

## Manejo da Água de Irrigação e da Adubação Fosfatada para Mitigação da Toxidez por Ferro em Arroz<sup>(1)</sup>.

**Isadora Rodrigues Jaeger<sup>(2)</sup>; Felipe de Campos Carmona<sup>(3)</sup>; Humberto Bohnen<sup>(4)</sup>; Fabrício Ivan Guse<sup>(5)</sup>; Célito Pescador Mezzari<sup>(6)</sup>; Fernanda Timm<sup>(7)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do Instituto Rio Grandense do Arroz

<sup>(2)</sup> Estudante de agronomia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre, RS; isa.jaeger@gmail.com; <sup>(3)</sup> Pesquisador, Instituto Rio Grandense do Arroz; <sup>(4)</sup> Consultor técnico, Instituto Rio Grandense do Arroz; <sup>(5)</sup> Extensionista, Instituto Rio Grandense do Arroz; <sup>(6)</sup> Estudante de agronomia; Universidade Federal de Santa Catarina; <sup>(7)</sup> Estudante de Agronomia, Universidade Luterana do Brasil;

**RESUMO:** Parte da área apta a orizicultura no Rio Grande do Sul é afetada pela toxidez por ferro, que pode causar danos diretos e indiretos, ocasionando diminuição da absorção de nutrientes e morte de plantas de arroz. A supressão temporária da água de irrigação, assim como a adubação fosfatada, podem ser alternativas para a mitigação desse problema. Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência dos efeitos da supressão da irrigação e da adubação fosfatada na mitigação da toxidez por ferro em cultivares de arroz com diferentes sensibilidades ao estresse. O experimento foi realizado na safra de 2012/2013 em dois municípios do RS, Cachoeirinha e Restinga Seca, ambos em áreas com histórico de toxidez por ferro. Foram testadas duas cultivares contrastantes quanto ao problema: IRGA 425, tolerante a toxidez, e BR-IRGA 409, suscetível a toxidez. Os tratamentos utilizados foram T1 – Irrigação contínua, T2 – supressão da irrigação entre V<sub>6</sub>-V<sub>8</sub> e T3 – supressão da irrigação entre V<sub>6</sub>-V<sub>8</sub> e V<sub>8</sub>-V<sub>10</sub>. Também foram avaliados os efeitos de crescentes doses de fósforo em cada tratamento sendo elas: 0, 75, 150, 600, 1200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. A prática de supressão da irrigação diminuiu os efeitos da toxidez por ferro em ambos os locais e cultivares, aumentando significativamente o rendimento de grãos, sendo que a magnitude de resposta a essa variável foi muito superior em relação à resposta ao fósforo.

**Termos de indexação:** BR-IRGA 409, IRGA 425, Restinga Seca

### INTRODUÇÃO

O ferro é um dos elementos mais abundantes nos solos, podendo variar significativamente de 0,5 a 55% (Morel & Hering, 1993; Becker & Asch, 2005). Ele pode ocorrer nos solos na forma de Fe<sup>+3</sup> e Fe<sup>+2</sup>, variando de acordo com as condições ambientais, principalmente pH, potencial redox (Eh) e estado de oxigenação do solo. Em ambientes sazonalmente alagados, o ferro se torna mais abundante na forma disponível para as plantas, o Fe<sup>+2</sup>. Esse processo ocorre pela respiração dos microorganismos, que em condições de

alagamento, usam rapidamente o oxigênio disponível, e iniciam a utilização de compostos minerais como aceptores de elétrons. Assim, os compostos de Fe<sup>+3</sup> são reduzidos a Fe<sup>+2</sup> e se tornam disponíveis para as plantas de arroz. (Becker & Asch, 2005). A drenagem da água faz com que os compostos de Fe<sup>+2</sup> sejam rapidamente oxidados e depositados como compostos mal cristalinizados de Fe<sup>+3</sup>, que podem aumentar o grau de cristalinidade com o tempo de drenagem, mas muito lentamente. (Sousa et al., 2004). As bactérias tem preferência por compostos mal cristalinizados, por isso, com a volta da água o Fe<sup>+3</sup> é rapidamente reduzido a Fe<sup>+2</sup>, o que se torna importante em solos de arroz. (Munch & Ottow, 1980). Assim, quanto maior o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro, maior será a redução e a liberação de ferro para a solução do solo (Ponnamperuma, 1972). A forma mais solúvel do Ferro é o Fe<sup>+2</sup>, por isso é a forma mais disponível para as plantas de arroz. Em solos alagados a abundância nesta forma é muito maior, podendo, muitas vezes, causar toxidez.

