

# Metodologia de Análise do Sistema Radicular, em Solo, de Genótipos de Sorgo Seleccionados Previamente para Eficiência no Uso de Fósforo

Dos macronutrientes essenciais às plantas, o fósforo (P) é um dos elementos que está frequentemente em concentrações subótimas para as culturas na solução do solo. Isso é consequência de sua habilidade de formar compostos de alta energia de ligação com os colóides, conferindo-lhe alta estabilidade na fase sólida (NOVAIS; MELLO, 2007). Desta forma, mesmo que os teores totais do fósforo no solo sejam altos em relação aos necessários para as plantas, apenas uma pequena fração está disponível às plantas (LIU et al., 2006; PARENTONI; SOUZA JÚNIOR, 2008).

Devido às novas tendências socioeconômicas e ambientais, a busca por culturas mais eficientes na aquisição e uso de P, e outros nutrientes, apresenta razões básicas: os fertilizantes são os insumos com a maior participação no custo final da produção agrícola em escala comercial, sendo que seu uso é, na maioria das vezes, restringido para o pequeno produtor devido à falta de recursos (GOOD et al., 2004; MIRANDA et al., 2008; SOUZA et al., 2009); o uso de fertilizantes em altas doses pode causar grande impacto ambiental, como a contaminação dos mananciais hídricos, fato já verificado para Nitrogênio (N) e P em áreas de agricultura intensiva nos Estados Unidos (SHARPLEY et al., 2001); os fertilizantes são obtidos a partir de combustíveis fósseis (N) ou dependem de recursos minerais (P) que devem se esgotar em um período relativamente curto (PARENTONI; SOUZA JÚNIOR, 2008); e até 80 a 90% do P aplicado como fertilizante pode ser adsorvido pelas partículas do solo, tornando assim esta fração não disponível às plantas (LAMBERS et al., 2006).

Durante o processo natural de evolução, as plantas de sorgo desenvolveram mecanismos de adaptação para diversas condições ambientais, resultando em uma extensa variação genética para tolerância a diversos estresses (Tuinstra et al., 1997). As plantas, de maneira geral, apresentam vários mecanismos e processos que contribuem para a aquisição e o uso eficiente de P e outros nutrientes que se encontram pouco disponíveis no solo. Esses mecanismos e processos estão relacionados com a expressão de características morfológicas e fisiológicas desejáveis. Esses mecanismos de adaptação são encontrados diferentemente entre espécies e/ou cultivares, indicando existência de variabilidade genética para aquisição e utilização de nutrientes (Fageria, 1998). Genótipos eficientes na aquisição de nutrientes pouco móveis no solo, como o P, podem ter um aumento na capacidade de exploração do solo, por meio de modificações na morfologia do sistema radicular e podem converter as formas não utilizáveis para formas absorvíveis, por meio da exsudação de compostos orgânicos ou de associação com microorganismos (Rengel; Marschner, 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar características morfológicas radiculares relacionadas aos mecanismos de aquisição de fósforo em linhagens de sorgo.

Sete Lagoas, MG  
Dezembro, 2010

## Autores

**Maria José Vilaça de Vasconcelos**

Bioquímica, Ph.D. em Biologia Molecular, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, [mjose@cnpms.embrapa.br](mailto:mjose@cnpms.embrapa.br)

**Michel Castellani da Rocha**

Bioquímico, MSc. em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa

**Sylvia Morais de Sousa**

Bióloga, Ph.D. em Genética e Melhoramento, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, [smsousa@cnpms.embrapa.br](mailto:smsousa@cnpms.embrapa.br)

**Paulo Cesar Magalhães**

Engenheiro-Agrônomo, PhD em Fisiologia Vegetal, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, [pcesar@cnpms.embrapa.br](mailto:pcesar@cnpms.embrapa.br)

**Robert Eugen Schaffert**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, [schaffert@cnpms.embrapa.br](mailto:schaffert@cnpms.embrapa.br)

## Montagem dos experimentos

Para obtenção das plantas utilizadas no ajuste do sistema foram utilizadas nove linhagens de sorgo, que fazem parte do Programa de Melhoramento de Sorgo da Embrapa Milho e Sorgo, para eficiência no uso de fósforo, classificadas quanto à eficiência e à resposta de produtividade de grãos em baixa e alta disponibilidade de P no solo por Schaffert et al. (2001).

