

MANEJO D'ÁGUA E CALAGEM EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE E TOXICIDADE DE FERRO EM ARROZ¹

MOREL PEREIRA BARBOSA FILHO², NAND KUMAR FAGERIA e LUIZ FERNANDO STONE³

RESUMO - Dois solos coletados na região da Zona da Mata, em Minas Gerais, foram submetidos a diferentes práticas de manejo de água e de calagem, para verificar o seu comportamento com relação à produtividade de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivar BR IRGA-409, à absorção de nutrientes pela planta e à toxicidade de ferro. Adotou-se o delineamento de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições. O crescimento, a produção e a absorção de nutrientes foram utilizados como parâmetros de avaliação. No solo de Leopoldina (SL), foram obtidos maior número de perfilhos, maior comprimento das raízes, maior produção de matéria seca e de grãos por vaso, do que no solo de Muriaé (SM), em todos os tratamentos inundados. A toxicidade de ferro diminuiu, indiretamente, a absorção de macro e micronutrientes e o nível tóxico dependeu do balanço nutricional da planta. Por causa da quantidade de ferro relativamente alta no solo SM, foram notados, a partir dos 25 dias do transplântio, os primeiros sintomas de toxicidade, isto é, amarelecimento que inicia na ponta das folhas mais velhas e progride pelas margens até atingir as folhas mais novas. As raízes foram cobertas por uma camada de óxido de ferro.

Termos para indexação: solos inundados, absorção de nutrientes, *Oryza sativa* L.

WATER MANAGEMENT AND LIMING IN RELATION TO GRAIN YIELD AND IRON TOXICITY IN RICE

ABSTRACT - Two types of soil collected in the "Zona da Mata" region of Minas Gerais, Brazil, were subjected to different water management regimes and liming, in order to study the effect on grain yield, nutrient absorption and iron toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) cultivar BR IRGA-409. The lay-out was split-plot with plots arranged in a randomized complete block design and three replications. Evaluation was made of growth, nutrient absorption and grain yield. Leopoldina soil (SL) produced plants with increased tiller number and root length besides relatively high dry matter and grain yield per pot when compared to Muriaé soil (SM), in anaerobic condition. The same was not observed under aerobic condition. The effect of iron toxicity was indirect resulting in decreased absorption of macro and micronutrients. The iron toxicity level was greatly influenced by plant nutritional balance. Symptoms were evident 25 days after transplanting, due to a relatively high quantity of iron in SM soil. The characteristic toxicity symptoms consisted of yellowing of lower leaves at the beginning, and subsequent increase to top young leaves. Also, the roots were covered with a layer of ferrous oxide.

Index terms: flooded soil, absorption of nutrients, *Oryza sativa* L.

INTRODUÇÃO

Vários pesquisadores (Chaudhry & McLean 1963, Cheaney 1973, Pande & Mitra 1970, Pande & Singh 1970) observaram que a produtividade de arroz irrigado por submersão é superior à dos solos não saturados ou com menor teor de umidade. A submersão favorece o crescimento, proporcionando maior altura às plantas (Chaudhry & McLean 1963, Enyi 1963 e 1964) e maior rendimento de matéria seca (Enyi 1963, Halm 1967, Jana & Ghildyal 1969). Com relação ao perfilha-

mento, entretanto, seus efeitos são controversos. Enyi (1963 e 1964) e Halm (1967) não observaram diferenças significativas entre plantas irrigadas por submersão e cultivadas em solo não saturado; contudo, em trabalhos conduzidos no International Rice Research Institute foram verificados aumentos no perfilhamento com o uso da submersão (International Rice Research Institute 1968 e 1971). Del Giudice et al. (1974), entretanto, observaram menor perfilhamento em solo saturado do que em não-saturado.

A submersão, principalmente de solos ácidos, ricos em matéria orgânica e com alto teor de ferro, pode causar problemas para o arroz. Nestes solos, a concentração de ferro pode atingir até 600 ppm dentro de uma a três semanas de submersão e, em seguida, decresce exponencialmente até o nível de 50 a 100 ppm, persistindo por vários meses

¹ Aceito para publicação em 28 de julho de 1983.

² Eng^o. Agr^o, M.Sc., EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179 - CEP 74000, Goiânia, GO.