A toxidez por ferro é uma das desordens nutricionais de micronutrientes mais importantes no cultivo de arroz, causando perdas de cerca de 30% do rendimento de grãos, e, muitas vezes, podendo chegar a perda total da produção (Becker & Asch, 2005). Os sintomas podem ser classificados como diretos e indiretos. As plantas de arroz tem a tendência de absorver mais ferro do que outras plantas, assim, as formas reduzidas de Fe<sup>+2</sup> entram diretamente pelo xilema acumulando-se nas folhas da planta, causando sintomas conhecidos como bronzeamento (Becker & Asch, 2005). Os sintomas causados indiretamente estão relacionados com a absorção de nutrientes. O ferro pode ficar acumulado em volta da raiz do arroz, pela oxidação do ferro solúvel quando entra em contato com o aerênquima, onde existe grande disponibilidade de oxigênio. Assim, ocorre a formação da placa férrica, a qual pode diminuir a absorção de ferro e outros elementos tóxicos, mas também diminui a absorção de nutrientes necessários para o crescimento da planta, podendo causar desordens nutricionais. A quantidade de placa férrica aumenta a adsorção de

fósforo na placa, mas nem sempre está associada à disponibilidade de fósforo para a planta.

A estratégia mais usada para áreas afetadas pela toxidez é o uso de variedades resistentes, mas dependendo da região, este método pode não ser o mais adequado. (Becker & Asch, 2005). A irrigação intermitente se mostra como uma alternativa para o problema, podendo ser usada em áreas com histórico de toxidez tanto com o uso de variedades resistentes, como suscetíveis, preservando o potencial produtivo mesmo em áreas com altos teores de ferro. A intermitência permite a entrada de oxigênio temporária no solo diminuindo os teores de ferro solúvel ( $Fe^{+2}$ ) no solo, provavelmente pela oxidação destes para compostos insolúveis de  $Fe^{+3}$  (Kongchum, 2005).

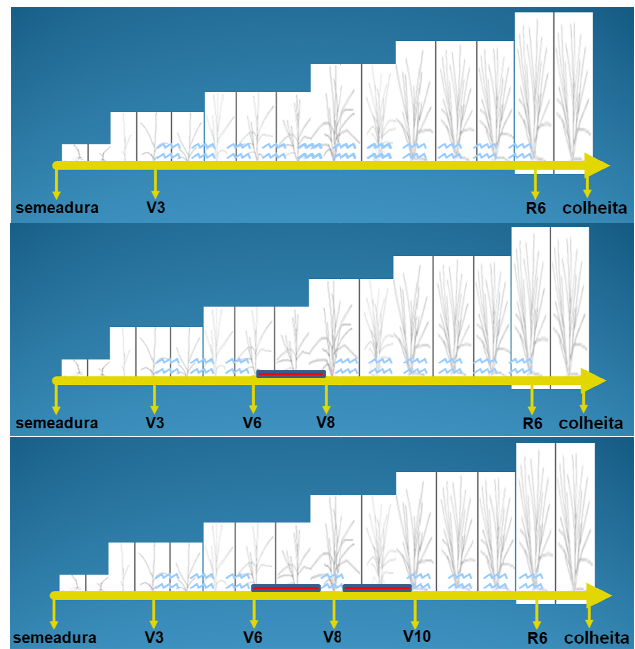
Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da supressão da irrigação e da adubação fosfatada em mitigar os sintomas da toxidez por ferro em duas variedades contrastantes na tolerância a essa desordem nutricional.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas localidades no Estado do Rio Grande do Sul: na Estação experimental do arroz do IRGA, no município de Cachoeirinha e em uma propriedade privada no município de Restinga Seca. Em ambos os casos, a cultura foi cultivada em um Planossolo háplico distrófico típico, com histórico de toxidez por ferro.

Os seguintes tratamentos (**Figura 1**) foram utilizados: T1 – Irrigação contínua com altura de lâmina de 5,0 cm desde a entrada da água no estádio  $V_3$ - $V_4$  e retirada da água em  $R_6$ ; T2 – Irrigação contínua, com uma supressão entre os estádios  $V_6$ - $V_8$ , com o restabelecimento da lâmina até o estádio  $R_6$ ; e T3 – Irrigação contínua, com duas supressões de irrigação, a primeira entre os estádios  $V_6$ - $V_8$  restabelecendo-se a lâmina e iniciando-se a segunda supressão, entre  $V_8$ - $V_{10}$ , com retomada da irrigação contínua até o estádio  $R_6$ .

