

SELEÇÃO DE ACESSOS DE ARROZ VISANDO À TOLERÂNCIA AO FERRO¹

Renato Ribeiro Passos²
Hugo Alberto Ruiz³

1. INTRODUÇÃO

Em uma cultura de arroz inundado, as condições de privação de oxigênio provocam diminuição do potencial do oxidorredução. Esse potencial pode elevar-se até +700 mV nos solos bem drenados, diminuindo até -300 mV nos solos inundados. Elevado potencial positivo indica a existência de condições oxidantes no solo e baixo potencial negativo, condições redutoras (5). Nos solos inundados, o íon férrico é reduzido para ferroso, uma forma muito mais solúvel desse elemento. Tal redução é favorecida pela ausência de oxigênio, nitratos e óxidos de manganês, pela presença de matéria orgânica de fácil decomposição e pelo adequado suprimento de óxido férrico (1). Como o ferro é exigido em concentrações relativamente pequenas, esse aumento da disponibilidade pode provocar problemas de toxidez às plantas (3).

A toxidez de ferro pode estar relacionada com a absorção excessiva desse elemento pela planta (toxidez direta) ou, indiretamente, pela inibição da absorção de outros nutrientes. Geralmente predominam mais as desordens fisiológicas indiretas provocadas pela baixa e desequilibrada absorção de nutrientes, predominantemente fósforo, potássio, cálcio e magnésio, que os efeitos diretos em virtude da elevada concentração desse elemento (9, 12).

¹Trabalho realizado com auxílio financeiro do CNPq.
Aceito para publicação em 24.03.1997.

²Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 Viçosa, MG
(Bolsista da CAPES).

³Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa (Bolsista do CNPq).

Quando o teor de ferro disponível é adequado, este é absorvido e translocado para as folhas em crescimento. Acima de uma concentração crítica, ocorre precipitação na superfície radicular, reduzindo a capacidade de absorção de nutrientes (6). Mesmo com baixas concentrações na solução do solo, o ferro pode acumular-se na epiderme radicular das plantas de arroz (2). Se, entretanto, a quantidade de ferro excedesse a capacidade de oxidação das raízes, depositar-se-ia no colmo e seria translocado para as folhas mais velhas (15). Paralelamente, inibiria a formação de novas raízes ativas (6).

Plantas de arroz podem mostrar-se tolerantes à toxidez de ferro através de diversos mecanismos que permitam a diminuição de sua concentração na rizosfera: capacidade de oxidação do íon ferroso para férrico e conseqüente precipitação (14), elevadas concentrações de sílica, fósforo e potássio nas plantas, aumentando a capacidade de oxidação das raízes (16) ou exsudação radicular de fontes de carbono (4). Outros casos de tolerância estão relacionados à absorção do nutriente sem translocação para a parte aérea ou à absorção e translocação, com resistência da planta aos teores elevados de ferro.

O nível crítico de ferro para o desenvolvimento dos sintomas de toxidez varia com a idade da planta e o estado nutricional, além da diversidade genética dos materiais (8, 11, 14, 15), resultando numa tolerância específica a concentrações elevadas do elemento na solução do solo.

Este trabalho teve como objetivo estudar acessos de arroz, visando selecionar, mediante ensaios com solução nutritiva em casa de vegetação, materiais tolerantes à toxidez de ferro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para selecionar os materiais de arroz (*Oryza sativa* L.) tolerantes à toxidez provocada pelo ferro foi realizado um ensaio em casa de vegetação. O experimento, em parcelas subdivididas, teve quatro repetições. As parcelas foram dispostas em um delineamento inteiramente casualizado e corresponderam a duas concentrações de ferro na solução nutritiva, e as subparcelas distribuídas ao acaso, dentro de cada parcela, a quarenta e nove acessos de arroz.

As sementes dos referidos acessos de arroz, obtidas do Banco de Germoplasmas da Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA), foram germinadas em caixas com areia lavada, transferindo-se as plântulas para solução nutritiva, onze dias após o plantio. Cada

repetição correspondeu a uma plântula dos quarenta e nove acessos, colocadas conjuntamente numa caixa impermeabilizada, com solução nutritiva. A composição da solução nutritiva foi a seguinte: 2,0 mmol/L de KNO_3 , 2,0 mmol/L de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 1,2 mmol/L de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 0,5 mmol/L de MgSO_4 , 19 $\mu\text{mol/L}$ de H_3BO_3 , 7 $\mu\text{mol/L}$ de MnCl_2 , 2 $\mu\text{mol/L}$ de ZnSO_4 , 0,5 $\mu\text{mol/L}$ de CuSO_4 e 0,086 $\mu\text{mol/L}$ de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ (13). Na solução nutritiva normal (SNN) incluíram-se 2 mg/L de Fe e na solução nutritiva de teste (SNT), 40 mg/L de Fe (7), utilizando-se o Fe-EDTA como fonte do elemento. O pH foi mantido na faixa de 4,5, com controle diário, procedendo-se à troca da solução nutritiva a cada sete dias, para assegurar concentrações mais uniformes durante o experimento.