³ Eng^o. Agr^o, Ph.D., EMBRAPA-CNPAP.

(Ponnamperuma 1977). Alto teor de ferro na solução do solo pode provocar toxicidade deste elemento no arroz e causar deficiência de macro e micronutrientes essenciais à nutrição da planta.

A toxicidade de ferro, também conhecida como "bronzing" ou bronzeamento, tem constituído, em algumas regiões do Brasil, como a Zona da Mata em Minas Gerais, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Pará (Projeto Jari), um fator limitante para o desenvolvimento normal das plantas de arroz irrigado por submersão. Apesar disto, não há dados de pesquisa específicos para estas regiões. Sabe-se, porém, por trabalhos conduzidos em outros países, que o manejo da água e a prática da calagem, ocasionando uma variação do pH, podem reduzir a disponibilidade de ferro para as plantas.

Com o objetivo de avaliar os efeitos de práticas de manejo de água e de calagem sobre a produtividade de arroz, toxicidade de ferro e absorção de nutrientes, foi conduzido um experimento, no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), utilizando dois solos de várzea da Zona da Mata de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo, utilizadas neste experimento, foram coletadas nos municípios de Muriaé e Leopoldina, ambos da Zona da Mata em Minas Gerais. Os solos desta região apresentam, frequentemente, problema de toxicidade de ferro. Neste trabalho, os solos receberam as denominações de SM e SL, respectivamente. As suas características texturais e químicas são mostradas na Tabela 1. As sementes da cultivar BR IRGA-409 foram germinadas em água deionizada e, após duas semanas, cinco mudas foram transplantadas para vasos de plástico contendo 5 kg de solo seco ao ar, deixando-se três plantas por vaso, após o estabelecimento completo das plantas. Os solos foram

misturados com fertilizantes, em níveis equivalentes a 100 kg/ha de N, como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 200 kg/ha de P_2O_5 , como $(\text{CaH}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; e 80 kg/ha de K_2O , como KCl, recebendo, depois, os seguintes tratamentos:

- T₁ - Inundação seis semanas antes do transplantio.
- T₂ - Inundação e transplantio imediato.
- T₃ - Inundação duas semanas antes do transplantio + 2 t/ha de calcário.
- T₄ - Sem inundação, mas úmido e aeróbico.

Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, com três repetições e em parcelas subdivididas; os solos constituíram as parcelas, e os tratamentos, as subparcelas. Com este plano experimental, foram instalados quatro experimentos, sendo individualmente colhidos aos 20, 40, 60 e 90 dias após o transplantio.

As observações feitas durante o ciclo da cultura foram: comprimento total das raízes/vaso, número médio de perfilhos/vaso, matéria seca da parte aérea, teores de macro e micronutrientes na parte aérea e produção de grãos/vaso.

As amostras das plantas, coletadas em épocas predeterminadas, foram secadas moídas e analisadas, como descrito a seguir: para Fe, Cu, Mn, Ca e Mg, o material sofreu uma digestão nitroperclórica, e a determinação foi feita pela espectrofotometria da absorção atômica. No mesmo extrato, o K foi determinado por fotometria de chama; o N, pelo método de Kjeldhal e o P, por colorimetria, usando-se o método de Vanado-molibdato de amônio, como descrito por Jackson (1973).

As raízes foram lavadas cuidadosamente numa peneira, e o seu comprimento total medido pelo método de interseções de linhas, descrito por Newmam (1966) e modificado por Tennant (1975). Foi feita análise de variância e, através da análise de regressão, foram estimadas as equações ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 apresenta a evolução do número de perfilhos/vaso durante o ciclo da cultura, em cada

TABELA 1. Características físicas e químicas dos solos de Muriaé (SM) e de Leopoldina (SL), MG.

