

EFEITO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA, MINERAL E CALAGEM NO ACÚMULO DE FERRO PELO ARROZ IRRIGADO¹

ADEMAR BRANCHER², FLÁVIO A. DE O. CAMARGO³, GABRIEL DE A. SANTOS⁴

RESUMO - O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de esterco bovino, palha de arroz, adubação mineral e calagem no acúmulo de ferro no arroz irrigado. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFRRJ, utilizando-se amostras dos horizontes A e Cg de um solo glei pouco húmico, coletado no Vale do rio São João, município de Casemiro de Abreu (RJ), e cultivado o arroz (cv. BR IRGA 409). Os tratamentos utilizados foram os dois horizontes (A e Cg) com e sem esterco bovino, palha de arroz, NPK e calagem com as devidas combinações, mais o tratamento testemunha. Os resultados mostraram que a adubação NPK e/ou calagem na presença, ou não, dos materiais orgânicos reduziu as concentrações de ferro na matéria seca da parte aérea do arroz no horizonte Cg; enquanto que a adição dos materiais orgânicos, isoladamente, promoveram a elevação das concentrações de ferro.

Palavras-chave: Palha de arroz, esterco bovino, nitrogênio, fósforo e potássio.

EFFECT OF ORGANIC AND MINERAL FERTILIZATION AND LIMING ON THE ACCUMULATION OF IRON BY IRRIGATED RICE PLANTS

ABSTRACT - The objective of this work was to determine the effects of cow manure, rice straw, fertilizers and lime additions on iron uptake by irrigated rice. Samples were collected from two soil horizons (A and Cg) in a low humic grey soil of São João River Valley, Casemiro de Abreu, RJ, Brazil, and mixed with cow manure, rice straw, NPK, or lime in various combinations. Rice seeds of BR IRGA 409 cultivar were sowed in pots and rice was cultivated in a greenhouse of the Depto. de Solos, UFRRJ. The results show that addition of NPK and/or lime, with or without organic manure reduced iron concentration in the aerial parts of the rice plants grown in horizon Cg, while organic manure alone caused an increase in iron concentration.

Key words: Rice straw, cow manure, nitrogen, phosphorus and potassium.

INTRODUÇÃO

Uma das mais importantes alterações que ocorrem nos solos inundados é verificada a partir do decréscimo no potencial de oxi-redução, com o aumento do teor de Fe^{++} na solução do solo (TIAN-YEN, 1985). Quando o solo é inundado, o oxigênio livre presente no solo, desaparece rapidamente, em função da necessidade de energia para os processos biológicos envolvendo transferência de elétrons do substrato utilizado como fonte de energia para as reações bioquímicas. Obedecendo a seqüência termodinâmica, após o Mn, os oxi-hidróxidos de Fe^{+++} , são reduzidos a Fe^{++} , pois na ausência de O_2 , NO_3^- e Mn_4^+ , o Fe^{+++} pode receber elétrons da oxidação da matéria orgânica, uma vez que esta é a principal fonte de elétrons para as reações de redução do solo. (PONNAMPERUMA, 1984).

O ferro, sob forma reduzida (Fe^{++}), é preferencialmente absorvido pelas raízes das plantas, entretanto, prin-

cipalmente em solos ácidos, a concentração do Fe^{++} na solução pode atingir níveis tóxicos para a cultura do arroz. O distúrbio fisiológico atribuído a essa toxicidade vem sendo constatado como uma das principais limitações de micronutrientes ao cultivo do arroz em solos submersos. A minimização da toxicidade do Fe^{++} pode ser obtida através de práticas como a calagem, drenagem, pré-submersão, aplicação de MnO_2 e eliminação de matéria orgânica, embora somente a drenagem e a calagem tenham mostrado bons resultados (BARBOSA FILHO, 1987). Em muitos casos, a calagem pode não ser viável economicamente, sendo então recomendado o plantio de cultivares tolerantes ou resistentes a toxidez por ferro.

Considerando-se a importância desta cultura, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de esterco bovino, palha de arroz, adubação mineral e calagem no acúmulo de ferro no arroz irrigado.

