

VI. ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

AMARELECIMENTO DO ARROZ-DE-SEQUEIRO SOB CONDIÇÕES DE ENCHARCAMENTO EM SOLO DE BAIXA FERTILIDADE⁽¹⁾

AILDSON PEREIRA DUARTE⁽²⁾, RACHEL BENETTI QUEIROZ VOLTAN⁽³⁾
e PEDRO ROBERTO FURLANI⁽⁴⁾

RESUMO

Foi realizado um experimento em vasos visando reproduzir sintomas de amarelecimento foliar observados em arroz-de-sequeiro em condições de campo, em Assis (SP), e estudar suas possíveis causas nutricionais. Os tratamentos constituíram-se de areia quartzosa retirada da camada de 0-20 cm, submetida a dois manejos (solo original e solo calcariado e cultivado), dois tipos de irrigação (padrão e excessiva) e quatro cultivares de arroz (IAC-25, IAC-47, Araguaia e Rio Paranaíba). Foram avaliados os sintomas de amarelecimento foliar, o acúmulo de massa seca da parte aérea e de raízes, os teores de macro- e micronutrientes nas folhas e colmos, e estudou-se a anatomia de folhas e raízes. Com a irrigação padrão, praticamente não ocorreu amarelecimento, em ambos os solos. Com a irrigação excessiva do solo original, surgiram sintomas de amarelecimento e aumentos da relação entre a massa seca da parte aérea e das raízes. No solo original, o encharcamento aumentou o teor de Fe em toda a parte aérea e diminuiu os teores de Mn nas folhas e os de Mg nas folhas e nos colmos. No solo cultivado, os resultados foram semelhantes, com exceção do teor de Fe, que diminuiu nas folhas. O 'Araguaia' apresentou menores notas de amarelecimento e tendência de maiores teores de N, P e Ca e foi o único cultivar em que o excesso de irrigação não diminuiu os teores de Mn nas folhas. Observou-se, no limbo foliar das plantas submetidas ao tratamento solo original com irrigação excessiva, que os cloroplastos eram menores, distribuídos na região periférica das células do mesofilo e em menor número do que nos outros tratamentos. Concluiu-se que o amarelecimento ocorreu sob condições de encharcamento e baixa fertilidade natural do solo devido à toxicidade de Fe e à deficiência de Mg na planta, associados a um múltiplo estresse nutricional, e que o cultivar Araguaia se mostrou mais tolerante às condições adversas que induziram o aparecimento dos sintomas.

Termos de indexação: arroz-de-sequeiro, deficiência nutricional, amarelecimento de folhas, encharcamento.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado na XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 26 a 31 de julho de 1992, Piracicaba (SP). Recebido para publicação em 11 de janeiro e aceito em 20 de julho de 1993.

⁽²⁾ Estação Experimental de Assis, Caixa Postal 360, 19800-000 Assis (SP).

⁽³⁾ Seção de Botânica Econômica, Instituto Agrônomo (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

⁽⁴⁾ Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, IAC. Com Bolsa de Pesquisa do CNPq.

ABSTRACT

YELLOWING OF UPLAND RICE PLANTS UNDER DRENCHED LOW FERTILITY SOIL CONDITIONS

Aiming to reproduce leaf yellowing symptoms observed on upland rice grown under field conditions, in Assis county São Paulo State, Brazil and to study its possible nutritional causes, a greenhouse pot experiment was carried out at the Instituto Agronômico, Campinas county. The treatments involved a quartz sandy soil collected from 0-20cm top layer submitted to two cropping systems (original soil, and limed and cultivated soil), two types of irrigation (standard and excessive) and four rice cultivars (IAC 25, IAC 47, Araguaia and Rio Paranaíba). Evaluated were symptoms of leaf yellowing, the dry matter accumulation of shoot parts (leaves and culms) and root, macro and micronutrients concentrations in leaves and culms. Also studied were some anatomic characteristics of leaves and roots. Using standard irrigation almost no yellowing occurred in both soils. However, with excessive irrigation of the original soil, leaf yellowing symptoms and an increase on shoot:root dry matter ratio occurred. In the original soil, drenching caused increases on the Fe concentrations in the shoot parts (leaves and culms) and decreases on the Mn concentration in the leaves and culms. In the cultivated soil, the results were similar except for Fe concentration that decreased in the leaves. The cultivar Araguaia showed the lowest ratings of yellowing and a tendency to have higher values of N, P, and Ca than the others cultivars, and it was the only one to which excessive irrigation did not decrease the Mn values in the leaves. In the leaf blades from plants of the original soil treated with excessive irrigation the chloroplasts were smaller, distributed in the peripheral region of the mesophyll cells and were in smaller number than those of the others treatments. It was concluded that the leaf yellowing occurred under drenched low fertility soil conditions due to both plant Fe toxicity and Mg deficiency, and it could be associated to a multiple nutritional stress. From the cultivars tested, Araguaia was more tolerant to the adverse soil conditions inducing leaf yellowing.

Index terms: upland rice, nutritional deficiency, soil drenching, leaf yellowing.

