

FRAÇÃO MOLAR DO FERRO EM RELAÇÃO AOS CÁTIONS DIVALENTES EM SOLUÇÃO NUTRITIVA E A TOXIDEX POR FERRO EM ARROZ IRRIGADO

Roberto Carlos Doring Wolter¹; Claudia Filomena Schneider Sehn²; Marcelo Machado Soncini²; Rogério Oliveira de Sousa³; Ledemar Carlos Vahl⁴

Palavras-chave: comprimento radicular, comprimento da parte aérea, sintomas.

INTRODUÇÃO

A toxidez por ferro em arroz irrigado é um distúrbio nutricional que ocorre em lavouras de diversos países, sendo atribuída ou à excessiva absorção do elemento pela planta (toxidez direta) ou a deficiência generalizada de outros nutrientes, causados por altos teores de ferro na solução do solo (toxidez indireta).

A intensidade dos sintomas de toxidez por ferro é determinada em virtude das diferentes condições de pH, teor de matéria orgânica e do conteúdo e reatividade dos óxidos de ferro presentes no solo, sendo verificados concentrações críticas na solução do solo que variam de 30 a mais de 500 mg L⁻¹ (Sousa et al., 2012). Já foram observados sintomas em plantas cultivadas em solos com baixos teores de ferro e, ausência de sintomas em lavouras cujos solos apresentavam altos teores de ferro.

Uma forma de explicar a grande variação nos teores críticos de ferro capazes de causar a toxidez é que mais importante para a manifestação do problema talvez seja a relação dos teores de cátions na solução do solo do que os teores absolutos de ferro. Moore & Patrick (1989) sugerem que a competição entre os cátions pelos sítios de absorção nas raízes tem grande influência sobre a absorção do ferro e de outros nutrientes e, em consequência, sobre a manifestação da toxidez por ferro. Os autores observaram que a absorção do ferro pelas plantas de arroz correlacionou-se melhor com o índice resultante da razão entre a concentração de Fe²⁺ e a soma dos cátions divalentes na solução do solo (Fe²⁺/Fe²⁺ + Mn²⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺), relativamente à atividade do Fe²⁺ em solução, ocorrendo absorção excessiva de ferro pelas plantas de arroz a partir do valor 0,75 desse índice.

Wolter (2010) levanta o questionamento em relação ao que de fato é o indicativo do surgimento de toxidez por ferro, se a concentração absoluta de ferro ou a sua fração molar pelos cátions divalentes na solução, pois verificou melhor correlação da porcentagem de folhas com sintomas com a concentração de ferro absoluta (r=0,75), do que com a fração de ferro pelos cátions divalentes (r=0,54) na solução do solo.

Com o trabalho, objetiva-se determinar qual o valor da relação na solução nutritiva a partir do qual são observados sintomas de toxidez por ferro e qual os efeitos na raiz e na parte aérea das plantas de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em bancada com fornecimento de luz artificial no laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da FAEM/UFPEL, em vasos plásticos com solução nutritiva completa. Os tratamentos (2 cultivares diferentes quanto a tolerância a toxidez por ferro e 6 frações molares de ferro na solução nutritiva) foram estruturados em fatorial 2x6 e os vasos dispostos em um delineamento inteiramente

¹ Doutorando, FAEM/UFPEL, Departamento de Solos/FAEM/UFPEL campus universitário s/n Pelotas/RS; CEP: 96010-900, robertowolter@gmail.com.

² Acadêmico de Agronomia, FAEM/UFPEL.

³ Professor Associado Dr., Bolsista Pq do CNPq, FAEM/UFPEL.

⁴ Professor Dr., FAEM/UFPEL.

casualizado com três repetições, totalizando 36 unidades experimentais. As unidades experimentais foram compostas por vasos com 3,7 L de solução nutritiva e três plantas.

a) Cultivares:

BRS Pelota – suscetível a toxidez por ferro

BRS Querência – resistente a toxidez por ferro

b) Frações molares de Fe pela soma de cátions divalentes ($\text{Fe}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$, Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+}):
0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90

