

Estresse de Alumínio e Fósforo em Plântulas de Genótipos de Milho, Sorgo e Arroz em Caracterização para Tolerância a Seca:

1. Marcadores Morfológicos de Parte Aérea e de Raiz.

Frederico O. M. Durães¹, Elto E. G. e Gama¹, Fredolino G. dos Santos¹, Paulo C. Magalhães¹, Vera M. de C. Alves¹, Antônio C. de Oliveira¹, Cleber M. Guimarães², Orlando P. Moraes², Dyeme A. V. Bento³, Fernando R. de O. Cantão⁴

¹ Embrapa Milho e Sorgo (<http://www.cnpms.embrapa.br>), Sete Lagoas, MG (Autor correspondente: fduraes@cnpms.embrapa.br), ² Embrapa Arroz e Feijão, ³ Embrapa;USP/ESALQ, ⁴ Embrapa;UFLA

Os estresses abióticos afetam fortemente o estabelecimento e performance produtiva de cereais cultivados em áreas tropicais, resultando em decréscimos acentuados de rendimento de grãos de importantes espécies, como milho, sorgo e arroz. Os estresses “per se” e os múltiplos estresses carecem de ser estudados em profundidade, objetivando-se compreender as respostas diferenciais entre e dentro de espécies. O melhoramento de cada espécie requer adequado controle ambiental e a definição de parâmetros fenotípicos e genéticos, visando entender os mecanismos de tolerância e/ou eficiência e a obtenção de genótipos produtivos e estáveis.

A Embrapa vem conduzindo, desde a década de 1970, um amplo programa de melhoramento de milho, sorgo e de arroz, abarcando várias ações de P&DI, e objetivando-se a melhoria de genótipos para tolerância a estresses abióticos, dentre os quais Al, P, N e água (hídrico). A plataforma Embrapa para avaliação de genótipos para estresses abióticos é sequenciada, e os métodos utilizados são diferenciados para avaliação de genótipos a campo, canteiros experimentais (*growout*) específicos, casa de vegetação, câmara de crescimento e laboratórios.

Para a avaliação de estresses “per se” e múltiplos estresses têm-se obtido progressos em populações melhoradas, variedades, e linhagens endogâmicas. Materiais genéticos de milho, sorgo e de arroz para estresse “per se” estão sendo avaliados para outros estresses, utilizando-se metodologias específicas, buscando-se compreender mecanismos e características de plantas úteis ao trabalho de melhoramento da espécie.

Para alumínio, pode-se descrever que a inibição do crescimento radicular é o sintoma visível mais rápido da toxicidade do Al em plantas, o que resulta na redução e em danos do sistema radicular, podendo conduzir à deficiência mineral e estresse hídrico (Degenhardt et al., 1998). A redução do crescimento da parte aérea ocorre num momento posterior (Ryan et al., 1993; Jones & Kochian 1995) e parece ser uma consequência dos danos que ocorrem na raiz (Matsumoto et al., 1976). Para melhor entender os princípios dos mecanismos de tolerância e sensibilidade ao Al, seus efeitos sobre a inibição do crescimento da raiz e outros sintomas consequentes é necessário elucidar onde o Al age e, principalmente, conhecer qual o efeito primário do Al responsável pelas modificações morfológicas e fisiológicas que ocorrem.

Para P, podem-se descrever: a) formação de raízes proteóides (raízes terciárias curtas, com aspecto de uma densa cabeleira, originadas do periciclo), que aumentam grandemente a área superficial do sistema radicular (Gilbert et al., 1988; Keerthisinghe et al., 1998); b) alteração da curvatura gravitrópica (ângulo de crescimento das raízes basais), permitindo maior exploração dos horizontes superficiais do solo, onde a disponibilidade de P normalmente é maior (Bonser et

al., 1996; Lynch & Brown, 1997); c) presença de pêlos radiculares (Föhse et al., 1991); e, d) formação de raízes adventícias (Miller et al., 1998).

Genótipos elites de milho, sorgo e de arroz caracterizados para tolerância a seca estão sendo avaliados para tolerância e/ou eficiência para estresses abióticos, incluindo Alumínio (Al) e Fósforo (P). Teorias específicas que envolvem cada estresse em plantas superiores estão sendo discutidas para os estresses múltiplos, e as diversas relações de respostas de plantas desses cereais, tem conduzido a experimentação enfocando diferentes estratégias de fenotipagem, de preliminar a avançada, para tolerância a seca. Isto tem orientado as ações de pesquisa para a busca de parâmetros fenotípicos (características de planta) e a compreensão de mecanismos, em sistemas especialistas, quer sejam em folhas, raízes, ou órgãos reprodutivos.

