

ESTUDO COMPARATIVO DA TOLERÂNCIA À TOXICIDADE DE FERRO E ALUMÍNIO EM ARROZ (1)

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2,3)
e OCTÁVIO BENTO DE ALMEIDA CAMARGO (2,3)

RESUMO

Foram estudados onze cultivares de arroz em soluções nutritivas, arejadas e não arejadas, contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio, mantendo-se constante a temperatura de $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e o pH das soluções a 4,0. A tolerância foi medida pelo comprimento médio da raiz primária, peso seco da parte aérea e raízes de vinte plântulas cultivadas durante dez dias em solução nutritiva contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio. Com as concentrações de 0; 20 e 40mg/litro de Al^{3+} nas soluções com ou sem arejamento, em presença de 0,56mg/litro de Fe, verificou-se, pelo crescimento radicular, que os cultivares IAC-164, IAC-165, IAC-47, IAC-25, IAC-435, IAC-120, Blue Bonnet e Pérola foram tolerantes e, IR-8, IAC-899 e IR-841, sensíveis. Nas soluções arejadas sem Al onde se adicionaram 200mg/litro de Fe, o 'IAC-164' foi o que apresentou maior crescimento das raízes, diferindo dos cultivares IAC-435, IAC-899, Blue Bonnet, IAC-25, IR-8 e IR-841, mas não dos cultivares IAC-120, IAC-47, IAC-165 e Pérola. Nas soluções não arejadas, o mesmo resultado foi obtido, com exceção do 'IAC-164' que não diferiu do 'IAC-25'. Nas soluções arejadas sem Al, contendo 400mg/litro de Fe, o cultivar mais tolerante foi IAC-164, diferindo somente, porém, dos cultivares IAC-899, IR-841 e IR-8, considerando o crescimento das raízes. Nas soluções não arejadas sem Al empregando-se 400mg/litro de Fe, não ocorreram diferenças significativas para tolerância entre os cultivares estudados. O 'IAC-164' mostrou grande tolerância à toxicidade de Fe e Al, mesmo nos tratamentos onde foram empregados 20mg/litro de Al^{3+} combinados com 200mg/litro de Fe, e 40mg/litro de Al^{3+} combinados com 400mg/litro de Fe. Os cultivares tolerantes ao Al, quando plantados

(1) Recebido para publicação em 3 de novembro de 1983.

(2) Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agrônomo, Caixa Postal 28, 13100 — Campinas (SP).

(3) Com bolsa de suplementação do CNPq.

em soluções com 0,56mg/litro de Fe e doses crescentes de Al, mostraram que os teores de Al na matéria seca da parte aérea aumentaram, sobretudo nas soluções arejadas. Nessas condições, os teores de P, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn tenderam a diminuir e, os de K, a aumentar, à medida que se aumentaram as concentrações de Al nas soluções, com ou sem arejamento. Os cultivares sensíveis ao Al mostraram aumento nos teores de P, Fe e Al na matéria seca da parte aérea e redução nos teores dos demais nutrientes, à medida que se elevaram as concentrações de Al nas soluções. Com o aumento nas concentrações de Fe nas soluções em ausência de Al, os cultivares estudados mostraram tendência de diminuição dos teores de Ca, Mg, Cu e Zn, na matéria seca da parte aérea e elevação dos de K e Fe, com pouca variação nos teores de P. Os resultados obtidos demonstraram que os cultivares de arroz estudados poderiam ser diferenciados em relação à tolerância à toxicidade de Fe e Al, desde que concentrações adequadas desses elementos fossem utilizadas nas soluções nutritivas, com ou sem arejamento.

Termos de indexação: toxicidade de ferro e de alumínio em arroz; soluções arejadas e não-arejadas; tolerância; sensibilidade.

1. INTRODUÇÃO

Estudos conduzidos em solo possibilitaram a diferenciação dos cultivares de arroz tolerantes, moderadamente tolerantes e sensíveis à toxicidade por ferro (ANNUAL ..., 1972, 1973, 1974, 1980). Entre os tolerantes, destacaram-se IR-1552, IR-20, IR-36, IR-42, IR-43, IR-44, Mat Candu e Pokkali e, entre os sensíveis, IR-5, IR-8, IR-759-79-2, ICA-10, Monolaya e Purbachi.

CAMARGO (1984), estudando sete cultivares de arroz em soluções nutritivas não arejadas contendo quatro níveis de ferro (0,56, 100, 200 e 400mg/litro), mantendo constante a temperatura de $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e o pH das soluções igual a 4,0, concluiu que o 'Pérola' mostrou tolerância à presença de doses crescentes de ferro nas soluções, os cultivares IAC-435 e IR-8 foram sensíveis, e IAC-120, IAC-899, IR-841 e Blue Bonnet apresentaram reações intermediárias. Concluiu também que a maior tolerância do 'Pérola' pareceu ser devida a menor absorção de ferro das soluções.

Milhões de hectares nos trópicos são representados por solos ácidos, cuja toxicidade, causada pela presença do alumínio, é uma das principais causas da baixa produtividade das culturas. Logo, a obtenção de cultivares portadores de tolerância ao alumínio seria de alto interesse nos diferentes programas de melhoramento dessas regiões (MARTINES, 1979).

Os cultivares de arroz IAC-899, IR-8 e IR-841 foram sensíveis a 10mg/litro de alumínio quando cultivados durante dez dias em soluções nutritivas arejadas, com $\text{pH} = 4,0$ e temperatura de $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$, e IAC-435, IAC-120, IAC-47, IAC-25, IAC-164, IAC-165, Pérola e Blue Bonnet foram tolerantes nas mesmas condições (CAMARGO, 1984).

Considerando as possíveis interações existentes nos solos ácidos entre ferro e alumínio, o presente trabalho tem por objetivo estudar o comportamento de cultivares de arroz em soluções nutritivas, com e sem arejamento, contendo diferentes concentrações de ferro e de alumínio, visando à detecção de fontes de tolerância para uso futuro em programa de melhoramento genético.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No delineamento estatístico empregado, parcelas subdivididas com duas repetições, as parcelas foram compostas por sete soluções de tratamento com diferentes concentrações de ferro e alumínio, e as subparcelas, por onze cultivares de arroz. Instalaram-se dois experimentos, um com as soluções arejadas e o outro sem arejamento, estudando-se os cultivares seguintes: IAC-435, IAC-120, IAC-47, IAC-165, Pérola, IAC-899, Blue Bonnet, IAC-164, IAC-25, IR-8 e IR-841.

As sementes dos onze cultivares de arroz, cuidadosamente lavadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 10% foram colocadas para germinar em caixas de Petri por 48 horas. Após esse tempo, as radículas estavam iniciando a emergência.

