

Sete Lagoas, MG
Novembro, 2011

Autores

Jurandir Vieira Magalhães
Eng.-Agro., Ph. D.
Pesquisador da Embrapa
Milho e Sorgo, Rod. MG
424 km 65. 35701-970 Sete
Lagoas, MG.
jurandir@cnpmis.embrapa.br

A Influência de Características Fenológicas na Avaliação da Tolerância à Seca em Sorgo

Tolerância à Seca em Sorgo

O estresse causado pela seca é uma das principais causas de perdas de produtividade agrícola no mundo. Assim sendo, o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas ao estresse de seca é de importância primordial para a segurança alimentar mundial. Em sorgo, o estresse de seca pode ocorrer nos períodos vegetativos iniciais, durante o desenvolvimento das panículas e em pós-florescimento, no período entre o preenchimento dos grãos e a maturidade fisiológica (ROSENOW; CLARK, 1995; ROSENOW et al., 1997). No entanto, a fase mais crítica do estresse de seca é no pós-florescimento, podendo resultar em impactos negativos na produção da cultura. O sorgo é considerado um dos cereais com maior tolerância à seca, o que se deve em parte a mecanismos como o *stay green*, que é caracterizado pela manutenção de caules e folhas verdes sob estresse de seca após o florescimento (SUBUDHI et al., 2000). Em sorgo, vários QTLs que controlam *stay green* foram identificados e esses QTLs conferem efeitos positivos na produção de grãos sob seca (HARRIS et al., 2007).

A altura de planta em sorgo é controlada por quatro genes braquíticos independentes, *Dw1* – *Dw4*, com fenótipo de planta alta, sendo parcialmente dominante sobre o de plantas baixas (QUINBY, 1974). Plantas altas 0-anão podem chegar a 4 metros de altura enquanto tipos 4-anão podem ter somente um metro. Outro loco, denominado *Sb-HT9.1*, foi detectado mais recentemente e age de forma epistática a *Dw3* (BROWN et al., 2008). Já o tempo de florescimento em sorgo é governado por quatro genes de maturidade, *Ma1* – *Ma4*, sendo que dois outros genes, *Ma5* e *Ma6*, foram descritos mais recentemente (revisado por MURPHY et al., 2011). Um impacto significativo no tempo de florescimento foi atribuído ao gene *Ma1*.

De acordo com Pinto et al. (2010), estudos sobre adaptação ao estresse de seca têm sido significativamente influenciados por escape, situação na qual os estágios mais sensíveis da cultura não coincidem com a ocorrência de maior intensidade de estresse. No mapeamento de locos de características quantitativas (*Quantitative Trait Loci*, QTL), essa situação pode resultar na identificação de QTLs para produção e *stay green* que são relacionados a variações na fenologia da cultura, não tendo relação direta com mecanismos de tolerância à seca. Uma medida desejável para se evitar essa situação é a divisão dos materiais em grupos homogêneos de florescimento, com imposição diferencial do estresse de seca. Entretanto, como o número de grupos a serem adotados é limitado por aspectos operacionais, a variação residual em florescimento dentro de cada grupo pode ainda provocar um efeito de confundimento em estudos de mapeamento de QTLs para a tolerância à seca.

Estudos estão sendo desenvolvidos na Embrapa Milho e Sorgo com o objetivo de identificar regiões genômicas associadas com a tolerância à seca

em uma população de linhagens recombinantes endogâmicas (Recombinant Inbred Lines, RILs) derivadas do cruzamento entre as linhagens BR007 e SC283. Esses estudos envolvem o mapeamento de QTLs utilizando-se modelos mistos, de maneira que seja possível estudar a interação entre os QTLs para a produção de grãos e o ambiente. Entretanto, variações em características fenológicas, como altura de planta e florescimento, estão comumente presentes em populações de mapeamento, mesmo que as linhagens parentais não difiram dramaticamente para essas características. Isso é consequência da natureza poligênica dessas características, resultando em segregação transgressiva nas populações de mapeamento. O objetivo desse trabalho foi o de estudar a relação entre os fenótipos produção de grãos e *stay green* e as características altura de planta e tempo de florescimento em uma população de linhagens recombinantes endogâmicas de sorgo derivadas de parentais que apresentam tempo de florescimento semelhantes. Os resultados são úteis para se avaliar a necessidade de adoção de medidas específicas para evitar o efeito de confundimento causado por variações em florescimento em estudos de mapeamento de QTLs para a tolerância à seca em sorgo.