Foram utilizadas duas cultivares contrastantes quanto a tolerância à toxidez por ferro: IRGA 425, tolerante e BR-IRGA 409, suscetível à toxidez. A semeadura foi feita na primeira quinzena de novembro, em solo seco. A adubação potássica e nitrogenada, em ambos os locais, foi de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de KCl, previamente à semeadura, e  $330 \text{ kg ha}^{-1}$  de ureia, fracionada em três vezes, a partir do estádio  $V_3$ . A adubação fosfatada foi feita em doses crescentes de 0, 75, 150, 600, 1200 de  $P_2O_5$ , na forma de SFT.



**Figura 1** - Ilustração dos tratamentos adotados nos experimentos em Restinga Seca e Cachoeirinha. Safra 2012/13.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados em parcelas sub-sub-divididas com três repetições. Os tratamentos de irrigação constituíram as parcelas principais ( $10 \times 17 \text{ m}^2$ ), as sub-parcelas as cultivares ( $10 \times 8,5 \text{ m}^2$  cada) e as sub-sub-parcelas, as doses de P ( $10 \times 1,7 \text{ m}^2$  cada). Cada parcela principal foi isolada por taipas, com a irrigação individualizada por tratamento. A água utilizada para a irrigação foi aduzida por gravidade, com derivações laterais para as unidades experimentais, de modo a irrigar as parcelas de acordo com os tratamentos propostos. A entrada da água ocorreu no estádio  $V_3$  em todos os tratamentos, logo após a primeira adubação nitrogenada. Ao final do ciclo da cultura foi feita a colheita de grãos, sendo os resultados de rendimentos ajustados para a umidade de 13%.

Os resultados de rendimento de grãos foram separados entre locais e regimes de irrigação, sendo, posteriormente, submetidos à análise de regressão, sendo ajustadas de acordo com o maior coeficiente de regressão. Foi considerada a significância estatística dos coeficientes de determinação a um nível de 10%. Em Restinga Seca, o melhor ajuste foi obtido por decaimento exponencial, independentemente da variedade e do regime de irrigação, enquanto que em Cachoeirinha, foram obtidas respostas quadráticas e linear.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em Restinga Seca, o padrão de resposta à aplicação de fósforo foi semelhante, tanto na variedade suscetível, quanto na tolerante (**Figura 2a**

e b, respectivamente). Os patamares de produtividade, entretanto, foram maiores na cultivar IRGA 425, se situando ao redor de 7 e 8 Mg ha<sup>-1</sup>, conforme o regime de irrigação, com a aplicação de 600 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (Figura 2b). Por outro lado, a variedade BR-IRGA 409, além de apresentar menores produtividades de modo geral em Restinga Seca, apresentou rendimentos muito baixos, ao redor de 2 Mg ha<sup>-1</sup>, na ausência de fósforo, resultado muito aquém do potencial produtivo desta cultivar, que se situa ao redor de 12 Mg ha<sup>-1</sup>.

Grandes quantidades de ferro oxidado, tanto microbiana quanto quimicamente, resultam na formação e acúmulo de Fe(OH)<sub>3</sub>. Esta deposição de placa ferrúgia pode ser da ordem de 500 kg de FeOOH ha<sup>-1</sup>, ou 10% do peso seco total das raízes (Chen et al., 1980). Além de ser uma barreira física ao influxo de ferro reduzido (Tanaka et al., 1966), pode ser também uma barreira química à absorção de nutrientes como o fósforo, por exemplo. Por conterem cargas negativas, os íons fosfato presentes na solução do solo podem ficar adsorvidos à placa ferrúgia, diminuindo a disponibilidade desse nutriente às plantas (Kuo, 1986).

Diversos autores têm relacionado o aparecimento de sintomas de toxidez por ferro à deficiência de nutrientes, como P, K, Ca, Mg e Zn (Fageria et al., 2008; Olaleye et al., 2009; Ottow et al., 1982; Prade et al., 1993). A potencialização do aparecimento de sintomas de toxidez pela nutrição deficiente das plantas pode ocorrer pelo colapso da capacidade oxidativa das raízes, em função do aumento da exsudação resultante do alto influxo de ferro (Benckiser et al., 1984). Nesse sentido, o adequado suprimento de elementos como P auxilia no aumento da capacidade de exclusão de ferro pelas raízes (Win & Lunt, 1967).