Após a pré-germinação das sementes, quando a radícula apresentou aproximadamente 2 cm de comprimento, foi realizada uma seleção das plântulas mais uniformes, que foram transferidas para vasos plásticos de 3,7 L de volume envoltos por papel contact preto. Os vasos foram cobertos com tampa de isopor perfurada onde foram acoplados pequenos discos de isopor com uma incisão da extremidade para o centro, permitindo a sustentação das plântulas. A solução nutritiva completa usada nos vasos teve a seguinte composição em mmol L^{-1} : 1,0 KCl; 0,3 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,0 NH_4NO_3 ; 0,5 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; 0,5 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,0047 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 0,0011 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,0015 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,0047 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,023 H_3BO_3 e 0,01 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Foram cultivadas três plantas por vaso em solução nutritiva completa até que as plantas atingiram estágio V3 (14 dias após o transplante das plantas para os vasos), quando foram aplicados os tratamentos das frações molares de ferro pelos cátions divalentes na solução nutritiva, para isso foi realizado a variação das concentrações de cálcio, magnésio e manganês. Para estabelecimento das doses de Ca, Mg e Mn tomou-se como base o experimento realizado por Wolter (2010), onde na média da solução a razão entre esses cátions foi de 0,703 para Ca, de 0,275 para Mg e de 0,022 para Mn. Assim as concentrações de cálcio na solução foram de 7,13; 2,94; 1,54; 0,84; 0,42; 0,14 mmol L^{-1} , de magnésio foram 2,79; 1,15; 0,60; 0,33; 0,16; 0,05 mmol L^{-1} , de manganês foram 0,223; 0,092; 0,048; 0,026; 0,013; 0,004 mmol L^{-1} , respectivamente com os níveis dos tratamentos, e a concentração de ferro foi de 1,79 mmol L^{-1} constante para todos os tratamentos. Diariamente foram realizadas análises dos teores de cátions divalentes, para monitorar as concentrações dos nutrientes, sendo a solução trocada quando as relações $\text{Fe}^{2+}/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$ propostas nos tratamentos apresentassem alterações superiores a 20%. O pH da solução nutritiva foi ajustado a 4,0 pela adição de HCl 0,5 M ou NaOH 0,5 M.

As plantas foram cultivadas por um período de 45 dias após o transplante para os vasos com solução nutritiva, sendo desses, 14 dias em solução nutritiva completa padrão para todos os vasos, e 31 dias nas soluções contendo os tratamentos. Foram avaliados nas plantas o comprimento da raiz principal e parte aérea, através de medições com régua milimetrada logo após a coleta das plantas de arroz, a massa de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea em foram medidos em balança de precisão, após secagem em estufa a 60 °C. A concentração de macro e micronutrientes nas plantas foram avaliadas segundo metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995) e avaliação da intensidade de sintomas visuais de toxidez por ferro na parte aérea das plantas foi realizada através da porcentagem de folhas com sintomas ($100 \times (\text{n}^\circ \text{folhas com sintomas} / \text{n}^\circ \text{total de folhas})$).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste de Duncan a 5% de probabilidade, e análise de regressão polinomial utilizando o programa estatístico Winstat. Os valores da variável independente (x) corresponderão aos diferentes valores da relação $\text{Fe}^{2+}/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}^{2+}$ e os valores da variável dependente (y) aos indicadores avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As massas de matéria seca da parte aérea e da raiz tenderam a serem constantes até a fração molar de 0,60 de ferro em relação aos cátions divalentes na solução nutritiva, ocorrendo uma diminuição a partir desta, chegando a um mínimo de massa da parte aérea e raiz na fração de 0,90 (Figura 1a e 1b).

