

AValiação DA DISPONIBILIDADE DE MACRO E MICRONUTRIENTES PARA ARROZ
DE SEQUEIRO CULTIVADO EM UM SOLO CALCÁRIO DA REGIÃO DE IRECÊ,
BAHIA¹

BRUNO J. R. ALVES²
JÚLIO C. F. DOS SANTOS³
ADONIAS DE C. VIRGEM FILHO³
JOSÉ O. A. DE SENA³
ADÔNIS MOREIRA³
EURÍPEDES MALAVOLTA⁴

ABSTRACT: ALVES, B. J. R.; J. C. F. DOS SANTOS; A. C. VIRGEM FILHO; J. O. A. DE SENA; A. MOREIRA & E. MALAVOLTA. Evaluation of macro and micronutrient availability to the upland rice cropped on a calcareous soil of Irecê region, Bahia.

The capacity of a calcareous Vertisol to supply nutrients for the growth of rice plants was studied in a pot experiment. The method of "all nutrients except one" was adopted in this study. Treatments with complete fertilization and no fertilization (control) were used along with individual treatments lacking P, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. The tissues from plants from the complete fertilization and control treatments were analysed for N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. The plants from the other treatment were analysed for the omitted element except in the treatments where P, Zn, Fe and Mn omitted, where the tissues were analysed for all these 4 elements. The results of dry matter production showed that all of the elements studied were at limiting levels in the soil. The dry matter production of the rice was in the following decreasing order of treatments: all nutrients, -Cu, -Fe, -B, -Mn, -S, control, -P and -Zn. The -P and -Zn treatments reduced the rice growth to approximately 10 % of the complete fertilization treatment. The analyses of the levels of nutrients in the plant tissues, together with the dry matter data, showed that there was a strong antagonism between Fe and Mn and between P and Zn. Also, these data suggested that the antagonics P and Mn acted at the physiological level inhibiting Fe and Zn metabolism.

KEY WORDS: Plant nutrition, nutrient deficiency, visual diagnosis.

INTRODUÇÃO

Os solos calcários cobrem uma significativa parcela das áreas agrícolas existentes na superfície do planeta (Chen & Barak, 1982), especialmente nas regiões áridas. Na maioria dos países tropicais, estes solos são de ocorrência restrita, e

no Brasil, a região de Irecê na Bahia destaca-se como uma das áreas onde estes solos tem ocorrência generalizada.

Altos valores de pH e alta concentração de Ca⁺² são características marcantes destes solos. Estas condições interferem amplamente nos processos de adsorção e solubilização de íons, responsáveis pelo controle das concentrações de macro e micronutrientes na solução do solo. Em solos calcários, a precipitação do P e S, pela reação com Ca, é considerada uma das principais vias para a diminuição da disponibilidade de P e S para as plantas (Sample *et al.*, 1980). A disponibilidade do S também pode ser substancialmente reduzida por adsorção a argilo-minerais

¹ Trabalho realizado no Centro Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), Piracicaba, São Paulo.

² Pesquisador da EMBRAPA Agrobiologia, BR 465, km 47. Seropédica, Rio de Janeiro. 23.851-970. Tel 021 682 1500, ramal 229.

³ Estudantes de Pós-graduação do Centro Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), Piracicaba, São Paulo.

⁴ Pesquisador do Centro Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), Piracicaba, São Paulo.

devido a simultânea adsorção do Ca. Segundo Bolan *et al.* (1993), o Ca^{+2} é atraído eletrostaticamente à superfície do colóide mineral, sendo adsorvido e dando origem a uma carga positiva. O SO_4^{-2} é, então, atraído para o sítio positivo onde também fica adsorvido. Magnésio e K não participam de reações de precipitação ou adsorção por efeito do Ca, porém, as altas relações Ca/Mg e Ca/K podem trazer certa deficiência de Mg e K para as plantas que crescem nos solos calcários. Grande parte dos micronutrientes também tem sua disponibilidade bastante reduzida para as plantas, em condições básicas. Quando o pH se encontra próximo a 9,0, a espécie $\text{B}(\text{OH})_4^-$, que possui alta afinidade pelas argilas, aumenta rapidamente, diminuindo a disponibilidade de B na solução do solo. Ainda, grande parte do B pode precipitar pela reação com o CaCO_3 , sendo esta via predominante quanto maior a concentração de B em solução (Keren & Bingham, 1985). Manganês também tem sua solubilidade grandemente reduzida em solos calcários. Num estudo com o traçador ^{54}Mn , Fahad (1987) demonstrou que o fenômeno de adsorção química entre CaCO_3 e Mn^{+2} poderia explicar a baixa mobilidade do traçador, e que a adição de EDTA, como agente quelante, permitiu uma grande recuperação do Mn^{+2} adicionado ao solo. De forma geral, em solos com elevado pH, as concentrações de Mn^{+2} na solução do solo podem chegar a níveis inadequados à demanda de uma planta (Lindsay, 1972). Num estudo com 20 solos calcários, Yasrebi *et al.* (1994) demonstraram que a quantidade trocável de Zn^{+2} nestes solos é bastante baixa, sendo praticamente encontrado em formas insolúveis, basicamente constituída de precipitados de óxi-hidróxidos de Fe e Al, e carbonatos. Os mesmos autores também mostraram que a adição de ZnSO_4 aos solos implicou em um aumento da fração carbonatada, o que explicou a baixa recuperação de Zn^{+2} dos solos em estudo. Os sintomas de deficiência de Fe, mostrados por plantas

