

Características de produção e porosidade radicular do milho Saracura em sucessivos ciclos de seleção sob alagamento intermitente do solo

Paulo C. Magalhães¹, Thiago C. Souza², Leandro de O. Lino³, Fabrício J. Pereira⁴, Evaristo de M. Castro⁵ e Sidney N. Parentoni⁶

¹ Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151, 35701-970 - Sete Lagoas, MG, pcesar@cnpms.embrapa.br, ²thiagonepre@hotmail.com, ³leanlino@yahoo.com.br
⁴fjprock@hotmail.com ⁵emcastro@ufla.com, ⁶sidney@cnpms.embrapa.br

Palavras-chave: rendimento de grãos, porosidade radicular, *Zea mays*, hipoxia.

Introdução

Tentativas positivas na busca de genótipos de milho tolerantes por meio de seleção genética têm sido realizadas resultando no desenvolvimento de plantas com rendimentos altos e estáveis sob o excesso de água (ZAIDI et al., 2007b). Na literatura, alguns trabalhos relatam genótipos de milho tolerantes ao alagamento intermitente onde foram constatados que teor de clorofila, peso seco da parte aérea, volume de raiz, porosidade de raiz, rendimento de grãos, área foliar e intervalo entre o florescimento masculino e feminino (IFMF) foram bastante contrastantes em relação às testemunhas (ZAIDI et al., 2007a; LIZASO et al., 2001).

A inabilidade da cultura do milho para baixa disponibilidade de oxigênio na rizosfera, causada pelo alagamento radicular, resulta em substanciais perdas na produtividade (ZAIDI et al., 2007a). No Brasil, grandes limitações agrícolas pelo alagamento são encontradas nas planícies de inundação ou em áreas de várzeas (solos aluviais e hidromórficos), em que inundações temporárias restringem a agricultura, exceção feita para o arroz inundado (SILVA et al., 2007).

Zaidi et al. (2007b), utilizando a seleção de linhagens elites de milho com favoráveis alelos para a tolerância ao encharcamento, conseguiram desenvolver híbridos com altos rendimentos e estáveis sob o excesso de água.

Preocupados com os danos que o alagamento causa à cultura do milho e procurando inseri-la em áreas ociosas como as várzeas, a Embrapa Milho e Sorgo desenvolveu, por meio da seleção recorrente fenotípica estratificada, uma variedade de milho denominada Saracura (BRS 4154), com capacidade de sobreviver, produzir e suportar períodos temporários de alagamento do solo (FERREIRA et al., 2007). Esse milho selecionado para áreas encharcadas apresenta ciclo precoce, altura de planta em torno de 235 cm, altura de espiga de 132 cm, produtividade média de 5 a 6,5 t . ha⁻¹, ótima resistência ao acamamento e ao quebramento, grão do tipo semiduro e cor laranja (PARENTONI et al., 1997).

Dentro deste contexto, o objetivo do trabalho foi a avaliação de características ligadas à morfofisiologia e à produção de grãos de diferentes ciclos de seleção do milho Saracura sob encharcamento intermitente do solo.



Material e Métodos

O material genético utilizado constituiu-se dos ciclos de seleção do milho cv. Saracura BRS 4154 intercalados: C1, C3, C5, C7, C9, C11, C13, C15, C17 e C18 e uma variedade BR 107 como testemunha, conhecida pela suscetibilidade ao encharcamento (MAGALHÃES et al., 2007).

O ensaio foi conduzido no mês de janeiro de 2009, em regime de casa de vegetação, na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, estado de Minas Gerais (altitude de 732 m, latitude Sul 19°28', longitude oeste 44°15'). As médias de temperaturas, máxima e mínima, registradas durante o período de avaliação foram de 28,2°C e 24,8°C, respectivamente. A umidade relativa do ar oscilou entre 52% e 78%. Utilizaram-se duas plantas por vaso de 20 litros, preenchidos previamente com solo de várzea classificado como Neossolo Flúvico TB, Eutrófico Típico, textura argilosa, fase relevo plano campos de várzea (SANTOS et al., 2006). A adubação foi feita de acordo com a recomendação da análise química do solo, aplicando-se, no momento do plantio, uma adubação básica com 5-20-20+Zn com doses de 23 g. 20 kg⁻¹ de solo. As plantas foram irrigadas regularmente mantendo uma ótima umidade do solo até a imposição do estresse. Todos os tratamentos fitossanitários necessários à cultura foram aplicados.