1. Trabalho apresentado no XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Viçosa, 23 a 29 de julho de 1995.

2. Eng. Agr., M.Sc. - Pesquisador da EPAGRI, Estação Experimental de Urussanga, Rod. SC 446 - km 16, Caixa Postal 49, 88840-000 Urussanga - SC/BRASIL.

3. Eng. Agr., M.Sc., Dr. - Professor do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre - RS/BRASIL.

4. Eng. Agr., M.Sc., Ph.D. - Professor do Departamento de Solos, Instituto de Agronomia UFRRJ, 23850-970 Itaguaí -RJ/BRASIL.

Recebido para publicação em 26/01/1996.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFRRJ, utilizando-se amostras dos horizontes A e Cg de um solo glei pouco húmico, coletado no Vale do rio São João, muni-

cípio de Casemiro de Abreu (RJ), cujas características físicas e químicas são apresentadas na Tabela 1. Foram utilizados vasos de 10 L contendo 6 L de solo. Como planta-teste, empregou-se a cultivar BR IRGA 409, com duas plantas por vaso.

TABELA 1 - Análise física e química dos horizontes A e Cg do solo Glei em estudo¹¹

Horizonte	Argila	Silte	Areia	K	Al	Ca+Mg	P	Fe	C	N	C/N	pH
	g/kg			mmol/kg			mg/kg	g/kg	g/kg			
A	690	250	60	3,3	15	100	5	15	63	5,2	12,1	4,8
Cg	790	200	10	1,0	53	25	3	23	11	1,6	6,9	4,7

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em um fatorial completo 2⁴x2 com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram solos de dois horizontes (A e Cg) em presença e ausência de esterco bovino, palha de arroz, NPK e calagem, com as devidas combinações, mais o tratamento testemunha. Os materiais orgânicos, cuja análise química encontra-se na Tabela 2, foram aplicados na base de 40 t/ha de matéria orgânica (C% x 1,72). Estes materiais foram incorporados após moagem, sendo que nos tratamentos com mistura de materiais orgânicos, foi utilizado a metade da dose de cada um. A adubação mineral NPK

correspondeu a recomendação para este solo [120 (20, 40 e 60), 80 e 54], aplicada por ocasião da semeadura. A calagem, na forma de CaCO₃ (produto p.a.), foi efetuada 20 dias antes da semeadura, na proporção de 4 a 8 t/ha, respectivamente para o horizonte superficial (A) e subsuperficial (Cg). Estas quantidades foram determinadas num experimento de incubação em condições de inundação, no laboratório, de tal forma que o pH atingisse 6,5 unidades. A complementação da adubação foi realizada com micronutrientes na base de 25, 25, 5, e 0,5 kg/ha de sulfato de zinco, sulfato de cobre, ácido bórico e molibdato de amônio, respectivamente.

TABELA 2 - Análise química dos materiais orgânicos utilizados

Materiais	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N	pH(H ₂ O)
	g/kg							
Esterco bovino	395	17	9	9	11	6	23	8,0
Palha de arroz	413	8	3	15	2	1	49	8,2

No final do período experimental (aproximadamente 140 dias após o plantio), as plantas foram coletadas e determinou-se o teor total de ferro na matéria seca da parte aérea, utilizando a digestão nitro-perclórica descrita por BATAGLIA et al. (1983). A partir dos procedimentos normais da análise de variância compararam-se as médias entre tratamentos e horizontes utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade. O desdobramento das interações estatísticas foram feitas segundo COCHRAN e COX (1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que todos os tratamentos utilizados, exceção do esterco bovino, influenciaram o teor de ferro na parte aérea do arroz (Tabela 3). A adubação mineral NPK diminuiu o teor de ferro tanto isoladamente (Tabela 4a) como na presença e ausência de esterco (Tabelas 5b e 6a) e/ou palha (Tabelas 5c e 6e). Na presença do corretivo (Tabela 5a e 6e) estes efeitos foram mais acentuados no horizonte subsuperficial Cg,

mostrando valores superiores quando comparados ao A. Possivelmente, a adubação NPK, principalmente devido a presença de potássio, favoreceu uma melhor oxidação da rizosfera, diminuindo a absorção do ferro na forma reduzida. Outro fator que pode ter contribuído para a redução da concentração do ferro, foi o efeito da diluição ocorrida em função da maior quantidade de matéria seca produzida (Tabela 3, entre parênteses).