Metodologia

Uma população de 90 RILs derivada do cruzamento entre as linhagens BR007 e SC283 foi fenotipada para a tolerância à seca em Janaúba (MG), localizada a 15° 45' 20" de latitude sul e 43° 16' 55" de longitude oeste e 535.370 m de altitude. Foram instalados experimentos em condições-controle e sob estresse de seca em pós-florescimento, no início do mês de junho, nos anos de 2006 e 2007. A irrigação foi aplicada duas vezes por semana, em sistema de aspersão com 12 m x 12 m (espaçamento entre aspersores) e 17 mm h⁻¹ de água. As condições-controle foram obtidas pela aplicação de água para repor completamente a água perdida com base na taxa de evapotranspiração, pela equação modificada de

Penman-Monteith. O estresse hídrico foi obtido com base na curva de retenção de água do solo pela interrupção da irrigação 12 dias antes do florescimento, de maneira que a água do solo fosse reduzida para uma condição de estresse hídrico após o florescimento. Cada parcela consistiu de duas fileiras de 5 m, com 0,5 m entre fileiras e 12 plantas por metro. Os experimentos consistiram de blocos completos casualizados com 3 repetições em 2006 e alfa-lattice com 3 repetições e 10 blocos incompletos em 2007. Foram avaliados produção de grãos (ton ha⁻¹), *stay green* (% de folhas verdes estimada visualmente), altura de planta (média da distância entre a superfície do solo e a ponta da panícula) e florescimento (número de dias contados da emergência até 50% de florescimento (i.e., período no qual pelo menos 50% das plantas dentro de cada parcela apresentavam 50% de flores abertas).

Resultados

A Tabela 1 mostra que os parentais SC283 e BR007 diferiram para produção de grãos. Apesar da ausência de diferença significativa para *stay green*, SC283 tem mostrado uma tendência consistente de superioridade para *stay green* em comparação com BR007 em outros experimentos conduzidos em anos diferentes (dados não publicados). O potencial produtivo da linhagem BR007 foi maior do que SC283 tanto em condições controle quanto sob estresse hídrico. A linhagem BR007 foi, claramente, mais responsiva à melhoria do ambiente em comparação à linhagem SC283. O estresse hídrico reduziu a produção da linhagem BR007 em 50% enquanto a produção de grãos em SC283 permaneceu 83% daquela sob condições controle. Portanto, a linhagem SC283 mostrou maior estabilidade de produção quando comparadas as situações controle e sob estresse hídrico.

Tabela 1. Médias de produção de grãos e *stay green* nas linhagens parentais BR007 e SC283, em condições controle (C) e sob estresse hídrico (E), no ano de 2007. *Stay green* foi avaliado somente sob condições de estresse.

