

Índices de seca para seleção de genótipos de sorgo granífero tolerantes ao déficit hídrico¹

Crislene Vieira dos Santos² e Cicero Beserra de Menezes³

¹ Trabalho financiado pelo CNPq/Fapemig

² Estudante do Curso de Engenharia Agrônômica da Univ. Fed. de São João del-Rei, Bolsista PIBIC, do Convênio CNPq/Embrapa.

³ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

Introdução

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) é advindo de clima tropical, com centro de origem e diversidade provenientes do continente africano, necessitando de temperaturas médias entre 20 e 33 °C para alcance de condições ótimas de desenvolvimento, que proporcionam a expressão de seu máximo potencial agrônômico (LANDAU; GUIMARÃES, 2015). Dentre as zonas agrícolas brasileiras, principalmente nas áreas de cultivo em expansão, como as de cerrado, é que se tem a maior oferta, em cultivo de safrinha. As plantas de sorgo possuem exigência hídrica baixa, quando comparadas com outras culturas, admitindo um intervalo de 300 mm a 600 mm de água por ciclo, necessitando de maior disponibilidade hídrica no estabelecimento da cultura, e na fase reprodutiva. Com isso, o sorgo granífero possui grande amplitude de recomendações de ambientes de plantio, apresentando algumas adaptações morfológicas, que podem ser admitidas como mecanismos de tolerância à seca (SCHAFFERT et al., 2011).

O uso de cultivares adaptadas aos sistemas de produção e às condições ambientais da região de cultivo, além dos mecanismos desenvolvidos pela planta para tolerar estresses abióticos, constitui fator importante para a maximização do rendimento de grãos. Portanto, torna-se necessária a avaliação do desempenho de cultivares de sorgo, em regiões produtoras de grãos, e que apresentam, normalmente, baixo índice pluviométrico, servindo de parâmetro quando comparado ao ambiente-controle, com condições ótimas de cultivo (SCHAFFERT et al., 2011). Desse modo, alguns recursos, como os índices de seleção para tolerância à seca, têm sido utilizados e recomendados por Menezes et al. (2014), para auxiliar na escolha de genótipos superiores. Portanto, este trabalho visa o estudo de índices de seca, baseados na característica de produtividade de grãos, para a identificação e seleção de linhagens tolerantes à seca.

Material e Métodos

Para o estudo dos índices de seca foram utilizadas as médias de produtividade de 245 linhagens de sorgo granífero, sendo 225 do painel associativo, mantido pelo Institute for Genomic Diversity (IGD, USA), e 20 pertencentes ao programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, em duas condições contrastantes em relação ao regime hídrico.

Os ensaios foram conduzidos em três anos agrícolas, 2010, 2011 e 2012, nas cidades de Nova Porteirinha e Teresina (Tabela 1), que apresentam condições propícias

para avaliação de experimentos sob a condição de estresse hídrico, por possuírem estação seca bem definida.

Visando a diferenciação do regime hídrico para a indução do estresse, foram utilizados os seguintes manejos de irrigação: plantio em condição sem estresse hídrico (Y_p) onde a irrigação foi realizada até a maturação fisiológica dos grãos, e no plantio em condição com estresse hídrico (Y_s), onde a irrigação foi cortada na fase de emborrachamento das plantas, aproximadamente aos 45 dias após a semeadura.

Tabela 1 – Locais e manejos de irrigação dos instalação dos experimentos nos anos de 2010, 2011 e 2012.