Foram escolhidas 20 sementes uniformes de cada cultivar e colocadas sobre o topo de 28 telas de náilon adaptadas a 28 vasilhas plásticas de 8,30 litros de capacidade contendo soluções nutritivas, de maneira que as sementes fossem mantidas úmidas e as radículas emergentes tocassem nas soluções, tendo, portanto, um pronto suprimento de nutrientes.

A composição da solução nutritiva completa foi a seguinte: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 4 mM; MgSO_4 2 mM; KNO_3 4 mM; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,435 mM; KH_2PO_4 0,5 mM; MnSO_4 2,0 μM ; CuSO_4 0,3 μM ; ZnSO_4 0,8 μM ; NaCl 30 μM ; Fe-CYDTA 10 μM ; Na_2MoO_4 0,1 μM e H_3BO_3 10 μM . O pH das soluções foi ajustado para 4,0 com solução de H_2SO_4 1 N. As vasilhas plásticas contendo as soluções foram colocadas em banho-maria com temperatura de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ dentro do laboratório, sendo o experimento mantido com luz artificial em sua totalidade.

Decorridas 48 horas nessas condições, cada uma das 28 telas de náilon contendo vinte plântulas dos onze cultivares foi dividida em dois grupos de quatorze, constituindo cada grupo um experimento, e transferida para vasilhas plásticas contendo as soluções de tratamento. No primeiro experimento, as soluções de tratamento não foram arejadas e, no outro, o arejamento das soluções foi mantido durante todo o período.

A composição das soluções de tratamento foi um décimo da solução nutritiva completa, porém com as seguintes diferenças:

1. 0mg/litro de Al^{3+} e 0,56mg/litro de Fe^{2+} ;
2. 20mg/litro de Al^{3+} e 0,56mg/litro de Fe^{2+} ;
3. 40mg/litro de Al^{3+} e 0,56mg/litro de Fe^{2+} ;
4. 0mg/litro de Al^{3+} e 200mg/litro de Fe^{2+} ;
5. 0mg/litro de Al^{3+} e 400mg/litro de Fe^{2+} ;
6. 20mg/litro de Al^{3+} e 200mg/litro de Fe^{2+} ;
7. 40mg/litro de Al^{3+} e 400mg/litro de Fe^{2+} .

Como fonte de alumínio, foi utilizado $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ e, como fonte de ferro, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

As plantas, após crescerem nas soluções de tratamento durante dez dias, com o pH mantido o mais próximo de 4,0, por ajustamentos diários, foram retiradas, determinando-se o crescimento da raiz primária de cada plântula, em milímetro. A seguir, foram separadas as raízes das partes aéreas das vinte plântulas de cada cultivar submetido a crescimento em soluções contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio. As partes aéreas e as raízes de cada cultivar foram colocadas para secar em estufa com temperatura de $45^{\circ}C$, por cinco dias, determinando-se os respectivos pesos secos. As partes aéreas secas de cada tratamento foram analisadas quimicamente quanto aos teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn e Al, segundo o método de BATAGLIA et alii (1978).

Os dados foram analisados estatisticamente, considerando a média do crescimento das raízes das vinte plântulas de cada cultivar após a influência prejudicial de diferentes concentrações de ferro e alumínio. As comparações entre as médias de comprimento de raiz das vinte plântulas de cada cultivar dentro de uma mesma concentração de ferro e alumínio foram feitas pelo teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento médio das raízes de vinte plântulas de onze cultivares de arroz medidos após dez dias de crescimento em soluções nutritivas arejadas e não arejadas, contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio encontram-se no quadro 1.

A figura 1 apresenta os sistemas radiculares dos cultivares IAC-164, IAC-435 e IAC-899 após dez dias de crescimento em soluções arejadas contendo diferentes concentrações de Fe e Al e, a figura 2, os crescimentos das

QUADRO 1 - Comprimento médio das raízes de onze cultivares de arroz medidos após dez dias de crescimento em soluções nutritivas arejadas (c/ar) e não arejadas (s/ar) contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio

Cultivar	Concentração de alumínio e ferro (mg/litro)													
	0 Al 0,56 Fe		20 Al 0,56 Fe		40 Al 0,56 Fe		0 Al 200 Fe		0 Al 400 Fe		20 Al 200 Fe		40 Al 400 Fe	
	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar
	----- mm													
IAC-435	201,3	119,4	105,4	87,3	62,2	52,7	121,7	48,5	64,9	31,7	103,5	60,4	46,6	30,6
IAC-120	252,3	143,2	110,1	77,2	77,2	60,7	146,7	61,6	94,5	35,0	144,0	70,4	65,8	37,8
IAC-47	272,2	135,5	105,0	78,4	55,3	48,1	135,3	56,2	74,5	36,2	125,1	62,1	43,7	28,5
IAC-165	202,3	102,3	104,1	84,3	52,1	61,4	164,9	77,6	89,3	46,9	152,2	82,9	57,3	38,5
Pérola	225,9	120,9	108,2	68,8	54,7	51,6	167,2	69,8	90,4	40,1	143,2	72,1	62,3	33,0
IAC-899	148,9	70,0	34,2	23,2	30,4	18,8	82,2	35,6	44,3	28,2	52,7	32,2	26,9	17,3
Blue Bonnet	210,2	90,1	107,0	67,9	67,2	36,0	79,8	38,8	57,5	32,4	71,9	41,7	39,4	29,2
IAC-164	233,0	119,5	120,0	74,4	65,7	61,8	168,7	80,6	107,5	53,1	160,9	99,5	68,2	42,5
IAC-25	226,7	125,9	118,3	84,3	67,5	67,2	118,6	64,4	80,4	40,5	120,2	69,3	52,8	35,3
IR-8	120,3	74,9	35,5	22,4	22,9	17,1	85,3	41,9	44,8	33,9	52,7	38,4	22,1	17,8
IR-841	106,5	53,0	31,9	17,0	21,2	12,9	64,3	32,7	26,3	23,0	36,6	25,9	20,8	14,0
D.M.S. (1)	71,2	45,4	21,1	39,3	13,2	24,2	46,5	25,9	59,4	23,2	45,2	36,4	25,6	25,6

(1) Diferença mínima significativa ao nível de 5% para a comparação das médias dos cultivares de arroz dentro de uma mesma concentração de alumínio e ferro em solução.



FIGURA 1 – A: Sistema radicular do cultivar de arroz IAC-164, após dez dias de desenvolvimento em solução nutritiva arejada contendo 0, 20 e 40mg/litro de Al; B: Sistema radicular do cultivar de arroz IAC-435 após dez dias de desenvolvimento em solução nutritiva arejada contendo 20mg/litro de Al e 0,56mg/litro de Fe, 0mg/litro de Al e 0,56mg/litro de Fe, 0mg/litro de Al e 200mg/litro de Fe; C: Sistema radicular do cultivar de arroz IAC-899 após dez dias de desenvolvimento em solução nutritiva arejada contendo 20mg/litro de Al e 0,56mg/litro de Fe, 0mg/litro de Al e 0,56mg/litro de Fe, 0mg/litro de Al e 200mg/litro de Fe.

raízes dos cultivares IAC-165, IAC-899, IAC-435 e Pérola, estudados em soluções nutritivas com e sem arejamento contendo diferentes concentrações de Fe e Al.