Os genótipos de sorgo utilizados neste trabalho foram avaliados em solo contendo 2 ppm e 15 ppm de P. Desta avaliação resultaram quatro grupos descritos a seguir: Eficiente e Responsivo; Ineficiente e Responsivo; Ineficiente Não responsivo e Eficiente e Não responsivo. A seguir, a descrição dos genótipos utilizados neste trabalho: ATF40B Eficiente e Responsivo; ATF06B Ineficiente e Não responsivo; SC283 Eficiente e Não responsivo; BR001B Ineficiente e Não responsivo; BR005R Eficiente e Intermediário; BR007B Ineficiente e Responsivo; BR008B Eficiente e Responsivo; ATF54B Eficiente e Responsivo; P9401 não selecionado para P. Estes genótipos foram analisados no campo em solos contendo.

As linhagens de sorgo foram avaliadas em experimento instalado em canteiros, um com solo com baixa disponibilidade de fósforo ( $5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e outro com alta dose ( $20 \text{ mg dm}^{-3}$ ), envolvidos por um telado de sombrite 50%. Cada canteiro possui 12,0 m de comprimento x 1,2 m de largura x 0,4 m de profundidade. O delineamento experimental usado foi em blocos casualizados, com três repetições onde foram coletadas as plantas aos 40 dias de cultivo após a emergência (DAE) para a caracterização morfológica. As características do sistema radicular foram avaliadas com o analisador de imagens *WinRhizo* v. 4.0, Regent Systems, Quebec (Canadá), acoplado a scanner profissional *Epson XL 10000* equipado com unidade de luz adicional (TPU), seguindo os procedimentos de análise sugerido por Bouma et al. (2000). Foram determinadas as seguintes características: comprimento total de raiz (CTR) (cm); área de superfície total (ATR) ( $\text{cm}^2$ ); diâmetro médio de raiz (DMR) (mm); volume total de raiz (VTR) ( $\text{cm}^3$ ); número de ramificações (NR); comprimento de raiz muito fina (CRMF) (cm); comprimento de raiz fina (CRF) (cm); comprimento de raiz grossa (CRG) (cm); área de superfície de

raiz muito fina (ARMF) ( $\text{cm}^2$ ); área de superfície de raiz fina (ARF) ( $\text{cm}^2$ ); área de superfície de raiz grossa (ARG) ( $\text{cm}^2$ ); comprimento específico (CE) ( $\text{cm g}^{-1}$ ); finura (Fineness) de raiz (FR) ( $\text{cm cm}^{-3}$ ); densidade de tecido de raiz (DeTR) ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Outras características das raízes foram analisadas segundo a classificação proposta por Bhom (1979), como: características de comprimento e área de superfície por classes de diâmetro (d) (muito finas  $d < 0,5$  mm; finas  $0,5 \text{ mm} < d < 2$  mm e grossas  $d > 2$  mm).

Diferenças significativas entre as doses, a baixa e a alta, de fósforo usadas foram verificadas para as características CTR, ATR, DMR, NR, CRMF, ARMF, MSR, MSR/MSPA, CE, FR e DeTR indicando que as doses de fósforo dos solos usadas foram adequadas para diferenciar as médias dos genótipos (Tabela 1). E para as características DMR, CRG, ARG, ARF, MSPA, MSR, MST e FR os genótipos apresentaram diferenças significativas independentemente da disponibilidade de fósforo, indicando a existência de variabilidade fenotípica para estas características (Tabela 1).