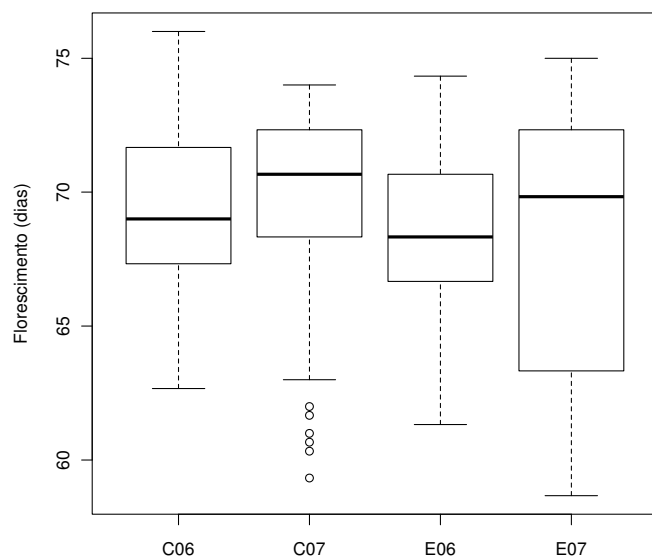
	Produção (ton ha ⁻¹)	Stay green (%)
BR007 (C)	9,33 ± 1.01	-
BR007 (E)	4,85 ± 0.64	32 ± 2,89
SC283 (C)	4,07 ± 0.33	
SC283 (E)	3,39 ± 0.59	35 ± 10,00

As médias de produção de grãos de BR007 diferem significativamente das médias de SC283 pelo teste t ($P < 0.05$), tanto em condições controle quanto sob estresse hídrico. As médias de *stay green* não diferem significativamente pelo mesmo teste.

Em geral, as médias dos parentais foram semelhantes tanto para florescimento quanto para altura de planta (Tabela 2). Isso é esperado uma vez que os parentais da população são do tipo 3-anão, com épocas de florescimento muito semelhantes.

Tabela 2. Médias de florescimento e altura de planta das linhagens parentais BR007 e SC283, bem como das 90 RILs derivadas do cruzamento BR007 x SC283, em condições controle (C) e sob estresse hídrico (E),

	Florescimento (dias)	Altura de Planta (cm)
BR007 (C)	69,0 ± 0,00	139,7 ± 5,03
SC283 (C)	68,3 ± 6,03	134,7 ± 15,50
RILs (C)	70,1 ± 4,82	139,9 ± 20,98
BR007 (E)	66,7 ± 8,96	128,3 ± 17,09
SC283 (E)	70,7 ± 2,88	117,3 ± 11,01
RILs (E)	67,8 ± 5,83	124,6 ± 20,78



Mesmo considerando-se a similaridade em termos de altura de planta e florescimento entre os parentais, foi observada segregação para ambas as características na população de RILs (Figura 1), o que é consequência da segregação transgressiva para ambas as características sob controle poligênico.

Dessa forma, essas variações fenológicas na progênie podem causar confundimento em trabalhos de seleção de genótipos adaptados ao estresse de seca ou mesmo na identificação de regiões genômicas associadas com a tolerância à seca.

A Figura 2 mostra que os dados de *stay green* e de florescimento foram positivamente correlacionados, sugerindo que variações em florescimento podem resultar em escape quando da imposição do estresse de seca. Ainda que a produção de grãos e o florescimento não tenham apresentado correlação significativa em 2006, um coeficiente de correlação significativo foi observado em 2007 ($r = -0.27$, $p = 0.01$), sugerindo que diferenças em florescimento podem também afetar a produção de grãos sob estresse hídrico.

A Figura 3 mostra a ausência de correlação significativa entre altura de planta e *stay green*. Entretanto, a produção de grãos foi significativamente correlacionada com altura de planta.