TABELA 3 -- Efeito dos tratamentos sobre o teor de ferro na matéria seca da parte aérea do arroz irrigado cultivado nos horizontes superficial (A) e subsuperficial (Cg) de um solo glei pouco húmico

Tratamentos	Horizontes	
	A	Cg
	mg/kg	
Testemunha	384 (25,3)	187 (1,1)
NPK	408 (40,6)	302 (15,5)
Calagem (C)	284 (22,9)	159 (2,8)
Esterco (E)	386 (37,3)	1305 (10,5)
Palha (P)	210 (39,6)	3508 (0,2)
NPK + C	320 (36,2)	169 (16,7)
NPK + E	428 (51,2)	656 (27,8)
NPK + P	263 (47,7)	998 (15,3)
C + E	325 (39,5)	360 (11,9)
C + P	199 (52,3)	270 (5,6)
E + P	326 (37,1)	1795 (1,1)
NPK + C + E	260 (56,0)	191 (33,1)
NPK + C + P	230 (54,6)	293 (24,5)
NPK + E + P	349 (47,3)	795 (28,1)
C + E + P	214 (55,2)	229 (11,1)
NPK + C + E + P	305 (55,0)	349 (31,9)

Entre parênteses, a produção de matéria seca da parte aérea (g/vaso).

TABELA 4 - Efeito das interações duplas entre NPK, calagem (C), esterco (E) palha (P) e horizontes sobre a concentração de ferro (mg/kg) na parte aérea do arroz irrigado, em um solo glei pouco húmico

a	Interação NPK X Horizontes		b	Interação C X Horizontes	
	Com NPK	Sem NPK		Com C	Sem C
Hor. A	320 c	291 c	Hor. A	267 c	344 b
Hor. Cg	469 b	977 a	Hor. Cg	253 c	1193 a

c	Interação E X Horizontes		d	Interação P X Horizontes	
	Com E	Sem E		Com P	Sem P
Hor. A	324 b	287 b	Hor. A	262 d	349c
Hor. Cg	710 a	736 a	Hor. Cg	1030 a	416 b

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente a nível de 5% do teste Tukey.

TABELA 5 – Efeito das interações duplas entre NPK, calagem (C), esterco (E) e palha (P) sobre a concentração de ferro (mg/kg) na palha do arroz irrigado, em um solo glei pouco húmico

a	Interação NPK X C		b	Interação NPK X E		c	Interação NPK X P	
	Com NPK	Sem NPK		Com NPK	Sem NPK		Com NPK	Sem NPK
Com C	265 c	255 c	Com E	417 b	618 a	Com P	448 b	844 a
Sem C	525 b	1013 a	Sem E	373 b	650 a	Sem P	342 c	424 b

d	Interação C X E		e	Interação C X P		f	Interação E X P	
	Com E	Sem E		Com P	Sem P		Com E	Sem E
Com C	279 b	241 b	Com C	261 c	259 c	Com P	545 b	746 a
Sem C	755 a	783 a	Sem C	1031 a	507 b	Sem P	489 b	277 c

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente a nível de 5% do teste Tukey.

TABELA 6 – Efeito das interações triplas entre NPK, calagem (C), esterco (E), palha (P) e horizontes sobre a concentração de ferro (mg/kg) na palha do arroz irrigado, em um solo glei pouco húmico

a	Interação C X E X Horizontes				b	Interação C X P X Horizontes			
	A	Cg	A	Cg		A	Cg	A	Cg
Com E	Com E	Sem E	Com E	Sem E	Com P	Sem P	Com P	Sem P	
Com C	276 cd	258 d	282 cd	223 d	Com C	237 d	297 d	285 d	220 d
Sem C	372 c	316 cd	1138 b	1249 a	Sem C	287 d	402 c	1774 a	613 b