1. INTRODUÇÃO

No ensaio avançado de linhagens e cultivares de arroz-de-sequeiro do Instituto Agronômico (IAC), instalado em areia quartzosa, no ano agrícola 1988/89, em Assis (SP), observaram-se sintomas de amarelecimento foliar em plantas com aproximadamente um a dois meses de idade. O amarelecimento se iniciava nas folhas velhas e estendia por toda a parte aérea. Esses sintomas surgiram em período de chuvas contínuas e, depois de uma estiagem, as plantas que não morreram, recuperaram-se e desenvolveram-se normalmente. A severidade do amarelecimento foi desuniforme na área e, de maneira geral, o cultivar Araguaia e algumas poucas linhagens do programa de melhoramento mostraram-se bem menos afetados.

Segundo Ottow et al. (1983 a, b), o bronzeamento claro das folhas, iniciando com pequenas pontuações marrons nas folhas basais e culminando com a descoloração das folhas velhas do ápice foliar em direção à base, caracteriza a toxicidade de Fe no arroz. Contudo, a ocorrência de pontos marrons nas nervuras e bainhas das folhas velhas podem ser devidas, também, à toxicidade de Mn (Tanaka & Yoshida, 1970).

Plantas com sintomas e plantas não afetadas, de genótipos diferentes, foram amostradas para análise de nutrientes na parte aérea. Nas plantas com sintomas, encontraram-se 537 ppm de Fe e 591 ppm de Mn, e naquelas não afetadas, 675 ppm de Fe e 433 ppm de Mn, não caracterizando toxicidade de ferro nas plantas com sintomas, pois os teores eram menores nas plantas amarelecidas.

Não se têm verificado diferenças consistentes no teor de Fe nos tecidos entre plantas cloróticas e aparentemente normais (Katyal & Sharma, 1980; Snyder & Jones, 1988), e entre plantas tolerantes e sensíveis a sua toxicidade (Benckiser et al., 1984 a, b). Segundo Zaharieva (1986), o teor de Fe^{2+} nas plantas é critério mais seguro no diagnóstico do seu estado nutricional. Da mesma maneira, a tolerância ao excesso de Mn não tem sido correlacionada com sua menor absorção no arroz (Nelson, 1983) e em outras culturas (Foy et al., 1981).

A toxicidade de ferro tem sido atribuída a um múltiplo estresse nutricional. Segundo Ottow et al. (1983 a), quando as plantas são submetidas a um insuficiente suprimento de nutrientes ou seu desbalanço, ocorre o colapso do mecanismo de exclusão de Fe^{2+} e redução da tolerância do tecido ao acúmulo de Fe e Mn. Pode ocorrer, também, a indução de deficiências nutricionais por toxicidade de Fe (Muñoz & Manzano, 1973; Fageria & Rabelo, 1977), ocasionado pelo revestimento das raízes com óxido de Fe, que reduz a capacidade de a planta absorver nutrientes para um desenvolvimento já deficiente, além da inibição da formação de novas raízes (Howeller, 1973).

Realizou-se o presente trabalho visando reproduzir, em condições controladas, os sintomas observados no campo e estudar suas possíveis causas nutricionais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Estação Experimental de Agro-

nomia do Vale do Paranapanema, em Assis (SP), em vasos plásticos com diâmetro de 40 cm e capacidade de 40 litros, utilizando-se areia quartzosa retirada da camada 0-20 cm, das áreas de solo original e de solo calcariado e anteriormente cultivado com soja (Quadro 1). Este solo, apesar de classificado como Areia Quartzosa, apresenta baixa infiltração de água, em vista de seu alto teor de areia fina, que é igual a 54% a 0-30 cm. Nesta camada, o teor de Fe_2O_3 e Mn total correspondem a 1,1% e 125 ppm respectivamente.

Os tratamentos constituíram-se de dois solos, a saber: solo original (SO) e solo anteriormente calcariado e cultivado com soja (SC); dois tipos de irrigação: padrão e excessiva, e quatro cultivares de arroz: IAC-25, IAC-47, Araguaia e Rio Paranaíba. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2 x 4 com quatro repetições.

Após a emergência do arroz, procedeu-se à irrigação dos vasos de dois em dois dias com água suficiente para o umedecimento do solo, evitando-se perdas por percolação (irrigação padrão). A partir do 20º dia, iniciou-se a irrigação diferenciada nos tratamentos correspondentes. Na irrigação excessiva, empregou-se quantidade de água quatro vezes maior que o da padrão. A partir do 40º dia, no intervalo das irrigações, realizou-se uma irrigação extra.

A adubação básica de plantio constou de 25 g de mistura 2-15-10-0,2 de $N-P_2O_5-K_2O-Zn$ incorporados à camada superficial, equivalente à quarta parte da altura de cada vaso, e adubação nitrogenada de cobertura de 10 g de sulfato de amônio por vaso aplicados a 35 dias da

Quadro 1. Características químicas de amostras dos solos utilizados

Solo	P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H + Al	S	T	V
	$\mu g/cm^3$	%	($CaCl_2$)							
				meq/100cm ³						%
Original (SO)	15	1,6	4,0	0,06	0,17	0,28	3,7	0,51	4,21	12
Calcariado e cultivado (SC)	10	1,6	5,2	0,06	1,18	0,92	2,1	2,16	4,26	51

emergência do arroz. Após o desbaste, deixaram-se quatro plantas de arroz por vaso.