Ambientes	Ano	Locais	Estresse hídrico
A1	2010	Nova Porteirinha	Com
A2	2010	Nova Porteirinha	Sem
A3	2012	Nova Porteirinha	Com
A4	2012	Nova Porteirinha	Sem
A5	2010	Teresina	Com
A6	2010	Teresina	Sem
A7	2011	Teresina	Com
A8	2011	Teresina	Sem

O delineamento experimental foi em látice, com parcelas de 2 linhas de 5 metros, espaçadas em 0.5 m. Avaliou-se a produtividade de grãos de 3 m² úteis de parcela, e posteriormente foi realizada a média de cada linhagem, entre os oito ambientes, para cálculo dos índices de seca. As médias foram ajustadas através de modelos mistos, pelo programa R 3.3.1(2016) utilizando BLUPs (Best Linear Unbiased Predictor, ou Melhor Predição Linear Imparcial) estimando a média e variância de efeitos aleatórios, predizendo de maneira mais precisa os resultados, com minimização dos erros de predição e correção de efeitos ambientais. Após isso, foram estudados 8 índices de seca: SSI, GMP, MP, HM, TOL, STI, YI e YSI (Tabela 2).

Tabela 2 - Fórmulas para obtenção dos índices de tolerância à seca para linhagens de sorgo.

Índices de tolerância a seca	Equação*	Referência
1. Índice de suscetibilidade à estresse (SSI)	$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)}{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)}$	Fischer and Maurer, 1978
2. Média geométrica de produtividade (GMP)	$GMP = \sqrt{(Y_s)(Y_p)}$	Fernandez, 1992
3. Média ponderada (MP)	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle and Hambling (1981)
4. Média harmônica (HM)	$HM = \frac{2(Y_p \cdot Y_s)}{Y_p + Y_s}$	Jafari et al. (2009)
5. Índice de tolerância (TOL)	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle and Hambling (1981)

6. Índice de tolerância à estresse (STI)	$STI = \frac{(Y_s)(Y_p)}{(\bar{Y}_p)^2}$	Fernandez, 1992
7. Índice de produção (YI)	$YI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Gavuzzi <i>et al.</i> 1997
8. Índice de estabilidade de produção (YSI)	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bousslama and Schapaugh (1984)

* Y_s e Y_p são as médias sob estresse e sem estresse de cada genótipo, respectivamente. \bar{Y}_s e \bar{Y}_p são as médias de todos os genótipos sob estresse e sem estresse, respectivamente.

Foi gerado um Boxplot comparando as médias dos ambientes com estresse e sem estresse, para a produtividade dos genótipos. Após isso, foi realizada a análise de componentes principais para identificação dos índices que explicavam em maior proporção a variância do conjunto de dados analisados, com maior associação entre Y_p e Y_s , sendo expressos graficamente por diagrama Biplot. Dessa forma, identificando os que possuem alta correspondência como componentes principais, associados ao Y_p e Y_s .

Para a análise de componentes principais (PCA) e diagrama Biplot foi utilizado o programa GENES (CRUZ, 2013). Para a plotagem do gráfico Boxplot utilizou-se o recurso computacional do JASP 0.8.0.1. (BOLLEN, 1989).

Resultados e Discussão

A média de produtividade de grãos nos ambientes sem estresse (Y_p) foi de 4,8 t ha⁻¹ e de 3,6 t ha⁻¹ nos ambientes com estresse hídrico (Y_s). A Figura 1 apresenta o Boxplot do desempenho das linhagens nos dois ambientes. No ambiente Y_s a produtividade variou de 2,21 a 5,16 e no ambiente Y_p variou de 2,7 a 7,22. Considerando os dois ambientes, houve uma redução na produtividade de 1,2 t ha⁻¹ (25%), o que mostra a necessidade de trabalhos de melhoramento visando a seleção de genótipos com maior tolerância à restrição hídrica. Mesmo no ambiente com restrição hídrica foram encontradas 55 cultivares com produtividade de grãos acima de 4 t ha⁻¹, o que mostra a possibilidade de seleção de genótipos promissores para tolerância à seca.