c	Interação NPK X E X Horizontes				d	Interação NPK X P X Horizontes			
	A	Cg	A	Cg		A	Cg	A	Cg
Com E	Com NPK	Sem NPK	Com NPK	Sem NPK	Com P	Sem NPK	Com NPK	Sem NPK	
Com E	336 d	313 d	498 c	1031 a	Com P	287 de	237 e	609 b	1451 a
Sem E	305 d	269 d	441 c	922 b	Sem P	354 d	345 d	330 de	503 c

e	Interação NPK X C X Horizontes				f	Interação E X P X Horizontes			
	A	Cg	A	Cg		A	Cg	A	Cg
Com C	Com NPK	Sem NPK	Sem NPK	Com NPK	Com P	Sem P	Com P	Sem P	
Com C	279 cd	256 d	251 d	255 d	Com E	299 de	350 d	792 b	628 c
Sem C	362 c	327 cd	688 b	1699 a	Sem E	226 e	349 d	1267 a	204 e

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente a nível de 5% do teste Tukey.

Em geral, ocorre elevação do potencial redox (E_H) quando se adiciona adubação mineral, pois conduz a uma maior oxidação das raízes, e a ausência, principalmente do potássio, leva a quedas no E_H , aumentando assim, a concentração de Fe^{2+} na solução. A deficiência de potássio reduz a capacidade de oxidação da rizosfera, ficando estas sujeitas, a toxidez por ferro, pela incapacidade de excluí-lo (POTAFOS, 1990). TADANO e TANAKA citado por TROLLDENIER (1977), trabalhando com um solo sulfatado ácido, observaram menores teores de ferro na planta e maiores valores de E_H com a aplicação de potássio. TROLLDENIER (1977) também verificou que o potencial redox era mais alto em presença de NPK, indicando uma maior energia de

oxidação nas raízes e, que a falta de K causou uma maior queda no E_H e aumentou o Fe^{2+} em solução. LOPES (1987) trabalhando com a cultivar BR IRGA 409, considerada suscetível a toxidez indireta por ferro (BACHA e ISHIY, 1987), mostrou a possibilidade de minimizar o efeito tóxico através da adubação NPK e calagem.

A presença, ou ausência do esterco isoladamente dentro de um mesmo horizonte não teve efeito, apesar de aumentar os teores de ferro no horizonte subsuperficial Cg (Tabela 4c). Em relação a palha houve diminuição na concentração de ferro no horizonte A e aumento no Cg (Tabela 4d). Também, a aplicação de esterco na presença da palha reduziu os teores de ferro nos horizontes (Tabela 5f), principalmente no horizon-

te Cg (Tabela 6f). O decréscimo nos teores de ferro no horizonte A, deve-se ao efeito de diluição, já que a incorporação de palha aumentou o peso da matéria seca da parte aérea, enquanto que no horizonte Cg, diminuiu.

A aplicação de palha isoladamente no horizonte Cg promoveu um acúmulo de ferro no tecido do caule, confirmado pela cor avermelhada e análise química do tecido vegetal (3508 mg/kg). Este valor está bem acima daquele considerado tóxico (300 mg/kg) no tecido foliar, no estágio de florescimento do arroz irrigado (FAGERIA, 1984). CLARK et al. (1957) e MOTOMURA (1962), observaram que a adição de palha de arroz aumentou a concentração de Fe^{++} na solução do solo e na planta e reduziu a produção de matéria seca do arroz. Resultado semelhante, ocorreu com o uso do esterco no horizonte subsuperficial Cg, onde verificou-se também alta concentração de ferro (1305 mg/kg). Tal situação levou a paralisação do perfilhamento, redução do peso radicular e a presença de raízes grossas e poucos pelos radiculares. Por outro lado, BARBOSA FILHO et al. (1983), relatam 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. HOWELER (1973), também sugere que a severidade da toxicidade de ferro está associada, principalmente, aos teores de P, K, Ca e Mg nas folhas.