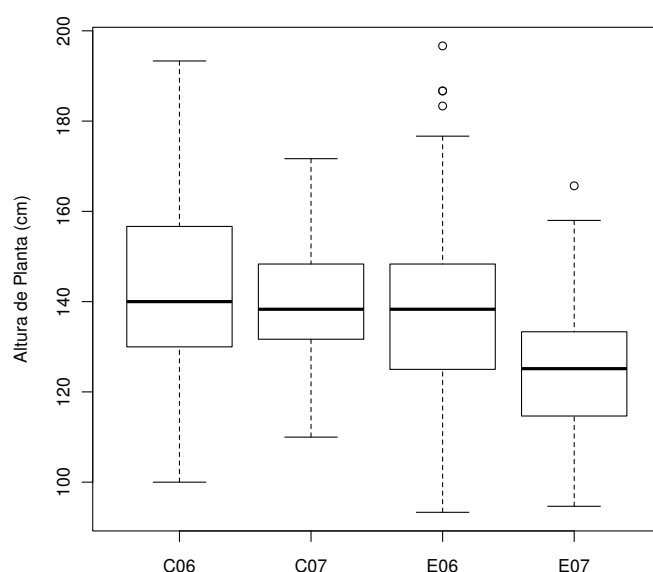


Figura 1. Box plots indicando a distribuição dos fenótipos de florescimento e altura de planta sob condições controle em 2006 e 2007 (C06 e C07) e sob estresse hídrico (E06 e E07).

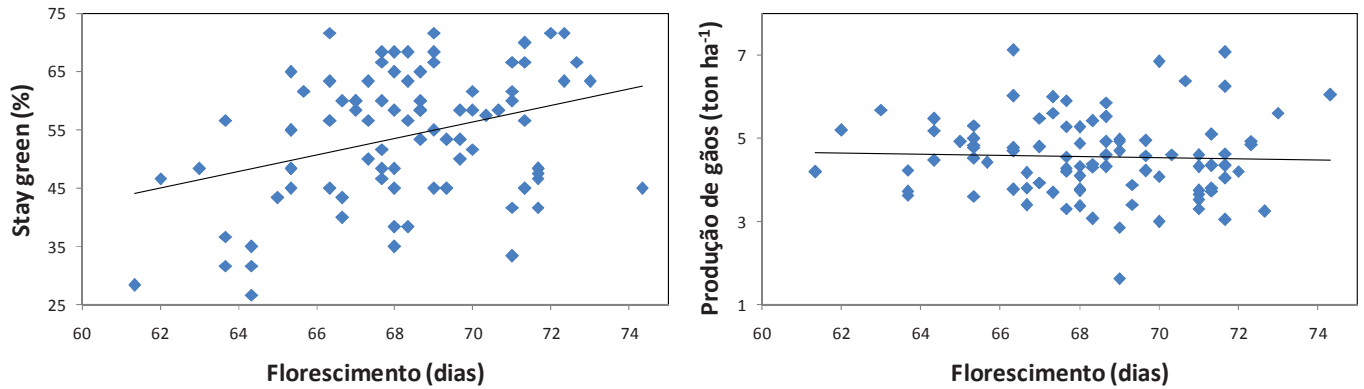


Figura 2. Correlações entre *stay green* e florescimento ($r=0.34$, $p<0.01$) e produção de grãos e florescimento ($r=-0.03$, $p=0.72$) para 90 RILs submetidas a estresse hídrico em 2006.