Neste enfoque, uma etapa dos estruturados programas da Embrapa, de melhoramento de milho, sorgo e de arroz para estresses abióticos, trata da seleção precoce de genótipos sob condições ou regimes diferenciais de água, Al e P. O foco principal desse trabalho foi a análise de crescimento de plantas e avaliação de sistema radicular de plântulas e planta jovem de milho, sorgo e arroz, visando identificar marcador fenotípico (de base morfológica) para caracterização e distinção de genótipos, visando tolerância a seca.

Material e Métodos

Na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, no período de Setembro a Dezembro de 2005, foram conduzidos experimentos, com 12, 7 e 5 genótipos de milho, sorgo e arroz, respectivamente, pré-selecionados para tolerância a seca, como descritos a seguir:

Condições experimentais: canteiros de 12m x 1,20m x 0,40m, sob telado de sombrite 50%, com solos latossolos vermelho-escuro textura média (LEm), preparados isoladamente para 02 níveis diferenciados de fósforo (alto = 20 mg.dm⁻³ P; e, baixo = 4 mg.dm⁻³ P) e 03 níveis diferenciados de saturação de alumínio (m%), equivalentes a [alto (m = 60%), intermediário (m = 30%) e baixo (m = 10%)]. Atualizada variabilidade espacial dos solos dos canteiros, para Al e P, será previamente caracterizada com análise laboratorial físico-química.

Material vegetal: doze (12) genótipos de milho (sendo, 7 linhagens: M1 = PE01/L3, M2 = PE02/L228.3, M3 = L2.3.2.1, M4 = L6.1.1, M5 = L13.1.2, M6 = L31.2.1.2, M7 = L1170; 02 populações: M8 = BR105, M9 = BR106; 02 sintéticos: M10 = Sintético TS, M11 = Sintético Jaíba NP; e, 01 híbrido simples: M12 = BRS1010) e sete (07) genótipos de sorgo (S1 = B35, S2 = 00255zo, S3 = 9503086, S4 = BRS310, S5 = TX623B, S6 = 9910010, S7 = 25362), com *background* genético e origem distintas, oriundos dos Programas de Melhoramento de Milho e de Sorgo visando tolerância a seca, da Embrapa Milho e Sorgo, e cinco (05) genótipos de arroz (A1 = Guarani, A2 = BRS Primavera, A3 = BRS Soberana, A4 = BRSMG Curinga, A5 = CNAS 9019), do programa de Melhoramento de Arroz, da Embrapa Arroz e Feijão.

Condução experimental: Após preparo e análises físico-químicas do solo, os tratamentos [12 genótipos de milho, 07 de sorgo e 05 de arroz, e 03 níveis saturação de Al (m%) e 02 níveis de fósforo (P)] foram implantados. A parcela experimental foi constituída de 4 linhas de 1,20m espaçadas 0,20m entre si, e 40 sementes de cada espécie vegetal foram plantadas, por tratamento, utilizando-se o espaçamento de 0,10m na linha de plantio.

Determinação do IVG, índice de velocidade de germinação de sementes (ou emergência de plântulas), por genótipo/parcela/repetição): Para cada repetição foi calculado o IVG, somando-se o número de sementes germinadas a cada dia, dividido pelo respectivo número de dias

transcorridos a partir de semeadura, conforme Maguire (1962). O IVG foi determinado empregando-se a fórmula: $IVG = N1/D1 + N2/D2 + \dots + Nn/Dn$, onde: IVG = índice de velocidade de germinação; N1, N2, Nn = número de plântulas germinadas a 1, 2 e n dias após a montagem do teste; D1, D2, Dn = número de dias após a instalação do teste.