Solo	Areia	Silte	Argila	M.O. ³	pH em H ₂ O	Al ⁺⁺⁺²	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺²	K ⁺¹	P ¹	Cu ¹	Mn ¹	Fe ¹	Zn ¹
	-----%-----					-----meq/100 g-----				-----ppm-----			
SL	63,43	15,25	21,32	2,1	5,3	0,1	2,5	47	5,0	0,5	55	420	5,0
SM	47,83	13,86	38,31	1,5	4,5	0,6	2,5	20	2,7	1,5	215	730	2,8

¹ Extração com H₂SO₄ 0,025 N + HCl 0,05 N;

² KCl 1 N;

³ Método - Walkley-Black (Jackson 1973).

tratamento, nos dois solos estudados. Observa-se que os tratamentos afetaram este parâmetro de maneira diferente, em função do tipo de solo. No solo SL, o menor número de perfilhos/vaso foi obtido no tratamento T_4 (solo sem inundação, mas úmido e aeróbico), o que concorda com o International Rice Research Institute (1968 e 1971) que verificou, em solo não saturado, menor perfilhamento do que em solo submerso. Ainda em relação a este solo, quanto mais cedo a submersão foi iniciada, maior o número de perfilhos que se desenvolveram inicialmente, apesar de, no final do ciclo, praticamente não ter havido diferença entre os tratamentos irrigados por submersão. Já no solo SM, o tratamento T_4 apresentou o maior número de perfilhos/vaso, não havendo diferença entre os demais tratamentos. Del Giudice et al. (1974) também observaram uma redução no perfilhamento pelo uso da submersão.

O efeito negativo da submersão sobre o número de perfilhos/vaso, no solo SM, pode ser atribuído à toxicidade de ferro, pois foram observados sintomas visuais bem acentuados desta toxicidade nos tratamentos de submersão. A submersão do solo reduz o Fe^{3+} para Fe^{2+} , que é muito mais solúvel, elevando a sua concentração na solução do solo a

níveis que podem ser tóxicos para a planta de arroz (Ponnamperuma 1977); um dos sintomas da toxicidade de ferro é a redução do perfilhamento (Instituto Colombiano Agropecuário 1973, Mueller 1970). No solo SL, o teor de ferro era, inicialmente, bem menor do que no solo SM (Tabela 1); com a submersão, este teor provavelmente não tenha alcançado valores tão elevados como no solo SM.

Considerando os tratamentos em conjunto, o número de perfilhos/vaso foi maior no solo SL do que no SM (Fig. 2), embora, 60 dias após o plantio, tenha havido morte de perfilhos no primeiro solo e, no final do ciclo, a quantidade de perfilhos/vaso, em ambos os solos, fosse praticamente a mesma. A morte de perfilhos ocorrida no solo SL está relacionada com a competição por luz e nutrientes, devido ao alto perfilhamento verificado neste solo (Fageria et al. 1982).

Pela Fig. 3, observa-se que o efeito dos tratamentos sobre o comprimento total das raízes por vaso foi semelhante aos do número de perfilhos/vaso. O tratamento T_4 apresentou os menores e os maiores valores para este parâmetro nos solos SL e SM, respectivamente. Como a redução do desenvolvimento radicular também é uma característica da toxicidade de ferro

