

AVALIAÇÃO DE TRÊS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS EM 4 CICLOS DE SELEÇÃO NO CULTIVAR DE MILHO BRS-4154 SOB SOLO ENCHARCADO

Evaluation of three physiologic characteristics in four cycles of selection in maize cultivar BRS-4154 under tolerance to waterlogging of the soil

Juliano Lino Ferreira¹, Paulo César Magalhães², Aluizio Borém³

RESUMO

Conduziu-se este trabalho, com o objetivo de avaliar plantas de milho (*Zea mays* L.) dos diferentes ciclos de seleção recorrentes da variedade de milho BRS 4154 – ‘Saracura’ quanto aos ganhos genéticos obtidos ao longo dos ciclos de seleção sob encharcamento do solo. Quatro ciclos de seleção da variedade de milho BRS 4154 foram plantados sob delineamento em blocos casualizados nos quais foram avaliados os ciclos 1, 5, 9 e 15, incluindo a variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010 como testemunhas, por serem sensíveis ao encharcamento. Foram avaliados: fluorescência e teor de clorofila, área foliar e porosidade de raiz. O estresse causado pelo excesso de água no solo não influenciou a característica fluorescência da clorofila, demonstrando que essa não é uma boa característica para avaliação de tolerância ao encharcamento do solo. Houve uma significativa redução de área foliar do milho nas áreas de solo encharcado. Adicionalmente, a porosidade da raiz foi uma característica que apresentou significativa discrepância entre os dois ambientes de cultivo, tendo um aumento significativo em função do encharcamento.

Termos para indexação: *Zea mays*; tolerância a estresse abiótico; baixa disponibilidade de oxigênio.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate plants of different cycles of recurrent selection of the maize (*Zea mays* L.) variety BRS 4154 – ‘Saracura’ for the genetic faced to the gains obtained along the selection cycles under waterlogging of the soil. Four cycles of selection of the maize variety BRS 4154 were planted in randomized block outline for evaluation of cycles 1, 5, 9 and 15, including the variety BR 107 and the simple hybrid BRS 1010 used as control, once they are sensitive to the waterlogging. One evaluated: chlorophylls fluorescence and content, leaf surface area and root porosity. The stress caused by the excess of water in the soil didn’t influence the characteristic of chlorophyll fluorescence, demonstrating this is not a good characteristic to evaluate flooding tolerance. There was significant leaf surface area decrease of the corn in the areas of soaked soil. Additionally, the porosity of the root was a characteristic that presented significant discrepancy between the two cultivation environments, having a significant increase in function of waterlogging.

Index terms: *Zea mays*; tolerance to waterlogging; low availability of oxygen.

(Recebido em 13 de julho de 2006 e aprovado em 25 de maio de 2007)

INTRODUÇÃO

No Brasil, estima-se que haja cerca de 33 milhões de hectares de várzeas (solos aluviais e hidromórficos), dos quais cerca de 12 milhões estão localizados na região dos Cerrados (SANTOS, 1999). Somente no estado de Minas Gerais, são cerca de 500.000 ha. A cultura do milho (*Zea mays* L.) apresenta-se como uma opção válida, especialmente para áreas sujeitas a encharcamento temporário. O excesso de umidade no solo é uma condição ambiental estressante ao desenvolvimento do milho. No entanto, existe nesta espécie variabilidade genética para características que estão ligadas a esse tipo de estresse, o que permite o melhoramento genético para essa condição

de solo. Preocupados com esse problema e explorando as conhecidas variações de tolerância às condições de inundação por espécie de plantas, o Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, no ano de 1986, iniciou a formação de um composto de milho de ampla base genética por meio da recombinação de 36 populações. Após 12 anos de estudos, ou seja, no décimo segundo ciclo de seleção foi lançado comercialmente sob a sigla BRS 4154, milho ‘Saracura’. Todo o trabalho de melhoramento dessa variedade foi direcionado para dotá-la de capacidade para suportar períodos temporários de encharcamento do solo, característica que as cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil, normalmente não possuem.