O crescimento radicular de todos os cultivares estudados foi sensivelmente maior em soluções arejadas do que nas sem arejamento, independentemente das concentrações de Fe e Al presentes nas soluções.

Considerando o crescimento das raízes em solução arejada, contendo 0mg/litro de Al e 0,56mg/litro de Fe, verificou-se que o 'IAC-47' foi o que exibiu maior valor, diferindo significativamente dos cultivares IAC-899, IR-8 e IR-841, porém não dos demais. O mesmo resultado foi obtido quando nas soluções não arejadas. Como os cultivares IR-8, IAC-899 e IR-841 são originários das Filipinas e selecionados para condições de irrigação, mos-

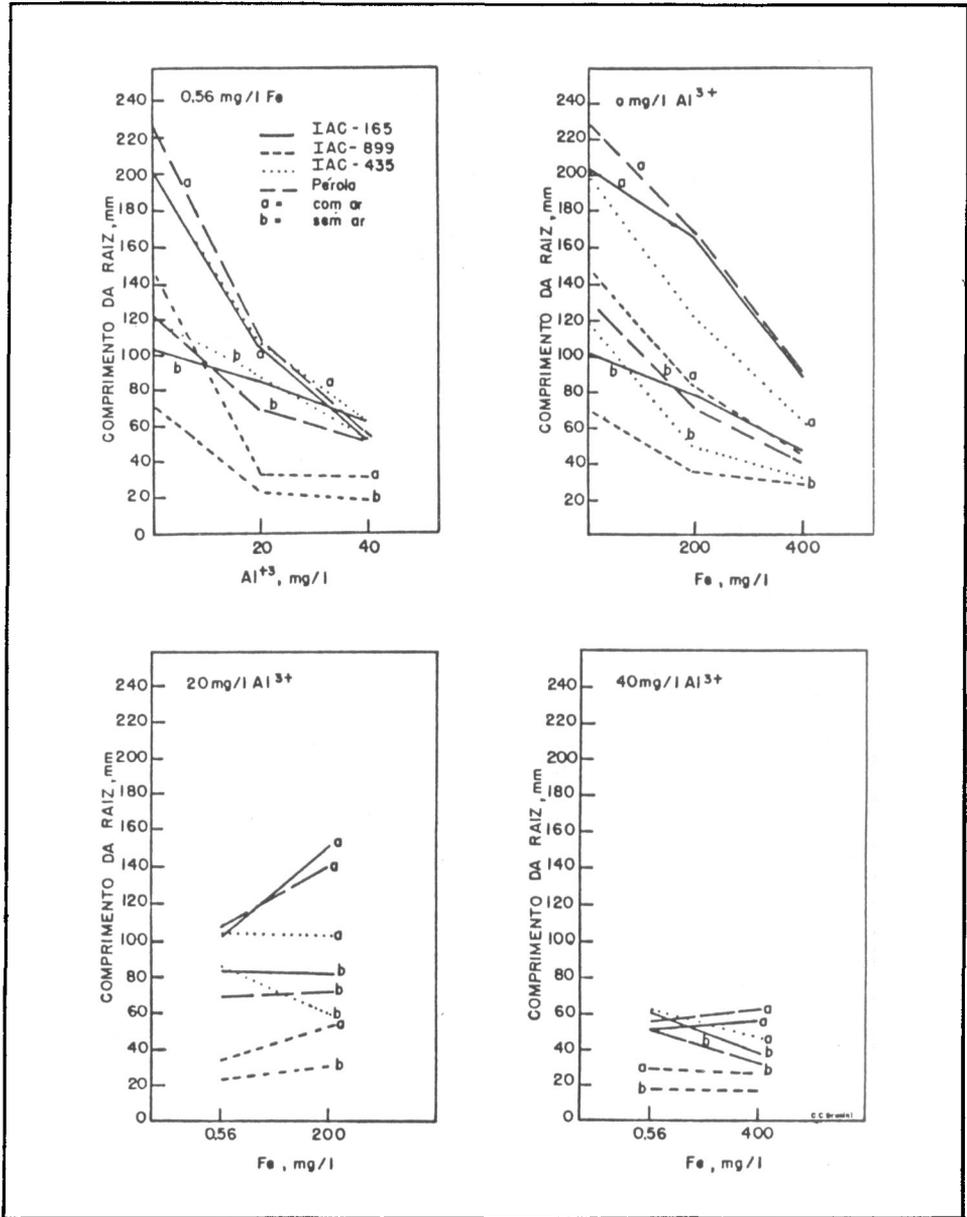


FIGURA 2 – Efeitos das diferentes concentrações de alumínio e ferro no crescimento da raiz de quatro cultivares de arroz estudados em soluções nutritivas arejadas (com ar) e não arejadas (sem ar).

traram um crescimento radicular significativamente menor do que os nacionais, principalmente em relação ao 'IAC-47', selecionado para condições de cultivo em sequeiro.

Quando se adicionaram 20mg/litro de Al e 0,56mg/litro de Fe na solução tratamento arejada, o cultivar indicado para condições de plantio em sequeiro mostrou raízes mais compridas, diferindo dos cultivares IR-841, IAC-899 e IR-8 que foram bastante sensíveis ao alumínio, porém não dos demais. Nas soluções não arejadas, o 'IAC-435', selecionado para condições de várzeas com altos teores de alumínio, foi o mais tolerante, diferindo estatisticamente de IR-8, IR-841 e IAC-899.

O 'IAC-120' foi o que mostrou raízes mais compridas nas soluções arejadas contendo 40mg/litro de Al e 0,56mg/litro de Fe, diferindo significativamente dos cultivares IAC-435, IAC-47, IAC-165, Pérola, IAC-899, IR-8 e IR-841, porém não do 'Blue Bonnet', 'IAC-25' e 'IAC-164'. Em solução não arejada, o 'IAC-25' foi o que mostrou as raízes com maior crescimento, diferindo dos cultivares Blue Bonnet, IAC-899, IR-841 e IR-8.

Os resultados mostraram que quando foi mantido constante o nível de 0,56mg/litro de Fe nas soluções arejadas e não arejadas e foi aumentada a concentração de Al de 0 para 40mg/litro, os cultivares IAC-47, IAC-120, IAC-435, IAC-165, Pérola, IAC-164 e IAC-25 foram os mais tolerantes, e, IR-8, IAC-899 e IR-841, sensíveis.