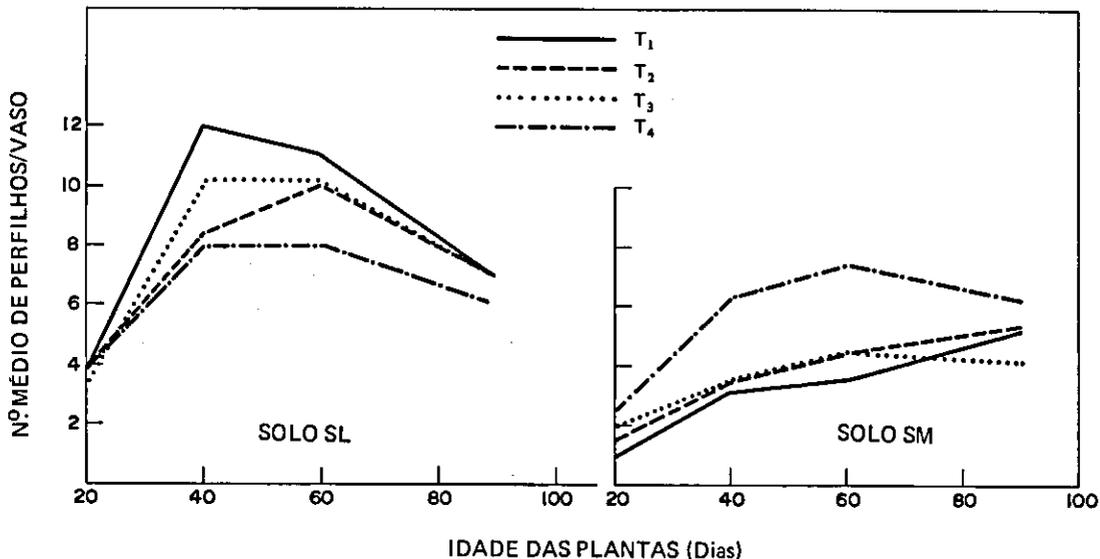


FIG. 1. Evolução do número médio de perfilhos por vaso, em função dos tratamentos e dos dias de submersão após o transplântio, nos dois solos.

(Instituto Colombiano Agropecuário 1973), a elevação do teor de ferro solúvel pela submersão do solo pode ser a causa do menor comprimento total das raízes por vaso, no solo SM, em relação ao tratamento T_4 , em que o solo permaneceu úmido e aeróbico. Observa-se, ainda, no solo SL, que, quanto mais cedo se inundou o solo, maior foi o com-

primento inicial das raízes, mas, no final do ciclo, as diferenças entre os tratamentos de submersão foram menos acentuadas, devido à redução ocorrida no comprimento das raízes nos tratamentos T_1 e T_3 , a partir dos 60 dias. Esta redução está relacionada com a morte de perfilhos. Já no solo SM, o comprimento das raízes nos tratamentos de submersão foi bem semelhante.

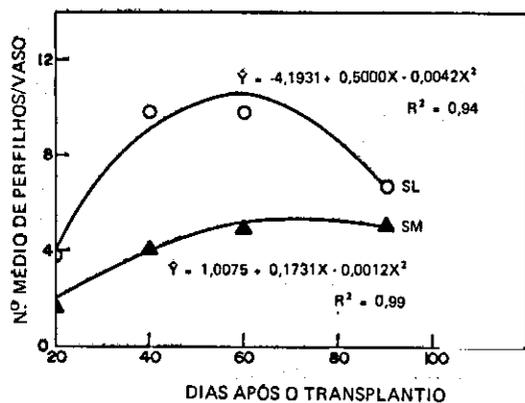


FIG. 2. Evolução do número médio de perfilhos por vaso, nos dois solos, após o transplante.

A curva de crescimento das raízes, expressa em comprimento total das raízes por vaso, considerando os tratamentos em conjunto, é apresentada na Fig. 4. Observa-se que este parâmetro apresenta valores mais elevados no solo SL. A diferença entre os dois tipos de solo acentuou-se a partir dos 25 dias do transplante, época em que se verificaram os primeiros sintomas de toxicidade, tanto na raiz como na parte aérea das plantas cultivadas no solo SM.

O rendimento de matéria seca (Fig. 5) e a produção de grãos (Fig. 6) também apresentaram um comportamento semelhante ao dos outros dois parâmetros estudados nos diferentes tratamentos. No solo SL, o rendimento de matéria seca foi menor no tratamento T_4 , e a produção de grãos