que crescem em solos calcários, muitas vezes é confundido com um efeito das altas concentrações de carbonatos e Ca^{+2} sobre a disponibilidade de Fe, ou ainda por se pensar que o solo apresenta baixos níveis deste elemento. No entanto, tem sido demonstrado que o efeito observado é causado pelo excesso de HCO_3^- (Mengel & Geurtzen, 1986), cujas altas concentrações provocam uma imobilização do Fe no interior da planta. O Cu é outro micronutriente que é pouco disponível para as plantas em solos calcários. De acordo com Lindsay (1972), com o aumento do pH, grande parte do Cu é adsorvido, ficando em equilíbrio na solução do solo apenas uma mínima fração do Cu existente. Por outro lado, como o Cu também se encontra na forma de sais solúveis e óxidos, o aumento da concentração de carbonatos, por si só, não deve ser o único mecanismo responsável pela diminuição da concentração de Cu em solução.

Neste trabalho, avaliou-se a disponibilidade de macro e micronutrientes de um solo calcário da região de Irecê, Bahia, já utilizado para a produção agrícola. A investigação foi feita com base no método de diagnose por subtração, onde se usou a cultura do arroz (*Oryza sativa*), cultivada sob condições de sequeiro, como cultura indicadora. A cultura do arroz é importante na economia da região de Irecê e os dados obtidos podem servir de subsídio para o manejo da fertilidade do solo para esta cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, SP. As parcelas experimentais constituíram-se de vasos, arranjadas em um delineamento experimental inteiramente casualizado com 9 tratamentos e 3 repetições. Cada vaso recebeu 1 kg de um Vertissolo Calcário da região de Irecê, Bahia, muito argiloso (64% de argila), que havia sido

cultivado anteriormente com a cultura do feijão. As características de fertilidade do solo se encontram-se na Tabela 1. Antes de se introduzirem os tratamentos de fertilização, o solo foi pré-incubado com KCl (1,2 g/vaso) e MgCO₃ (2,1 g/vaso), para diminuir as relações Ca/K e Ca/Mg, caso contrário, as plantas poderiam ter o seu estabelecimento comprometido. Não foi feita a análise do solo após o tratamento de pré-incubação com Mg e K. Assim, tanto o K quanto o Mg não foram incluídos como tratamentos no experimento.

Os tratamentos utilizados foram: adubação completa (93,0 mg/vaso de NH₄NO₃; 482,2 mg/vaso de NH₄H₂PO₄; 86,4 mg/vaso de Na₂SO₄; 3,65 mg/vaso de H₃BO₃; 2,85 mg/vaso de CuCl₂.2H₂O; 34,6 mg/vaso de Fe-EDTA; 34,75 mg/vaso de MnCl₂.4H₂O; 0,10 mg/vaso de MoO₃; 5,40 mg/vaso de ZnCl₂), completa -P, completa -S, completa -B, completa -Cu, completa -Fe, completa -Mn, completa -Zn e testemunha não adubada. Utilizou-se como cultura indicadora, a cultivar de arroz "Dourado Precoce", cultivada em condições de sequeiro. Para o plantio, realizado em meados do mês de março, foram adicionadas 10 sementes de arroz por vaso na profundidade de 1,5 cm. Quando as plantas atingiram, em média, 7 cm de altura, foi feito um desbaste deixando-se 4 plantas por vaso.

A umidade dos vasos foi controlada por pesagens diárias, de forma a manter o solo com umidade sempre em torno da capacidade de campo (30%).