Considerando o crescimento radicular nas soluções arejadas contendo 0mg/litro de Al e 200mg/litro de Fe, observou-se que o 'IAC-164' foi o que apresentou maior valor, diferindo pelo teste de Tukey a 5% dos cultivares IAC-435, IAC-899, Blue Bonnet, IAC-25, IR-8 e IR-841, porém não diferindo do IAC-120, IAC-47, IAC-165 e Pérola. Nas soluções não arejadas, o 'IAC-164' exibiu as raízes mais compridas, diferindo significativamente do IAC-435, IAC-899, Blue Bonnet, IR-8 e IR-841.

Nas soluções de tratamento arejadas contendo 0mg/litro de Al e 400mg/litro de Fe, verificou-se que o cultivar que apresentou maior crescimento do sistema radicular foi 'IAC-164', diferindo estatisticamente, porém, apenas dos cultivares IAC-899, IR-841 e IR-8. Nas soluções sem arejamento, o nível de 400mg/litro de Fe provocou toxicidade em todos os cultivares, que não diferiram significativamente entre si.

Nas soluções arejadas contendo 20mg/litro de Al e 200mg/litro de Fe, o 'IAC-164' exibiu as raízes mais compridas, diferindo dos cultivares IAC-435, IAC-899, Blue Bonnet, IR-8 e IR-841, não diferindo, porém, de 'IAC-120', 'IAC-47', 'IAC-165', 'Pérola' e 'IAC-25'. Quando se empregaram soluções não arejadas, 'IAC-164', o mais adaptado a essas condições, diferiu somente dos cultivares IAC-435, IAC-47, IAC-899, Blue Bonnet, IR-8 e IR-841.

Considerando-se soluções arejadas que receberam 20mg/litro de Al combinadas com 0,56 e 200mg/litro de Fe verificou-se uma tendência de aumento no comprimento das raízes quando se aumentou a concentração de ferro: logo, os resultados indicaram que a presença de doses maiores de Fe na solução diminuiriam o efeito da toxicidade de Al. Nas soluções não arejadas não se observou essa tendência, sugerindo que o ferro, nessas condições, seria mais prejudicial às plantas.

Nas soluções arejadas contendo 40mg/litro de Al e 400mg/litro de Fe, não se verificaram diferenças entre os cultivares estudados, que se mostraram sensíveis a tais concentrações, porém nas não arejadas, o 'IAC-164' apresentou raízes mais compridas que os demais, diferindo significativamente, porém, só do 'IR-841'.

Nos quadros 2 e 3 encontram-se, respectivamente, os pesos secos das partes aéreas e das raízes das vinte plantas dos onze cultivares estudados em soluções nutritivas arejadas ou não arejadas contendo diferentes concentrações de Fe e Al.

Nos cultivares estudados em soluções nutritivas arejadas ou não, contendo 0,56mg/litro de Fe e com concentrações de Al variando de 0, 20 e 40mg/litro, o peso seco da parte aérea decresceu rapidamente para os cultivares sensíveis ao alumínio, tais como IAC-899, IR-8 e IR-841, ao passo que, nos demais, em alguns casos, o peso seco aumentou na dosagem de 20mg/litro de Al e depois diminuiu ou decresceu lentamente, à medida que se elevaram as concentrações de alumínio.

Todos os cultivares de arroz tiveram diminuído o peso seco da parte aérea quando se considerou a concentração de 0mg/litro de alumínio nas soluções arejadas combinadas com níveis crescentes de ferro. Naquelas não arejadas, todos os cultivares diminuiriam os pesos secos da parte aérea à medida que se aumentaram as concentrações de ferro, mantendo-se fixa a dosagem de 0mg/litro de Al, com exceção do 'Pérola', cujo peso seco aumentou com a concentração de 200mg/litro de Fe e diminuiu muito pouco com a de 400mg/litro de Fe, confirmando trabalho anteriormente realizado que mostrou ser este cultivar tolerante à toxicidade de Fe (CAMARGO, 1984).

Considerando as soluções com ou sem arejamento contendo 200 ou 400mg/litro de Fe, quando se adicionaram 20 ou 40mg/litro de Al, houve redução no peso da matéria seca da parte aérea de todos os cultivares, com exceção de Blue Bonnet, mostrando a existência de uma interação positiva entre a toxicidade de ferro e a de alumínio.

O parâmetro peso seco das raízes tendeu a aumentar à medida que foram adicionadas quantidades de Al e Fe nas soluções com ou sem areja-

QUADRO 2 - Peso da matéria seca da parte aérea de vinte plantas de onze cultivares de arroz estudados em soluções nutritivas arejadas (c/ar) e não arejadas (s/ar) contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio

Cultivar	Concentração de alumínio e ferro (mg/litro)														
	0 Al		20 Al		40 Al		0 Al		0 Al		20 Al		40 Al		
	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	
IAC-435	mg	372	393	407	380	367	334	360	262	287	254	365	278	290	234
	%	100	100	109	96	99	85	97	67	77	65	98	70	78	59
IAC-120	mg	370	394	402	359	387	333	357	302	324	247	408	267	316	258
	%	100	100	109	91	105	85	96	77	88	63	110	68	85	65
IAC-47	mg	502	434	475	422	394	375	367	343	332	343	427	365	330	322
	%	100	100	95	97	78	86	73	79	66	79	85	84	66	74
IAC-165	mg	402	408	447	420	415	373	400	344	365	343	413	344	327	339
	%	100	100	111	103	103	91	100	84	91	84	103	84	81	83
Pérola	mg	439	313	453	400	387	345	413	327	340	307	407	327	344	280
	%	100	100	103	128	88	110	94	104	77	98	93	104	78	89
IAC-899	mg	312	307	277	228	229	214	304	227	234	207	274	247	235	229
	%	100	100	89	74	73	70	97	74	75	67	88	80	75	75
Blue Bonnet	mg	274	272	300	274	293	228	240	200	219	194	245	200	227	200
	%	100	100	109	101	107	84	88	74	80	71	89	74	83	74
IAC-164	mg	476	460	510	407	477	413	440	352	371	364	440	414	363	324
	%	100	100	107	88	100	90	92	77	80	79	92	90	76	70
IAC-25	mg	473	460	474	467	467	435	394	353	400	354	470	414	340	334
	%	100	100	100	102	99	95	83	77	85	77	99	90	72	73
IR-8	mg	294	303	284	260	245	227	254	240	227	247	234	233	214	200
	%	100	100	97	86	83	75	86	79	77	82	80	77	73	66
IR-841	mg	266	275	254	241	227	200	260	242	207	207	227	233	207	180
	%	100	100	96	88	85	73	98	88	78	75	85	85	78	65

QUADRO 3 - Peso da matéria seca das raízes de vinte cultivares de arroz estudados em soluções nutritivas arejadas (c/ar) e não arejadas (s/ar) contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio