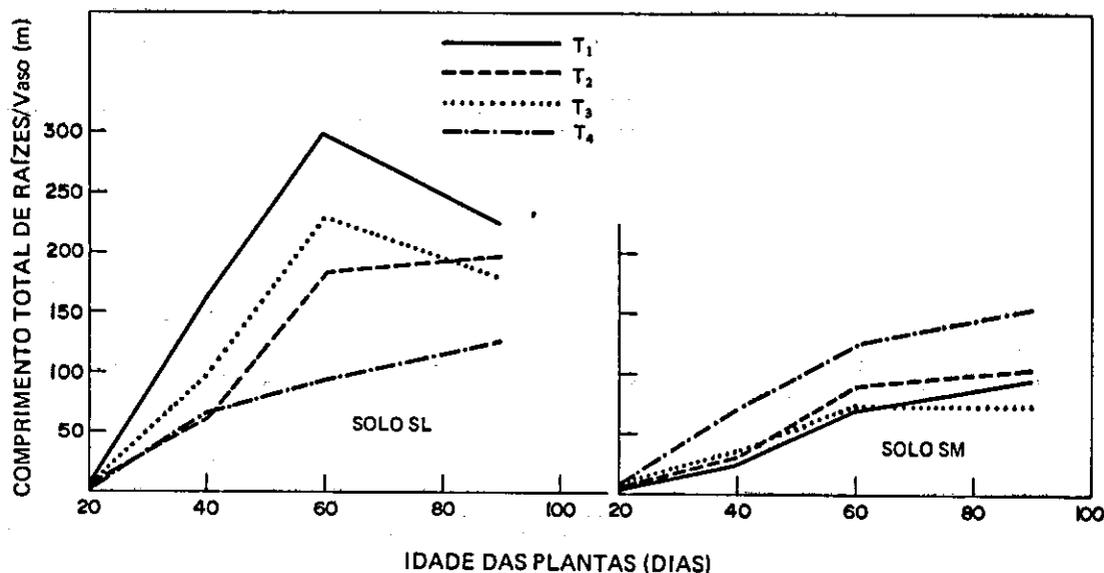


FIG. 3. Influência de diferentes tratamentos sobre o comprimento total de raízes por vaso, em função dos dias de submersão após o transplante, nos dois solos.

apresentou uma tendência a ser menor também neste tratamento, apesar de não ter havido diferença significativa entre os tratamentos. Estes resultados estão de acordo com o observado por vários

pesquisadores, que relatam que o rendimento de matéria seca (Enyi 1963, Halm 1967, Jana & Ghildyal 1969) e a produtividade do arroz (Chaudhry & McLean 1963, Cheaney 1973, Pande & Mitra 1970, Pande & Singh 1970) são menores em solos não saturados do que em solos submersos.

No solo SM, discordando da literatura, estes dois parâmetros foram significativamente maiores no tratamento em que o solo foi mantido úmido (T₄). Como já discutido anteriormente, a causa disto deve ter sido a toxicidade de ferro, como se pode inferir pela Fig. 7. No solo SM, a produção de grãos decresceu à medida que aumentou a concentração de ferro na parte aérea. O tratamento T₄ foi o que apresentou a menor concentração de ferro, explicando a sua maior produção. A submersão do solo aumentou consideravelmente a concentração de ferro na parte aérea das plantas neste tipo de solo.

No solo SL, a produção de grãos aumentou com o incremento da concentração de ferro na parte aérea até o valor de 1.800 ppm e depois decresceu. Fageria et al. (1981) encontraram que os níveis críticos tóxicos de ferro na parte aérea da planta de arroz, aos 20 e 40 dias de crescimento, foram

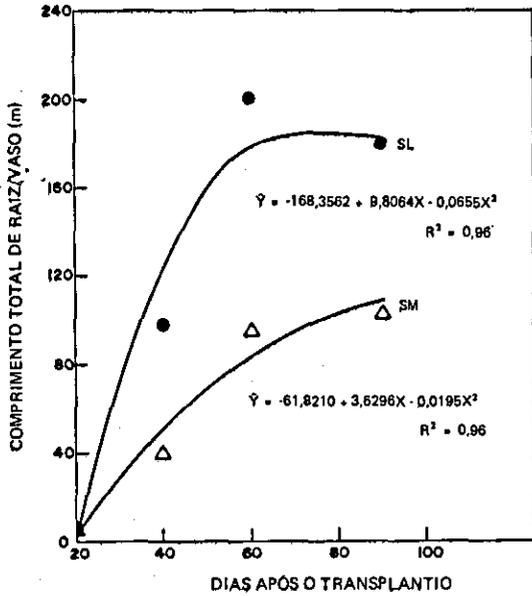


FIG. 4. Comprimento total de raízes por vaso, nos dois solos.

