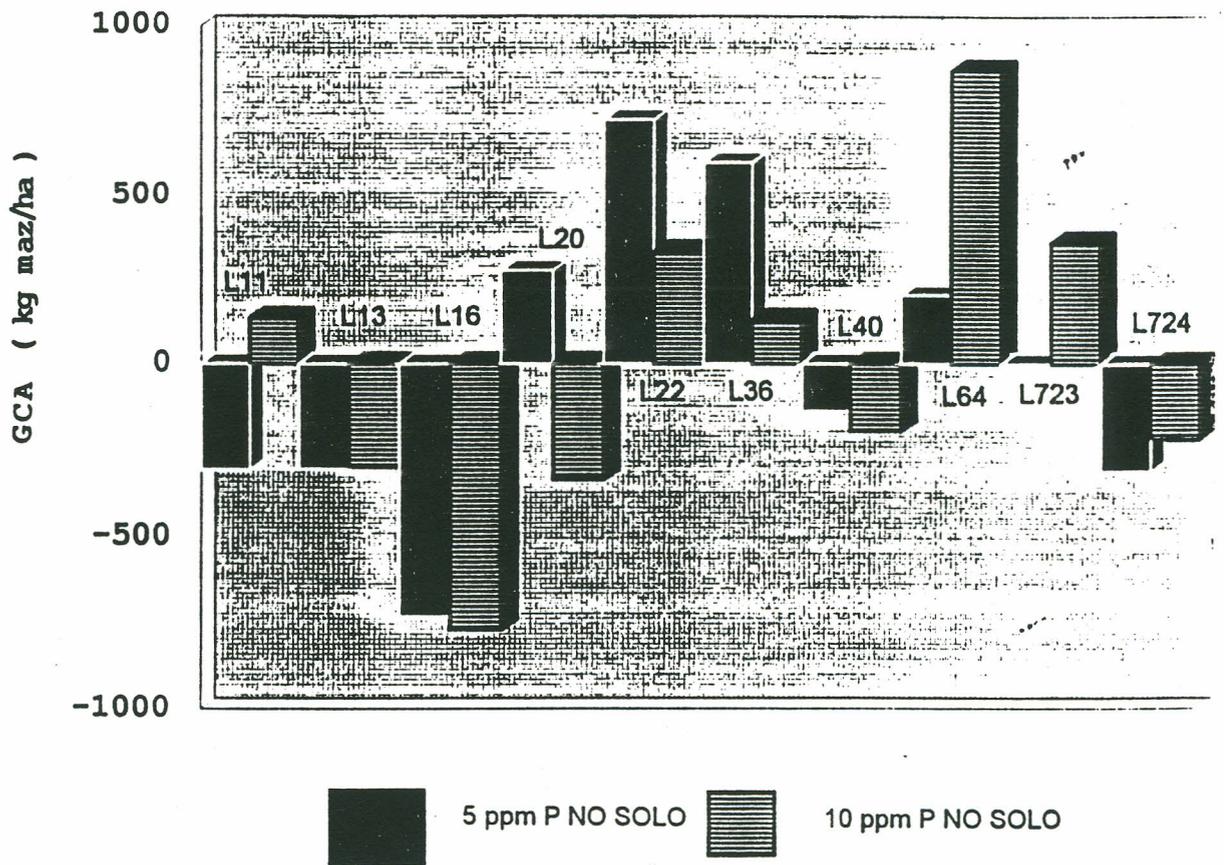


Fig. 3. Peso de espigas em kg/ha de 45 híbridos simples de milho obtidos do dialelo entre 10 linhagens, avaliados sob 2 níveis de nitrogênio no solo: 30 kg N/ha e 130 kg N/ha. CNPMS, 1995.

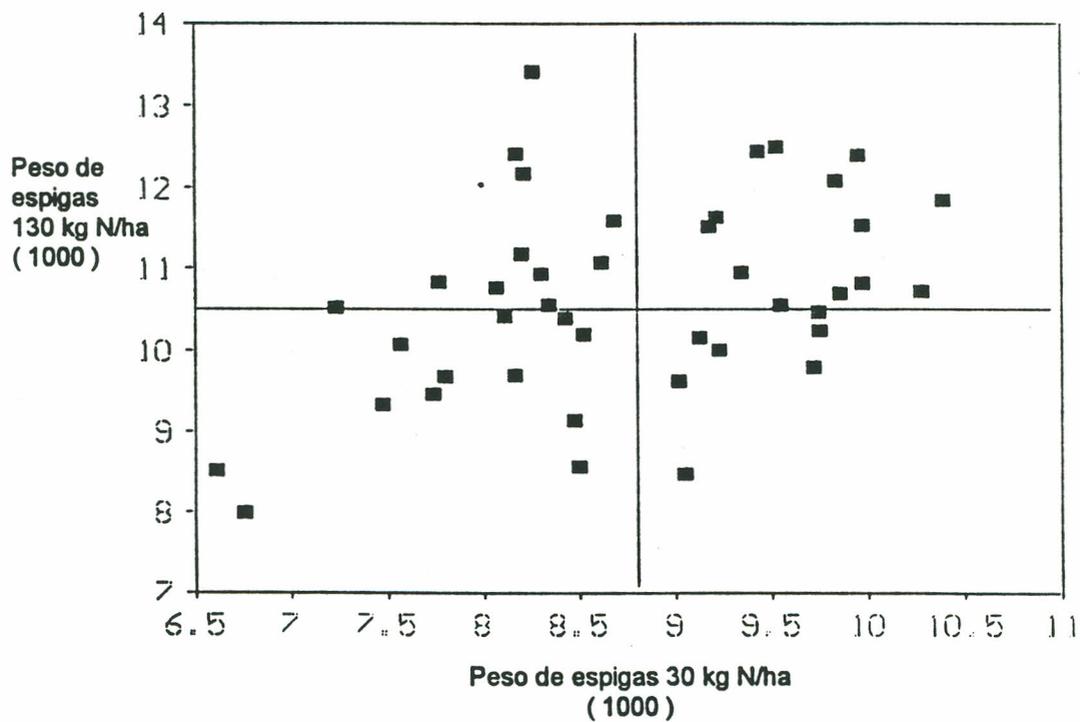


Fig. 4. Capacidade Geral de Combinação (CGC) para peso de espigas (kg/ha) de dez linhagens de milho avaliadas sob 2 níveis de N aplicado ao solo: 30 kg N/ha e 130 kg N/ha. CNPMS, 1995.