Os estudos mostraram que as médias das características CTR, ATR, CRMF, ARMF, NR, CE, FR para os genótipos cultivados em baixa disponibilidade de fósforo foram menores que as médias do alto fósforo (Tabela 2). Segundo Desnos (2008), o crescimento de raiz primária e raízes laterais é restringido quando elas encontram um meio com baixa disponibilidade de Pi. Essa inibição no crescimento é resultante da reduzida alongação das células (WILLIAMSON et al., 2001; REYMOND et al., 2006) e da atividade meristemática (SANCHEZ-CALDERON et al., 2005; JAIN et al., 2007), sendo este efeito irreversível quando a deficiência de fósforo é mantida por muitos dias (SANCHEZ-CALDERON et al., 2005; JAIN et al., 2007). Assim, como estas características estão relacionadas com o alongamento da raiz, a inibição de seu crescimento reduz os valores de todas estas características em relação à alta disponibilidade de fósforo. E para as características DMR, MSR, MSR/MSPA e DeTR, as médias em baixa disponibilidade de fósforo foram maiores que as médias em alta doses (Tabela 2). O aumento na partição de carboidratos em direção à raiz e a inibição do crescimento da parte aérea podem resultar em um aumento na MSR e na razão raiz/parte aérea

**Tabela 1.** Análise de variância de dezoito características de morfologia de raiz envolvendo nove genótipos de sorgo em alta e baixa disponibilidade de fósforo. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

Característica 1	Médias	CV (%)	Fósforo	Quadrados Médios e GL		
				Genótipos	Gen x Fos	Resíduo
			1	8	8	34
CTR	5639	23,42	12798940**	2665753 <sup>ns</sup>	1380378 <sup>ns</sup>	1744099
ATR	619	22,47	86012,*	28732 <sup>ns</sup>	15764 <sup>ns</sup>	19374
VTR	5,45	23,39	2,70 <sup>ns</sup>	2,870 <sup>ns</sup>	1,486 <sup>ns</sup>	1,627
DMR	0,352	6,77	0,0028*	0,0017**	0,0009 <sup>ns</sup>	0,0005
NR	38907	33,72	16209003*	92525552 <sup>ns</sup>	11678878 <sup>ns</sup>	2618017
CRMFF	4702	24,47	10588773**	1991919 <sup>ns</sup>	990208 <sup>ns</sup>	1323819
CRF	880	20,39	102019 <sup>ns</sup>	59215 <sup>ns</sup>	48840,08 <sup>ns</sup>	32227
CRG	40,38	47,26	73,11 <sup>ns</sup>	966,37*	143,42 <sup>ns</sup>	364,39
ARMF	246,00	26,64	5078,63**	28819 <sup>ns</sup>	3002,05 <sup>ns</sup>	4295
ARF	243	19,44	6471,84 <sup>ns</sup>	5227*	3763,80 <sup>ns</sup>	2231
ARG	40,43	48,58	67,09 <sup>ns</sup>	1005*	135,09 <sup>ns</sup>	385,76
MSPA	5,53	30,43	0,3520 <sup>ns</sup>	8,81**	1,3711 <sup>ns</sup>	2,8330
MSR	0,813	23,88	0,2453**	0,11**	0,0222 <sup>ns</sup>	0,0377
MST	6,34	28,85	0,0096 <sup>ns</sup>	10,54**	1,5667 <sup>ns</sup>	3,3524
MSR/MSPA	0,158	21,87	0,0133**	0,002 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	0,0012
CE	7273	25,58	76315776**	6849731 <sup>ns</sup>	1468703 <sup>ns</sup>	3460444
FR	1045	12,82	77843*	53911**	30346 <sup>ns</sup>	17975
DeTR	0,15	14,13	0,0174**	0,0005 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0004

\*\*, \* = Significativo ao nível de 1 e 5 %, respectivamente, pelo teste F; ns = Não significativo e <sup>1</sup> Comprimento total de raiz (CTR) (cm); Área de superfície total de raiz (ATR) (cm<sup>2</sup>); Diâmetro médio de raiz (DMR) (mm); Volume total de raiz (VTR) (cm<sup>3</sup>); Número de ramificações (NR); Comprimento de raiz muito fina (CRMFF) (cm); Comprimento de raiz fina (CRF) (cm); Comprimento de raiz grossa (CRG) (cm); Área de superfície de raiz muito fina (ARMF) (cm<sup>2</sup>); Área de superfície de raiz fina (ARF) (cm<sup>2</sup>); Área de superfície de raiz grossa (ARG) (cm<sup>2</sup>); Massa seca de parte aérea (MSPA) (g 3plantas<sup>-1</sup>); Massa seca de raiz (MSR) (g 3plantas<sup>-1</sup>); Massa seca total (MST) (g 3plantas<sup>-1</sup>); relação raiz/parte aérea (MSR/MSPA); Comprimento específico (CE) (cm g<sup>-1</sup>); Finura de raiz (FR) (cm cm<sup>-3</sup>); Densidade de tecido de raiz (DeTR) (g cm<sup>-3</sup>).