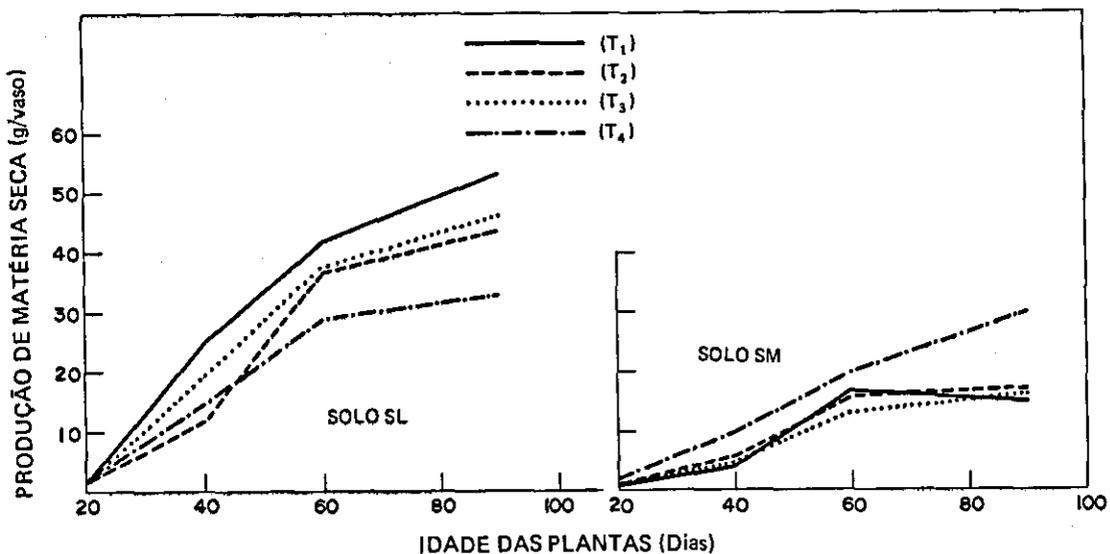


FIG. 5. Influência de diferentes tratamentos sobre a produção de matéria seca, em função dos dias de submersão após o transplante, nos dois solos.

iguais a 680 e 850 ppm, menores, portanto, que o valor crítico (1.800 ppm) encontrado no solo SL. Entretanto, esta concentração de ferro foi observada 60 dias após o transplântio, ou seja, quando as plantas estavam com cerca de 75 dias de crescimento.

Segundo Fageria et al. (1981), a tolerância à toxicidade de ferro aumenta com o incremento da idade da planta. Além disto, estes autores estabeleceram os níveis críticos tóxicos em função do decréscimo do rendimento da matéria seca. Neste trabalho, relacionou-se a concentração de ferro com a produção de grãos, o que pode, também,

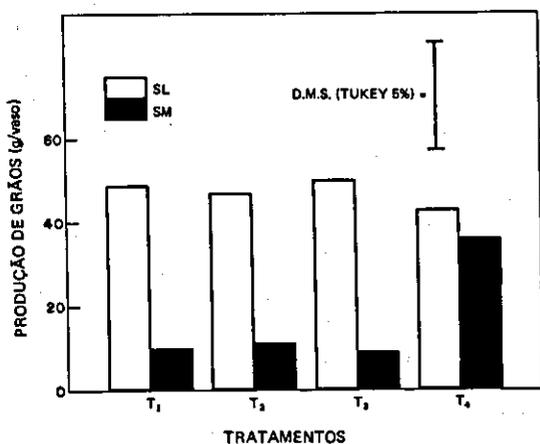


FIG. 6. Influência de diferentes tratamentos sobre a produção de grãos de arroz por vaso, em dois tipos de solos.

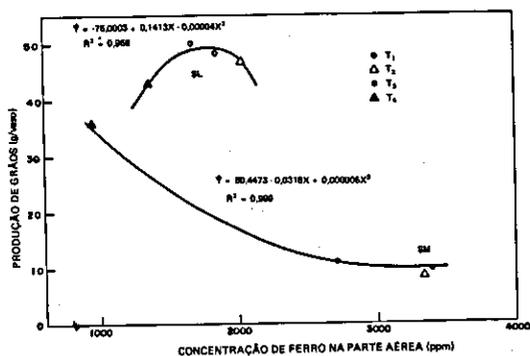


FIG. 7. Produção de grãos nos dois solos, em função da concentração de ferro na parte aérea.

explicar a diferença nos valores da concentração crítica de ferro. Por outro lado, no solo SM, os resultados parecem indicar que uma concentração de ferro na parte aérea, menor do que 1.000 ppm, resultaria em maior produção de grãos.