¹Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Genética e Melhoramento – Departamento de Fitotecnia/DFT – Universidade Federal de Viçosa/UFV – Avenida PH Rolfs, s/nº – Campus Universitário – 36570-000 – Viçosa, MG – julianolf@yahoo.com.br

²Engenheiro Agrônomo, PhD em Fisiologia Vegetal, Pesquisador III – Laboratório de Fisiologia Vegetal – Embrapa Milho e Sorgo/ EMBRAPA CNPMS – Rodovia MG 424, Km 66 – Cx. P. 151 – 35701-970 – Sete Lagoas, MG – pcesar@cnpms.embrapa.br

³Engenheiro Agrônomo, PhD em Genética e Melhoramento, Professor – Departamento de Fitotecnia/DFT – Universidade Federal de Viçosa/UFV – Avenida PH Rolfs, s/nº – Campus Universitário – 36570-000 – Viçosa, MG – borem@ufv.br

A carência de conhecimento científico sobre os possíveis mecanismos de tolerância e de adaptação de genótipos ao encharcamento reproduz a relevância de estudos dessa natureza, visando ao desenvolvimento de cultivares de milho. E, apesar da reconhecida tolerância do milho "Saracura" ao encharcamento temporário, há necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a estrutura genética e as características ecofisiológicas dessa variedade, no sentido de melhor compreender as variações ocorridas ao longo dos ciclos de seleção.

No caso do milho, há um consenso de que características baseadas na morfologia e fisiologia de plantas são os melhores critérios para avaliação da tolerância às condições de encharcamento do solo (PARENTONI et al., 1995).

MATERIALE MÉTODOS

Este estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, MG, com altitude de 732 m, latitude Sul 19°28', longitude Oeste 44°15', em solo de várzea.

Quatro dos 15 ciclos de seleção da variedade de milho BRS 4154 foram plantados (ciclos 1, 5, 9 e 15) sob delineamento em blocos casualizados, incluindo a variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010 como testemunhas, por serem sensíveis ao encharcamento.

Com a finalidade de facilitar o encharcamento, a área foi nivelada e dividida em talhões. A parcela experimental foi formada por 4 fileiras de 4 m, e o espaçamento de 0,90 m e 0,20 m entre fileiras e entre plantas na fileira, perfazendo uma área total de 14,4 m². Um número maior de sementes foi plantado e o estande foi mantido em 80 plantas por parcela após o desbaste. As duas fileiras centrais foram usadas para a coleta de dados. Os dados foram obtidos de três plantas escolhidas ao acaso na área útil de cada parcela. Nas mesmas amostragens avaliaram-se todas as características.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida com 6 tratamentos e quatro repetições em condições com irrigação de suplementação e com estresse submetido por encharcamento. O encharcamento foi realizado até atingir uma lâmina de 20 cm no tabuleiro três vezes por semana, iniciado no estágio V6, antes do florescimento e permaneceu até a maturação fisiológica.

As características fisiológicas avaliadas foram: i) fluorescência da clorofila e teor de clorofila obtidas pelo PEA II e Spad, respectivamente, tomados em dois pontos da folha acima da primeira espiga de cada planta (FERRER, 2003); ii) área foliar obtida pelo determinador de área LI-

3100 e; iii) porosidade da raiz, usando o método do picnômetro (JENSEN et al., 1969). Esse método quantifica porosidade como a porcentagem de volume da raiz ocupado pelo ar (porcentagem volume/volume). As determinações fisiológicas foram realizadas 75 dias após o plantio, que correspondem ao estágio de grão leitoso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para fluorescência da clorofila, não houve diferenças entre ambientes e genótipos e, todos os valores nas duas situações ficaram iguais ou acima de 0,75 (Tabela 1), que é o índice considerado como limite para ocorrer alguns danos no fotossistema II (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989). Entretanto, Ferrer (2003), trabalhando com a variedade de milho 'Saracura' em casa de vegetação, sob condições de encharcamento, encontraram diminuição na eficiência do fotossistema II, com uma redução de até 17% quando comparado às plantas cultivadas sob condições normais, atribui-se a esta discrepância de resultados, o fato de que Ferrer (2003) conduziu o trabalho em vasos, onde o estresse de encharcamento é bem mais intenso.

