

Utilização de índices de tolerância na avaliação do estresse hídrico em milho.

Rafaela Beiral Campos Borges⁽¹⁾; Luiz Paulo Miranda Pires⁽²⁾; Álvaro de Oliveira Santos⁽³⁾; Renzo Garcia Von Pinho⁽⁴⁾; Lauro José Guimarães⁽⁵⁾; Felipe Ribeiro Resende⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Estudante; Universidade Federal de Lavras; Lavras, Minas Gerais; rbeiralborges@gmail.com; ⁽²⁾ Doutorando; Universidade Federal de Lavras; ⁽³⁾ Pesquisador associado; Syngenta; ⁽⁴⁾ Professor; Universidade Federal de Lavras; ⁽⁵⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo; ⁽⁶⁾ Estudante; Universidade Federal de Lavras.

RESUMO: O estresse hídrico é o fator abiótico com o maior impacto para a produtividade das culturas vegetais. O objetivo neste trabalho foi avaliar a produtividade de grãos e a tolerância ao estresse hídrico de híbridos de milho. Foram avaliados 86 híbridos, em ambientes com e sem restrição hídrica, em três anos consecutivos. Utilizou-se o delineamento látice quadrado (6x6) com 6 tratamentos comuns, com 4 repetições. Foram avaliadas as características de produtividade de grãos potencial (PGp), produtividade de grãos sob estresse hídrico (PGs), florescimento masculino (FM) e feminino (FF), altura de planta (AP) e espiga (AE). Avaliou-se os índices de susceptibilidade à seca (ISS), de tolerância ao estresse hídrico (TOL), o coeficiente de resistência à seca (CS), de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH). Houve diferença entre os híbridos e ambientes para todas as características avaliadas. Os híbridos 3, 6, 63 e 71 apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com restrição hídrica. Os índices ITS e MH podem ser utilizados na avaliação e identificação de híbridos de milho mais produtivos em ambientes com e sem restrição hídrica.

Termos de indexação: produtividade de grãos, resistência a seca, interação genótipo-ambiente.

INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes estresses abióticos que afetam e reduzem a produtividade dos principais cereais produzidos no mundo, o estresse hídrico é o fator com o maior impacto para a produção estável, principalmente nos países tropicais (PARENT et al., 2015; MIR et al., 2012).

Visando amenizar as perdas de produtividade das culturas sob estresse hídrico, recentes pesquisas tem buscado a identificação e desenvolvimento de híbridos de milho tolerantes à

seca por meio do melhoramento genético (GAFFNEY et al., 2015; COOPER et al., 2014).

Índices de tolerância tem sido utilizados para avaliação de genótipos de trigo e cevada com eficiência (MORADI et al., 2012). Entretanto, na cultura do milho, estes índices de tolerância tem sido pouco explorados, portanto, há potencial para a utilização destes índices como mais uma ferramenta de auxílio na identificação e desenvolvimento de híbridos de milho tolerantes ao estresse hídrico.

Diante do exposto, o objetivo neste trabalho foi avaliar a produtividade de grãos e a tolerância ao estresse hídrico de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados em área da Estação Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Nova Porteirinha-MG, nos anos de 2011, 2012 e 2013.

A semeadura foi realizada no mês de maio de cada ano, sob sistema de irrigação por gotejamento. O estresse hídrico foi imposto através da suspensão da irrigação nas parcelas do ambiente com restrição hídrica (A1) 45 dias após a emergência (45 DAE), permanecendo até a colheita. No ambiente sem restrição hídrica (A2), a irrigação foi realizada regularmente até o estádio R3, mantendo a capacidade de campo do solo.

As parcelas foram constituídas de uma linha de 4 metros de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,8 metros, sendo a área útil da parcela de 3,2 m². A população final de plantas foi de 60 mil plantas/ha.

Todos os tratamentos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura, buscando-se o máximo rendimento dos híbridos avaliados.

Foram avaliados 79 híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e e Sorgo e 7 híbridos de milho comerciais.

Foram avaliadas as seguintes características:

Produtividade de grãos de cada híbrido nos ambientes com (PGs) e sem restrição hídrica (PGp), a média de produtividade de grãos no ambiente com restrição (PGms) e sem restrição hídrica (PGmp). A produtividade foi obtida em gramas por parcela e posteriormente transformada em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a 13% de umidade, através da expressão:

$$PG = PP \times \left(\frac{10000}{AU} \right) \times \left(\frac{100 - U}{87} \right)$$

Onde:

PG: +, a 13% de umidade.

PP: peso de grãos em gramas por parcela.

AU: área útil da parcela, em m^2 .

U: umidade dos grãos no momento da colheita, em %.

Florescimento maculino (FM): valores referentes à dias após a emergência, onde 50% das plantas da parcela apresentavam-se com pendões liberando pólen.

Florescimento feminino (FF): valores referentes à dias após a emergência, onde 50% das plantas da parcela apresentavam-se com estilo-estigmas visíveis nas espigas.