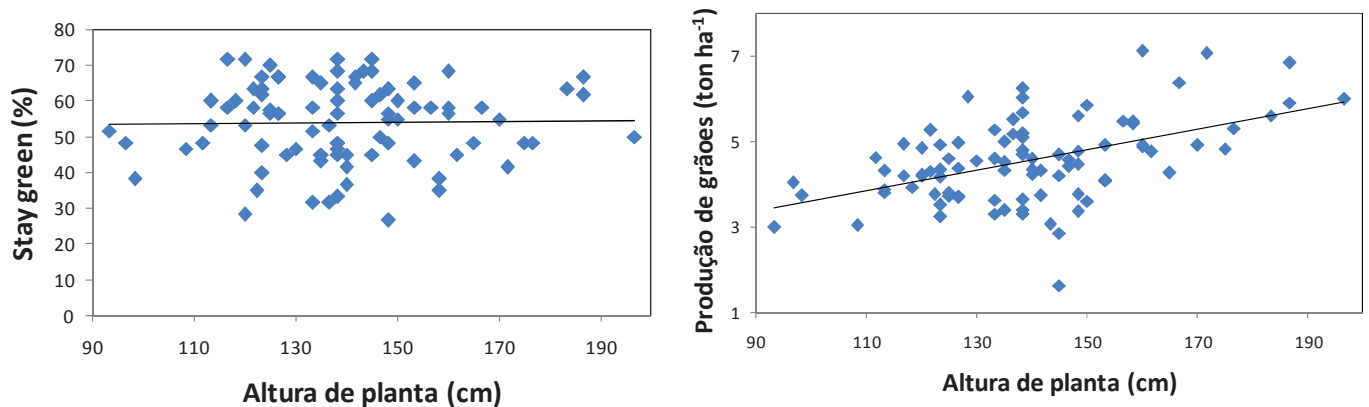


Figura 3. Correlações em *stay green* e altura de planta ($r=0.02$, $p=0.84$) e produção de grãos e altura de planta ($r=0.49$, $p<0.01$) para 90 RILs submetidas a estresse hídrico em 2006.

Significância dos Resultados na Fenotipagem para Adaptação ao Estresse de Seca em Sorgo

Os dados aqui apresentados sugerem que variações em características fenológicas, como altura de planta e florescimento, podem ser um importante fator de confundimento em experimentos de tolerância à seca em sorgo. Os dois parentais apresentam fenótipos similares em relação ao florescimento, resultando em uma população com segregação limitada para a característica. Entretanto, mesmo nessa situação, o tempo de florescimento foi significativamente correlacionado com *stay green*. Isso indica que medidas específicas são necessárias para controlar um possível efeito de confundimento causado pelo tempo de florescimento no fenótipo *stay green*. Nesse caso, a divisão dos genótipos

em grupos homogêneos de florescimento, ainda que útil, não é provavelmente eficiente para eliminar totalmente o efeito de florescimento no fenótipo de *stay green*.

Assim sendo, no contexto do mapeamento de QTLs, mesmo escolhendo-se parentais que não diferem para características fenológicas, a segregação transgressiva pode ocorrer, resultando em variações na progênie. Essa situação torna-se ainda mais crítica quando da avaliação de populações geneticamente diversas, como painéis de associação, cujos membros fatalmente apresentarão diferenças acentuadas para características fenológicas.

No mapeamento de QTLs ou mesmo em estudos de mapeamento associativo, uma medida adicional possível é a inclusão de cofatores fenológicos nos modelos, de maneira que seja isolada a variação não diretamente relacionada

com mecanismos de adaptação ao estresse de seca. Esses cofatores podem ser definidos em uma etapa prévia de detecção de QTLs para altura de planta, florescimento, ou outras características fenológicas relevantes, com posterior inclusão como cofatores em modelos do tipo MIM (*Multiple Interval Mapping*, KAO et al., 1999). Isto é, QTLs para florescimento e altura de planta podem ser introduzidos como cofatores nos modelos de detecção de QTLs para produção de grãos e *stay green*, de maneira que a detecção de QTLs para produção de grãos e *stay green* não seja afetada por variações em fenologia. Como isso, espera-se uma maior probabilidade de detecção de QTLs não relacionados com escape, que podem determinar mecanismos fisiológicos de adaptação ao estresse de seca em sorgo.

Co-autores

Priscilla Karen Sabdin

Eng.-Agr., D.S. Bolsista FAPEMIG/Embrapa Milho e Sorgo. Rod. Mg 424 km 65. 35701-970 Sete Lagoas, MG

Claudia Teixeira Guimarães

Eng.-Agr., Ph.D. Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Rod. Mg 424 km 65. 35701-970 Sete Lagoas, MG
claudia@cnpms.embrapa.br

Flavio Tardin

Eng.-Agr., Ph.D. Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Rod. Mg 424 km 65. 35701-970 Sete Lagoas, MG
tardin@cnpms.embrapa.br

Fredolino Giacomini dos Santos

Eng.-Agr., D.S. Pesquisador aposentado Embrapa Milho e Sorgo.