Foram efetuadas avaliações visuais dos sintomas do amarelecimento no 40º e no 50º dia da emergência. Aos 60 dias, avaliou-se o número de perfilhos e coletaram-se as plantas para determinação da massa seca de raízes, folhas e colmos. As folhas e os colmos foram submetidos à análise química para dosagem de macro- e de micronutrientes, de acordo com Bataglia et al. (1978). Os dados foram submetidos à análise da variância, desdobrando-se as interações significativas ao nível de 5% e comparando-se as médias pelo teste de Tukey a 5%.

Retiraram-se também, aos 50 dias depois da emergência, amostras de limbo foliar de todos os cultivares, e de raízes do 'IAC-25' para estudos anatômicos. O 'IAC-25', foi o mais afetado pelo amarelecimento. As amostras do limbo foram obtidas na região mediana da folha, sendo cortados pedaços de 0,5 cm², fixadas em solução alcoólica de formaldeído-ácido acético 50% (F.A.A.) (Johansen, 1940) e submetidos a vácuo por 24 horas; a seguir, passaram pelo processo de desidratação em série alcoólico-etílico e foram incluídos em parafina. Desse material, realizaram-se secções transversais de 10 µm de espessura com micrótomo rotativo manual, as quais passaram por etapas de distensão, colagem com adesivo Haupt (Johansen, 1940), coloração pela combinação safranina-azul-de-alciã e foram montadas em bálsamo-do-canadá. As medidas do raio do córtex e do feixe vascular das raízes foram obtidas em microscópio, com ocular micro-métrica, a partir de uma amostra igual a 100. Com base nessas variáveis, estimou-se a razão entre o córtex e o feixe, obtendo-se as médias, coeficientes de variação e intervalos de confiança ao nível de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aproximadamente uma semana após o início da irrigação diferencial, iniciou-se o aparecimento de sintomas de amarelecimento nos vasos do tratamento solo original. As folhas mais velhas

amareleceram do ápice para a base e das bordas para o centro, depois penderam a partir da sua inserção no colmo até encostar nas paredes dos vasos (Figura 1). Nos vasos mais afetados, algumas folhas tiveram a cor alterada para alaranjado e bronzeado, seguido de necrose do ápice. No cultivar Rio Paranaíba apareceram, em grande número, pontuações escuras nas folhas, exceto no tratamento solo calcariado com irrigação padrão.

A avaliação visual do amarelecimento no 40º e no 50º dia não diferiu, e a irrigação excessiva aumentou as notas de amarelecimento significativamente apenas no solo original, onde o cultivar Araguaia apresentou notas inferiores, e os outros cultivares não diferiram entre si. Ao testar o efeito da irrigação para cada cultivar, o 'Araguaia' foi o único em que o excesso de água não acarretou intensificação dos sintomas (Quadro 2).

A massa seca da parte aérea e o número de perfilhos não foram influenciados pela irrigação no solo original, enquanto no tratamento solo com calagem e cultivado, o excesso de água aumentou seus valores, menos a massa seca da parte aérea no cultivar Araguaia (Quadro 2). O efeito benéfico do encharcamento do solo no desenvolvimento do arroz tem sido atribuído ao aumento da disponibilidade dos elementos minerais, através do aumento do pH e redução do fosfato férrico a ferroso (Moraes & Freire, 1974), e do deslocamento de parte dos cátions trocáveis para a solução do solo na presença de grande quantidade de Fe²⁺ trocável (Islam & Islam, 1973).

No presente trabalho, como no solo original a disponibilidade de nutrientes trocáveis era muito pequena, o encharcamento não propiciou boas condições para o desenvolvimento das plantas, ocorrendo redução do desenvolvimento do sistema radicular em relação à parte aérea, principalmente no 'IAC-25'. No solo calcariado, a irrigação em excesso não alterou significativamente a razão entre a massa seca da parte aérea e das raízes.

Todos os cultivares apresentaram maior massa seca da parte aérea no tratamento solo calcariado e cultivado comparado ao original. A massa seca da parte aérea do 'Araguaia' no solo calcariado e cultivado foi menor que a dos demais. O 'Araguaia' e o 'IAC-25' tiveram maior relação entre a massa seca da parte aérea e das raízes no solo original do que no calcariado e cultivado, isso porque a massa do seu sistema radicular foi muito pequena no solo original, principalmente com a irrigação excessiva (dados não apresentados). Como ambos tiveram notas de amarelecimento díspares, verifica-se que a magnitude do decréscimo da massa do sistema radicular pela irrigação excessiva não se relacionou diretamente com as notas de amarelecimento.

No estudo anatômico, não foram observadas variações na estrutura do limbo foliar das plantas entre os tratamentos (solo e irrigação), sendo semelhante à descrita nos estudos de *Oryza sativa* L. realizados por Juliano & Aldama (1937), Kaufman (1959) e Clark & Harris (1981), ocorrendo

apenas diferenças na forma, no número e na distribuição dos cloroplastos em folhas de plantas do tratamento solo original e irrigação excessiva, em relação aos demais. Nessas plantas, os cloroplastos eram menores, distribuídos na região periférica das células do mesofilo e em menor número do que nos outros tratamentos (Figura 2A), os quais apresentaram os cloroplastos densamente distribuídos por todo o volume celular (Figura 2B).

