

Caracterização Fenotípica de Milho em *Screening Precoce* para Alumínio e Fósforo

Frederico O. M. Durães¹, Elto E. G. e Gama¹, Paulo C. Magalhães¹, Antônio C. de Oliveira¹, Dyeme A. V. Bento², Fernando R. de O. Cantão³, Ana Paula M. Figueiredo⁴

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

Genótipos de milho para estresse abióticos “per se” de tolerância a seca estão sendo avaliados para outros estresses, utilizando-se metodologias específicas e 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 (Zelená & Fuksová, 1991). Neste trabalho foram enfocadas as avaliações de parte aérea e de sistema radicular de plântulas de milho buscando-se identificar marcador fenotípico de base morfológica para caracterização e distinção de genótipos, visando tolerância a seca.

Material e Métodos

Foram conduzidos experimentos com 12 genótipos de milho, 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, M2 = PE02, 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), com *background* genético e

origem distintas, oriundos do Programa de Melhoramento de Milho e de Sorgo visando tolerância a seca, da Embrapa Milho e Sorgo.

Condução experimental: Após preparo e análises físico-químicas do solo, os tratamentos [12 genótipos de milho, 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.

A determinação do IVG (índice de velocidade de germinação de sementes, ou emergência de plântulas), por tratamento foi calculado conforme descrito em Maguire (1962). As plântulas foram cultivadas nestas condições ambientais até 35 DAP (Dias Após Plantio). Mensurações de parte aérea e de raízes foram realizadas periodicamente, de 7 em 7 dias, determinando-se: altura da planta (cm), área foliar (cm²), profundidade do sistema radicular (cm), e matéria seca (g) de parte aérea e de raiz.

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.

Resultados e Discussão

Resultados das análises do aparato experimental e de variáveis respostas de solo e planta (parte aérea e de raiz), mostram o potencial da técnica de *screening* precoce, visando caracterização de genótipos de milho 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 ($P < 0,01$) para a característica saturação de Al (m), com $R^2 = 0,96$; CV = 17,6%, cujas médias foram de Alto Al = 60%, Médio Al = 21%, Baixo Al = 13%; 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 de milho: 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) em milho crescidos em solos com duas concentrações de fósforo (P) e também com três teores de saturação de alumínio (Al) foram realizadas com boa precisão experimental (baixos Coeficientes de Variação, exceto para MS R/A, igual a 40,89).

Nos experimentos realizados com **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. Os valores e teste de Tukey para as médias (**Tabela 1**), médias gerais nos 12 genótipos (**Tabela 2**) e médias gerais das 03 épocas de avaliação (**Tabela 3**) dos caracteres avaliados em milho, utilizando-se duas (2) concentrações de P no solo são apresentados para discussão.

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. 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. Os valores e teste de Tukey para as médias (**Tabela 4**), médias gerais nos 12 genótipos (**Tabela 5**) e médias gerais das 03 épocas de avaliação (**Tabela 6**) dos caracteres avaliados em milho, utilizando-se três (3) níveis de saturação de Al no solo são apresentados para discussão.

Conclusões

O aparato experimental em canteiros (*growout*) com níveis diferenciais de fósforo e de saturação de alumínio é adequado para *screening* precoce e útil para melhoramento visando tolerância a seca.

Os parâmetros fenotípicos acúmulo diferencial de matéria seca e relação raiz/parte aérea apresentam potente valor informativo para agrupamento de genótipos de milho, e associados com índice de velocidade de emergência contribuem para caracterização precoce de materiais para estresses abióticos *per se* ou múltiplos.

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.
- Zelená, E.; Fuksová, K. The effect of indole-3-acetylaspartic acid on adventitious root formation on bean cuttings. **Plant Growth Regulation**, Dordresh, v.10, p.73-78, 1991.
- Matsumoto, H.; Hirasawa, F.; Torikai, H., et a. 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 Phytology**. Mineapolis, v.102, p. 975-982, 1993.

Tabela 1. Valores e teste de Tukey para as médias dos caracteres avaliados na cultura do milho utilizando-se 2 concentrações de fósforo no solo.

Altura de planta ¹		Prof. de raiz ¹		MS parte aérea ²		MS raiz ²		MS aé/rz ³	
AltoP	A 10.89	AltoP	A 17.62	AltoP	A 0.13	BaixoP	A 0.24	BaixoP	A 1.49
BaixoP	B 9.67	BaixoP	A 17.38	BaixoP	A 0.12	AltoP	B 0.22	AltoP	A 1.37

¹ cm; ² proporção peso seco/peso verde; ³ transf. arcsen(x^{-0.5})

Tabela 2. Valores e teste de Tukey para as médias gerais dos caracteres avaliados nos 12 materiais de milho utilizando-se 2 concentrações de fósforo no solo.