O alagamento foi iniciado no estágio de seis folhas (quando o ponto de crescimento das plantas já se encontra acima da superfície do solo) (MAGALHÃES et al., 2007), até a maturidade fisiológica, recebendo uma lâmina de 50 mm de água três vezes por semana. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial com 11 tratamentos (ciclos de seleção alternados + testemunha) e duas condições (irrigado normalmente e alagado).

As avaliações foram iniciadas no florescimento com o intervalo de florescimento masculino e feminino (IFMF), fotossíntese e a porosidade de raízes, a qual foi determinada através do método do picnômetro (JENSEN et al., 1969). Esse método quantifica porosidade como a porcentagem de volume de raiz ocupado pelo ar (porcentagem volume/volume).

Na colheita avaliou-se o comprimento de espigas (CE), índice de colheita (IC) [peso seco do grão/(peso seco da planta + peso seco do grão)*100] e rendimento de grãos (RG). Os dados de produção foram sujeitos à análise de variância (ANAVA) e as médias foram comparadas utilizando o teste Skott-Knott no programa SISVAR versão 4.3. A relação funcional entre rendimento de grãos com porosidade radicular e fotossíntese foi determinada pela análise de regressão utilizando o programa Table Curve 2D versão 5.01.

Resultados e Discussão

Ênfase maior será dada aos resultados sob encharcamento intermitente do solo. O IFMF foi menor a partir do ciclo 5 em relação à testemunha e aos ciclos iniciais (Tabela 1). O comprimento de espigas não apresentou diferenças entre os tratamentos encharcados, ao passo que o índice de colheita foi maior a partir do ciclo 11 em relação aos ciclos iniciais e à testemunha. O rendimento de grãos foi maior a partir do ciclo 7 em relação aos demais tratamentos (Tabela 1)



Tabela 1 Médias de rendimento de grãos, índice de colheita, comprimento de espiga ao longo dos ciclos de seleção do milho “Saracura” e da variedade BR 107, avaliados em duas condições: alagado (A) e não alagado (NA).

Ciclos	Rendimento de grãos (kg planta ⁻¹)		Índice de colheita		Comprimento de espiga (cm)		IFMF (dias)	
	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
BR107	0,09 aA*	0,05 bB	0,35 aA	0,24 bA	12,75 aA	9,00 aA	2,00 aB	5,25 aA
C1	0,09 aA	0,05 bB	0,33 aA	0,24 bA	13,75 aA	11,00 aB	2,25 aB	4,25 aA
C3	0,08 aA	0,06 bA	0,34 aA	0,30 bA	14,37 aA	13,50 aA	2,25 aB	4,00 aA
C5	0,1 aA	0,06 bB	0,32 aA	0,27 bA	14,75 aA	11,50 aA	2,00 aA	2,50 bA
C7	0,06 aA	0,08 aA	0,36 aA	0,27 bA	16,50 aA	13,25 aA	1,75 aA	1,50 bA
C9	0,08 aA	0,07 bA	0,41 aA	0,28 bB	16,00aA	12,00 aB	1,75 aB	3,25 aA
C11	0,11 aA	0,08 aA	0,41 aA	0,38 aA	13,12 aA	15,00 aA	1,50 aA	2,75 bA
C13	0,09 aA	0,08 aA	0,32 aA	0,26 bA	15,87 aA	11,25 aB	2,50 aA	1,50 bA
C15	0,11 aA	0,1 aA	0,37 aA	0,34 aA	12,12 aA	14,00 aA	2,00 aA	1,75 bA
C17	0,13 aA	0,09 aB	0,40 aA	0,38 aA	12,75 aA	12,00 aA	1,75 aA	2,00 bA
C18	0,12 aA	0,1 aA	0,42 aA	0,39 aA	14,25 aA	13,50 aA	1,75 aA	2,50 bA

*Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas para os genótipos e letras maiúsculas nas linhas para as duas condições de estresse não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$). IFMF: Intervalo entre Florescimento Masculino e Feminino.

A Figura 1-A ilustra a relação entre rendimento de grãos e porosidade radicular. A análise de regressão indicou forte e significativa ($R^2 = 0,66^{**}$) dependência entre essas duas características. Por outro lado, analisando a regressão (na Figura 1-B) de rendimento de grãos em função da fotossíntese, houve uma fraca e não significativa ($R^2 = 0,23$) dependência entre elas.