A estrutura da raiz também não apresentou variações anatômicas, sendo observadas apenas variações na espessura (Quadro 3). As raízes que mais se desenvolveram foram as submetidas ao solo calcariado e cultivado mais irrigação excessiva, e a menos desenvolvida foi a submetida a solo original e irrigação padrão.

Com relação aos teores dos nutrientes na massa seca de folhas (Quadro 4) e de colmos (Quadro 5), verifica-se que os de Mg foram muito baixos e os de Mn muito altos, comparados aos obtidos por Malavolta et al. (1981) em plantas de 'IAC-47' cultivadas em solução nutritiva.

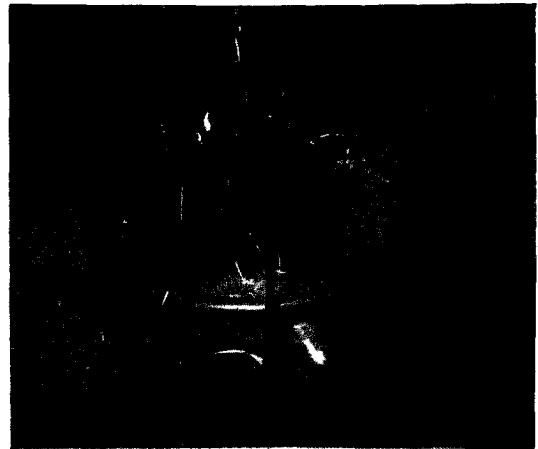
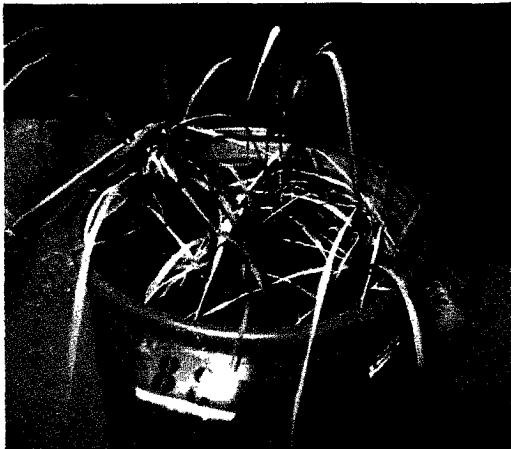


Figura 1. Plantas do cultivar Rio Paranaíba crescidas em solo original e submetido a irrigações excessiva e normal respectivamente.

Quadro 2. Notas de amarelecimento, massa seca da parte aérea, número de perfilhos por planta e relação entre a massa seca da parte aérea e das raízes, em função dos fatores solo, irrigação (I.) e cultivares

Cultivar	Tratamentos ⁽¹⁾					
	Solo original			Solo calcariado		
	I. padrão	I. excessiva	Média	I. padrão	I. excessiva	Média
Notas de amarelecimento ⁽²⁾						
IAC-47	1,0	4,8	2,9a	1,0	1,0	1,0a
Rio Paranaíba	1,3	4,9	3,1a	1,0	1,2	1,1a
Araguaia	1,0	2,1	1,6b	1,0	1,3	1,2a
IAC-25	1,3	4,9	3,1a	1,1	1,3	1,2a
Média	1,2B	4,2A	-	1,0A	1,2A	-
Massa seca da parte aérea em gramas						
IAC-47	13,5	14,1	13,8a	21,0	51,5	36,3a
Rio Paranaíba	15,6	17,4	16,5a	20,3	38,2	29,2a
Araguaia	12,7	10,9	11,8a	15,7	26,9	21,3b
IAC-25	15,9	14,8	15,4a	16,2	44,4	30,3a
Média	14,4A	14,3A	-	18,3B	40,3A	-
Número de perfilhos por planta						
IAC-47	8,2	7,3	7,7a	9,0	16,9	13,0a
Rio Paranaíba	9,1	10,2	9,6a	8,4	14,0	11,2a
Araguaia	7,1	7,3	7,2ab	9,6	12,1	10,8ab
IAC-25	6,3	7,2	6,7b	6,6	12,7	9,6b
Média	7,7A	8,0A	-	8,4B	13,9A	-
Relação massa da parte aérea/raízes						
IAC-47	0,59	0,77	0,68b	0,53	0,44	0,49a
Rio Paranaíba	0,69	0,90	0,79b	0,72	0,46	0,59a
Araguaia	0,63	1,01	0,82ab	0,41	0,33	0,37a
IAC-25	0,80	1,47	1,14a	0,39	0,53	0,46a
Média	0,68B	1,04A	-	0,51A	0,44A	-

⁽¹⁾ Para cada tipo de solo, médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha ou minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ Análise feita com dados transformados em $x^{1/2}$ e retransformados em x^2 . Notas dadas de 1 a 6, sendo 1 = ausência e 6 = todas as folhas amarelecidas.