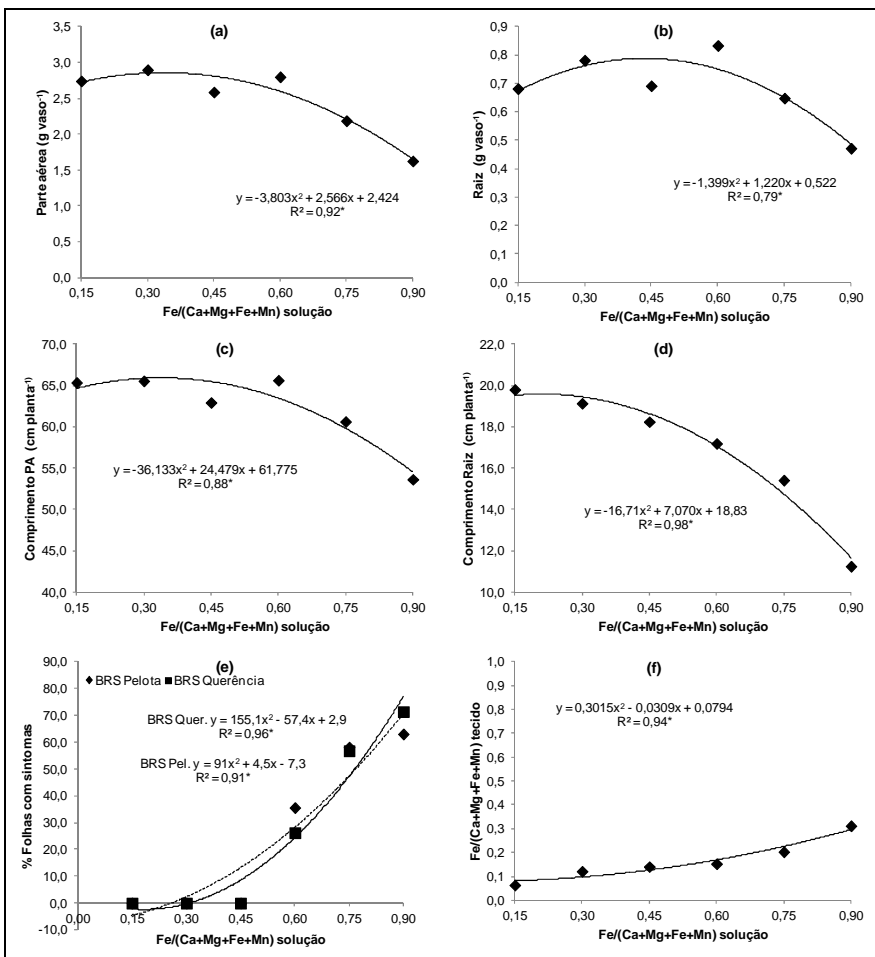


Figura 1. Regressões entre a fração molar de ferro em relação aos cátions divalentes na solução nutritiva e a massa da parte aérea (a), massa de raízes (b), comprimento da parte aérea (c), comprimento radicular (d), porcentagem de folhas com sintomas (e) e fração molar de ferro em relação aos cátions divalentes no tecido das plantas de arroz (f). *Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O comprimento da parte aérea esboçou uma regressão semelhante a massa de matéria seca da parte aérea (Figura 1c), onde que o comprimento foi constante até a fração molar de ferro de 0,60 e então caiu até atingir o mínimo na fração molar de ferro de 0,90. Comparando a redução do comprimento da parte aérea na fração de 0,90 com a fração de 0,60, ocorreu uma redução de 19% no comprimento da parte aérea das plantas de arroz. O comprimento radicular diminuiu com o aumento da fração molar de ferro na solução nutritiva, no entanto essa redução foi menor até a fração de 0,60, sendo mais drástica a partir desta, com uma redução de 35% do sistema radicular na fração molar de 0,90 comparada a fração de 0,60 (Figura 1d). Bresolin 2010 verificou que a toxidez por excesso de ferro interfere negativamente sobre o desenvolvimento do comprimento radicular e da parte aérea, sendo

o comprimento radicular a variável mais afetada.

Como ocorreu interação entre os fatores de tratamentos para a variável porcentagem de sintomas de toxidez por ferro nas folhas de arroz o gráfico de regressão é apresentado com as regressões em separado para cada cultivar (Figura 1e). Até a fração molar de 0,45 não ocorreram sintomas nas folhas para nenhuma cultivar, na fração de 0,60 a porcentagem de sintomas foi de aproximadamente 26% para a BRS Querência e de 35% para a BRS Pelota, chegando na fração de 0,90 para a cultivar BRS Querência a ser superior a 70% das folhas danificadas com sintomas de toxidez por ferro.

A fração molar de ferro em relação aos cátions divalentes no tecido das folhas de arroz aumentou com o aumento da fração molar de ferro na solução nutritiva, chegando a dobrar da fração de 0,60 para 0,90 (Figura 1f).

Analisando a figura 1, nota-se que até a fração molar de 0,60 de ferro em relação aos cátions divalentes na solução nutritiva não se teve grande efeito nas variáveis observadas (exceto para a porcentagem de sintomas), a partir da fração de 0,75 as variáveis são afetadas de maneira mais intensa. Esse valor é igual ao valor observado por Moore & Patrick (1989), onde a absorção excessiva de ferro ocorreu apenas a partir de 0,75 da relação de $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mn^{2+} + Ca^{2+} + Mg^{2+})$, porém está muito distante do valor de 0,40 observado por Farias (2007) e do valor de 0,30 observado por Wolter (2010).

CONCLUSÃO

Sintomas de toxidez por ferro são observados a partir da fração molar de 0,60 de ferro pelos cátions divalentes na solução nutritiva.

A partir da fração molar de 0,75 de ferro pelos cátions divalentes ocorre diminuição tanto da massa quanto do comprimento da parte aérea e das raízes das plantas de arroz.

AGRADECIMENTOS

Trabalho realizado com recursos da CAPES, CNPq e Fapergs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRESOLIN, A. P. S. **Caracterização morfológica e análise da expressão gênica em arroz (*Oryza sativa* L.) sob estresse por ferro**. 2010. 143f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

FARIAS, M.O. **Efeito da adubação com fósforo e potássio na toxidez de ferro em arroz irrigado**. 2007. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

MOORE, P.A.; PATRICK, W.H. Iron availability and uptake by Rice in Acid Sulfate Soils. **Soil Science Society American Journal**. Madison, v.53, p.471-476, 1989.

SOUSA, R.O.; CAMARGO, F.A.O.; VAHL, L.C. Solos alagados (reações de redox). In: MEURER, E.J. (editor). **Fundamentos de química do solo**. 5.ed. Porto Alegre: Evangaf, 2012. p.177-200.

TEDESCO, M.J. GIANELLO, C.; BISSANI, C.A ; BOHNEN, H.; VOLK WEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS. 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, n.5)

WOLTER, R.C.D. **Prognóstico da toxidez de ferro em arroz irrigado por alagamento através da análise de solo pelo método oxalato de amônio**. 2010. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.