em plantas deficientes de fósforo (KHAMIS et al., 1990). A DeTR (MSR/VTR) varia de forma direta com a MSR, portanto, o aumento da massa seca de raiz pode ser acompanhado de um aumento na DeTR. O DMR não apresenta uma resposta universal quanto a sua diminuição ou aumento em baixa disponibilidade de fósforo (SCHROEDER; JANOS, 2005; LAMBERS et al., 2006). Gahoonia e Nielsen (2004) relatam que, possivelmente devido à dificuldade de avaliação, há poucos trabalhos que apresentam medidas de DMR.

As linhagens de sorgo apresentaram diferenças significativas para as características DMR, CRG, ARG, MSPA, MSR, MST e FR apenas no canteiro contendo alta doses de fósforo podendo ser um indicativo de variabilidade para a realização de seleção de plantas com base nestas características apenas no ambiente de alto fósforo. As

raízes grossas (> 2mm diâmetro) estão ligadas ao suporte e à ancoragem da planta e absorvem pequenas quantidades de água e nutrientes (WILCOX et al., 2004). O DMR é uma característica relacionada à aquisição de nutrientes (GAHOONIA; NIELSEN, 2004), entretanto, é menos importante na absorção de fósforo que o comprimento total de raiz (SCHROEDER; JANOS, 2005). O fato de as linhagens de sorgo não apresentarem diferenças significativas no ambiente de alta disponibilidade de fósforo, para as características da morfologia radicular que são relatadas como relevantes na aquisição de fósforo, indica a possibilidade de que outros mecanismos de aquisição estão relacionados com a resposta das linhagens a esse ambiente. Verifica-se que existem diferenças significativas para as características CTR, ATR, NR, CRMFF, CRF, ARMF e ARF entre as linhagens quando cultivadas em baixa disponibilidade de fósforo.

**Tabela 2.** Médias das características CTR, ATR, CRMF, ARMF, DMR, NR, MSR, MSR/MSPA, CE, FR e DeTR. Análise das médias entre os ambientes de alta e baixa disponibilidade de fósforo pelo Teste de F ( $p < 0,05$ ).

Características	Disponibilidade de P	
	Baixa	Alta
CTR	5152,21 b	6125,90 a
ATR	579,56 b	659,38 a
CRMF	4259,36 b	5144,99 a
ARMF	222,91 b	269,11 a
DMR	0,360 a	0,345 b
NR	34767,99 b	43046,72 a
MSR	0,881 a	0,746 b
MSR/MSPA	0,174 a	0,143 b
CE	6084,61 b	8462,22 a
FR	1007,58 b	1083,52 a
DeTR	0,169 a	0,133 b

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem significativamente pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Comprimento total de raiz (CTR) (cm); Área de superfície total de raiz (ATR) ( $\text{cm}^2$ ); Diâmetro médio de raiz (DMR) (mm); Número de ramificações (NR); Comprimento de raiz muito fina (CRMF) (cm); Área de superfície de raiz muito fina (ARMF) ( $\text{cm}^2$ ); Massa seca de raiz (MSR) ( $\text{g } 3\text{plantas}^{-1}$ ); Massa seca raiz/parte aérea (MSR/MSPA); Comprimento específico (CE) ( $\text{cm g}^{-1}$ ); Finura de raiz (FR) ( $\text{cm cm}^{-3}$ ); Densidade de tecido de raiz (DeTR) ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