Os teores de clorofila não apresentaram diferenças entre genótipos. No entanto, em relação ao ambiente foi observada uma redução nos valores do teor de clorofila para todos os genótipos quando submetidos ao encharcamento, com exceção do 'BR 107' (Tabela 1), indicando que sob esse tipo de estresse há uma aceleração na senescência das folhas do milho. Segundo Carvalho & Ishida (2002), a diminuição do teor de clorofila, que pode ser constatada pela clorose das folhas é consequência da inundação das raízes, além de ser um dos sinais mais frequentes citados nas observações empíricas. Este distúrbio, também observado em outras espécies, pode ser atribuído a vários fatores, tais como: o acúmulo de substâncias tóxicas, disfunção hormonal levando à senescência, ou mesmo carência de nutrientes (KOZŁOWSKI, 1997).

Para a variável área foliar, não houve diferenças estatísticas entre os genótipos avaliados no ambiente normal (Tabela 2), entretanto, ocorreu uma redução para todos os genótipos e ciclos de seleção na condição de encharcamento, quando comparados ao ambiente normal. No ambiente encharcado, houve uma redução dessa variável com os avanços dos ciclos de seleção, havendo uma diminuição significativa de 33% do ciclo 15 em relação ao ciclo 1 (Tabela 2). A redução de área foliar pode ser um possível mecanismo utilizado pelas plantas de milho quando em condições de encharcamento. Em relação aos dois tipos de ambientes ocorreu redução para os ciclos 9 e

Tabela 1 – Médias de fluorescência da clorofila (FC) e teor de clorofila (%) de plantas de quatro ciclos de seleção da variedade de milho BRS 4154 (C1, C5, C9 e C15), variedade BR 107 e híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.

Genótipos	FC		Clorofila (%)	
	Ambientes			
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C1	0,77 Aa	0,77 Aa	59,83 Aa	54,80 Ab
C5	0,76 Aa	0,77 Aa	58,58 Aa	50,93 Ab
C9	0,75 Aa	0,77 Aa	57,44 Aa	50,14 Ab
C15	0,77 Aa	0,77 Aa	61,17 Aa	53,10 Ab
BR 107	0,75 Aa	0,78 Aa	60,27 Aa	56,64 Aa
BRS 1010	0,78 Aa	0,78 Aa	63,25 Aa	53,58 Ab
C V (%)	3,07	1,68	4,52	7,87

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

15. Ferrer (2003) trabalhando com o ciclo 14 do ‘Saracura’ observou redução de 31% na área foliar das plantas cultivadas sob alagamento em relação ao cultivo normal, o que está em acordo com os resultados deste trabalho.

Tabela 2 – Médias de área foliar (cm²) de plantas de quatro ciclos de seleção da variedade de milho BRS 4154 (C1, C5, C9 e C15), variedade BR 107 e híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.

Genótipos	Área foliar (cm ²)	
	Ambientes	
	Normal	Encharcado
C1	6976 Aa	6757 ABa
C5	6343 Aa	5347 BCa
C9	7313 Aa	4956 Cb
C15	6692 Aa	4503 Cb
BR 107	5875 Aa	6013 ABCa
BRS 1010	7194 Aa	7199 Aa
C V (%)	11,41	13,34

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, minúscula nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em geral, o efeito do encharcamento promove uma diminuição da absorção de água, tanto pela redução do comprimento e superfície total das raízes, como

conseqüência da sua morte, como pelo aumento da resistência ao fluxo de água (KOZLOWSKI, 1997). Esses fenômenos fazem com que plantas submetidas ao alagamento estejam sujeitas ao murchamento das folhas, caso não possuam bom controle estomático e baixa transpiração cuticular (CARVALHO & ISHIDA, 2002). Neste sentido, a diminuição da área foliar parece ser uma plasticidade da planta de milho para adaptação às condições de encharcamento do solo. Assim, a área foliar pode ser uma importante característica de avaliação para seleção de plantas de milho sujeitas a essas condições.

Plantas de arroz e de algumas outras espécies apresentam um bom desenvolvimento sob condição de inundação, através de um suplemento de oxigênio em razão da aeração interna, resultante de um aumento no espaço aéreo das raízes (LUXMOORE & STOLZY, 1969). O milho, geralmente, é considerado como susceptível ao encharcamento do solo, apesar do desenvolvimento de espaços gasosos ter sido observado em algumas variedades sob inundação (LUXMOORE et al., 1970).