Decorridos quarenta dias, o ensaio foi concluído, separando-se a parte aérea do sistema radicular. Os materiais foram secados a 75°C e pesados.

A percentagem de redução do peso da matéria seca da parte aérea e das raízes foi calculada pela fórmula (7, 8):

$$\text{Redução do peso} = \frac{\text{Produção com 2 mg/L de Fe} - \text{Produção com 40 mg/L de Fe}}{\text{Produção com 2 mg/L de Fe}} \times 100 \text{ da matéria seca}$$

Usando-se a redução do peso da matéria seca da parte aérea, classificaram-se os diferentes materiais em concordância com a seguinte escala (7, 8): até 20% de redução, tolerantes; de 21% a 40%, moderadamente tolerantes; de 41% a 60%, moderadamente susceptíveis, e >60%, susceptíveis à toxidez de ferro.

Para estimar as alterações provocadas pelo incremento da concentração de ferro na solução nutritiva sobre a produção de matéria seca, o teor de ferro e o acúmulo de ferro na parte aérea e no sistema radicular, escolheram-se os oito acessos de arroz tolerantes e os três mais susceptíveis ao ferro, dentre os materiais estudados. Amostras desses materiais foram submetidas à digestão nitroperclórica, determinando-se o teor de ferro por espectrofotometria de absorção atômica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os acessos de arroz comportaram-se diferentemente com relação à influência das maiores concentrações de ferro na solução (40 mg/L de Fe). O acesso GA 3486 apresentou a menor redução de peso de matéria seca da parte aérea e das raízes, e o GA 3914, a maior (Quadro 1). Para o mesmo acesso, em geral, a parte aérea foi mais afetada pela concentração elevada de ferro em solução do que as raízes (Quadro 1). Esse comportamento,

QUADRO 1 - Continuação

Acesso	Produção de matéria seca				Redução	
	Parte aérea		Raízes		Parte aérea	Raízes
	<Fe	>Fe	<Fe	>Fe		
g/planta				%		
GA 3888	3,8942	2,5947	0,8518	0,6877	33	19
CNA 5768	2,2308	1,4958	0,5440	0,4120	33	24
CNA 549	1,7418	1,1552	0,3760	0,3078	34	18
CNA 6083	2,6542	1,7313	0,5257	0,4512	35	14
CNA 796019	1,7640	1,0990	0,4383	0,3037	38	31
GA 3882	2,3640	1,4620	0,5410	0,3438	38	36
BR-IRGA 409	2,1307	1,2963	0,4555	0,3257	39	28
CNA 6113	1,4570	0,8907	0,3513	0,2525	39	28
CNA 5189	1,8993	1,1497	0,3923	0,2797	39	29
GA 3914	2,5827	1,4943	0,6098	0,4150	42	32
CNA 6091	1,7852	1,0347	0,4635	0,3055	42	34
CNA 6080	2,3400	1,3147	0,5723	0,3807	44	33
GA 3814	1,7958	0,9992	0,4300	0,2792	44	35
INCA	1,8730	1,0477	0,4193	0,2420	44	42
CNA 6088	2,1420	1,1820	0,4380	0,2977	45	32
CNA 5505	1,5008	0,7995	0,3257	0,1845	47	43
CNA 5696	2,6753	1,3857	0,5770	0,3668	48	36
IET 2775	1,7230	0,8000	0,3228	0,2400	54	26
GA 3461	1,6705	0,7557	0,3970	0,2243	55	44
GA 3914	2,9907	1,2130	0,6280	0,2828	59	55

¹ <Fe e >Fe: solução nutritiva com 2 mg/L de Fe e 40 mg/L de Fe, respectivamente.

que coincide com o indicado por FAGERIA *et alii* (7), facilita a identificação dos sintomas de toxidez de ferro em condições de campo, inicialmente evidenciados na parte aérea da planta.