As adubações de base e complementares, visando adequado suprimento de macro e micronutrientes, foram manejadas conforme Protocolos para Fenotipagem de Plantas visando Tolerância a Seca, em SSE-Sete Lagoas, MG (Embrapa Milho e Sorgo, 2005. Não publicado). A irrigação, visando a não ocorrência de estresse hídrico, foi conduzida de acordo com *planilha eletrônica IRRIGAFÁCIL* (Embrapa Milho e Sorgo, 2005. Não Publicado). As plântulas e plantas, por espécie, foram cultivadas nestas condições ambientais até 35 DAP (Dias Após Plantio). Análises não-destrutivas foram realizadas periodicamente, de 7 em 7 dias no aparato foliar, avaliando porometria (LI-1600 Steady State Porometer, LI-COR Inc.), fluorescência da clorofila (MINI-PAM Photosynthesis Yield Analyzer, Walz Instr. Co.), e trocas gasosas (LI-6200 Photosynthesis System, LI-COR Inc.). Coletas amostrais destrutivas de plantas foram feitas de 7-7 DAP para análise de crescimento. Nas coletas periódicas (7-7 DAP) e final (35 DAP) dos experimentos foram medidas a altura da planta (cm), área foliar (cm^2 , LI-3100, LI-COR Inc.), profundidade do sistema radicular (cm), e matéria seca (g) de parte aérea e de raiz. A análise de crescimento foi realizada de acordo com Radford (1967) e Benincasa (1988). A área foliar (AF), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), índice de área foliar (IAF) e também razão de área foliar (RAF) foram calculados como segue: - AF = área foliar, em cm^2 (LI-3100, LI-COR Inc.); $TCA = (MS_f - MS_i)/t$, ($g\ dia^{-1}$); $TCR = (1/MS_f) (\partial MS_f / \partial t)$, ($g\ g^{-1}\ dia^{-1}$); $TAL = (1/AF) (\partial MS_f / \partial t)$, ($g\ dm^{-1}\ dia^{-1}$); IAF = AF/área de parcela experimental ocupada por planta; $RAF = AF/MS_f$, ($dm^2\ g$). Foram realizadas cinco avaliações da morfologia do sistema radicular, aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAP (Dias Após o Plantio), utilizando-se sistema visual e o programa de análise de imagem SIARCS (Embrapa/CNPDIA), para obtenção da estimativa do comprimento total e área total das raízes (Jorge, 1996). Adicionalmente, as amostras de raízes foram estocadas para análise pelo WinRHIZO System (Regent Instr. Inc.), visando as medidas de morfologia e arquitetura de raiz, como utilizado por Bauhus & Christian (1999), Bouma et al., (2000), e Costa et al., (2002). O material vegetal colhido (parte aérea e raiz) foi colocado em estufa de circulação forçada de ar, a aproximadamente $70^\circ C$, até obtenção de peso constante. Após secagem, o material vegetal foi pesado e moído para determinação dos teores de macro e micronutrientes no tecido vegetal (Embrapa. Métodos de Análise de Solos e Planta. Manual de Laboratório. 2005. Publicação Interna).

Delineamento experimental: DBC, 3 repetições para P, e 2 repetições para Al. Os dados foram analisados estatisticamente e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade (Tukey, 1949).

Resultados e Discussão

Para fins deste trabalho serão apresentados alguns resultados das análises do aparato para fins experimentais e de variáveis respostas de planta (parte aérea e de raiz), visando mostrar o potencial da técnica de *screening* precoce, visando caracterização de genótipos de cereais sob níveis de Al e de P.

Adequação do substrato experimental: canteiros preparados com solos LEm para níveis de saturação de Al (m) e fósforo.

Os canteiros foram subdivididos em 6 parcelas de 2,0m x 1,2m x 0,40m e as amostragens para análises físico-químicas permitiram concluir sobre a adequação desse substrato para os estudos com Al e P. A ANOVA mostrou diferenças significativas ($P < 0,0001$) para a característica saturação de Al (m), com $R^2 = 0,96$; CV = 17,6%, cujas médias foram de Alto Al = 59,8%, Médio Al = 20,7%, Baixo Al = 13,2%); e, também para o fator P ($R^2 = 0,99$; CV = 8,7%), com médias de Alto P = 20,6 mg.dm⁻³ e Baixo P = 4,5 mg.dm⁻³.

Resposta de variáveis de parte aérea e de raiz de genótipos, por espécie: altura de planta, profundidade de raiz e matéria seca.

As avaliações dos caracteres altura de planta (AP), profundidade de raiz (PR), matéria seca de parte aérea (MSA), matéria seca de raiz (MSR) e relação entre matéria seca de raiz e de parte aérea (MS R/A) na cultura do **milho** em solos com diferentes concentrações de P foram realizadas com boa precisão experimental, segundo os valores dos coeficientes de variação (CVs) dos experimentos, à exceção da avaliação de MS R/A, cujo valor de CV foi de 40,89. Isso é explicado considerando-se que este caráter refere-se à razão entre duas outras grandezas, o que incrementa o erro associado à avaliação, aumentando consequentemente o CV (**Tabela 1**).