A BR-IRGA 409 também apresentou resposta ao regime de irrigação. Menores produtividades médias foram observadas sob irrigação contínua (Figura 2a), o que era esperado, tendo em vista resultados anteriores obtidos por Jaeger et al. (2012), com esta mesma cultivar e regimes de irrigação.

Em Cachoeirinha, os resultados não apresentaram tendências tão claras quanto em Restinga Seca, especialmente em relação à resposta ao fósforo. A cultivar BR-IRGA 409 não respondeu ( $p > 0,1$ ) a adubação fosfatada quando da adoção de supressão da irrigação (Figura 2c).

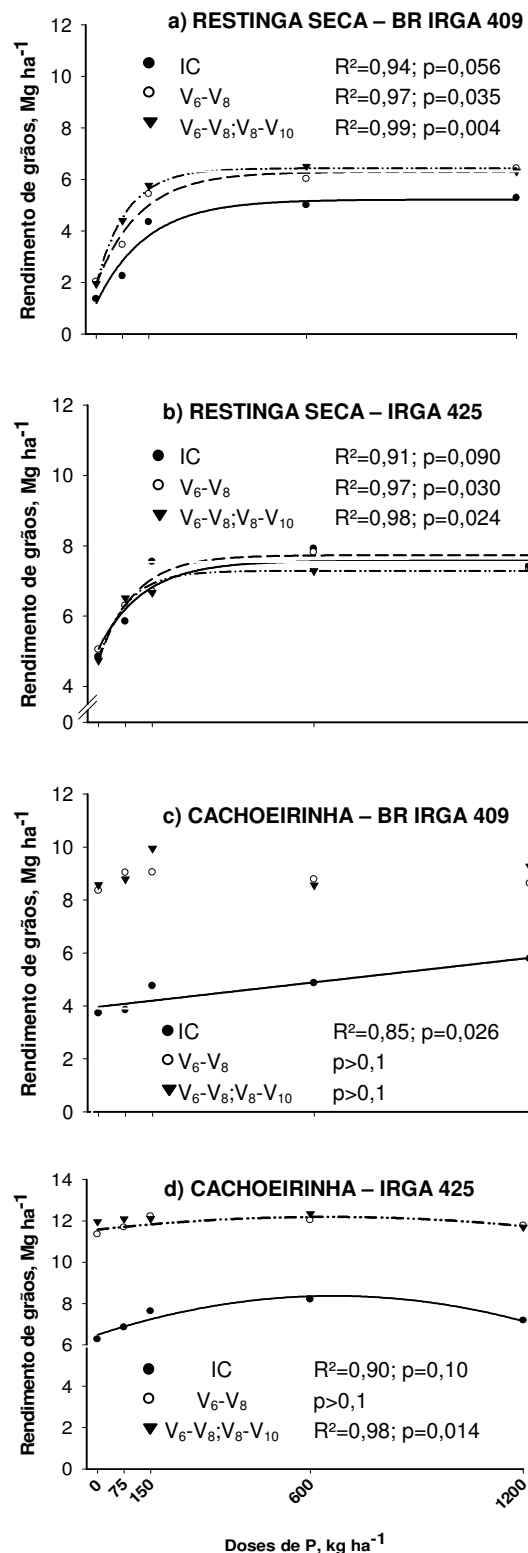


Figura 2- Resposta a adubação fosfatada e regimes de irrigação contínua (IC), IC com supressão de V<sub>6</sub>-V<sub>8</sub> e IC com supressão de V<sub>6</sub>-V<sub>8</sub>;V<sub>8</sub>-V<sub>10</sub>, das cultivares BR-IRGA 409 e IRGA 425, em dois locais.

Entretanto, esta resposta foi linear quando da irrigação contínua. Chama a atenção, neste caso, a grande amplitude entre os rendimentos do tratamento sob IC em relação aos demais. Em

alguns casos a diferença foi de cerca de 6 Mg ha<sup>-1</sup>. Surpreendentemente, houve também uma grande diferença entre estes tratamentos na variedade IRGA 425, considerada tolerante à toxidez por ferro. Sob IC, esta variedade chegou a produzir 6 Mg ha<sup>-1</sup> a menos, em comparação aos tratamentos com supressão da irrigação, dependendo da dose de P (Figura 1d). Neste caso, houve também resposta a adubação fosfatada sob IC e supressão de V<sub>6</sub>-V<sub>8</sub>, entre as doses de 150 e 600 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

### CONCLUSÕES

Os genótipos de arroz irrigado BR-IRGA 409 e IRGA 425, embora contrastantes na tolerância a toxidez por ferro, apresentam importante resposta, em rendimento de grãos, ao manejo da água de irrigação em solos com histórico de toxidez por ferro.