Os resultados de porosidade de raiz dos seis genótipos avaliados nos dois ambientes, encontram-se na tabela 3. Observou-se que no ambiente normal não houve diferença entre os genótipos. Sob a condição encharcada de cultivo, a seleção proporcionou um aumento, do ciclo 1 para o ciclo 15, de praticamente 100%. É importante também notar o acréscimo dos ciclos 5, 9 e 15 entre ambientes, que foram respectivamente, 72, 64 e 89%. Resultados semelhantes demonstrando a importância da porosidade de raiz em cultivares de milho para tolerância ao

encharcamento do solo foram encontrados por Barreto (1995) e Ferrer (2003). Magalhães et al. (2000) enfatizam que a porosidade de raiz parece ser o principal mecanismo utilizado pelas plantas de milho em condições de encharcamento. Assim, a tolerância ao encharcamento dos ciclos avançados de seleção do ‘Saracura’ utilizado no presente estudo foi também em parte atribuída ao aumento da porosidade de raiz. Vale ressaltar, que a presença de aerênquimas no milho parece ser induzida em função dos valores de porosidade de raiz observados na condição normal de cultivo e não constitutivo como no açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), onde Menezes Neto (1994) observou a formação de aerênquima mesmo em condições normais de aeração.

Tabela 3 – Médias de porosidade de raiz (%) de plantas de quatro ciclos de seleção da variedade de milho BRS 4154 (C1, C5, C9 e C15), variedade BR 107 e híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.

Genótipos	Porosidade de raiz (%)	
	Ambientes	
	Normal	Encharcado
C 1	4,62 Aa	4,37 CDa
C 5	3,70 Ab	6,38 ABCa
C 9	4,66 Ab	7,66 ABa
C 15	4,48 Ab	8,47 Aa
BR 107	4,11 Ab	5,60 BCDA
BRS 1010	4,77 Aa	3,63 Da
C V (%)	14,71	17,76

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

As características de fluorescência da clorofila e teor de clorofila não foram adequados para serem utilizados como indicativo de estresse de água em milho no presente estudo.

A área foliar foi uma característica importante na avaliação das plantas de milho dos ciclos de seleção da variedade de BRS 4154 – ‘Saracura’, sendo indicada na seleção de plantas de milho sob encharcamento do solo.

A porosidade das raízes é a principal estratégia utilizada pela planta de milho para tolerar ambientes encharcados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, J. F. **Avaliação de progênies de meio irmãos do composto de milho CMS-54 em duas condições de várzea do RS**. 1995. 145 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1995.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 497-514, July/Aug. 1989.

CARVALHO, C. J. R.; ISHIDA, F. Y. Respostas de pupunheiras (*Bactris gasipaeskunth*) jovens ao alagamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1231-1297, set. 2002.

FERRER, J. L. R. **O cálcio na tolerância do milho (*Zea mays* L.) “Saracura” BRS-4154 ao alagamento do solo em condições de campo e casa de vegetação**. 2003. 49 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

JENSEN, C. R.; LUXMOOR, R. J.; GUNDY, S. D. van; STOLZY, H. L. Root air space measurements by a pycnometer method. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 3, p. 474-475, May/June 1969.

LUXMOORE, R. J.; STOLZY, L. H. Root porosity and growth responses of rice and maize to oxygen supply. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 202-204, Mar./Apr. 1969.

LUXMOORE, R. J.; STOLZY, L. H.; LETEY, J. Oxygen diffusion in the soil-plant system I: a model. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 3, p. 317-322, May/June 1970.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; ANDRADE, C. de L. T. de; OLIVEIRA, A. C. de; GAMA, E. E. G. Adaptação do milho a diferentes condições de alagamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABMS, 2000. CD-ROM.

MENEZES NETO, M. A. **Influência da disponibilidade de oxigênio sobre a germinação, crescimento e atividade das enzimas álcool desidrogenase e lactato desidrogenase em açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. 1994. 50 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

KOZLOWSKI, T. T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Monograph**, Victoria, n. 1, p. 1-29, Mar. 1997.

PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G.; MAGNAVACA, R.; MAGALHÃES, P. C. Selection for tolerance to waterlogging in maize (*Zea mays L.*). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL

SOBRE ESTRESSE ABIÓTICO, 1., 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMS, 1995. p. 434-449.

SANTOS, A. B. dos. Aproveitamento da soca. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 1999. p. 463-492.