Nos experimentos realizados com diferentes concentrações de P no solo houve diferença significativa ($Pr < 0,05$) ou altamente significativa ($Pr < 0,01$) pelo teste *F* entre épocas de avaliação e entre materiais de milho para os caracteres AP, PR, MSA e MSR, e entre doses de P para os caracteres AP e MSR. Não foram constatadas diferenças entre plantas avaliadas em cada material, dentro de parcelas, para os caracteres AP e PR (**Tabela 1**).

As diferenças entre épocas eram esperadas, em função de corresponderem a estádios fenológicos bastante contrastantes da cultura, assim como eram esperadas as diferenças entre materiais de milho, pelo fato de terem sido utilizadas linhagens, híbridos e variedades nas avaliações. Verificou-se que para a maior parte dos caracteres, PR, MAS e MS R/A, não foram constatadas diferenças entre as doses de P empregadas, ou seja, as médias desses caracteres quando avaliados em solo com alta ou baixa concentração de P foram semelhantes. O fato de não ter sido detectada diferença significativa pelo teste *F* entre plantas avaliadas dentro de parcelas indica a homogeneidade dentro de cada material utilizado nas avaliações.

Foram constatados efeitos significativos para as interações entre materiais e épocas para AP, entre doses de P e épocas para MSR e entre doses de P e materiais para AP e MSR, indicando, respectivamente para esses caracteres, que não houve coincidência nas performances dos materiais nas épocas de avaliação; das doses de P nas épocas de avaliação e dos materiais nas doses de P utilizadas (**Tabela 1**).

Os resultados acerca da interação entre doses de P e épocas refere-se a uma importante informação a respeito do número de avaliações a serem efetuadas ao longo do ciclo das culturas para a detecção de diferenças entre os caracteres avaliados em diferentes concentrações de P no solo. No caso, como não houve interação entre essas fontes de variação para os caracteres AP, PR, MSA e MS R/A, as conclusões sobre diferenças nas médias desses caracteres quando avaliados em alta ou baixa concentração de P no solo poderiam ser realizadas com base em um número menor de épocas de avaliação, ou seja, uma ou duas, no caso do milho, ao invés de três ou mais épocas.

Foi constatada boa precisão experimental nas avaliações dos caracteres na cultura do milho em solos com diferentes concentrações de Al, com valores de coeficientes de variação (CVs) abaixo de 32% (**Tabela 2**).

Verificou-se diferença significativa ($Pr < 0,05$) ou altamente significativa ($Pr < 0,01$) entre épocas de avaliação para todos os caracteres, exceto MS R/A; entre doses de Al para os caracteres AP e PR e entre materiais de milho para todos os caracteres avaliados, o que novamente evidencia as diferenças entre os estádios fenológicos de avaliação das plantas e entre os diversos materiais utilizados. Não foi verificada diferença entre plantas avaliadas dentro de parcelas. Para a maior parte dos caracteres não foi constatada diferença entre as concentrações de Al, de forma análoga ao que foi discutido para as concentrações de P.

Houve significância pelo teste *F* para os efeitos das interações entre materiais e épocas e entre doses de Al e épocas para os caracteres AP e PR, não havendo significância para a interação entre doses de Al e materiais para nenhum caráter. Segundo esses resultados, as avaliações das diferenças entre concentrações de Al no solo poderiam ser realizadas em apenas uma ou duas épocas para os caracteres MSA, MSR e MS R/A.

Nos experimentos realizados com a cultura do **sorgo**, houve boa precisão experimental nas avaliações realizadas em diferentes concentrações de P no solo, com valores de CV inferiores a 27% (**Tabela 3**). Os genótipos S1 = B35 e S7 = 25362 foram prejudicados por ataque isolados de formigas, e os dados das **Tabelas 3 e 4** representam 05 genótipos de sorgo (S2 = 00255zo, S3 = 9503086, S4 = BRS310, S5 = TX623B, S6 = 9910010).

Foram constatadas diferenças entre épocas de avaliação para todos os caracteres, exceto MS R/A; diferenças entre doses de P para os caracteres AP, PR e MSA e entre materiais para os caracteres AP e PR. Não houve diferenças entre plantas avaliadas dentro de parcelas para nenhum caráter (**Tabela 3**).