Altura de planta (AP): altura média de cinco plantas representativas da parcela, obtidas através da medição da distância do solo até a lígula da folha bandeira.

Altura de espiga (AE): altura média de inserção de espigas em cinco plantas representativas da parcela, obtidas através da medição da distância do solo até a inserção da espiga superior da planta.

Os índices de tolerância ao estresse hídrico obtidos foram:

Índice de susceptibilidade à seca (ISS), segundo Fischer & Maurer (1978), através da expressão:

$$ISS = \frac{(1 - PGs/PGp)}{(1 - PGms/PGmp)}$$

Tolerância ao estresse hídrico (TOL), segundo Rosielle & Hamblin (1981), através da expressão:

$$TOL = PGp - PGs$$

Coeficiente de resistência à seca (CS), segundo Blum (1984), através da expressão:

$$CS = PGs/PGp$$

Índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), segundo Lan (1990), através da expressão:

$$IRS = PGs \times ((PGs/PGp)/PGms)$$

Índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS), segundo Fernandez (1992), através da expressão:

$$ITS = (PGp/PGmp) \times \left(\frac{PGs/PGms}{PGms/PGmp} \right) \times \left(\frac{PGp}{PGs} \right)$$

Média harmônica (MH), segundo Sio-Se Mardeh et al. (2006), através da expressão:

$$MH = 2 \times \left(\frac{PGp \times PGs}{PGp + PGs} \right)$$

O delineamento experimental utilizado foi o látice

quadrado com seis tratamentos comuns (11953, 1J1203, 2B707, 3H842, BRS1055 e 1J1132), com 4 repetições, sendo a repetição 3 uma duplicata da repetição 1 e a repetição 4 uma duplicata da repetição 2.

Inicialmente realizou-se as análises de variâncias individuais. Após a verificação da homogeneidade das variâncias pela razão dos quadrados médios, realizou-se a análise de variância conjunta considerando os ambientes com (A1) e sem restrição hídrica (A2).

Para as características PGs, PGp, PGm, FM, FF, AP e AE, as médias foram avaliadas pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Foram estabelecidas análises de correções de Spearman entre as características PGs, PGp, PGm e os índices de tolerância ao estresse hídrico ISS, TOL, CS, IRS, ITS e MH.

As análises estatísticas foram realizadas através do software estatístico R (R DEVELOPMENT, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa entre os híbridos para todas as características avaliadas.

Na interação híbridos x ambientes, foi observada diferença significativa para todas as características avaliadas, inferindo que os híbridos avaliados tiveram uma performance diferente nos ambientes A1 e A2.

Para o ambiente A1, os híbridos com maiores PG foram 86, 71, 67, 63, 32, 15, 14, 12, 6 e 3. A PG neste ambiente variou entre 2199,58 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e 7032,11 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ com PG média de 4606,45 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. **(Tabela 1).** Esses híbridos apresentaram potencial para serem utilizados em ambientes com baixa disponibilidade hídrica.

Para o ambiente A2, os híbridos que apresentaram maiores PG foram 86, 84, 78, 53, 11, 8, 7, 5, 3 e 2, com PG acima de 10000,00 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Neste ambiente, a PG variou entre 5000,01 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e 12186,03 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com produtividade média de 8532,04 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Para a característica FM, foram observados valores entre 61 dias (híbridos 1, 68 e 81) e 70 dias (híbrido 27) no ambiente A1. No ambiente A2, os valores variaram entre 59 dias (híbridos 36, 37, 49 e 79) e 68 dias (híbrido 14).

Para a característica FF, foram observados valores entre 64 dias (híbrido 81) e 70 dias (híbridos 27 e 52) no ambiente A1. No ambiente A2, foram observados valores entre 58 (híbrido 79) e 68 (híbridos 14).

Para a característica AP, foram observados valores entre 1,88m (híbrido 51) a 2,65m (híbrido 3)

no ambiente A1, com altura média de 2,28m. Para o ambiente A2, foram observados valores entre 2,10m (híbridos 42 e 81) a 2,75m (híbridos 3 e 84), com altura média de 2,43m (Tabela 3).

Para a característica AE, foram observados valores entre 0,90m (híbrido 42) a 1,58m (híbrido 14) no ambiente A1 e 1,00m (híbridos 55 e 72) a 1,65m (híbrido 86) no ambiente A2.

Para os índices ISS e TOL, menores valores indicam híbridos tolerantes ao déficit hídrico e selecionam mais eficientemente híbridos com maiores produtividades em ambientes com restrição hídrica.

Para os índices CS, IRS, ITS e MH, maiores valores indicam híbridos tolerantes à restrição hídrica e apresentam maior eficiência em identificar híbridos superiores nos dois ambientes (HAO et al., 2011; JAFARI et al., 2009).