Ambos as cultivares podem apresentar, também, resposta a adubação fosfatada em tais solos, entre as doses de 150 e 600 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, embora a magnitude de resposta seja inferior, em comparação ao manejo da água de irrigação.

### REFERÊNCIAS

BECKER, M.; ASCH, F. Iron toxicity – conditions and management concepts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168:558-573, 2005.

BENCKISER, G.; SANTIAGO, S.; NEUE, H.J.; WATANABE, I. & OTTOW, J.C.G. Effect of fertilization on exudation, dehydrogenase activity, iron-reducing populations and Fe(II) formation in the rizosphere of rice (*Oryza sativa* L.) in relation to iron toxicity. *Pl. Soil*, 79:305-316, 1984.

CHEN, C. C.; DIXON, J. B. & TURNER, F. T. Iron coatings on rice roots: Mineralogy and quantity influencing factors. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:635–639, 1980.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; BARBOSA FILHO, M.P. & GUIMARÃES, C.M. Iron Toxicity in Lowland Rice. *J. Plant Nutr.*, 31:1676–1697, 2008.

JAEGER, I.R.; CARMONA, F.C.; MARCOLIN, E.; GUSE, F.I.; SILVA, P.R.F.; ANGHINONI, I. Atributos de dois genótipos de arroz irrigado afetados pela irrigação intermitente em lavoura com histórico de toxidez por ferro. In: *Fertbio, Maceió*, 2012. Anais.

KONGCHUM, M.. Effect of plant residue and water management practices on soil redox chemistry, methane

emission, and rice productivity. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and mechanical College, 2005, 189 p.

KUO, S. Concurrent absorption of phosphorus and zinc, cadmium, or calcium by a hydrous ferric oxide. *Soil Science Society of America Journal*, 50:1412–1419, 1986.

LANTIN, R.S.; NEUE, H.U. Iron toxicity: a nutritional disorder in wetland rice. *Lavoura Arrozeira* 42, 3-8

LINDSAY, W.L. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley and sons, Inc., Wiley-Interscience, New York, 1979.

MOREL, F.M.M.; HERING, J. G. *Principles and applications of aquatic chemistry*. John Wiley and Sons, Inc., New York City, NY, 1993.

MUNCH, J.C.; OTTOW, J.C.G. Preferential reduction of amorphous to crystalline iron oxides by bacterial activity. *Soil Science*, 129:15-21, 1980.

OLALEYE, A.O.; OGUNKUNLE, A.O.; SINGH, B.N.; ODELEYE, F.O.; DADA, O.A. & SENJOB, B.A. Elemental Composition of Two Rice Cultivars under Potentially Toxic on Aquept and Aquent. *Not. Sci. Biol.*, 1:46-49, 2009.

OTTOW, J. C. G.; BENCKISER, G. & WATANABE, I. Iron toxicity of rice as a multiple nutritional soil stress, In. *Proc. Int. Symp. on Distribution, Characteristics and Utilization of Problem Soils. Trop. Agric. Res. Center*, p.167–179, 1982.

PRADE, K.; OTTOW, J. C. G. & JACQ, V. A. Excessive iron uptake (iron toxicity) by wetland rice (*Oryza sativa* L.) on an acid sulphate soil in the Casamance/Senegal. *ILRI Public.* 44:150–162, 1993.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, 24:29-96, 1972.

SHAHANDEH, H.; HOSSNER, L. R.; TURNER, F. T. Phosphorus Relationships to Manganese and Iron Rice Soils. *Soil Science*, 168 489-500, 2003

SOUSA, R.O.; GOMES, A.S.; VAHL, L.C. Toxidez por ferro em arroz irrigado. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. *Arroz irrigado no Sul do Brasil*. Brasília : Embrapa, 2004. p.305-337.

TANAKA, A.; LOE, R. & NAVASERO, S. A. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 12:158–164, 1966.

WYN, J., R. G. & LUNT, O.R. The function of calcium in plants. *Bot. Rev.* 33:407-426, 1967.