Foi constatado efeito da interação entre materiais e épocas e entre doses de P e épocas para os caracteres AP e PR, não havendo efeito da interação entre materiais e doses de P para nenhum dos caracteres avaliados. A exemplo do que foi discutido anteriormente, a não ocorrência de interação entre doses de P e épocas de avaliação para MSA, MSR e MS R/A possibilita inferir que para esses caracteres as avaliações em diferentes concentrações de P no solo poderiam ser realizadas em um número menor de épocas.

Nas avaliações de caracteres na cultura do sorgo em diferentes concentrações de Al no solo os valores dos CVs foram de média magnitude, variando de 30% a 40%. Houve diferenças entre épocas de avaliação para todos os caracteres, entre doses de Al para todos os caracteres exceto PR e entre materiais de sorgo apenas para o caráter AP (**Tabela 4**).

Não foi constatado efeito da interação entre materiais e épocas. Para a interação entre épocas e doses de Al, entretanto, foi constatado efeito para todos os caracteres. Isso indica que a avaliação desses caracteres em solos com diferentes concentrações de Al deve ser realizada em várias épocas, uma vez que a performance dos caracteres não é coincidente nas diferentes doses ao longo dos estádios fenológicos das plantas. Houve efeito da interação entre doses de Al e materiais apenas para os caracteres AP e PR (Tabela 4).

Para a cultura do **arroz**, os valores dos CVs nas avaliações em diferentes concentrações de P no solo foram inferiores a 13%, exceto na análise de PR, em que o valor do CV foi de 25,02%, o que indica boa precisão nos experimentos. Houve diferenças entre épocas de avaliação para todos os caracteres, diferenças entre doses de P para AP, PR e MSA e diferenças entre

materiais para AP e MSR. Não houve diferenças entre plantas avaliadas dentro de parcelas para cada material utilizado (**Tabela 5**).

Não foi constatado efeito de interação entre materiais e doses de P para nenhum dos caracteres avaliados. Houve efeito da interação entre doses de P e épocas apenas para PR, e entre doses de P e materiais apenas para o caráter AP. Também nas análises realizadas com diferentes concentrações de P no solo para a cultura do arroz, um número menor de avaliações em diferentes épocas poderia ser realizado para os caracteres AP, MSA, MSR e MS R/A, para os quais o efeito da interação entre doses de P e épocas não foi significativo (**Tabela 5**).

Nas avaliações dos caracteres na cultura do arroz para diferentes concentrações de Al no solo os valores dos CVs foram inferiores a 32%. Houve diferenças entre épocas de avaliação e entre doses de Al para os caracteres AP, PR e MSA, e entre materiais par AP e PR (**Tabela 6**).

Foi constatado efeito de interação entre materiais e épocas para AP e PR; entre doses de Al e épocas e entre doses de Al e materiais para AP. Assim como já comentado anteriormente, as avaliações dos caracteres PR, MSA e MSR nas diferentes doses de Al poderiam ser realizadas em um ou duas épocas apenas, devido à performance coincidente desses caracteres quando avaliados para as diferentes doses de Al em diversos estádios de desenvolvimento das plantas (**Tabela 6**).

Buscando-se discutir a interação P x Zn, apresentam-se os resumos das análises de variâncias dos caracteres teores de P e de Zn na parte aérea e raiz, avaliados em 12 materiais de milho (**Tabela 7**), 5 materiais de sorgo (**Tabela 8**), e 4 materiais de arroz, exceto para CNAS 9019 (**Tabela 9**), utilizando-se 2 concentrações de P e 3 de Al no solo.

Conclusões

O aparato estabelecido em canteiros (*growout*) com 2 níveis de P e 3 níveis de saturação de Al é adequado para *screening* precoce e caracterização de genótipos de cereais e apresentam homogeneidade intra- e inter- blocos para cada um dos fatores P e Al.

A época de 21 DAP é adequada para a caracterização de genótipos de milho, sorgo e arroz, visando *screening* precoce para P e Al.

O índice de velocidade de emergência (IVG) é adequado para distinguir qualidade fisiológica de sementes e vigor de plântulas de cada uma das espécies milho, sorgo e arroz, e é útil para caracterizar genótipos quanto a acúmulo inicial de matéria seca.

Referências

Bonser, A. M.; Lynch, J. P.; Snapp, S. Effects of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots of *Phaseolus vulgaris* L. **The New Phytologist, Cambridge**, v. 132, n. 2, p. 281-288, Feb. 1996.