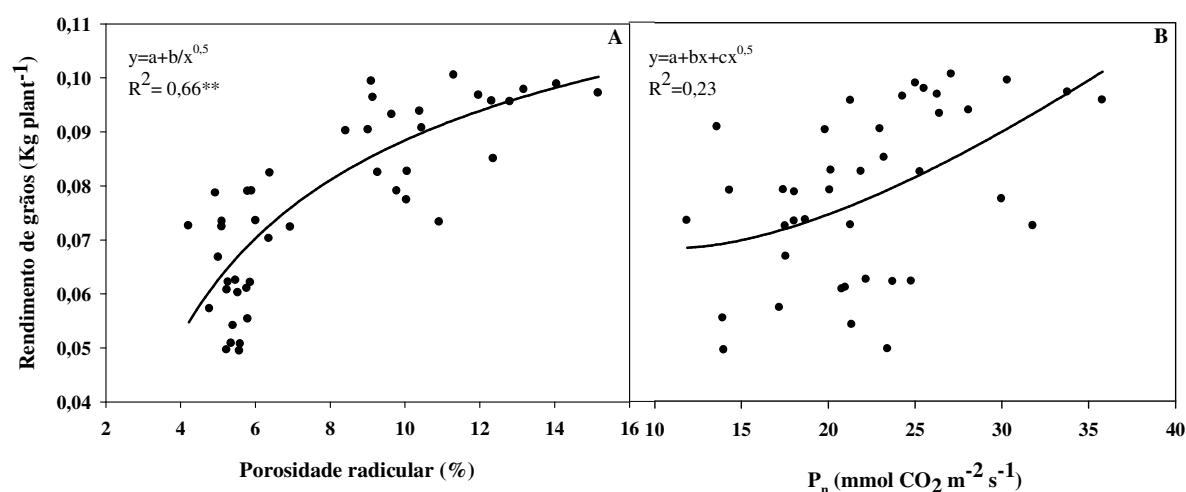


Figura. 1 Média de rendimento de grãos em função da porosidade radicular (A) e fotossíntese – P_n (B) ao longo dos ciclos de seleção do milho “Saracura” em alagamento intermitente.

* Indica significância estatística a $P \leq 0,01$.

É marcante o efeito do estresse causado pelo excesso de água no rendimento de grãos. Diferenças no rendimento de grãos entre as condições alagada e não alagada foram



evidenciadas neste trabalho. Os resultados entre os ciclos de seleção no alagamento confirmaram um ganho efetivo dos últimos ciclos em relação aos primeiros para rendimento de grãos. Ferreira et al. (2007) reportaram perdas no rendimento de grãos quando 4 ciclos de seleção do milho "Saracura" (C1, C5, C9 e C15) foram colocados sob alagamento intermitente. Esses autores também observaram um ganho no rendimento de grãos ao longo dos ciclos de seleção. Já no comprimento de espigas, os dados desses autores corroboraram com o presente trabalho não tendo diferenças significativas entre os ciclos de seleção, porém evidenciaram diferenças entre as condições de estresse.

Um dos motivos que pode ter levado o aumento do rendimento nos últimos ciclos de seleção do milho "Saracura" é uma maior alocação diferencial de fotoassimilados para a espiga durante seu ciclo de vida. Isto foi verificado pelo aumento do índice de colheita a partir do ciclo 11, em condição alagada (Tabela 1). O excesso de água pode estar limitando a adaptabilidade da variedade BR 107 e dos ciclos iniciais interferindo no rendimento de grãos que, por sua vez, tende a ter limitações por processos que influenciam a oferta de fotoassimilados para o órgão econômico de interesse ou por processos que controlam o desenvolvimento do grão-dreno (DURÃES et al., 2002).

Outro motivo que pode ter levado ao melhoramento no rendimento de grãos nos últimos ciclos de seleção do milho "Saracura" é o aumento da sincronia do desenvolvimento dos órgãos reprodutivos. A condição alagada causou impactos negativos no comportamento reprodutivo, principalmente dos ciclos iniciais e na testemunha devido ao atraso do embonecamento, resultando em longos intervalos entre florescimento masculino e feminino (IFMF). Outros autores também chegaram à conclusão de que genótipos de milho mais suscetíveis ao alagamento tendem a ter longos IFMF e genótipos mais tolerantes curtos IFMF (ZAIDI et al., 2007b).

