

OXIDAÇÃO DE FERRO NA SUPERFÍCIE DE RAÍZES ADVENTÍCIAS E SUA RELAÇÃO COM A FORMAÇÃO DE AERÊNQUIMA EM GENÓTIPOS DE ARROZ

Filipe Selau Carlos¹; Marquel Jonas Holzschuh²; Humberto Bohnen³; Ibanor Anghinoni⁴;

Palavras-chave: anaerobiose, *Oryza sativa* L., aerênquima, placa fêrrica,

INTRODUÇÃO

No arroz sob alagamento, a lâmina de água cria uma barreira entre a atmosfera e o solo e, devido à baixa taxa de difusão do O₂ na água, a quantidade que chega à superfície do solo é insuficiente para manter o desenvolvimento das plantas e microrganismos aeróbios. Com o consumo do O₂, o solo entra num processo de redução química, mediado por microrganismos anaeróbios, alterando o ambiente onde o arroz se desenvolve. Para manter o crescimento em ambiente sem O₂, as plantas de arroz desenvolvem espaços porosos (aerênquima) na parte aérea e raízes que permite transportar o O₂ para os pontos de crescimento (Jackson & Armstrong, 1999).

A capacidade de transporte de gases pelo aerênquima é determinada pela sua carga genética, e determina diferenças marcantes entre cultivares (Aulakh et al., 2000). Assim, plantas que possuem maior capacidade de formar aerênquima, teoricamente devem transportar mais O₂ para as raízes, podendo favorecer seu crescimento e aprofundamento. Entretanto, parte do O₂ que chega até as raízes é perdido, devido à permeabilidade das raízes e do gradiente de O₂ criado entre o solo e a raiz. A quantidade de oxigênio que é perdido pelas raízes influencia na intensidade das reações químicas e dos processos biológicos na superfície da raiz e, conseqüentemente, na disponibilidade de alguns nutrientes importantes para as plantas, como o nitrogênio (Colmer, 2003). Assim, considerando que existam diferenças entre cultivares na capacidade de formar aerênquima, é possível inferir que haja diferenças também na capacidade de transportar e liberar oxigênio para a rizosfera. Como as reações que ocorrem na rizosfera são dinâmicas e rápidas, é difícil avaliar a liberação de O₂ pelas raízes *in situ*. Devido à afinidade do Fe⁺² com o O₂, ocorre a oxidação e acúmulo de formas oxidadas de ferro na superfície da raiz, comumente denominada de placa fêrrica (Chen et al. 1980). Nesse caso, a determinação da quantidade de ferro oxidado na superfície da raiz pode servir como parâmetro para diferenciar cultivares quanto à sua capacidade de transportar e liberar oxigênio para a rizosfera. Assim, este trabalho teve como objetivo obter raízes adventícias em condições de hipoxia em solo alagado, visando estimar a formação de porosidade e da placa fêrrica em diferentes genótipos de arroz com base genética contrastante.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Estação Experimental do Arroz (EEA) do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA) no município de Cachoeirinha – RS, no período de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009.

A condição de hipoxia foi obtida, explorando a difusão do oxigênio através do plástico vinil em contato externo com solo em processo de redução. Para isso, cinco sacos de vinil (0,1mmx30x40cm) foram introduzidos em tanques de 50 L preenchidos com solo (Gleissolo Háplico). Cada saco recebeu 150 mL de solução nutritiva (Silva & Bohnen, 2001).