Degenhardt, J.; Larsen, P.B.; Howell, S. H.; et al. Aluminium resistance in the Arabidopsis mutant *alr-104* is caused by an aluminium-induced increase in rhizosphere pH. **Plant Physiology**. Minneapolis, v. 117, p. 19-27, 1998.

Föhse, D.; Claassen, N.; Jungk, A. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil*, v. 132, p. 261-272, 1991.

Gilbert, G. A.; Allan, D. L.; Vance, C. P. Phosphorus deficiency in white lupin alters root development and metabolism. **In:** Flores, H. E.; Lynch, J. P.; Eissenstat, D. (Ed.). Advances and perspectives on the function of plant roots. Rochville: American Society of Plant Physiologists, 1998. p. 394-396.

Jones, D. L.; Kochian, L. V. Aluminium of the 1,4,5-triphosphate signal transduction pathway in wheat roots: a role in aluminum toxicity? *Plant cell*, Baltimore, v.7, p.1913-1922, 1995.

Keerthisinghe, G.; Hocking, P. J., Ryan, P. R.; Delhanie, E. Effect of Phosphorus supply on the formation and function of proteoid roots of white lupin (*Lupinus albus* L.). **Plant, Cell and environment**, Oxford, v.21, p. 467-78, 1997.

Lynch, J.P.; Brown, K. M. Ethylene and stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.100, n. 3, p.613-619, July 1997.

Maguire, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, Madison, v. 2, n.1, p. 176-177, 1962.

Matsumoto, H.; Hirasawa, F.; Torikai, H., et al. Localization of absorbed aluminium in pea root and its binding to nucleic acid. **Plant Cell Physiology**, Kyoto, v. 17, p. 627-631, 1976.

Rayn, P. R.; Kochian, L. Interaction between aluminum toxicity and calcium uptake at the root apex in near-isogenic lines of wheat (*Triticum aestivum*) differing in aluminum tolerance. **Plant Physiology**. Mineapolis, v.102, p. 975-982, 1993.

Tabela 1. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 12 materiais de milho utilizando-se 2 concentrações (doses) de fósforo no solo.

Altura de planta			Prof. de raiz	MS parte aérea			MS raiz	MS aé/rz
FV	GL	QM	QM	FV	GL	QM ^a	QM ^a	QM
Epoca	2	1138.44**	4568.97**	Epoca	2	85.24**	59.51*	0.62ns
Mat*Epoca	22	12.80**	33.83ns	Mat*Epoca	22	2.16ns	20.78ns	0.34ns
DoseP*Epoca	2	0.93ns	29.92ns	DoseP*Epoca	2	1.10ns	51.23*	0.23ns
DoseP*Mat*Ep.	22	3.13*	42.79*	DoseP*Mat*Ep.	22	3.08ns	15.05ns	0.30ns
DoseP	1	238.47**	9.03ns	Mat	11	11.91*	40.43*	0.50ns
Mat	11	192.65**	170.37**	DoseP	1	4.65ns	95.63*	0.85ns
Planta(Mat)	24	0.67ns	22.23ns	DoseP*Mat	11	3.99ns	36.28*	0.36ns
DoseP*Mat	11	16.24**	30.49ns	Erro	92	1.99	14.12	0.34
Erro	380	1.79	26.12					
CV		13.00	29.21	CV		11.31	16.25	40.89

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁴

Tabela 2. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 12 materiais de milho utilizando-se 3 concentrações (doses) de alumínio no solo.

Altura de planta			Prof. de raiz	MS parte aérea			MS raiz	MS aé/rz
FV	GL	QM	QM	FV	GL	QM ^a	QM ^a	QM ^b
Epoca	2	889.35**	2612.99**	Epoca	2	34.93*	57.28**	0.18ns
Mat*Epoca	22	31.08**	39.30*	Mat*Epoca	22	8.05ns	6.55ns	0.91ns
DoseAl*Epoca	4	27.13*	259.03**	DoseAl*Epoca	4	18.62ns	13.56ns	2.30ns
DoseAl*Mat*Ep.	44	15.59ns	34.70*	DoseAl*Mat*Ep.	44	7.33ns	7.14ns	1.25ns
DoseAl	2	306.07**	113.80*	Mat	11	17.15*	51.82**	11.47**
Mat	11	228.68**	177.62**	DoseAl	2	9.59ns	1.78ns	3.63ns
Planta(Mat)	24	8.89ns	21.62ns	DoseAl*Mat	22	8.56ns	6.01ns	1.05ns
DoseAl*Mat	22	16.49ns	29.54ns	Erro	70	8.13	7.3	1.18
Erro	358	11.13	23.63					
CV		31.56	28.40	CV		20.77	11.42	8.07

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁴; ^b x 10²

Tabela 3. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 5 materiais de sorgo utilizando-se 2 concentrações (doses) de fósforo no solo.