Sob alagamento, o rendimento de grãos foi fortemente relacionado com a porosidade radicular no presente estudo (Figura 1-A). Em outros trabalhos, essa mesma relação foi observada (ZAIDI et al., 2007a). No caso do milho "Saracura" várias modificações anatômicas radiculares (SOUZA et al., 2009) e, principalmente, a porosidade radicular podem estar propiciando condições mais favoráveis para maior produção em condições de hipoxia. Para o milho "Saracura" não foi encontrada uma relação significativa entre rendimento de grãos e taxa de fotossíntese foliar (P_n) (Figura 1-B). Em feijão-mungo (*Vigna radiata* L. Wilczek) o rendimento de grãos e a fotossíntese foram fortemente relacionados em condições de alagamento (ISLAM et al., 2008). Long et al. (2006), em suas revisões, relatam trabalhos específicos questionando a relação de que um aumento da fotossíntese pode levar a um maior rendimento de grãos. Alguns desses trabalhos relatam ainda que essa relação nem sempre acontece e que outros fatores podem estar influenciando o rendimento de grãos, além da fotossíntese.

Conclusão

Pôde-se concluir que o alagamento afetou significativamente os genótipos de milho estudados e que a seleção ao longo do tempo no milho "Saracura" foi eficiente para aumentar a porosidade radicular, favorecendo a sua sobrevivência em ambientes alagados e resultando em maior produtividade.



Referências

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, A. C. Genetical harvest index and possibilities of the physiological genetics to improve maize yield. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, p. 33-40, 2002.

FERREIRA, J. L.; COELHO, C. H. M.; MAGALHÃES, P. C.; GAMA, E. E. G.; BOREM, A. Genetic variability and morphological modifications in flooding tolerance in maize, variety BRS-4154. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 7, p. 314-320, 2007.

ISLAM, M. R.; HAMID, A.; KARIM, M. A.; HAQUE, M. M.; KHALIQ, Q. A.; AHMED, J. U. Gas exchanges and yield responses of mungbean (*Vigna radiate* L. Wilczek) genotypes differing in flooding tolerance. **Acta Physiologiae Plantarum**, Berlin, v. 30, p. 697-707, 2008.

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

LIZASO, J. L.; MELENDEZ, L. M.; RAMIREZ, R. Early flooding of two cultivars of tropical maize. I Shoot and root growth. **Journal of Plant Nutrients**, New York, v. 24, n. 7, p. 979-995, June 2001.

LONG, S. P.; ZHU, X. C.; NAIDU, S. L.; ORT, D. R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 29, p. 315-330, 2006.

MAGALHÃES, P. C.; FERRER, J. L. R.; ALVES, J. D.; VASCONSELLOS, C. A.; CANTÃO, F. R. O. Influência do cálcio na tolerância do milho 'saracura' BRS- 4154 ao encharcamento do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 40-49, 2007.

PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E.; LOPES, M. A.; SANTOS, M. X.; GUIMARÃES, P. E. O.; PACHECO, C. A.; SOUZA, I. R. O.; MEIRELES, W.; CORREA, L. A. Seleção para tolerância ao encharcamento na variedade de milho CMS54-Saracura. In: REUNION LATINOAMERICANA, 4.; REUNION DELA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EM MAIZE, 17., 1997, Cerete Y Cartagena de Ludias. **Memória...** Cerete Y Cartagena de Ludias, Colômbia: CORPOICA/CIMMYT, 1997. p. 368-373.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SILVA, S. D. A.; SERENO, M. J. C. C. M.; SILVA, C. F. L.; OLIVEIRA, A. C.; BARBOSA NETO, J. Inheritance of tolerance to flooded soils in maize. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 7, n. 2, p.165-172, 2007.



SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PARENTONI, S. N.; MAGALHÃES, P. C. Morpho-anatomical characterization of root in recurrent selection cycles for flood tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant, Soil and Environment**, v. 55, p. 504-510, 2009.

ZAIDI, P. H.; MANISELVAN, P.; YADAV, P.; SINGH, A. K.; SULTANA, R.; DUREJA, P.; SINGH, R. P.; SRINIVASAN, G. Stress-adaptive changes in tropical maize (*Zea mays* L.) under excessive soil moisture estress. **Maydica**, Bergamo, v. 52, p. 159-171, 2007a.

ZAIDI, P. H.; SELVAN, P. M.; SULTANA, R.; SRIVASTAVA, A.; SINGH, A. K.; SRINAVASAN, G.; SINGH, R. P.; SINGH, P. P. Association between line *per se* and hybrid performance under excessive soil moisture stress in tropical maize (*Zea mays* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 101, n. 1, p. 117-126, Feb. 2007b.

Apoio: FAPEMIG