Pode ser observado, na Fig. 8, que o rendimento da matéria seca foi menor no solo SL do que no solo SM; o mesmo pode ser dito da produção de grãos (Fig. 6). Isto pode ser atribuído à fertilidade relativamente mais alta, que reduz, conseqüentemente, a intensidade da toxicidade de ferro, ao maior número de perfilhos e ao maior comprimento de raízes verificados neste solo.

Do exposto, verifica-se que os tratamentos de épocas de submersão não foram muito eficientes em reduzir a concentração de ferro na parte aérea das plantas, visto que esta concentração foi menor no tratamento em que o solo permaneceu úmido e aeróbico. A aplicação de calcário reduziu a concentração de ferro, mas, se tivesse sido aplicada uma quantidade maior, seu efeito também teria sido mais acentuado. Esta observação está de acordo com a encontrada por Howeler (1973), segundo a qual, somente grande quantidade de calcário pode reduzir consideravelmente o teor de ferro na solução do solo e nas folhas das plantas. Apenas 2 t/ha de calcário não são suficientes para reduzir o nível de ferro na solução do solo.

Com base nos resultados da análise química da parte aérea das plantas, foi calculada a relação entre os teores de macro e micronutrientes e o teor de ferro em função dos tratamentos (Tabela 2).

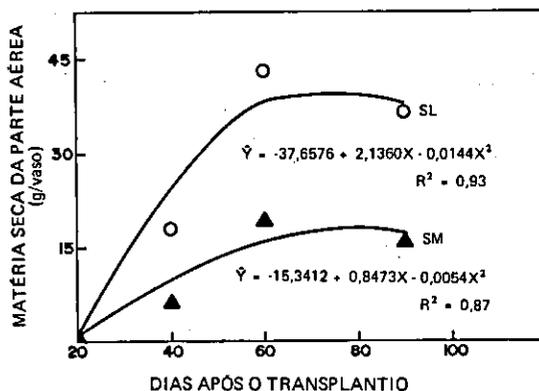


FIG. 8. Produção de matéria seca da parte aérea do arroz, nos dois solos, após o transplântio.

TABELA 2. Relação entre os teores de macro e micronutrientes e o teor de ferro, na parte aérea das plantas, em função dos tratamentos.

Tratamentos	N/Fe	P/Fe	K/Fe	Ca/Fe	Mg/Fe	Zn/Fe	Cu/Fe	Mn/Fe
Solo SL								
T ₁	11,73	0,91	8,60	1,22	1,17	0,0239	0,0020	0,2438
T ₂	13,24	1,18	11,42	1,62	1,03	0,0290	0,0020	0,2546
T ₃	17,56	1,06	12,07	1,79	1,61	0,0346	0,0032	0,3757
T ₄	12,54	0,88	19,84	2,43	2,58	0,1010	0,0147	2,3304
Médias	13,77	1,01	12,99	1,77	1,60	0,0471	0,0055	0,8011
Solo SM								
T ₁	2,48	0,44	5,52	0,62	0,59	0,0088	0,0006	0,2504
T ₂	4,47	0,45	6,70	0,63	0,63	0,0108	0,0016	0,1841
T ₃	3,76	0,48	6,78	0,81	0,74	0,0144	0,0010	0,2747
T ₄	17,55	1,36	21,62	2,93	2,51	0,1160	0,0188	2,3542
Médias	7,06	0,68	10,15	1,25	1,21	0,0375	0,0055	0,7659

O conhecimento desta relação é importante para compreender o comportamento diferencial de uma mesma cultivar de arroz em função do tipo de solo e da concentração de ferro na parte aérea (Fig. 7), pois tem sido publicado (Howeler 1973) que a severidade da toxicidade de ferro está associada, principalmente, aos teores de P, K, Ca e Mg nas folhas.

Uma análise comparativa dos dados da Tabela 2 mostra que no solo SL os tratamentos de inundação tiveram uma relação entre N:Fe de, aproximadamente, cinco vezes maior do que a do solo SM, de duas a três vezes maior entre P:Fe, K:Fe, Ca:Fe, Mg:Fe, Zn:Fe, Cu:Fe e valores semelhantes para Mn:Fe. Isto indica que a relação entre macro e micronutrientes e o teor de ferro na parte aérea das plantas é mais importante do que a quantidade absoluta de ferro no tecido e que o nível tóxico de ferro depende do balanço nutricional da planta, o que explica os resultados apresentados na Fig. 7. Os parâmetros estudados comportaram-se de maneira semelhante nos dois tipos de solo, no tratamento T₄ (sem inundação, mas úmido e aeróbico). A razão deste comportamento pode ser explicada pelo fato de que, neste tratamento, a relação entre os nutrientes e ferro na parte aérea foi semelhante nos dois solos (Tabela 2).