Altura de planta			Prof. de raiz	MS parte aérea			MS raiz	MS aé/rz
FV	GL	QM	QM	FV	GL	QM ^a	QM ^a	QM ^b
Epoca	3	406.80**	76.32**	Epoca	3	137.60**	821.19**	15.59ns
Mat*Epoca	12	5.72*	21.63*	Mat*Epoca	12	9.91ns	9.21ns	10.67ns
DoseP*Epoca	3	15.53**	29.80*	DoseP*Epoca	3	12.07ns	9.94ns	17.82ns
DoseP*Mat*Ep.	12	4.84ns	10.79ns	DoseP*Mat*Ep.	12	5.61ns	10.56ns	6.92ns
DoseP	1	224.23**	183.87**	Mat	4	7.36ns	20.19ns	22.51ns
Mat	4	17.05**	40.52**	DoseP	1	79.78*	12.32ns	57.06ns
Planta(Mat)	10	3.37ns	8.55ns	DoseP*Mat	4	8.12ns	24.17ns	28.92ns
DoseP*Mat	4	5.59ns	7.27ns	Erro	48	6.92	14.14	9.26
Erro	215	3.00	9.67					
CV		19.64	26.22	CV		17.45	11.30	19.33

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁴; ^b x 10²

Tabela 4. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 5 materiais de sorgo utilizando-se 3 concentrações (doses) de alumínio no solo.

Altura de planta			Prof. de raiz	MS parte aérea			MS raiz	MS aé/rz
FV	GL	QM	QM	FV	GL	QM ^a	QM ^b	QM
Epoca	3	226.12**	105.44**	Epoca	3	465.65**	189.59**	-
Mat*Epoca	12	5.33ns	11.58ns	Mat*Epoca	12	37.92ns	1.35ns	-
DoseAl*Epoca	6	37.27**	56.81**	DoseAl*Epoca	6	152.03**	43.39**	-
DoseAl*Mat*Ep.	20	10.73**	12.87ns	DoseAl*Mat*Ep.	20	39.89ns	0.90ns	-
DoseAl	2	40.19**	18.50ns	Mat	4	14.03ns	1.55ns	-
Mat	4	15.54**	15.31ns	DoseAl	2	343.92**	31.51**	-
Planta(Mat)	10	3.31ns	12.22ns	DoseAl*Mat	8	27.71ns	0.86ns	-
DoseAl*Mat	8	16.61**	32.26**	Erro	33	33.53	326.57	-
Erro	252	4.48	9.30					
CV		32.37	29.93	CV		35.70	38.24	-

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁴; ^b x 10²

Tabela 5. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 5 materiais de arroz utilizando-se 2 concentrações (doses) de fósforo no solo.

Altura de planta			Prof. de raiz	MS parte aérea			MS raiz	MS aé/rz
FV	GL	QM	QM	FV	GL	QM ^a	QM ^a	QM ^b
Epoca	3	81.79**	127.32**	Epoca	3	420.98**	2110.47**	13.46**
Mat*Epoca	12	1.02ns	4.27ns	Mat*Epoca	12	4.89ns	9.98ns	0.81ns
DoseP*Epoca	3	1.12ns	17.77*	DoseP*Epoca	3	11.39ns	20.43ns	0.52ns
DoseP*Mat*Ep.	12	0.86ns	5.13ns	DoseP*Mat*Ep.	12	6.59ns	12.30ns	0.76ns
DoseP	1	36.34**	156.15**	Mat	4	25.50ns	81.92*	0.27ns
Mat	4	32.01**	12.85ns	DoseP	1	60.81*	52.73ns	0.69ns
Planta(Mat)	10	0.56ns	4.64ns	DoseP*Mat	4	29.59ns	13.51ns	4.23ns
DoseP*Mat	4	6.03**	2.98ns	Erro	46	8.42	21.2	1.90
Erro	210	0.72	5.26					
CV		12.99	25.02	CV		10.84	10.94	10.54

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁴; ^b x 10²

Tabela 6. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 5 materiais de arroz utilizando-se 3 concentrações (doses) de alumínio no solo.