¹ Acadêmico do curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre, RS, CEP 91540-000. E-mail: filipeselauCarlos@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, Doutor do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo - UFRGS. E-mail: marquelrs@yahoo.com.br

³ Consultor técnico do Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA E-mail: humbertobohnen@uol.com.br

⁴ Docente Colaborador, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo/UFRGS. E-mail: ibanghi@ufrgs.br

O solo foi alagado e mantido com uma lâmina de água de 5,0 cm. Foram comparados os seguintes genótipos de arroz: EPAGRI 108, EEA 406, BR-IRGA 409, IRGA 417, IRGA 420, IRGA 423, IRGA 424, IRGA 3073, Bluebelle, Orizica, Azire QM 1010 (IRGA), Avaxi, Sasanishiki e Formosa. Plantas dos genótipos previamente cultivados no campo até o início do florescimento foram coletadas e levadas ao laboratório. Destas, 12 perfílios uniformes foram separados, tendo todas as raízes cortadas junto ao colo e alocados nos sacos de vinil, com o colo na superfície do solo. Após sete dias, com novas raízes adventícias formadas, as plantas foram retiradas dos sacos e levadas ao laboratório. A concentração de O_2 nos sacos durante o crescimento das raízes foi inferior a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, indicando a eficiência do método em promover um ambiente de hipoxia. No laboratório, foram cortadas sete raízes de cada genótipo em segmentos de 7,0 cm a partir do ápice, fixadas em um suporte de acrílico em uma caixa de vidro ($20 \times 10 \times 1,5 \text{ cm}$) e inundadas com nitrogênio ultra puro ($< 1 \text{ mg L}^{-1} O_2$). A caixa de vidro foi preenchida com solução do solo (Planossolo Háplico), com $\text{pH} = 6,2$ e 80 mg L^{-1} de ferro (Fe^{+2}). As raízes permaneceram na solução por quatro horas, para que a difusão do oxigênio do interior da raiz para a superfície, combinada com a solução do solo promovesse a oxidação do Fe^{+2} em compostos de Fe^{+3} , formando a placa ferrica. Após, as raízes foram lavadas e cortadas em segmentos de 2,0 cm a partir do ápice, compondo os segmentos de 0-2; 2-4 e 4-6 cm, com sete repetições. Os segmentos foram fotografados para cálculo da área superficial e o ferro oxidado nas raízes foi extraído com $1,0 \text{ ml}$ de $\text{HCl } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ por 24 horas e determinado por absorção atômica.

Outro grupo de raízes foi retirado para a determinação da porosidade. Destas, 30 raízes foram cortadas em segmentos de 0-2; 2-4 e 4-6 cm a partir do ápice, com três repetições de 10 segmentos. Cada grupo foi seco com lenço de papel e pesado. Após, os segmentos foram colocados em seringas de plástico de 60 mL contendo 10 mL de água, tendo a entrada vedada. Foram realizados ciclos de vácuo de 3 min para promover a saída do ar e entrada da água, até se observar que os segmentos se depositavam no fundo da seringa, indicando que os espaços porosos foram preenchidos com água. Após, as raízes foram novamente secas e pesadas. A diferença de peso antes e depois do tratamento com vácuo e entrada de água foi assumida como sendo a porosidade da raiz, resultando em uma estimativa da magnitude do aerênquima formado em cada segmento ao longo da raiz. A obtenção de raízes, avaliação da porosidade e da placa ferrica foi também realizada com plantas crescidas em solução nutritiva na presença de O_2 fornecido via aeração, com o objetivo de servir como testemunha em relação às plantas cultivadas em hipoxia (dados não apresentados). O teste da metodologia está descrito em Holzschuh et al, (2010). Todos os resultados foram submetidos à análise da variância ($p < 0,05$) e, quando significativos, foi feita a comparação entre médias dos tratamentos pelo teste do DMS ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume de espaços porosos variou ($p < 0,05$) entre os genótipos para cada um dos três segmentos avaliados e também entre os segmentos (Figura 1). Para todos os genótipos, a porosidade aumentou linearmente do ápice para a base da raiz, à medida que esta foi se tornando mais madura (Figura 1). A amplitude destas variações dentro de cada segmento foi de 2 a 16%, 22 a 56% e de 45 a 89% para 0 – 2 cm, 2 – 4 cm e 4 – 6 cm respectivamente (Figura 1), indicando que o contraste genético determina que os genótipos respondam diferentemente à limitação de O_2 . Com base em uma avaliação visual, foi possível observar que, após o período de crescimento das novas raízes adventícias, o sistema radicular apresentou diferenças marcantes em diversos aspectos morfológicos, principalmente no número de raízes emitidas, no comprimento e no diâmetro e na formação de raízes.