Cultivares	Concentração de alumínio e ferro (mg/litro)														
	0 Al 0,56 Fe		20 Al 0,56 Fe		40 Al 0,56 Fe		0 Al 200 Fe		0 Al 400 Fe		20 Al 200 Fe		40 Al 400 Fe		
	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	c/ar	s/ar	
IAC-435	mg	119	143	181	180	166	128	193	137	146	113	207	137	153	114
	%	100	100	152	123	139	90	162	96	123	79	174	96	129	80
IAC-120	mg	122	105	139	117	121	101	179	140	140	107	200	173	147	150
	%	100	100	114	111	99	96	147	133	115	102	164	165	120	143
IAC-47	mg	196	140	179	152	180	135	201	150	138	150	220	166	145	136
	%	100	100	91	109	92	96	103	107	70	107	112	119	74	97
IAC-165	mg	118	100	165	147	125	138	174	179	166	150	207	187	120	160
	%	100	100	140	147	106	138	147	179	141	150	175	187	102	160
Pérola	mg	153	190	194	120	154	124	354	140	147	120	207	147	165	94
	%	100	100	127	63	101	65	231	74	96	63	135	77	108	49
IAC-899	mg	74	80	83	89	76	53	173	140	147	127	153	140	118	92
	%	100	100	112	111	103	66	234	175	197	159	207	175	236	115
Blue Bonnet	mg	65	71	87	60	87	64	114	93	91	93	98	125	90	87
	%	100	100	134	85	134	90	175	131	202	131	151	176	138	123
IAC-164	mg	136	127	166	159	166	154	227	198	190	172	267	215	192	166
	%	100	100	122	125	122	121	167	156	140	135	196	169	124	131
IAC-25	mg	131	114	193	140	160	140	160	134	134	114	173	147	127	154
	%	100	100	147	123	122	123	122	118	102	100	132	129	97	135
IR-8	mg	105	96	96	87	78	87	193	127	140	133	167	141	120	127
	%	100	100	91	91	74	91	184	132	133	139	159	147	140	132
IR-841	mg	74	49	74	62	73	48	120	96	97	115	114	94	113	114
	%	100	100	100	127	99	98	162	196	131	235	154	192	153	233

mento para todos os cultivares. Como o excesso de Fe e Al torna as raízes mais curtas e grossas e, em muitos casos, mais pesadas que as normais, longas e finas, esse parâmetro não seria bom indicador de tolerância de cultivares de arroz a altas concentrações de ferro e alumínio.

A figura 3 apresenta os efeitos das diferentes concentrações de Fe e Al nas soluções com ou sem arejamento no peso seco total (parte aérea mais raízes) de vinte plantas dos cultivares IAC-165, IAC-899, IAC-435 e Pérola. Verifica-se que 'IAC-165', 'IAC-435' e 'Pérola', tolerantes à toxicidade de Al^{3+} , aumentaram o peso seco total com a concentração de 20mg/litro de Al nas soluções arejadas ou não, mantendo-se fixa a concentração de 0,56mg/litro de Fe. Com a concentração de 40mg/litro de Al, houve uma redução na matéria seca total. O 'IAC-899', sensível à toxicidade de Al, diminuiu o peso seco total à medida que se adicionaram 20mg/litro de Al e continuou a diminuir com a adição de 40mg/litro de Al.

Nas soluções arejadas com 0mg/litro de Al, adicionando-se 0,56; 200 e 400mg/litro de Fe, os cultivares Pérola, IAC-165, IAC-435 e IAC-899 aumentaram o peso seco total com o tratamento de 200mg/litro de Fe em relação ao que recebeu 0,56mg/litro de Fe e diminuíram com o de 400mg/litro de Fe. Considerando a mesma situação, porém com soluções não arejadas, o 'IAC-435' foi bastante sensível à concentração de 200mg/litro de Fe, reduzindo acentuadamente o peso seco total quando comparado com 'IAC-165', 'Pérola' e 'IAC-899'.

Em soluções com 20mg/litro de Al, quando foram adicionados 0,56 e 200mg/litro de Fe com ou sem arejamento, verificou-se uma redução no peso seco total do 'IAC-165', 'Pérola' e 'IAC-435', muito mais acentuada no 'IAC-435'. Por outro lado, o 'IAC-899', sensível ao Al quando se adicionaram 200mg/litro de Fe, mostrou um aumento significativo na produção de matéria seca total, sugerindo interação negativa entre Fe e Al. As mesmas observações foram obtidas quando se compararam os cultivares 'IAC-435', IAC-165, Pérola e IAC-899 em soluções de tratamento contendo 0mg/litro de Al na presença ou na ausência de 400mg/litro de Fe.

Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu e Al na matéria seca da parte aérea dos cultivares IAC-435, IAC-165 e IAC-899, cultivados em soluções nutritivas arejadas e não arejadas contendo diferentes concentrações de Fe e Al, encontram-se no quadro 4 e, os referentes aos cultivares Pérola, IR-8 e IAC-120, no quadro 5.

As concentrações de Al e Fe na matéria seca da parte aérea dos cultivares IAC-165, IAC-899, IAC-435 e Pérola estudados em soluções nutritivas arejadas e não arejadas estão representadas na figura 4.

Os cultivares tolerantes ao alumínio IAC-435, Pérola, IAC-165 e IAC-120, quando estudados em soluções nutritivas contendo 0,56mg/litro