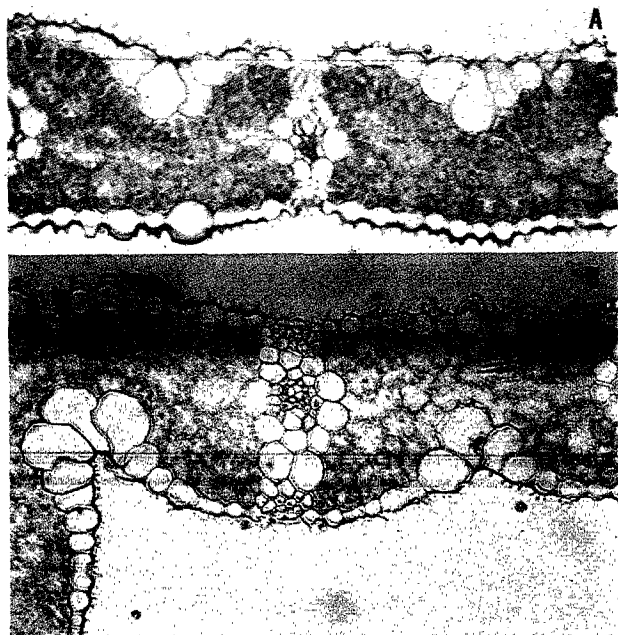


Figura 2. Corte transversal do limbo foliar de arroz. Planta desenvolvida em A: solo calcariado e cultivado e irrigação normal e B: solo original e irrigação excessiva.

Os teores de Ca e Mg (colmos e folhas) nos dois tipos de irrigação, N e B (colmos) com irrigação padrão, e os de N (folhas) com irrigação excessiva, foram maiores no solo calcariado e cultivado comparado ao original. Já os teores de Mn, Zn (colmos e folhas) e B (folhas), independente da irrigação, e os de P (colmos e folhas), N, B (colmos), K e Fe (folhas), com irrigação excessiva, foram maiores no solo original.

Os demais teores não diferiram nas plantas entre os solos. Talvez os teores de P (colmos e folhas), N (colmos) e Fe (folhas) tenham sido maiores no solo original quando submetido à irrigação excessiva porque a massa da parte aérea no solo calcariado e cultivado foi muito grande, diluindo a quantidade total dos nutrientes absorvidos.

Considerando-se o efeito da irrigação, verificou-se que a irrigação excessiva aumentou os teores de Fe, Ca (colmos) e Zn (folhas) e diminuiu os de Mg (colmos e folhas), N, Ca, Mn (folhas),

em ambos os solos, concordando parcialmente com Scalco & Souza (1987) que verificaram aumento da absorção de Fe, Zn e Mn, com o aumento da umidade do solo. Com o excesso de irrigação, os teores de P, B (colmos e folhas), K e Fe (folhas) aumentaram no solo original, e os de P (colmos e folhas), N (colmos), Fe e B (folhas) diminuíram no calcariado e cultivado.

Os teores elevados de Mn nas plantas nesse experimento podem ser explicados pelas condições contínuas de umedecimento do solo em decorrência das irrigações intermitentes, que podem ter facilitado a redução do Mn, e pela drenagem lenta dos vasos, dificultando a lixiviação do Mn reduzido. A baixa infiltração de água no solo, induzindo a ocorrência do encharcamento durante as chuvas, e os elevados teores de Mn facilmente redutível, conforme diagnosticado por Valadares & Camargo (1983) em latossolo vermelho-escuro localizado próximo à área em questão, justificam os elevados teores de Mn nas plantas cultivadas no campo.

O aumento dos teores de Fe com a irrigação excessiva foi devido, provavelmente, ao aumento da anaerobiose e, por conseguinte, maior utilização do Fe pelos microrganismos. O nitrato e os compostos de Mn são utilizados preferencialmente em relação ao ferro, na seqüência termodinâmica redutora (Ponnamperuma, 1972).

Como os teores de Fe aumentaram nos colmos com o excesso de irrigação nos dois tipos de solo, e os de Mg reduziram mais acentuadamente apenas nas plantas cultivadas no solo original, associando-se à distribuição irregular de cloroplastos e ao amarelecimento, verifica-se que os teores elevados de Mn e o aumento dos teores de ferro na parte aérea não explicam, por si, o amarelecimento e a diminuição dos teores de Mg.

A deficiência de Mg pode ser associada ao amarelecimento porque o Mg faz parte da clorofila, sendo o ativador mais comum das enzimas relacionadas com o metabolismo energético (Mengel & Kirby, 1979). Provavelmente tenha ocorrido indução da deficiência de Mg devido

Quadro 3. Médias, coeficientes de variação e intervalos (Int.) de confiança da razão entre o raio do córtex e o raio do feixe vascular de raízes de *Oryza sativa* 'IAC-25' submetidas aos diferentes solos e irrigações (I.)