A quantidade de ferro acumulado na superfície das raízes (placa ferrica) formada pela difusão do oxigênio para a rizosfera também foi diferente ($p < 0,05$) entre os genótipos e entre os segmentos (Figura 2). De um modo geral, a quantidade de ferro oxidado aumentou do ápice (0 - 2 cm) para a região mais madura da raiz (2 - 4 e 4 - 6 cm),

acompanhando o comportamento da formação de aerênquima para os genótipos (Figura 2). Isto indica que há relação positiva entre a porosidade, o ferro oxidado e o oxigênio transportado através do aerênquima. Entretanto, embora seja favorável, esta relação não permite quantificar a perda radial total de oxigênio pelas raízes. Isto por que, somente uma parcela do oxigênio liberado é consumida nas reações de oxidação do ferro e, possivelmente, a maior parte seja consumida pelos microrganismos, pela respiração celular e pelo montante das demais reações de oxidação que ocorrem na região da rizosfera do arroz (Kludze et al., 1993). Entretanto, como a avaliação da placa férrica realizada neste experimento teve, como principal objetivo, diferenciar genótipos quanto à formação de aerênquima e liberação de oxigênio, a metodologia utilizada foi sensível e adequada para este propósito, ainda que, não permita determinações exatas dessas duas variáveis.

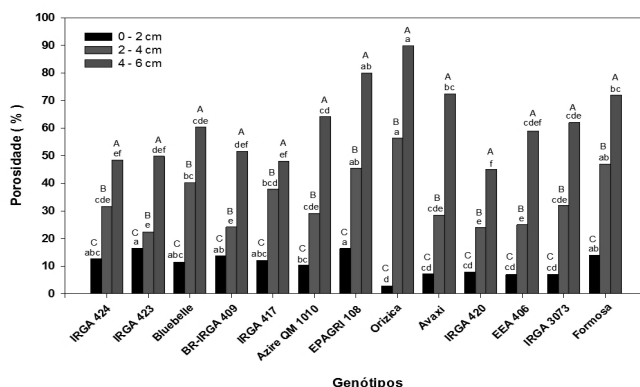


Figura 1. Porosidade em três segmentos de raízes adventícias de genótipos de arroz obtidas em hipoxia. Letras minúsculas comparam genótipos para cada segmento e as letras maiúsculas comparam segmentos dentro de cada genótipo pelo teste do DMS ($p < 0,05$).

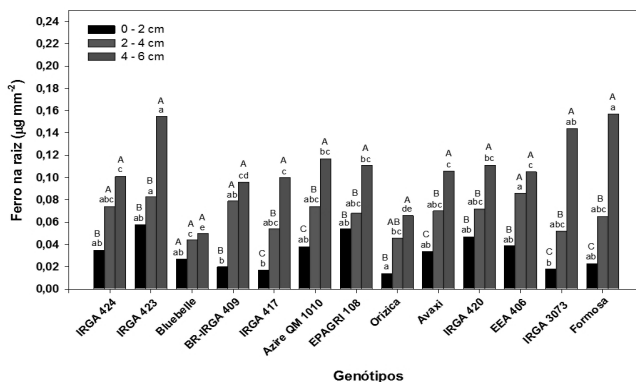


Figura 2. Distribuição do ferro em três segmentos de raízes adventícias de genótipos de arroz obtidas em hipoxia. Comparação entre genótipos pelo teste do DMS ($p < 0,05$).