A comparação dos índices de seleção foi feita utilizando gráfico biplot. A partir da análise de componentes principais (PCA) foi gerada a matriz para o diagrama Biplot, que dividiu os ambientes e os índices em vetores, para a seleção de índices mais adequados em cada ambiente. O primeiro componente (CP1) explicou cerca de 64.65% da variabilidade; deve-se considerar que o potencial de produção das linhagens pode ser identificado por índices com vetores entre Y_p e Y_s . Nesse caso, os índices HM, MP, STI e GMP foram os que mais se aproximaram do CP1, de maior valor, e, portanto, são os mais adequados para seleção de linhagens, tanto em condições de controle (SE) quanto sob estresse hídrico (CE). Os locais Teresina (2010) CE, Teresina (2011) SE e Nova Porteirinha (2012) SE foram os ambientes mais próximos dos índices HM, MP, STI e GMP, estando todos no CP1 (64.65%), indicando maior aplicabilidade desses índices para tais ambientes, de maiores médias de produtividade.

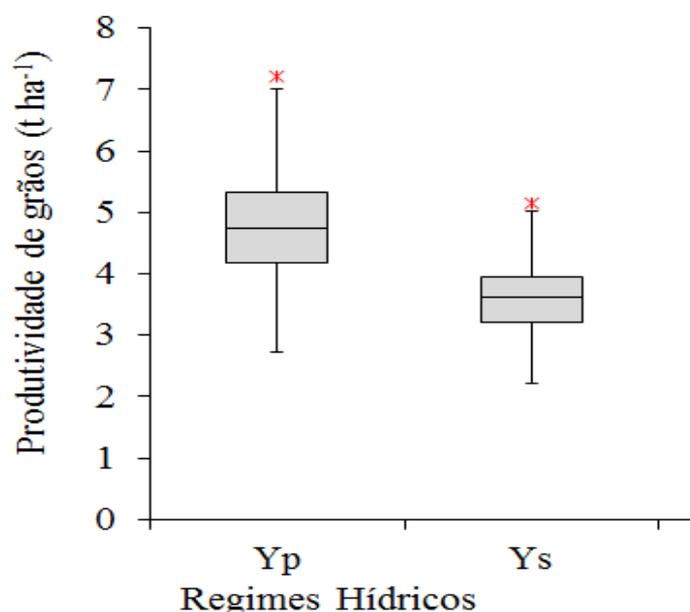


Figura 1 – Boxplot das médias de produtividade de grãos entre os ambientes sem estresse 1 (Yp), e com estresse hídrico 2 (Ys). Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas - MG, 2017. * Outlier máximo.

Ainda no CP1 foi possível notar que o índice YI é o mais recomendado para a seleção de linhagens quando em condições adversas, o que já havia sido relatado com resultados semelhantes em Menezes et al. (2014), Yarnia et al. (2011) e Darvishzadeh et al. (2010). Isso porque os vetores de YI e Ys demonstraram angulação bastante próxima, o que indica alta correlação entre estes. O segundo componente explicou 35.34% da variabilidade total do conjunto de dados, em que o índice mais próximo observado foi YSI. Este índice apresentou baixa correspondência com os ambientes e índices avaliados, demonstrando inconfiabilidade para seleção por esse método. A somatória dos componentes foi de 99,99%, indicando que houve alta explicação dos resultados obtidos pelos índices.

Os índices HM, MP, STI e GMP apresentaram vetores com disposição dentro do ângulo formado por Yp (Produtividade sem estresse) e Ys (Produtividade com estresse), o que indica que há maior similaridade entre estes índices e destes com os ambientes. Com isso, pode-se dizer que estes índices são os mais recomendados para seleção de linhagens de elevado potencial agrônomo, com altas produtividades. No entanto, os índices GMP e STI destacaram-se pela simetria de seus vetores que foram dispostos ao centro do ângulo entre Yp e Ys, demonstrando a maior correlação e similaridade entre estes. Portanto, esses índices devem ser os mais indicados e confiáveis para a seleção de linhagens mais produtivas e adaptadas a ambos os ambientes.