Nesta pesquisa, os valores encontrados variaram entre 3313,57 (híbrido 52) e 9241,93 (híbrido 86), para MH; entre 1298,02 (híbrido 36) e 7014,05 (híbrido 78), para TOL; entre 0,49 (híbrido 22) e 1,57 (híbrido 23), para ISS; entre 0,28 (híbrido 23) e 0,78 (híbridos 16 e 22), para CS; entre 0,16 (híbrido 52) e 1,14 (híbrido 6), para IRS; entre 0,21 (híbrido 52) e 1,30 (híbrido 86), para ITS (Tabela 5).

A análise do grau de associação entre características referentes a grupos de indivíduos pode ser realizada através de estimativas de correlação. Valores positivos indicam relação direta entre as características e valores negativos indicam relação inversa, variando de -1 a 1.

Foram observados elevados valores de correlação entre os índices de tolerância avaliados. Os maiores valores foram observados entre ISS e CS (-0,98) e entre ITS e MH (0,95) (Tabela 6).

De maneira geral, para a avaliação de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica, os índices ITS e MH podem ser utilizados eficientemente. Verificou-se que esses índices apresentaram alta correlação positiva e significativa com a PGs e PGp.

CONCLUSÕES

Os híbridos 3 (1I862), 6 (1I923), 63 (1L1434) e 71 (1L1473) apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com restrição hídrica.

Os índices ITS e MH podem ser utilizados na avaliação e identificação de híbridos de milho mais produtivos em ambientes com e sem restrição hídrica.

AGRADECIMENTOS

CAPES, FAPEMIG, CNPq, e à todos os membros do Grupo do Milho - UFLA.

REFERÊNCIAS

BLUM, A. Breeding crop varieties for stress environments. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 2. p. 199–238. 1984.

COOPER, M. et al. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US Corn-belt: Discovery to product. **Journal of Experimental Botany**. v. 65, p. 6191–6204. 2014.

FERNANDEZ, G. C. J. **Effective selection criteria for assessing stress tolerance**. In: KUO, C. G. (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan. 1992. p. 257-270.

FISCHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivar, I: Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**. v. 29, p. 897-912. 1978.

GAFFNEY, J. et al. Industry-scale evaluation of maize hybrids selected for increased yield in drought-stress conditions of the US corn belt, **Crop Science**, v. 55, p. 1608-1618. 2015.

HAO, Z. et al. Identification of functional genetic variations underlying drought tolerance in maize using SNP markers. **Plant Biology**. v. 53, p. 641–652, 2011.

JAFARI, A. et al. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. **International Journal of Plant Production** v. 3. p. 124-131. 2009.

LAN, J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. **Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica**. v. 7. p. 85–87. 1998.

MIR, R. R. et al. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. **Theoretical Applied Genetics**. p. 125, 625–645. 2012.

MORADI, H. et al. Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) new hybrids with using stress tolerance indices. **European Journal of Sustainable Development**. v. 1, p. 543-560. 2012.

PARENT, B. et al. Combining field performance with controlled environment plant imaging to identify the genetic control of growth and transpiration underlying yield response to water-deficit stress in wheat. **Journal of Experimental Botany**. v. 2. p. 1-12. 2015.

R Development Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. 2011.

ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**. v. 21. p. 943-948. 1981.

SIO-SE MARDEH, A. et al. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crop Research**. v. 98. p. 222-229. 2006.

Tabela 1 – Relação das características e índices avaliados com os híbridos de maiores produtividade de grãos (PG em kg.ha⁻¹) em ambientes com restrição hídrica.

	3	6	12	14	15	32	63	67	71	86
PG	6388,99	6788,99	5903,22	6142,74	5946,20	6100,48	6133,37	5872,45	6118,07	7032,11
FM	64aA	62aA	66bA	68bA	63aA	63aA	63aA	66aA	64aA	65bA
FF	65bA	63aA	66cA	68dA	65bA	65bA	64bA	66cA	65bA	65bA
AP	2,65bA	2,48bA	2,38bA	2,63bA	2,55bA	2,35bA	2,20aA	2,45bA	2,33bA	2,63bA
AE	1,50bA	1,53bA	1,38bA	1,58bA	1,35bA	1,38bA	1,15aA	1,25aA	1,25aA	1,50bA
ISS	0,92b	0,54 ^a	0,68a	0,77a	0,80a	0,87b	0,55a	0,82a	0,53a	1,05b
TOL	4654,97	2244,14a	2851,00b	3323,78b	3589,22b	3989,68c	2081,64a	3557,20b	2060,26a	6473,68c
CS	0,58b	0,76 ^a	0,69b	0,65a	0,63a	0,61b	0,75a	0,63a	0,76a	0,52b
IRS	0,81 ^a	1,14 ^a	0,88a	0,87a	0,82a	0,84a	1,00a	0,80a	1,00a	0,80a
ITS	0,97 ^a	0,85 ^a	0,72a	0,80a	0,78a	0,85a	0,69a	0,76a	0,70a	1,30a
MH	8080,28 ^a	7698,66a	7025,73a	7448,99a	7289,05a	7526,42a	7014,40a	7237,48a	6987,09a	9241,93a