Estes resultados indicam a existência de variabilidade em sorgo para estas características do sistema radicular quando cultivado em ambientes com baixa disponibilidade de fósforo e que a expressão destas características resulta na plasticidade morfológica que as raízes apresentam para aumentar a captação de nutrientes (Tabela 2). Assim, estas características podem ser mais bem exploradas em programas de melhoramento genético que buscam selecionar e entender os mecanismos de adaptação de sorgo em estresse de fósforo. A seleção de plantas com base nestas características deve ser realizada em ambientes com baixa disponibilidade de fósforo. Estes resultados sugerem também que o comprimento e a área de superfície das raízes apresentaram-se mais importantes na adaptação das plantas em baixa disponibilidade de fósforo que o volume e o diâmetro médio das raízes, que não foram significativamente diferentes entre as linhagens (Tabela 2). Quando as plantas se desenvolvem em ambiente desfavorável quanto ao suprimento de nutrientes, as raízes podem reagir a esta adversidade apresentando alta plasticidade fenotípica.

Isso pode ser verificado pela ausência de diferença significativa entre as linhagens para DMR, CRG, ARG, MSPA, MSR, MST e FR quando as plantas foram crescidas em baixa disponibilidade de fósforo, mostrando que as linhagens tiveram um efeito de tratamento modificando a expressão fenotípica destas características e tornando-as estatisticamente semelhantes.

A característica que separou as linhagens eficientes das ineficientes foi a densidade de tecido de raiz – DeTR, pois as linhagens eficientes apresentaram os valores médios menores que as linhagens ineficientes, indicando que as plantas com superior adaptação tendem a desenvolver raízes com uma menor densidade dos seus tecidos, reduzindo, assim, o gasto metabólico com a taxa respiratória das raízes. Esta característica está relacionada com características anatômicas das raízes, como a formação de aerênquima, e com a taxa de crescimento radicular (LYNCH; HO, 2005) e pode estar relacionada com a eficiência das linhagens de sorgo cultivadas em baixa disponibilidade de fósforo.

## Conclusões

### A metodologia em estudo nos permitiu concluir que:

- Existe variabilidade fenotípica entre linhagens de sorgo em baixa dose de fósforo;
- As características comprimento específico e densidade de tecido de raiz podem estar relacionadas com a eficiência das linhagens de sorgo em baixo fósforo.

## Referências

- Bhom, W. **Methods of studying root systems**. New York: Springer-Verlag, 1979. 189 p.
- Bouma, T. J.; Nielson, K. L.; Koutstaal, B. A. S. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 218, p. 185-196, 2000.
- DESNOS, T. Root branching responses to phosphate and nitrate. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 11, p. 82-87, 2008.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.
- Gahoonia, T. S.; Nielsen, N. E. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. **Plant and Soil**, The Hague, v. 260, p. 47-57, 2004.
- GOOD, A. G.; SHRAWAT, A. K.; MUENCH, D. G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 9, p. 597-605, 2004.
- Jain, A.; Poling, M. D.; Karthikeyan, A. S.; Blakeslee, J. J.; Peer, W. A.; Titapiwatanakun, B.; Murphy, A. S.; Raghothama, K. G. Differential effects of sucrose and auxin on localized phosphate deficiency-induced modulation of different traits of root system architecture in Arabidopsis. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 144, p. 232-247, 2007.
- Khamis, S.; Chaillou, S.; Lamaze, T. CO<sub>2</sub> assimilation and partitioning of carbon in maize plants deprived of orthophosphate. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 41, p. 1619-1625, 1990.
- Lambers, H.; Shane, M. W.; Cramer, M. D.; Pearse, S. J.; Veneklaas, E. J. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. **Annals of Botany**, London, v. 98, p. 693-713, 2006.
- LIU, G.; DUNLOP, J.; PHUNG, T.; LI, Y. Comparisons of two quick methods for evaluating phosphorus efficiency genotypes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT CONTINUUM, 3., 2006. Uberlândia. **Proceedings...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. p. 100-101.
- Lynch, J. P.; HO, M. D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, The Hague, v. 269, n. 1/2, p. 45-56, 2005.
- MIRANDA, G. V.; SOUZA, L.V.; GALVÃO, J. C. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; MELO, A. V.; SANTOS, I. C. Genetic variability and heterotic groups of Brazilian popcorn populations. **Euphytica**, Wageningen, v. 162, p. 431-440, 2008.
- NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. de; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 133-204.
- Parentoni, S. N.; Souza Júnior, C. I. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 893-901, 2008.
- Raghothama, K. G.; Karthikeyan, A. S. Phosphate acquisition. **Plant and Soil**, The Hague, v. 274, p. 37-49, 2005.
- Rengel, Z.; Marschner, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. **New Phytologist**, Oxford, v. 168, p. 305-312, 2005.
- Reymond, M.; Svistoonoff, S.; Loudet, O.; Nussbaum, L.; Desnos, T. Identification of QTL controlling root growth response to phosphate starvation in Arabidopsis thaliana. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 29, p. 115-125, 2006.