CONCLUSÕES

1. O número de perfilhos, comprimento total

de raízes, produção de matéria seca e rendimento de grãos das plantas cultivadas no solo de Muriaé (SM) foram significativamente menores do que no solo de Leopoldina (SL). Este fato foi atribuído à alta toxicidade de ferro naquele solo.

2. A severidade da toxicidade de ferro está associada aos teores de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz.

3. As observações feitas neste trabalho mostram que não há necessidade de eliminar completamente o ferro tóxico e que a toxicidade pode ser prevenida pelo plantio em várzea úmida e pela aplicação de quantidade econômica de calcário.

REFERÊNCIAS

- CHAUDHRY, M.S. & MCLEAN, E.O. Comparative effects of flooded and inflooded soil conditions and nitrogen application on growth and nutrient uptake by rice plant. *Agron. J.*, Madison, 55:565-7, 1963.
- CHEANEY, R.L. O manejo d'água. *Lav. arroz.*, Porto Alegre, 26:36-48, 1973.
- DEL GIUDICE, R.M.; BRANDÃO, S.S.; GALVÃO, J. D. & GOMES, R.J. Irrigação do arroz por aspersão; profundidade de rega e limites d'água disponível. *Experientiae*, Viçosa, 18:103-23, 1974.
- ENYI, B.A.C. Effect of varying phosphorus and water supply on growth and yield of an upland rice variety (*Oryza sativa* L.). *Trop. Agric.*, Trinidad, 41:47-53, 1964.
- ENYI, B.A.C. The influence of varying phosphorus and water supply on the growth and yield of a swamp rice variety (*Oryza sativa* L.). *J. Agric. Sci.*, London, 61:227-31, 1963.

- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. & CARVALHO, J.R.P. de. Influência de ferro no crescimento e na absorção de P, K, Ca e Mg pela planta de arroz em solução nutritiva. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 16(4):483-8, 1981.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. & CARVALHO, J.R.P. de. Response of upland rice to phosphorus fertilization on an oxisol of Central Brazil. *Agron. J.*, 74(1):51-6, 1982.
- HALM, A.T. Effect of water regime on the growth and chemical composition of two rice varieties. *Trop. Agric.*, Trinidad, 44:33-7, 1967.
- HOWELER, R.H. Iron induced orange disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37(6):898-903, 1973.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, Bogotá, Colombia. Efecto del hierro en la nutrición y en la producción de arroz bajo riego, em suelos del Meta y Tolima, Bogotá. s.l., 1973. 14p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Annual Report for 1967. Los Baños, Filipinas, 1968. p.147-212.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Annual Report for 1970. Los Baños, Filipinas, 1971, p.123-56.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. New Delhi, Prentice-Hall, 1973. 498p.
- JANA, R.K. & GHILDYAL, B.P. Growth patterns of the rice plants under varying soil water regimes and atmospheric evaporative demands. II. Riso, Milano, 18:15-24, 1969.
- MUELLER, K.E. Field problems of tropical rice. Los Baños, Filipinas, IRRI, 1970. 95p.
- NEWMAN, E.I. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.*, 3:139-45, 1966.
- PANDE, H.K. & MITTRA, B.N. Response of lowland rice to varying levels of soil, water, and fertility management in different seasons. *Agron. J.*, Madison, 62:197-9, 1970.
- PANDE, H.K. & SINGH, P. Water and fertility management of rice varieties under low atmospheric evaporative demand. *J. Agric. Sci.*, Cambridge, 75:61-7, 1970.
- PONNAMPERUMA, F.N. Specific soil chemical characteristics for rice production in Asia. Manila, IRRI, 1977. 18p. (IRRI, Research Paper Series, 2).
- TENNANT, A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Appl. Ecol.*, 12:995-1001, 1975.