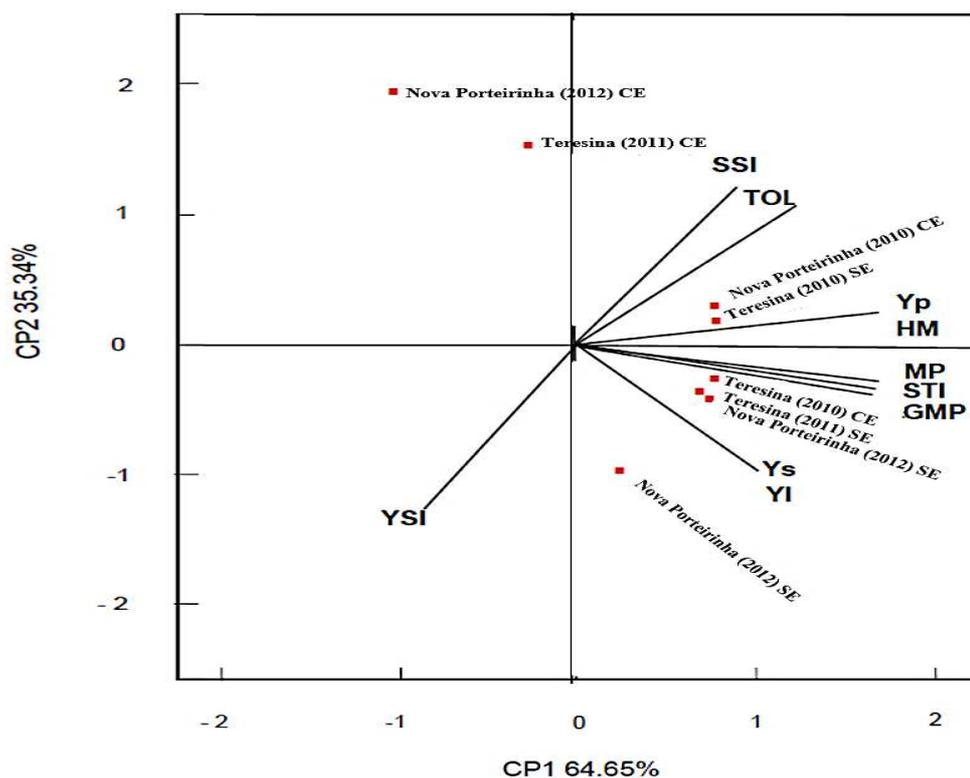


Figura 2 - Diagrama Biplot de índices de seca e locais de avaliação, para 245 linhagens de sorgo avaliadas condições com e sem restrição hídrica.

Conclusão

Houve redução de 25% na produtividade de grãos do ambiente com estresse em comparação ao ambiente sob estresse hídrico.

Os índices Média Geométrica de Produtividade (GMP) e Índice de Tolerância a Estresse (STI) são os mais indicados para seleção de genótipos tolerantes à seca em condições de campo.

Referências

- BOLLEN, K. **Structural equations with latent variables**. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- DARVISHZADEH, R.; PIRZAD, A.; HATAMI-MALEKI, H.; KIANI, S. P.; SARRAFI, A. Evaluation of the reaction of sunflower inbred lines and their F-1 hybrids to drought conditions using various stress tolerance indices. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 8, p. 1037-1046, 2010.
- LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Clima, época de plantio e zoneamento agrícola. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 1, p. 15-26.
- MENEZES, C. B.; TICONA-BENAVENTE, C. A.; TARDIN, F. D.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; NOGUEIRA, D. W.; PORTUGAL, A. F.; SANTOS, C. V.;

SCHAFFERT, R. E. Selection indices to identify drought-tolerant grain sorghum cultivars. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 4, p. 9817-9827, 2014.

SCHAFFERT, R. E.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; GOMIDE, R. L.; GUIMARÃES, C. T.; MAGALHÃES, P. C.; MAGALHÃES, J. V.; QUEIROZ, V. A. V. Phenotyping sorghum for adaptation to drought. In: MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J.-M. (Ed.). **Drought phenotyping in crops: from theory to practice**. México: CGIAR: CIMMYT, 2011. pt. 2, p. 287-299.

YARNIA, M.; ARABIFARD, N.; KHOEI, F. R.; ZANDI, P. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivars. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, p. 10914-10922, 2011.