Dos 49 acessos estudados, 16,5% foram considerados tolerantes, 61% moderadamente tolerantes e 22,5% moderadamente susceptíveis (Quadro 2). Não houve, neste estudo, acessos classificados como susceptíveis à toxidez de ferro.

Mesmo em baixas concentrações de ferro na solução (2 mg/L de Fe), as raízes apresentaram maiores teores de ferro que a parte aérea (Quadro 3). Resultados semelhantes foram encontrados por FAGERIA e

QUADRO 2 - Classificação dos acessos de arroz para tolerância à toxidez de ferro baseada na percentagem de redução do peso da matéria seca da parte aérea¹

Tolerantes	Moderadamente tolerantes	Moderadamente susceptíveis
GA 3486	GA 4492	GA 3914
CNA 5741	CNA 5557	CNA 6091
CNA 5554	BR-IRGA 410	CNA 6080
CNA 5932	CNA 5787	GA 3814
CNA 5555	CNA 5730	INCA
GA 3472	GA 4672	CNA 6088
CNA 5714	CNA 3479	CNA 5505
CNA 6100	GA 5544	CNA 5696
	CNA 5755	IET 2775
	GA 5508	GA 3461
	CNA 6096	GA 3914
	CICA 8	
	CNA 5746	
	CNA 5745	
	CNA 6052	
	GA 5213	
	CNA 5385	
	CNA 6089	
	CNA 5213	
	CNA 4994	
	CNA 5957	
	GA 3888	
	CNA 5768	
	CNA 5496	
	CNA 6083	
	CNA 796019	
	GA 3882	
	CNA 6113	
	BR-IRGA 409	
	CNA 5189	

¹ Na mesma coluna, os acessos indicados inicialmente são mais tolerantes e os indicados por último mais susceptíveis à toxidez de ferro.

RABELO (8), os quais atribuíram estes elevados valores ao poder oxidante das raízes de arroz, que podem oxidar o ferro e depositá-lo na superfície radicular.

As produções de matéria seca na SNN e na SNT foram estatisticamente semelhantes, quando comparados os acessos tolerantes (Quadro 4). A única exceção foi registrada na produção de matéria seca da parte aérea do acesso CNA 5714, localizado próximo do limite entre os

QUADRO 3 - Teor e acúmulo de ferro na parte aérea e nas raízes de acessos de arroz tolerantes (T) e moderadamente susceptíveis (S), em relação à concentração desse mineral na solução nutritiva¹

Acesso	Grupo	Teor de Fe				Acúmulo de Fe			
		Parte aérea		Raízes		Parte aérea		Raízes	
		<Fe	>Fe	<Fe	>Fe	<Fe	>Fe	<Fe	>Fe
		µg/g				µg/ planta			
GA 3486	T	190	537	1174	1495	401	1112	497	690
CNA 5741	T	181	652	1435	1482	190	654	392	431
CNA 5554	T	251	727	1114	1394	219	607	263	305
CNA 5932	T	165	565	903	1398	370	1114	435	690
CNA 5555	T	155	793	1326	1410	153	639	263	294
GA 3472	T	143	459	1277	1580	167	466	329	371
CNA 5714	T	153	529	1079	1322	344	967	515	607
CNA 6100	T	172	521	1020	1898	334	817	402	762
IET 2775	S	157	721	1451	2048	269	575	466	488
GA 3461	S	180	601	1488	1745	286	457	606	382
GA 3914	S	172	800	928	1437	540	946	580	397

¹ <Fe e >Fe: solução nutritiva com 2 mg/L de Fe e 40 mg/L de Fe, respectivamente.

materiais genéticos tolerantes e moderadamente tolerantes à toxidez de ferro (Quadro 2). Já nos materiais susceptíveis, a massa seca da parte aérea diminuiu nos três acessos analisados, verificando-se um decréscimo mais acentuado em relação àquele do sistema radicular (Quadro 4).

Somente três acessos tolerantes apresentaram elevação do teor de ferro nas raízes, porém sem comprometer a sua produção de matéria seca (Quadro 4). Entre os materiais susceptíveis, o GA 3914 apresentou típico efeito de concentração de ferro nas raízes, isto é, incremento do teor acompanhado pela diminuição no seu acúmulo nas raízes e na produção de matéria seca (10). Esse material genético evidenciou a maior sensibilidade aos efeitos tóxicos do ferro.