A adição isolada do corretivo diminuiu a concentração de ferro na matéria seca da parte aérea das plantas cultivadas nos dois horizontes (Tabela 4b), enquanto que na sua ausência, promoveu elevação na concentração de ferro no Cg. Verificou-se que a calagem, na presença e/ou ausência de esterco e/ou palha, diminuiu as concentrações de ferro na planta de arroz (Tabela 5de), sendo mais acentuada, principalmente no horizonte Cg (Tabela 6ab). Vários trabalhos tem mostrado que a calagem é uma das práticas mais eficientes no controle da toxicidade de ferro e as concentrações de Fe^{++} na solução do solo podem ser elevadas, apenas em função do pH (HOWELER, 1973; De DATTA, 1981; SOARES, 1987).

PONNAMPERUMA e SOLIVAS (1980) verificaram efeitos positivos da calagem (5 t/ha) no controle da toxicidade de ferro e produção do arroz irrigado, resultado também observado por FREIRE et al. (1984). LOPES (1987) mostrou que o calcário diminuiu o efeito tóxico do ferro e que os compostos formados nestas condições são de baixa solubilidade e mesmo ocorrendo a redução do ferro após o alagamento, com conseqüente aumento na disponibilidade, este aumento na solução é lento.

CONCLUSÃO

- A adubação NPK e/ou calagem na presença, ou não, dos materiais orgânicos, reduziu as concentrações de ferro na matéria seca da parte aérea do arroz no horizonte Cg, enquanto que o uso destes materiais orgânicos, isoladamente promoveu, a elevação da concentração de ferro.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BACHA, R.E.; ISHIY, T. Seleção de genótipos de arroz irrigado para resistência a toxidez de ferro. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 40, p.20-21, 1987.
- BARBOSA FILHO, M.P. Toxicidade de ferro em arroz irrigado. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1987, Goiânia. *Anais...* Goiânia: CNPAF, 1987. p.13-33.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação a produtividade e toxicidade do ferro em arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.18, p.903-910, 1983.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 94p. (Boletim Técnico, 4).
- CLARK, F.; NEARPASS, D.C.; SPECHT, A.W. Influence of organic additions and flooding on iron and manganese uptake by rice. *Agronomy Journal*, Madison, v.49, p.586-589, 1957.
- COCHRAN, W.S.; COX, G.M. *Experimentals designs*. New York: Wiley, 1975. 458p.
- De DATTA, S.K. *Principles and practices of rice production*. New York: J. Willey, 1981. 618p.
- FAGERIA, N.K. *Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz*. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 341p.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F. de; SOARES, P. C.; COSTA, L. M. da. Toxicidade de ferro e seu controle em arroz irrigado. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.10, p.45-51, 1984.
- HOWELER, R.H. Iron-induced orangin disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. *Soil Science Society American Proceedings*, Madison, v.37, p.898-903, 1973.
- LOPES, M.S. Ocorrência de alaranjamento na cultura de arroz irrigado. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.40, p.28-29, 1987.
- MOTOMURA, S. Effects of organic matters on the formations of ferrous iron in soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v.8, p.20-29, 1962.
- PONNAMPERUMA, F.N. Straw as a source of nutrients for wetland rice. In: IRRI. *Organic matter and rice*. Manila, 1984. p.117-136.
- PONNAMPERUMA, F.N.; SOLIVAS, J.C. Field amelioration of acid sulfate soil for rice with manganese dioxide and lime. *International Rice Research Newsletter*, Manila, v.5, n.6, p.20, 1980.
- POTAFOS. *Potássio: necessidade e uso na agricultura moderna*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1990. 45p.

SOARES, S.F. Manejo de água, calagem, aplicação de fósforo e potássio em arroz irrigado em solos com problemas de toxidez de ferro. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1987, Goiânia. *Anais...* Goiânia: CNPAF, 1987. p.148-163.

TIAN-YEN, Y. **Physical chemistry of paddy soils.** Berlin:Springer Verlag, 1985. 218p.

TROLLENIER, G. Mineral nutrition and reduction processes in the rhizosphere of rice. *Plant and Soil*, The Hague, v. 47, p.193-202, 1977.