A relação da porosidade com o ferro nos segmentos indica que, embora o aumento da porosidade se relacione com a quantidade de ferro oxidado, esta relação não é proporcional e linear entre os genótipos (Figuras 3A e 3B). O EPAGRI 108, o Orizica e o Formosa, que apresentam as maiores porosidades médias, necessariamente não apresentam as maiores

quantidades de ferro oxidado. Por isso, não é possível afirmar que o volume de poros por si só, é o fator determinante da quantidade de oxigênio liberado na rizosfera. Este fato é mais evidente para a Orizica, que possui a maior porosidade e a menor quantidade de ferro oxidado, assim como para o IRGA 420, que apresenta menor porosidade do que o Orizica, porém com maior formação de placa férica. Já, o Azire QM 1010, o IRGA 423, o Avaxi e o EEA 406, com porosidades médias intermediárias, possuem os maiores valores de ferro total (Figuras 3A e 3B). Isto ocorre, porque cada genótipo apresenta variações na permeabilidade das raízes, tanto para o oxigênio, como para outros gases, água, nutrientes e produtos tóxicos, alterando a dinâmica das trocas entre o interior e o exterior da raiz.

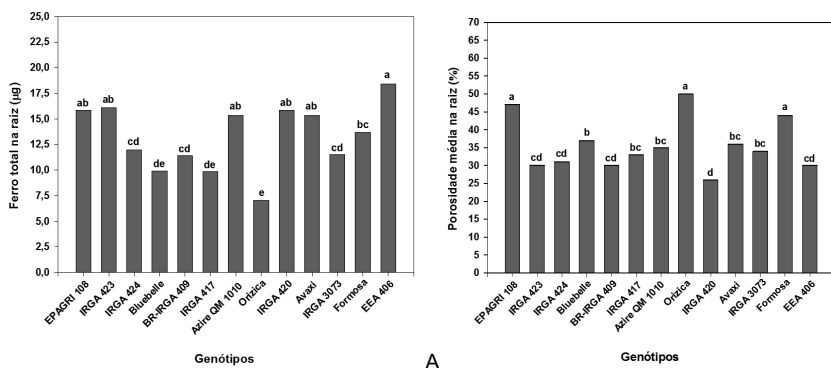


Figura 3 – Porosidade média relativa e ferro total na superfície de raízes adventícias de genótipos de arroz produzidos em condições de hipoxia. Letras minúsculas comparam genótipos pelo teste do DMS ($p < 0,05$).

CONCLUSÃO

A porosidade das raízes adventícias dos genótipos de arroz avaliados tem relação com a formação da placa férica, porém, com magnitudes distintas para cada genótipo de arroz irrigado; e a metodologia de obtenção de raízes adventícias em condições de hipoxia e oxidação do ferro é eficiente e sensível para diferenciar genótipos quanto à capacidade de formar aerênquima e liberar oxigênio para a rizosfera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULAKH, M.S.; WASSMANN, R.; RENNINGER, H.; FINK, S. Pattern and amount of aerenchyma relate to variable methane transport capacity of different rice cultivars. **Plant Biology**, 2(1), 182–194, 2000.
- COLMER, T.D. Long-distance transport of gases in plants: A perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. **Plant, Cell and Environment**, 26(1), 17–36, 2003.
- CHEN, C.C.; DIXON, J.B.; TURNER, F.T. Iron coatings on rice roots: Morphology and models of development. **Soil Science Society of American Journal**, 44(5), 1113–1119, 1980.
- EVANS, D.E. Aerenchyma formation. **New Phytologist**, 161(1), 35–49, 2003.
- JACKSON, M.; ARMSTRONG, W. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. **Plant Biology**, 1(3), 274–287, 1999.
- HOLZSCHUH, M.J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Avaliação da porosidade e placa férica de raízes de arroz cultivado em hipoxia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34, 1763–1769, 2010.
- KLUDZE, H.K.; DELAUNE, R.D.; PATRICK Jr, W.H. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. **Soil Science Society of American Journal**, 57(2), 386–391, 1993.
- NAVA, G.; BOHNEN, H. Oxidação de ferro de dois cultivares de arroz em solução de solo inundado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26(2), 325–332, 2002.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Adv. in Agronomy**, 24(1), 29–96, 1972.