Parâmetros	Tratamentos			
	Solo original		Solo calcariado e cultivado	
	I.padrão	I.excessiva	I.padrão	I.excessiva
Córtex/Feixe	1,71	2,06	2,26	2,41
C.V.(%)	11,11	14,56	11,50	11,20
Int.confiança	1,67 a 1,75	2,00 a 2,12	2,21 a 2,31	2,36 a 2,46

Quadro 4. Teores de nutrientes na massa seca de folhas em função do solo, irrigação (I.) e cultivares

Cultivar	Tratamentos ⁽¹⁾					
	Solo original			Solo calcariado		
	I.padrão	I.excessiva	Média	I.padrão	I.excessiva	Média
Nitrogênio (g/kg)⁽²⁾						
IAC-47	43,2	34,6	38,8ab	46,4	41,5	43,9ab
Rio Paranaíba	43,8	33,4	38,4b	45,2	40,6	42,9b
Araguaia	46,2	37,0	41,5a	46,6	45,9	46,2a
IAC-25	42,7	36,2	39,4ab	44,6	41,3	42,9ab
Média	44,0A	35,3B	-	45,7A	42,3B	-
Fósforo (g/kg)						
IAC-47	2,8	3,8	3,3b	3,0	2,6	2,8b
Rio Paranaíba	3,0	4,1	3,5b	3,5	2,7	3,1b
Araguaia	3,2	4,2	3,7a	4,1	3,4	3,8a
IAC-25	2,9	3,8	3,3b	3,4	2,6	3,0b
Média	3,0B	4,0A	-	3,5A	2,8B	-
Potássio (g/kg)						
IAC-47	24,7	30,7	27,7a	24,0	19,2	21,6a
Rio Paranaíba	27,1	30,6	28,8a	26,2	18,1	22,2a
Araguaia	23,9	27,4	25,6a	24,2	19,8	22,0a
IAC-25	25,4	29,1	27,2a	24,3	18,6	21,5a
Média	25,3B	29,4A	-	24,7A	18,9B	-

Continua

Quadro 4. Continuação

Cultivar	Tratamentos (1)					
	Solo original			Solo calcariado		
	I.padrão	I.excessiva	Média	I.padrão	I.excessiva	Média
Cálcio (g/kg)						
IAC-47	5,1	3,2	4,1ab	5,7	5,1	5,4ab
Rio Paranaíba	4,8	3,2	4,0b	5,3	5,0	5,2b
Araguaia	4,6	3,8	4,2a	6,1	6,1	6,1a
IAC-25	4,7	3,1	3,9b	5,4	4,7	5,0b
Média	4,8A	3,3B	-	5,6A	5,2B	-
Magnésio (g/kg)						
IAC-47	1,6	0,4	1,0a	3,8	3,0	3,4a
Rio Paranaíba	1,4	0,4	0,9a	3,8	2,7	3,2a
Araguaia	1,4	0,5	1,0a	3,8	2,9	3,4a
IAC-25	1,5	0,4	1,0a	3,7	2,5	3,1a
Média	1,5A	0,4B	-	3,8A	2,8B	-
Ferro (mg/kg)						
IAC-47	201	230	215ab	237	185	211ab
Rio Paranaíba	231	266	249a	245	201	223a
Araguaia	198	223	210b	213	179	196b
IAC-25	200	265	232ab	223	208	216ab
Média	207B	246A	-	229A	193B	-
Manganês (mg/kg) (2)						
IAC-47	2033	1055	1504a	967	710	833a
Rio Paranaíba	1559	995	1261ab	797	649	721ab
Araguaia	1150	736	932b	690	770	729b
IAC-25	2018	973	1448a	1141	655	882a
Média	1669A	935B	-	891C	695D	-

Continua

Quadro 4. Conclusão

Cultivar	Tratamentos ⁽¹⁾					
	Solo original			Solo calcariado		
	I.padrão	I.excessiva	Média	I.padrão	I.excessiva	Média
Cobre (mg/kg)						
IAC-47	8	9	8a	8	9	9a
Rio Paranaíba	9	11	10a	8	7	7a
Araguaia	8	8	8a	10	8	9a
IAC-25	10	8	9a	8	7	7a
Média	9A	9A	-	8A	7A	-
Zinco (mg/kg) ⁽²⁾						
IAC-47	61	105	83a	64	64	64a
Rio Paranaíba	74	107	90a	86	90	88a
Araguaia	76	84	80a	77	81	79a
IAC-25	62	106	84a	51	66	59a
Média	68B	101A	-	70A	75A	-
Boro (mg/kg)						
IAC-47	19	18	18a	13	8	11a
Rio Paranaíba	15	19	17a	14	9	11a
Araguaia	15	21	18a	14	11	12a
IAC-25	18	17	17a	13	9	11a
Média	17B	19A	-	13A	9B	-

⁽¹⁾ Para cada tipo de solo, médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha ou minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ Análise feita com dados transformados em $x^{1/2}$ e retransformados em x^2 .

a condições de baixa disponibilidade desse e de outros nutrientes no solo original, resultando num estresse nutricional múltiplo, que tem sido relacionado aos sintomas de toxicidade de Fe por vários autores (Howeller, 1973; Ottow et al., 1983 a,b; Benckiser et al., 1984 a,b; Winslow et al., 1988).

O 'Araguaia' apresentou tendência de maiores teores de N, P e Ca e relações mais largas entre esses nutrientes e o Fe que os outros cultivares. Relações menos estreitas entre os nutrientes e o Fe foram relacionadas por

Barbosa Filho et al. (1983) com a menor severidade dos sintomas de toxicidade de Fe, e Yoshida & Yamamuro (1986) encontraram baixos teores de fósforo em plantas com distúrbio nutricional.

Além disso, o 'Araguaia' apresentou pouca variabilidade nos teores de Mn com as alterações do meio, sendo o único cultivar que não reduziu o teor de Mn na folha com o excesso de irrigação, mesmo quando o teor de Fe aumentou nos tecidos, e também apresentou o menor teor de Mn na parte aérea com a irrigação padrão.