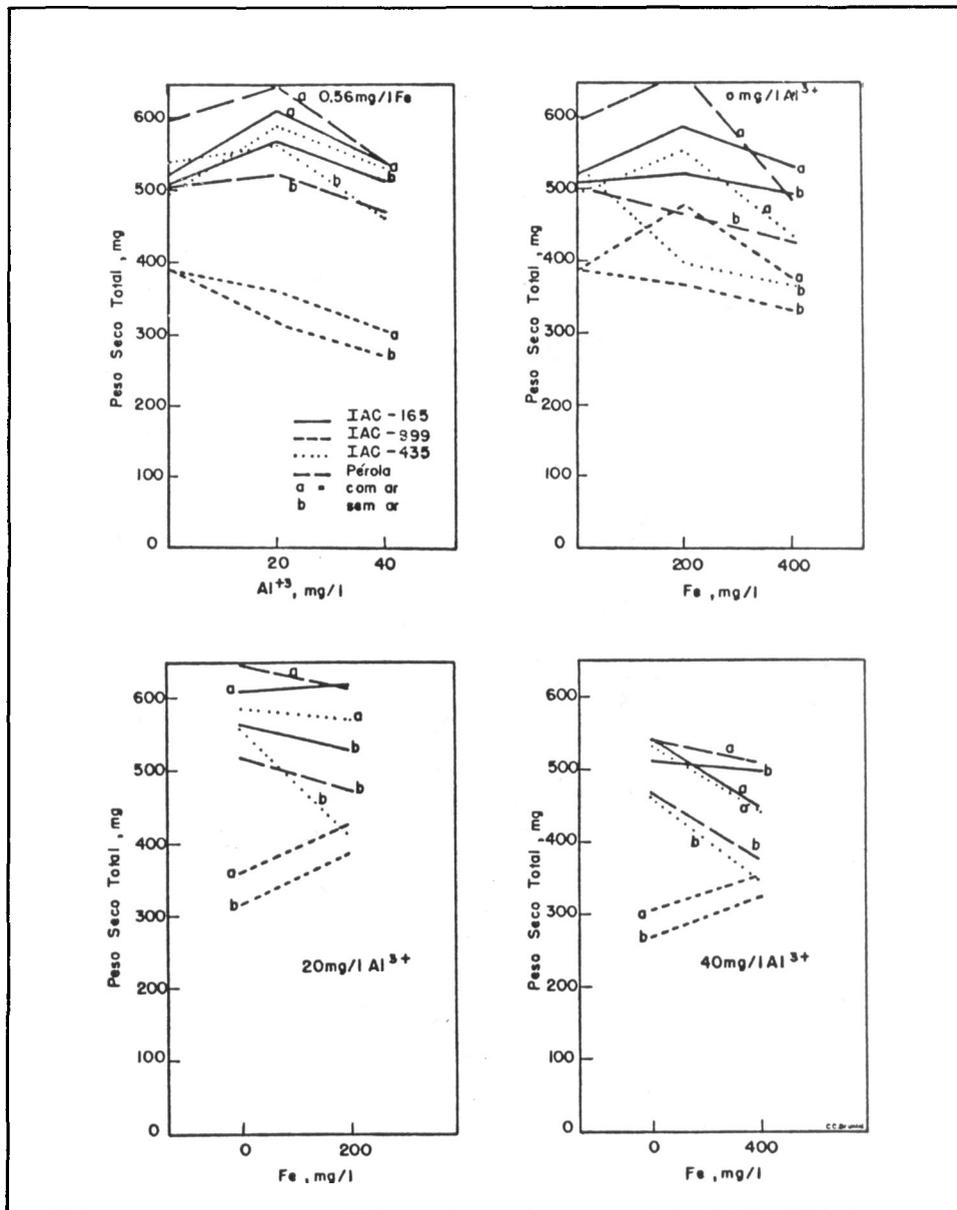


FIGURA 3 – Efeitos das diferentes concentrações de ferro e alumínio no peso total (parte área mais raízes) de vinte plantas de quatro cultivares de arroz estudados em soluções nutritivas arejadas (com ar) e não-arejadas (sem ar).

QUADRO 4 - Teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al na matéria seca da parte aérea dos cultivares de arroz IAC-435, IAC-165 e IAC-899 estudados em soluções nutritivas arejadas (c/ar) e não arejadas (s/ar) contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio

Cultivar	Soluções arejadas											Soluções não arejadas																													
	Concentrações de elementos no PSPA (1)						Concentrações de elementos no PSPA (1)						Concentrações de elementos no PSPA (1)						Concentrações de elementos no PSPA (1)																						
	Al	Fe	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	P	K	Ca	Mg																	
	mg/litro						ppm						%						ppm																						
IAC-435	0	0,56	2,1	4,2	7,3	17,9	382	132	44	168	51	1,7	4,6	8,5	13,8	360	112	38	174	56	168	40	200	1,8	5,1	7,0	10,2	1,4	4,6	7,2	6,5	280	42	33	47	255					
	20	0,56	0,9	4,5	5,8	6,1	312	45	45	45	294	0,9	5,0	6,8	6,4	326	63	38	50	168	168	40	200	1,8	5,1	7,0	10,2	1,4	4,6	7,2	6,5	280	42	33	47	255					
	40	0,56	0,4	5,2	7,2	6,3	287	33	35	44	607	1,4	4,6	7,2	6,5	280	42	33	47	255	168	40	200	1,8	5,1	7,0	10,2	1,4	4,6	7,2	6,5	280	42	33	47	255					
	0	200	1,8	5,1	7,0	8,2	3153	59	23	70	102	1,8	5,8	8,5	8,5	2412	48	25	70	135	168	40	200	1,8	5,1	7,0	10,2	1,4	4,6	7,2	6,5	280	42	33	47	255					
	0	400	1,9	5,4	6,2	7,3	4827	55	26	51	100	1,8	5,1	7,1	8,4	4354	52	20	59	55	168	40	200	1,8	5,1	7,0	10,2	1,4	4,6	7,2	6,5	280	42	33	47	255					
	20	200	1,2	4,8	4,6	5,6	2597	45	35	44	347	1,3	5,2	7,0	6,4	1983	50	32	63	225	168	40	200	1,2	4,8	4,6	5,6	2597	45	35	44	347	1,3	5,2	7,0	6,4	1983	50	32	63	225
	40	400	1,3	4,9	5,3	6,4	4981	53	20	53	657	1,9	5,1	8,6	6,9	3738	54	22	48	307	168	40	200	1,3	4,9	5,3	6,4	4981	53	20	53	657	1,9	5,1	8,6	6,9	3738	54	22	48	307
IAC-165	0	0,56	1,7	4,8	6,6	15,2	360	147	59	153	90	1,6	5,4	7,2	12,1	329	139	63	186	89	168	40	200	1,5	5,0	4,3	5,4	321	67	48	87	313	1,6	5,2	6,2	6,6	338	87	37	71	206
	20	0,56	1,5	5,0	4,3	5,4	321	67	48	87	313	1,6	5,2	6,2	6,6	338	87	37	71	206	168	40	200	1,5	5,0	4,3	5,4	321	67	48	87	313	1,6	5,2	6,2	6,6	338	87	37	71	206
	40	0,56	1,5	5,2	4,8	5,5	276	52	33	64	562	1,4	4,8	4,6	5,8	311	72	33	54	282	168	40	200	1,5	5,0	4,3	5,4	321	67	48	87	313	1,6	5,2	6,2	6,6	338	87	37	71	206
	0	200	1,5	5,3	4,0	6,9	3057	64	49	75	48	1,6	5,7	5,2	7,3	2310	75	58	81	41	168	40	200	1,5	5,0	4,3	5,4	321	67	48	87	313	1,6	5,2	6,2	6,6	338	87	37	71	206
	0	400	1,5	5,0	3,7	6,2	4711	74	44	53	52	1,4	5,7	4,3	6,2	3077	79	34	62	83	168	40	200	1,5	5,0	4,3	5,4	321	67	48	87	313	1,6	5,2	6,2	6,6	338	87	37	71	206
	20	200	1,5	5,4	4,1	5,1	2799	66	29	49	278	1,4	5,2	5,2	6,0	2271	75	34	67	157	168	40	200	1,5	5,4	4,1	5,1	2799	66	29	49	278	1,4	5,2	5,2	6,0	2271	75	34	67	157
	40	400	1,6	5,2	5,8	5,9	5473	82	26	50	797	1,4	4,7	5,0	5,3	3223	74	21	55	310	168	40	200	1,6	5,2	5,8	5,9	5473	82	26	50	797	1,4	4,7	5,0	5,3	3223	74	21	55	310
IAC-899	0	0,56	1,2	4,9	8,4	14,1	456	93	43	105	98	1,3	7,4	9,3	13,9	422	92	46	182	82	168	40	200	1,2	4,9	8,4	14,1	456	93	43	105	98	1,3	7,4	9,3	13,9	422	92	46	182	82
	20	0,56	1,6	4,7	1,9	2,9	502	27	35	77	285	2,1	6,4	1,7	3,1	512	22	38	70	502	168	40	200	1,2	4,9	8,4	14,1	456	93	43	105	98	1,3	7,4	9,3	13,9	422	92	46	182	82
	40	0,56	2,0	5,1	2,1	2,9	645	29	48	73	886	2,5	3,9	1,6	2,4	667	22	38	58	568	168	40	200	1,2	4,9	8,4	14,1	456	93	43	105	98	1,3	7,4	9,3	13,9	422	92	46	182	82
	0	200	1,8	4,6	6,1	7,8	2704	37	35	67	108	3,3	4,8	7,9	7,3	2516	43	34	77	129	168	40	200	1,8	4,6	6,1	7,8	2704	37	35	67	108	3,3	4,8	7,9	7,3	2516	43	34	77	129
	0	400	2,4	5,5	1,4	2,8	3887	46	34	57	-	2,0	5,2	1,7	2,6	3617	48	32	69	43	168	40	200	1,8	4,6	6,1	7,8	2704	37	35	67	108	3,3	4,8	7,9	7,3	2516	43	34	77	129
	20	200	1,4	4,9	2,0	2,6	3257	25	41	70	260	1,2	5,5	1,8	2,8	1909	32	32	58	171	168	40	200	1,4	4,9	2,0	2,6	3257	25	41	70	260	1,2	5,5	1,8	2,8	1909	32	32	58	171
	40	400	1,6	5,2	1,6	2,3	4721	39	30	73	286	3,2	4,7	2,0	2,4	4450	40	24	83	371	168	40	200	1,6	5,2	1,6	2,3	4721	39	30	73	286	3,2	4,7	2,0	2,4	4450	40	24	83	371