Robert E Schaffert

Eng.-Agr., Ph.D. Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Rod. Mg 424 km 65. 35701-970 Sete Lagoas, MG
schaffert@cnpms.embrapa.br

Reinaldo Lúcio Gomide

Eng.-Agr., Ph.D. Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Rod. Mg 424 km 65. 35701-970 Sete Lagoas, MG
gomide@cnpms.embrapa.br

Camilo de Lelis T. de Andrade

Eng.-Agric., Ph.D. Embrapa Milho e Sorgo. Rod. Mg 424 km 65. 35701-970 Sete Lagoas, MG
camilo@cnpms.embrapa.br

Paulo Emílio P. Albuquerque

Eng.-Agric., D.S. Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Rod. Mg 424 km 65. 35701-970 Sete Lagoas, MG
emilio@cnpms.embrapa.br

Referências

- BROWN, P. J.; ROONEY, W. L.; FRANKS, C.; KRESOVICH, S. Efficient mapping of plant height quantitative trait loci in a sorghum association population with introgressed dwarfing genes. **Genetics**, Austin, v. 180, p. 629-637, 2008.
- HARRIS, K.; SUBUDHI, P. K.; BORRELL, A.; JORDAN, D.; ROSENOW, D.; NGUYEN, H.; KLEIN, P.; KLEIN, R.; MULLET, J. Sorghum stay-green QTL individually reduce post-flowering drought-induced leaf senescence. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, p. 327-338, 2007.
- KAO, C.-H.; ZENG, Z.-B.; TEASDALE, R. D. Multiple interval mapping for quantitative trait loci. **Genetics**, Austin, v. 152, p. 1203-1216, 1999.
- MURPHY, R. L.; KLEIN, R. R.; MORISHIGE, D. T.; BRADY, J. A.; ROONEY, W. L.; MILLER, F. R.; DUGAS, D. V.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E. Coincident light and clock regulation of *pseudoresponse regulator protein 37 (PRR37)* controls photoperiodic flowering in sorghum. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 108, p. 16469-16474, 2011.

QUINBY, J. R. **Sorghum improvement and the genetics of growth**. College Station: Texas A&M University, 1974.

PINTO, R. S.; REYNOLDS, M. P.; MATHEWS, K. L.; McINTYRE, C. L.; OLIVARES-VILLEGAS, J.-J.; CHAPMAN, S. C. Heat and drought adaptive QTL in a wheat population designed to minimize confounding agronomic effects. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 121, p. 1001-1021, 2010.

ROSENOW, D. T.; EJETA, G.; CLARK, L. E.; GILBERT, M. L.; HENZELL, R. G.; BORRELL, A. K.; MUCHOW, R. C. Breeding for pre- and post-flowering drought stress resistance in sorghum. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GENETIC IMPROVEMENT OF SORGHUM AND PEARL MILLET, 1996, Lubbock, Texas. **Proceedings**. Cali: INTSORMIL/ICRISAT, 1997. p. 400-411. (Publication, 97-5).

ROSENOW, D. T.; CLARK, L. E. Drought and lodging resistance for a quality sorghum crop. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 5., 1995, Chicago. **Proceedings**... Washington: American Seed Trade Association, 1995. p. 82-97.

SUBUDHI, P. K.; ROSENOW, D. T.; NGUYEN, H. T. Quantitative trait loci for the stay green trait in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench): consistency across genetic backgrounds and environments. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 101, p. 733-741, 2000.

Circular Técnica, 165

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@cnpmc.embrapa.br
1ª edição
1ª impressão (2011): on line

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comitê de publicações

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira.
Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau.
Membros: Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes, Paulo Afonso Viana, João Herbert Moreira Viana, Guilherme Ferreira Viana e Rosângela Lacerda de Castro.

Expediente

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros.
Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro.
Tratamento das ilustrações: Tânia Mara A. Barbosa.
Editoração eletrônica: Tânia Mara A. Barbosa.