Sanchez-Calderon, L.; Lopez-Bucio, J.; Chacon-Lopez, A.; Cruz-Ramirez, A.; Nieto-Jacobo, F.; Dubrovsky, J. G.; Herrera-Estrella, L. Phosphate starvation induces a determinate developmental program in the roots of *Arabidopsis thaliana*. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v. 46, p. 174-184, 2005.

Schaffert, R. E.; Alves, V. M. C.; Pitta, G. V. E.; Bahia Filho, A. F. C.; Santos, F. G. Genetic variability in sorghum for P efficiency and responsiveness. In: HORST, W. J.; SCHENK, M. K.; BURKERT, A.; CLAASSEN, N.; FLESSA, H.; FROMMER, W. B.; GOLDBACH, H.; OLFS, H.-W.; ROMHELD, V.; SATTELMACHER, B.; SCHMIDHALTER, U.; SCHUBERT, S.; WIREN, N. V.; WITTENMAYER, L. **Plant nutrition: food security and sustainability of agroecosystems through basic and applied research**. Dordrecht: Kluwer, 2001. p. 72-73.

Schroeder, M. S.; Janos, D. P. Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization, and intraspecific density. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 15, p. 203-216, 2005.

Sharpley, A. N.; McDowell, R. W.; Kleimman, P. J. A. Phosphorus loss from land to water: integrating agriculture and environmental management. **Plant and Soil**, The Hague, v. 237, p. 287-307, 2001.

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

SOUZA, A. R. R.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, L. V. Predicting the genetic gain in the Brazilian white maize landrace. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 19-24, 2009.

TUINSTRAM. R.; GROTE, E. M.; GOLDSBROUGH, P. B.; EJETA, G. Genetic analysis of post-flowering drought tolerance and components of grain development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 3, n. 6, p. 439-448, 1997.

Wilcox, C. S.; Ferguson, J. W.; Fernandez, G. C. J.; Nowak, R. S. Fine root growth dynamics of four Mojave Desert shrubs as related to soil moisture and microsite. **Journal of Arid Environments**, London, v. 56, p. 129-148, 2004.

Williamson, L. C.; Ribrioux, S. P.; Fitter, A. H.; Leyser, H. M. Phosphate availability regulates root system architecture in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 126, p. 875-882, 2001.

#### Circular Técnica, 158

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Milho e Sorgo**  
**Endereço:** Rod. MG 424 km 45 Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG  
**Fone:** (31) 3027 1100  
**Fax:** (31) 3027 1188  
**E-mail:** sac@cnpms.embrapa.br  
1ª edição  
1ª impressão (2010): on line

**Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**



#### Comitê de publicações

**Presidente:** Antônio Carlos de Oliveira  
**Secretário-Executivo:** Elana Charlotte Landau  
**Membros:** Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes, Paulo afonso Viana, João Hebert Moreira Viana, Guilherme Ferreira Viana e Rosângela Lacerda de Castro

#### Expediente

**Supervisão editorial:** Adriana Noce  
**Revisão de texto:** Antonio Cláudio da Silva Barros  
**Normalização Bibliográfica:** Rosângela Lacerda de Castro  
**Tratamento das ilustrações:** Alexandre Esteves  
**Editoração eletrônica:** Alexandre Esteves