Altura de planta			Prof. de raiz	MS parte aérea			MS raiz	MS aé/rz
FV	GL	QM	QM	FV	GL	QM ^a	QM ^b	QM
Epoca	3	60.44**	74.67**	Epoca	3	276.98**	4.67ns	-
Mat*Epoca	12	3.28**	10.73*	Mat*Epoca	12	14.25ns	2.06ns	-
DoseAl*Epoca	6	12.82**	5.40ns	DoseAl*Epoca	6	12.26ns	1.47ns	-
DoseAl*Mat*Ep.	23	0.86ns	5.69ns	DoseAl*Mat*Ep.	23	13.27ns	2.33ns	-
DoseAl	2	255.49**	173.17**	Mat	4	24.48ns	0.33ns	-
Mat	4	38.70**	19.69*	DoseAl	2	323.20**	2.49ns	-
Planta(Mat)	10	1.09ns	3.48ns	DoseAl*Mat	8	6.52ns	1.03ns	-
DoseAl*Mat	8	3.99**	8.65ns	Erro	31	16.5	2.21	-
Erro	187	0.78	5.43					-
CV		12.63	25.70	CV		14.77	31.65	-

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁴; ^b x 10²

Tabela 7. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 12 materiais de milho utilizando-se 2 concentrações (doses) de P e 3 concentrações de alumínio no solo.

Milho Dose P				Milho Dose Al					
Teor P parte aérea			Teor P raiz	Teor Zn parte aérea			Teor Zn raiz	Teor P parte aérea	Teor P raiz
FV	GL	QM ^a	QM ^a	FV	GL	QM	QM	QM ^a	QM ^a
Mat	11	7.65**	0.14ns	Mat	11	118.63ns	2879.24**	7.32*	0.47ns
DoseP	1	0.56ns	2.19**	DoseAl	2	4954.15**	35406.36**	4.35ns	5.34**
Mat*DoseP	11	4.35*	0.26ns	Mat*DoseAl	22	70.53ns	918.10ns	0.67ns	0.16ns
Erro	46	1.80	0.18	Erro	35	94.57	548.83	3.10	0.25
CV		17.43	13.00	CV		21.46	32.74	25.86	14.25

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁷

Tabela 8. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 5 materiais de sorgo utilizando-se 2 concentrações (doses) de P e 3 concentrações de alumínio no solo.

Sorgo Dose P				Sorgo Dose Al					
Teor P parte aérea			Teor P raiz	Teor Zn parte aérea			Teor Zn raiz	Teor P parte aérea	Teor P raiz
FV	GL	QM ^a	QM ^a	FV	GL	QM	QM	QM ^a	QM ^a
Mat	4	1.72ns	0.09ns	Mat	4	1229.97*	3074.58ns	2.20ns	0.73ns
DoseP	1	90.75**	9.72**	DoseAl	2	14715.82**	27138.19**	88.70**	10.29*
Mat*DoseP	4	4.51ns	0.19ns	Mat*DoseAl	8	762.50ns	6756.91ns	9.60ns	2.76ns
Erro	18	2.00	0.43	Erro	14	298.38	4139.80	4.80	2.17
CV		15.53	17.54	CV		24.43	39.69	19.76	29.52

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁷

Tabela 9. Resumo das análises de variâncias dos caracteres avaliados em 4 materiais de arroz utilizando-se 2 concentrações (doses) de P e 3 concentrações de alumínio no solo.

Arroz Dose P				Arroz Dose Al					
Teor P parte aérea			Teor P raiz	Teor Zn parte aérea			Teor Zn raiz	Teor P parte aérea	Teor P raiz
FV	GL	QM ^a	QM ^a	FV	GL	QM	QM	QM ^a	QM ^a
Mat	3	1.12ns	0.21ns	Mat	3	710.03ns	1850.21ns	0.83ns	22.30ns
DoseP	1	21.33**	2.80**	DoseAl	2	133511.33**	56880.35**	6.33ns	27.90ns
Mat*DoseP	3	1.18ns	0.09ns	Mat*DoseAl	6	2163.32ns	2799.33ns	0.68ns	27.50ns
Erro	18	1.16	0.23	Erro	11	3228.70	1192.09	1.80	25.40
CV		19.76	12.15	CV		31.93	22.81	25.48	117.24

** , * Significativo a 1% e a 5% pelo teste F, respectivamente; ns não significativo; ^a x 10⁷