(1) PSPA = peso seco da parte aérea

QUADRO 5 — Teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al na matéria seca da parte aérea dos cultivares de arroz Pérola, IR-8 e IAC-120 estudados em soluções nutritivas arejadas (c/ar) e não arejadas (s/ar) contendo diferentes concentrações de ferro e alumínio

Cultivar	Concentração nas soluções		Soluções arejadas										Soluções não arejadas									
	mg/litro		Concentração de elementos no PSPA (%)					Concentração de elementos no PSPA (ppm)					Concentração de elementos no PSPA (%)					Concentração de elementos no PSPA (ppm)				
	Al	Fe	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al		
Pérola	0	0,56	1,3	3,7	2,4	6,4	127	102	42	127	52	1,5	4,8	2,1	5,2	123	94	46	160	26		
	20	0,56	1,1	4,1	1,2	2,1	—	38	35	52	258	1,2	4,8	1,2	2,5	—	49	29	44	187		
	40	0,56	1,2	4,7	1,5	2,2	—	22	24	40	236	1,3	4,8	1,3	2,5	—	27	23	45	263		
	0	200	1,2	5,0	1,4	2,9	1943	39	27	52	19	1,5	5,0	1,7	3,0	1413	46	32	58	32		
	0	400	1,4	6,5	1,2	2,8	3365	44	22	42	42	1,5	5,8	1,4	2,5	1863	45	20	45	36		
IR-8	20	200	1,3	4,8	1,2	2,1	1923	29	33	41	284	1,5	5,0	1,4	2,5	1530	40	34	53	183		
	40	400	1,4	5,0	1,6	2,1	2309	34	18	40	337	1,7	5,6	1,8	2,7	2253	43	12	50	386		
	0	0,56	1,1	5,2	2,5	6,6	440	105	48	112	51	1,0	5,7	2,7	6,9	440	99	50	155	53		
	20	0,56	1,9	5,1	1,6	2,9	472	29	41	70	144	1,9	4,0	1,7	3,3	467	17	38	61	303		
	40	0,56	2,0	4,5	2,0	2,9	473	31	15	58	661	1,9	3,3	1,4	2,8	440	23	23	54	416		
IAC-120	0	200	1,8	6,0	2,6	3,6	1970	44	45	66	110	1,9	5,3	1,5	2,9	1758	48	35	67	131		
	0	400	1,8	7,1	1,4	2,6	5750	96	32	52	172	1,8	5,2	1,6	2,7	2704	52	24	65	246		
	20	200	2,0	4,1	2,0	2,8	2748	47	45	67	295	2,1	5,6	2,7	3,1	2014	43	41	82	233		
	40	400	2,0	5,3	1,6	2,2	3639	35	36	62	451	1,7	5,5	2,2	3,4	4869	81	52	93	488		
	0	0,56	1,8	4,4	6,8	18,4	361	114	59	181	91	1,7	5,1	5,5	13,5	274	111	57	209	103		
IAC-120	20	0,56	1,4	4,8	4,5	5,4	279	33	51	77	279	1,6	5,8	4,3	5,8	268	50	51	71	217		
	40	0,56	1,5	5,0	4,0	4,7	226	27	49	58	552	1,7	5,8	5,2	6,3	267	32	49	61	345		
	0	200	1,6	5,3	4,1	6,7	3233	47	41	72	61	1,7	5,9	5,5	6,6	2361	43	36	79	134		
	0	400	1,8	5,9	4,4	6,3	6015	52	36	61	121	1,7	5,4	6,7	6,5	4757	59	34	78	234		
	20	200	1,4	5,3	3,8	4,9	2435	30	40	64	380	1,9	5,7	5,9	6,4	2624	52	48	78	310		
40	400	1,6	5,5	4,2	5,3	6236	53	43	62	793	1,5	5,4	5,6	5,6	3374	35	32	70	337			

(¹) PSPA = peso seco da parte aérea.