Quadro 5. Teores de nutrientes na massa seca de colmos em função do solo, irrigação (I.) e cultivares

Cultivar	Tratamentos ⁽¹⁾					
	Solo original			Solo calcariado		
	I.padrão	I.excessiva	Média	I.padrão	I.excessiva	Média
Nitrogênio (mg/kg) ⁽²⁾						
IAC-47	32,0	30,0	31,0a	32,1	25,9	28,9a
Rio Paranaíba	30,4	29,8	30,1a	34,7	24,7	29,5a
Araguaia	30,2	30,6	30,4a	35,3	26,1	30,5a
IAC-25	30,9	29,1	30,0a	35,4	23,3	29,0a
Média	30,8A	29,9A	-	34,4A	25,0B	-
Fósforo (mg/kg)						
IAC-47	3,4	5,0	4,2b	4,0	3,2	3,6b
Rio Paranaíba	3,7	5,7	4,7ab	4,4	3,2	3,8ab
Araguaia	4,0	5,5	4,8a	5,0	4,2	4,6a
IAC-25	3,6	5,1	4,4b	4,5	3,0	3,8b
Média	3,7B	5,3B	-	4,5A	3,4B	-
Potássio (mg/kg)						
IAC-47	35,9	35,6	35,8a	39,5	38,8	39,1a
Rio Paranaíba	38,2	35,3	36,7a	42,8	33,7	38,3a
Araguaia	32,8	37,2	35,0a	41,0	34,8	37,9a
IAC-25	39,3	37,2	38,2a	48,0	34,2	41,1a
Média	36,6A	36,3A	-	42,8A	35,4B	-
Cálcio (mg/kg)						
IAC-47	1,4	1,7	1,6b	1,4	1,9	1,7b
Rio Paranaíba	1,4	1,8	1,6ab	1,4	2,1	1,8ab
Araguaia	1,6	2,2	1,9a	1,7	2,3	2,0a
IAC-25	1,4	1,9	1,7ab	1,7	1,8	1,7ab
Média	1,4B	1,9A	-	1,6B	2,0A	-
Magnésio (g/kg)						
IAC-47	1,0	0,4	0,7b	2,3	2,4	2,4b
Rio Paranaíba	0,9	0,4	0,7b	2,3	2,2	2,2b
Araguaia	1,1	0,5	0,8a	2,8	2,5	2,6a
IAC-25	1,1	0,4	0,7ab	2,8	2,1	2,4ab
Média	1,0A	0,4B	-	2,5A	2,3B	-

Continua

Quadro 5. Conclusão

Cultivar	Tratamentos (¹)					
	Solo original			Solo calcariado		
	I.padrão	I.excessiva	Média	I.padrão	I.excessiva	Média
Ferro (mg/kg)						
IAC-47	98	144	121a	111	138	124a
Rio Paranaíba	101	161	131a	123	183	153a
Araguaia	101	149	125a	100	145	123a
IAC-25	91	148	119a	125	126	126a
Média	98B	150A	-	115B	148A	-
Manganês (mg/kg) (²)						
IAC-47	799	751	775b	364	505	432b
Rio Paranaíba	637	592	614b	312	401	355b
Araguaia	509	526	517a	290	461	371a
IAC-25	725	768	746a	544	439	490a
Média	663A	655A	-	372A	451A	-
Cobre (mg/kg)						
IAC-47	9	8	8a	11	9	10a
Rio Paranaíba	9	7	8a	9	8	9b
Araguaia	6	9	7a	10	10	10a
IAC-25	8	9	9a	9	7	8a
Média	8A	8A	-	10A	8A	-
Zinco (mg/kg) (²)						
IAC-47	112	128	120a	89	85	87a
Rio Paranaíba	121	147	134a	103	113	108a
Araguaia	103	103	103a	101	98	99a
IAC-25	109	167	136a	82	84	83a
Média	111A	135A	-	94A	95A	-
Boro (mg/kg)						
IAC-47	12	17	14a	14	17	16a
Rio Paranaíba	12	18	15a	15	17	16a
Araguaia	13	26	19a	18	15	16a
IAC-25	13	20	16a	18	12	15a
Média	13B	20A	-	16A	15A	-

(¹) Para cada tipo de solo, médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha ou minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. (²) Análise feita com dados transformados em $x^{1/2}$ e retransformados em x^2 .

O menor teor de Mn não significa necessariamente que esse cultivar seja mais tolerante a sua toxicidade (Foy et al., 1981; Nelson, 1983), mesmo porque, nas condições de campo, as plantas apresentaram teor muito menor e tornaram-se amarelecidas. Por outro lado, a ausência de diferença no acúmulo de massa seca da parte aérea quanto ao fator manejo (solo calcariado e cultivado versus solo original) pode indicar tolerância ao Mn (Nelson, 1983), o qual não foi o único fator limitante ao desenvolvimento do arroz.

4. CONCLUSÕES

1. O amarelecimento ocorreu sob condições de encharcamento e baixa fertilidade natural do solo, devido à toxicidade de ferro e à deficiência de magnésio na planta, associadas a um múltiplo estresse nutricional.