Altura de planta ¹			Prof. de raiz ¹			MS parte aérea ²			MS raiz ²			MS aé/rz ³		
A	BR105	14.620	A	BR106	20.065	A	L1170	0.135	A	Jaíba	0.255	A	BR105	1.916
B	BRS1010	11.796	B A	PE02	19.565	A	L6	0.135	A	PE01	0.250	A	BRS1010	1.473
B	SinTS	11.380	B A	L1170	18.861	A	L31	0.132	A	BR106	0.238	A	Jaíba	1.463
B	L2	11.287	B A	L6	18.426	A	PE02	0.131	B A	BR105	0.238	A	PE01	1.453
C B	BR106	11.067	B A	L13	18.417	A	L2	0.127	B A	L2	0.232	A	BR106	1.446
C D	Jaíba	10.361	B A	SinTS	17.565	A	PE01	0.126	B A	SinTS	0.231	A	SinTS	1.437
E D	L1170	9.982	B A	BRS1010	17.111	B A C	Jaíba	0.125	B A	BRS1010	0.231	A	L2	1.375
E F	PE01	9.167	B A	BR105	16.852	B A C	BR106	0.122	B A	L31	0.231	A	PE02	1.351
G F	L6	8.759	B	Jaíba	16.796	B A C	L13	0.121	B A	PE02	0.230	A	L31	1.349
G F	L31	8.444	B C	L31	16.574	B A C	SinTS	0.120	B A	L6	0.226	A	L6	1.322
G F	L13	8.398	B C	PE01	16.380	C	BRS1010	0.112	B A	L1170	0.217	A	L1170	1.295
G F	PE02	8.111	C	L2	13.361	C	BR105	0.111	B	L13	0.196	A	L13	1.294

¹ cm; ² proporção peso seco/peso verde; ³ transf. arcsen(x^{-0.5})

Tabela 3. Valores e teste de Tukey para as médias gerais das 3 épocas de avaliação dos materiais de milho utilizando-se 2 concentrações de fósforo no solo.

Altura de planta ¹			Prof. de raiz ¹			MS parte aérea ²			MS raiz ²			MS aé/rz ³		
A	12.750	3	A	21.880	3	A	0.136	3	A	0.239	3	A	1.534	1
B	9.882	2	B	17.905	1	B	0.124	2	B A	0.234	2	A	1.400	2
C	8.211	1	C	12.708	2	C	0.114	1	B	0.221	1	A	1.358	3

¹ cm; ² proporção peso seco/peso verde; ³ transf. arcsen(x^{-0.5})

Tabela 4. Valores e teste de Tukey para as médias dos caracteres avaliados na cultura do milho utilizando-se 3 concentrações de alumínio no solo.

Altura de planta ¹		Prof. de raiz ¹		MS parte aérea ²		MS raiz ²		MS aérr/z ³	
MédioAl	A 11.35	BaixoAl	A 17.94	AltoAl	A 0.14	MédioAl	A 0.24	MédioAl	A 1.36
BaixoAl	A 11.16	MédioAl	AB 16.84	MédioAl	A 0.15	AltoAl	A 0.24	BaixoAl	A 1.36
AltoAl	B 9.20	AltoAl	B 16.56	BaixoAl	A 0.13	BaixoAl	A 0.24	AltoAl	A 1.32

¹ cm; ² proporção peso seco/peso verde; ³ transf. arcsen(x^{-0.5})

Tabela 5. Valores e teste de Tukey para as médias gerais dos caracteres avaliados nos 12 materiais de milho utilizando-se 3 concentrações de alumínio no solo.

Altura de planta ¹			Prof. de raiz ¹			MS parte aérea ²			MS raiz ²			MS aérr/z ³		
A	BR105	15.287	A	L6	20.139	A	L31	0.157	A	BR105	0.261	A	BR105	1.475
B	BRS1010	13.000	BA	L1170	18.930	A	L6	0.149	A	BR106	0.257	BA	BRS1010	1.446
CB	BR106	11.500	BA	BR106	18.315	A	PE02	0.147	BA	SinTS	0.252	BA	BR106	1.434
CBD	L2	11.435	BAC	SinTS	18.111	A	L1170	0.144	BA	BRS1010	0.249	BA	SinTS	1.416
CBD	SinTS	11.426	BAC	L13	17.889	A	Jaíba	0.136	BA	PE01	0.243	BAC	PE01	1.374
CED	Jaíba	10.333	BAC	BR105	17.250	A	PE01	0.134	BA	Jaíba	0.237	BDC	Jaíba	1.346
CED	PE02	9.500	BAC	PE02	17.241	A	SinTS	0.133	BA	PE02	0.236	BDC	L2	1.331
ED	L1170	9.380	BC	BRS1010	16.537	A	L2	0.133	BAC	L31	0.233	DC	PE02	1.292
E	PE01	9.065	BC	L31	16.426	A	BR106	0.132	BC	L2	0.224	DC	L31	1.288
E	L31	8.796	BDC	PE01	16.194	A	L13	0.131	BC	L6	0.223	DC	L13	1.264
E	L6	8.722	DC	Jaíba	15.130	A	BR105	0.126	BC	L1170	0.222	DC	L1170	1.261
E	L13	8.417	D	L2	13.232	A	BRS1010	0.126	C	L13	0.202	D	L6	1.249

¹ cm; ² proporção peso seco/peso verde; ³ transf. arcsen(x^{-0.5})

Tabela 6. Valores e teste de Tukey para as médias gerais das 3 épocas de avaliação dos materiais de milho utilizando-se 3 concentrações de alumínio no solo.

Altura de planta ¹			Prof. de raiz ¹			MS parte aérea ²			MS raiz ²			MS aérr/z ³		
A	12.787	3	A	20.744	3	A	0.144	3	A	0.243	3	A	1.353	2
B	10.125	2	B	16.794	1	BA	0.137	2	A	0.241	2	A	1.347	3
C	8.803	1	C	13.810	2	B	0.130	1	B	0.226	1	A	1.343	1

¹ cm; ² proporção peso seco/peso verde; ³ transf. arcsen(x^{-0.5})