A translocação de ferro foi confirmada pelo aumento no teor e acúmulo do elemento na parte aérea dos materiais tolerantes, sem praticamente afetar a produção de matéria seca. Já nos materiais susceptíveis, houve incremento no teor de ferro da parte aérea e diminuição da produção de matéria seca, verificando-se novamente, efeito de concentração (Quadro 4).

QUADRO 4 - Alterações provocadas pelo aumento da concentração de ferro na solução nutritiva sobre a produção de matéria seca (MS), o teor de ferro (Tfe) e o acúmulo de ferro (Afe) na parte aérea e nas raízes de acessos de arroz tolerantes (T) e moderadamente susceptíveis (S) à toxidez de ferro¹

Acessos	Grupo	Parte aérea			Raízes		
		MS	TFe	AFe	MS	Tfe	AFe
GA 3486	T	=	>	>	=	=	>
CNA 5741	T	=	>	>	=	=	=
CNA 5554	T	=	>	>	=	=	=
CNA 5932	T	=	>	>	=	>	>
CNA 5555	T	=	>	>	=	=	=
GA 3472	T	=	>	>	=	=	=
CNA 5714	T	<	>	>	=	>	=
CNA 6100	T	=	>	>	=	>	>
IET 2775	S	<	>	=	=	=	=
GA 3461	S	<	>	>	<	=	=
GA 3914	S	<	>	=	<	>	<

¹ =, > e < indicam, respectivamente, médias iguais, maiores e menores, devido ao tratamento com 40 mg/L de Fe, pelo teste t a 5%.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Para selecionar acessos de arroz (*Oriza sativa* L.) tolerantes à toxidez de ferro, realizou-se um ensaio em casa de vegetação utilizando solução nutritiva. No experimento, em parcelas subdivididas, as parcelas corresponderam a duas concentrações de ferro na solução nutritiva e as subparcelas, distribuídas ao acaso dentro de cada parcela, a quarenta e nove acessos de arroz. A concentração da solução normal foi de 2 mg/L de Fe e a da solução de teste de 40 mg/L de Fe. Decorridos quarenta dias, finalizou-se o experimento, colhendo-se, separadamente, a parte aérea e as raízes. Os materiais foram secados, pesados e submetidos à digestão nitroperclórica, determinando-se o ferro por espectrofotometria de absorção atômica. A parte aérea foi a porção da planta mais afetada pela concentração elevada de ferro na solução, tendo sido utilizada a redução

4. BENCKISER, G.; SANTIAGO, S.; NEVE, H.U.; WATANABE, I. & OTTOW, J.C.G. Effect of fertilization on oxidation, dehydrogenase activity, iron-reducing population and Fe^{++} formation in the rhizosphere of rice (*Oryza sativa* L.) in relation to iron toxicity. *Plant Soil*, 29:305-316, 1984.
5. FAGERIA, N.K. *Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz*. Rio de Janeiro, Campus, 1984. 341p.
6. FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. & CARVALHO, J.R.P. Influência de ferro no crescimento e na absorção de P, K, Ca e Mg pela planta da arroz em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Bras.*, 16:483-488, 1981.
7. FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; CARVALHO, J.R.P.; RANGEL, P.M.N. & CUTRIM, V.A. Avaliação preliminar de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de ferro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:1271-1278, 1984.
8. FAGERIA, N.K. & RABELO, N.A. Tolerance of rice cultivars to iron toxicity. *J. Plant Nutr.*, 10:653-661, 1987.
9. FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29:511-566, 1978.
10. JARREL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Adv. Agron.*, 34:197-224, 1981.
11. LANTIN, R.S. & NEVE, H.U. Toxidez por ferro: desordem nutricional no arroz irrigado. *Lav. Arrozadeira*, 42:3-8, 1989.
12. OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G. & WATANABE, I. Iron toxicity of rice as a multiple nutritional soil stress. *Trop. Agric. Res. Ser.*, 15:167-179, 1982.
13. RUIZ, H.A.; BARBOSA, R.O., AZEVEDO JR., R.R. & TEIXEIRA, E.V. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrícola. I. Arroz. In: SEMINÁRIO INTERNO DE PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 6, Alegre, 1987. Resumos. Vitória, UFES, 1987. p.15.
14. TADANO, T. Devices of rice roots to tolerate high iron concentration in growth media. *Jpn. Agr. Res. Q.*, 9:34-39, 1975.
15. 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.*, 12:32-38, 1966.
16. TROLLDENIER, G. Mineral nutrition and reduction processes in the rhizosphere of rice. *Plant Soil*, 47:193-202, 1977.