2. Existe tolerância varietal do arroz-de-sequeiro ao amarelecimento, podendo-se considerar o cultivar Araguaia, entre os estudados, como o menos afetado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 18(8):903-910, 1983.
- 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 Agrônômico, 1978. 31p. (Circular, 87)
- BENCKISER, G.; OTTOW, J.C.G.; WATANABE, I. & SANTIAGO, S. The mechanism of excessive iron-uptake (iron toxicity) of wetland rice. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 7(1-5):177-185, 1984a.
- BENCKISER, G.; SANTIAGO, S.; NEUE, H.U.; WATANABE, I. & OTTOW, J.C.G. Effect of fertilization on exudation, dehydrogenase activity, iron-reducing populations and Fe^{2+} formation in the rhizosphere of rice (*Oryza sativa* L.) in relation to iron toxicity. *Plant and Soil*, The Hague, 79(3):305-316, 1984b.
- CLARK, L.H. & HARRIS, W.H. Observations on the root anatomy of rice (*Oryza sativa* L.). *American Journal of Botany*, Baltimore, 68(2):154-161, 1981.
- FAGERIA, N.K. & RABELO, N.A. Tolerance of rice cultivars to iron toxicity. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 10(6):653-661, 1987.
- FOY, C.D.; WEBB, H.W. & JONES, J.E. Adaptation of cotton genotypes to an acid, manganese toxic soil. *Agronomy Journal*, Madison, 73(1):107-111, 1981.
- HOWELLER, R.H. Iron-induced orangening disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 37(6):898-903, 1973.
- ISLAM, A. & ISLAM, W. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice: I. Benefits from submergence. *Plant and Soil*, The Hague, 39:555-565, 1973.
- JOHANSEN, D.A. *Plant microtechnique*. New York, McGraw-Hill, 1940. 523p.
- JULIANO, J.B. & ALDAMA, M.J. Morphology of *Oryza sativa* Linnaeus. *The Philippine Agriculturist*, Laguna, 26(1):1-76, 1937.
- KATYAL, J.C. & SHARMA, B.D. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant and Soil*, The Hague, 55:105-119, 1980.
- KAUFMAN, P.B. Development of the shoot of *Oryza sativa* (II. Leaf histogenesis). *Phytomorphology*, Delhi, 9:277-311, 1959.
- MALAVOLTA, E.; SILVA, J.C.A.; RODRIGUES, T.E.; SABINO, J.C.; GOMES, I.A.; CRUZ, A.P.; OLIVEIRA, F.A.; DAGHLIAN, C.; GUERRINI, I.A.; MAZZA, J.A.; CORREA, L.S.; SCHIAVUZZO, M.A.; COSTA, M.P.; CABRAL, C.P.; DARIO, L.A.; ANTONIOLLI, F.C. & PAVAN, L.H.S. Estudos sobre a nutrição mineral do arroz: VII. Exigências nutricionais das variedades IAC-25 e IAC-47. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 38(2):507-519, 1981.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 2.ed. Bern, International Potash Institute, 1979. 593p.
- MORAES, J.F.V. & FREIRE, C.J.S. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 9:35-43, 1974.

- MUÑOZ, A.R. & MANZANO, A.H. Efecto del hierro en la nutrición y en la producción de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo riego, en suelos del Meta y Tolima, Colombia. *Revista ICA*, Bogotá, 8(3):273-287, 1973.
- NELSON, L.E. Tolerances of 20 rice cultivars to excess Al and Mn. *Agronomy Journal*, Madison, 75(1):134-138, 1983.
- OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G. & WATANABE, I. Is iron toxicity of rice the result of a multiple nutritional stress? *Plant Research and Development*, Tülsingen, 17:96-109, 1983a.
- OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I. & SANTIAGO, S. Multiple nutritional soil stress as the pre-requisite for iron toxicity of wetland rice (*Oryza sativa* L.). *Tropical Agriculture*, Trinidad, 60(2):102-106, 1983b.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, New York, 24:29-96, 1972.
- SCALCO, M.S. & SOUZA, A.F. de. Efeito do manejo da água na absorção de Fe, Mn e Zn pelo arroz (*Oryza sativa* L. 'IAC-25'). *Ciência e Prática*, Lavras, 11(2):111-119, 1987.
- SNYDER, G.H. & JONES, D.B. Prediction and prevention of iron-related rice seedling chlorosis on everglades histosols. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 52(4):1043-1046, 1988.
- TANAKA, A. & YOSHIDA, S. *Nutritional disorders of the rice plant in Asia*. Los Baños, International Rice Research Institute, 1970. 51p. (Technical bulletin, 10)
- VALADARES J.M.A. da S. & CAMARGO, O.A. de. Manganês em solos do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7(2):123-130, 1983.
- WINSLOW, M.D.; YAMAUCHI, M.; ALLURI, K. & MASAJO, T.M. Reducing iron toxicity in rice with resistant genotype and ridge planting. *Agronomy Journal*, Madison, 81(3):458-460, 1988.
- YOSHIDA, K. & YAMAMURO, S. A nutritional disorder of rice plants observed in Brunei. *JARQ*, Tokyo, 19(4):311-314, 1986.
- ZAHARIEVA, T. Comparative studies of iron inefficient plant species with plant analysis *Journal of Plant Nutrition*, New York, 9(3/7):939-946, 1986.