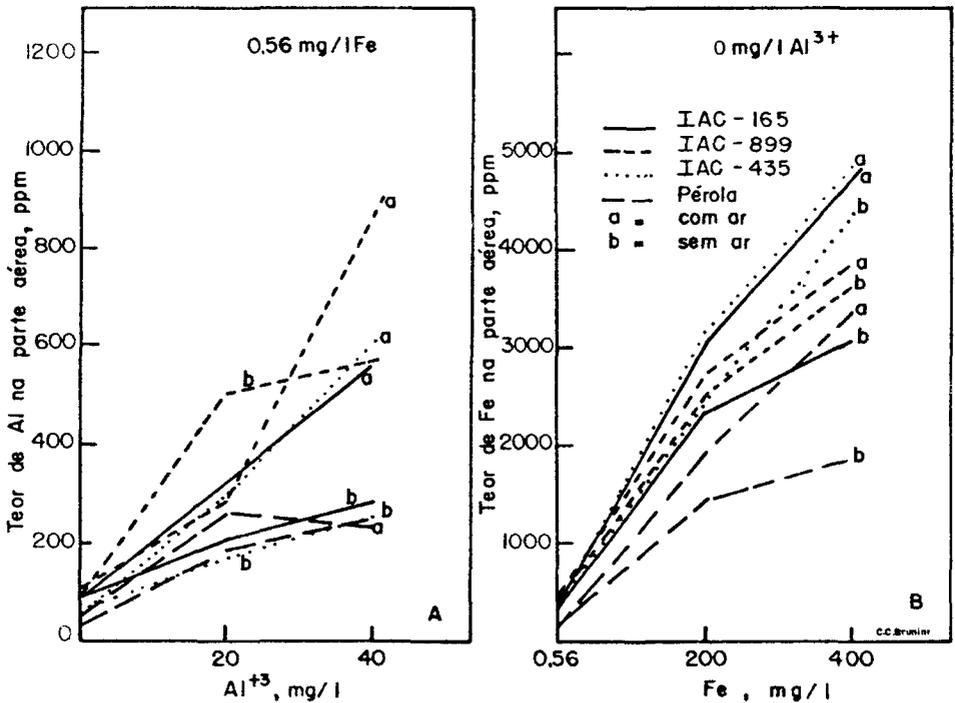


FIGURA 4 — A: Concentrações de Al³⁺ na matéria seca da parte aérea de quatro cultivares de arroz estudados em soluções nutritivas arejadas (com ar) e não arejadas (sem ar) contendo três diferentes concentrações de alumínio. B: Concentração de ferro na matéria seca da parte aérea de quatro cultivares de arroz estudados em soluções nutritivas arejadas (com ar) e não arejadas (sem ar) contendo três diferentes concentrações de ferro.

de Fe e doses crescentes de Al, mostraram que os teores de Al na matéria seca da parte aérea aumentaram, sobretudo nas soluções arejadas. Os teores de P, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn tenderam a diminuir e, os de K, a aumentar à proporção que se elevaram as concentrações de Al nas soluções com ou sem arejamento. Os cultivares sensíveis ao Al, IR-8 e IAC-899, mostraram aumento nos teores de P, Fe e Al na matéria seca da parte aérea e diminuição nos de K, Mg, Ca, Mn, Cu e Zn, conforme se aumentou a concentração de Al nas soluções.

Nas soluções sem Al, porém com doses crescentes de Fe, todos os cultivares considerados mostraram tendência de diminuição dos teores de Ca, Mg, Mn, Cu e Zn na matéria seca da parte aérea, e aumento dos de K e Fe, sendo que pouco efeito se observou nos teores de P. O cultivar Pérola,

considerado tolerante à toxicidade de Fe, mostrou o menor teor de Fe na matéria seca da parte aérea, confirmando resultados anteriores (CAMAR-GO, 1984).

Os resultados do presente trabalho demonstraram que os cultivares poderiam ser diferenciados em relação à tolerância à toxicidade de ferro e alumínio, empregando-se soluções com ou sem arejamento, desde que quantidades adequadas de Fe e Al sejam utilizadas nas soluções.

SUMMARY

A COMPARATIVE STUDY OF THE TOLERANCE TO IRON AND ALUMINUM TOXICITY IN RICE

Eleven rice cultivars were studied as the tolerance to iron and aluminum toxicity using seven different levels of these elements in the nutrient solutions with and without aeration under constant temperature ($30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) and $\text{pH} = 4.0$. The plant tolerance was measured taking into account the primary root length and the leaf and root dry weight of 20 plants of each cultivar after 10-day-growth in the different treatment solutions. With levels of 0, 20 and 40 mg/l of Al in solutions with and without aeration and with the presence of 0.56mg/l of Fe it was verified that the cultivars IAC-164, IAC-165, IAC-47, IAC-25, IAC-435, IAC-120, Blue Bonnet and Pérola were tolerant and the cultivars IR-8, IAC-899 and IR-841 were sensitive. When it was utilized 200mg/l of Fe in aerated nutrient solution the cultivar IAC-164 showed high level of tolerance being significantly different from the cultivars IAC-435, IAC-899, Blue Bonnet, IAC-25, IR-8 and IR-841. 'IAC-164' did not differ from the cultivars IAC-120, IAC-47, IAC-165 and Pérola. In non-aerated solution with the same concentrations of iron and aluminum, the same result was obtained with the difference that 'IAC-164' did not differ from 'IAC-25'. In aerated nutrient solutions containing 400mg/l of Fe the most tolerant cultivar was IAC-164 which differed significantly only from IAC-899, IR-841 and IR-8. When non-aerated solution was used, no differences were found among the studied cultivars. 'IAC-164' presented high tolerance to Al and Fe toxicities even when it was applied 20mg/l of Al plus 200mg/l of Fe and 40mg/l of Al plus 400mg/l of Fe in the solutions. The Al and K concentrations increased and the P, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn concentrations decreased in the leaf dry matter for all aluminum tolerant cultivars, as the aluminum concentration in solution increased from 0 to 40mg/l. When the cultivars sensitive to Al toxicity were considered increasing levels of Al in solution caused an increase in Al, Fe and P concentrations, and a decrease in the other element concentrations in the leaf dry matter. The Fe and K concentrations increased, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn concentrations decreased and no effect in P concentration was observed in the total leaf dry matter for all cultivars, when Fe concentration in nutrient solution increased from 0 to 400mg/l in absence of Al. The results showed that the studied rice cultivars could be separated in relation to Al and Fe toxicities in nutrient solution with and without aeration, since adequate quantities of Al and Fe are provided.

Index terms: iron toxicity in rice; aluminum toxicity in rice; aerated solutions; non aerated solutions; iron tolerance; iron sensitivity; aluminum tolerance; aluminum sensitivity; aluminum; iron; rice cultivars; tolerance; toxicity.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNUAL REPORT FOR 1971. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1972. p.40-41.
- ANNUAL REPORT FOR 1972. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1973. p.197.
- ANNUAL REPORT FOR 1973. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1974. p.102.
- ANNUAL REPORT FOR 1979. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute, 1980. p.118-119.
- BATAGLIA, O.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 1978. 31p. (Circular, 87)
- CAMARGO, C.E.O. Tolerância de cultivares de arroz em estágio de plântula a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. *Bragantia*, 43(2): 369-380, 1984.
- ; CAMARGO, O.B.A. & SOUZA, D.M. diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva na tolerância de cultivares de arroz. *Bragantia*, Campinas, 43(2): 357-368, 1984.
- MARTINES, C. Aluminum toxicity studies in rice (*Oryza sativa* L.). Corvallis, Universidade Estadual de Oregon, 1979. 113 fls. Tese. (Doutoramento)