Cerca de 2 meses após o plantio, notou-se que praticamente todos os tratamentos exibiam plantas com um sintoma de deficiência de S. Foi feita, então, uma adubação de cobertura adicionando-se em cada vaso, com exceção do tratamento -S, 10 mL (mais 50mL de água) de uma solução 24 g/L de (NH₄)₂SO₄. Nos vasos do tratamento -S, foram aplicados 5 mL (mais 50 mL de água) de uma solução 18,6 g/L de NH₄NO₃ para compensar o N adicionado junto ao S nos demais

Tabela 1. Características de fertilidade de uma amostra do Vertissolo calcário da região de Irecê, Bahia.

Característica	Valor
pH (CaCl ₂)	7,3
Matéria orgânica (g/dm ³)	32
P (mg/dm ³) - Resina	8
Mehlich 1	47
Olsen	2
S-SO ₄ (mg/dm ³)	9
<hr/>	
mmol _c /dm ³	
K	3
Ca	360
Mg	16
Al	0
H+Al	10
S	379
T	389
V (%)	97
<hr/>	
mg/dm ³	
B (H ₂ O)	0,45
Cu (Mehlich 1)	0,40
Fe (Mehlich 1)	8
Mn (Mehlich 1)	133
Zn (Mehlich 1)	2
Na (Mehlich 1)	34

tratamentos.

Após 90 dias do plantio, foi feita a colheita das plantas. As plantas colhidas tiveram sua matéria seca determinada após secagem em estufa à 65°C. As plantas correspondentes aos tratamentos "completo" e "testemunha" foram analisadas para todos os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e para os micronutrientes estudados (B, Cu, Fe, Mn e Zn). Nos demais tratamentos, apenas analisou-se o elemento faltante e, quando foi o caso, analisaram-se, também, outros elementos que poderiam interferir na disponibilidade do elemento faltante para as plantas. Os métodos usados nas análises seguiram o descrito por Malavolta *et al.* (1989).

O efeito relativo do elemento omitido na produção de matéria seca foi avaliado

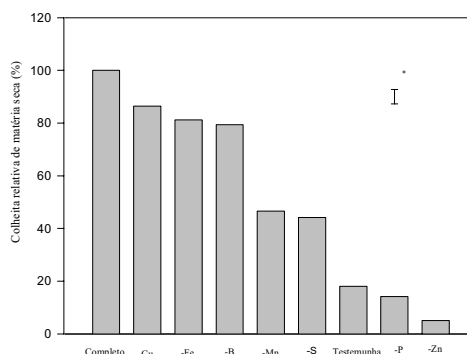
aplicando-se o conceito de “colheita relativa”, isto é: $C.R. = (MSO/MSC) \times 100$, onde MSO é a produção de matéria seca do tratamento com omissão do elemento, e MSC é a produção de matéria seca do tratamento completo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos onde se omitiu qualquer um dos nutrientes estudados tiveram uma significativa redução no acúmulo de matéria seca, o que foi mostrado pela redução na colheita relativa das plantas de arroz (Fig. 1). Em ordem crescente, o elemento cuja omissão limitou mais a produção foi a seguinte: $Cu = Fe = B > Mn = S > Testemunha = P = Zn$. A ausência de P ou Zn na adubação foi tão grave que resultou em produções de matéria seca em torno de 5 a 15% da produção do tratamento completo. De modo contrário, a exclusão de Cu, Fe ou B apenas reduziu a colheita relativa para cerca de 80%. Estes resultados concordam com os obtidos por Elgala *et al.* (1986), que relataram que o crescimento de plantas de milho em solos calcários foi fortemente afetado, principalmente, pela ausência de fertilização com Zn. Ainda, neste mesmo estudo, plantas crescidas em alguns dos solos calcários testados foram tão afetadas pela ausência de Fe, Mn e Zn, no adubo adicionado, que morreram antes da data prevista para colheita. Pelos dados de colheita relativa, mostrados na Figura 1, fica claro que os solos calcários, devido às reações de insolubilização geradas pelas condições de pH e altas concentrações de Ca^{+2} e carbonatos, tendem a apresentar uma baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Para um melhor entendimento dos efeitos do solo e dos tratamentos de fertilização sobre o desenvolvimento do arroz, serão discutidos os resultados da análise de cada elemento feito na matéria seca da planta, tendo como referência,

sempre que couber, os resultados da análise do solo.



*L.S.D. ($p < 0,05$).

Figura 1. Produção relativa de matéria seca [(Mat. Seca tratamento/Mat. Seca tratamento completo) x 100] das plantas de arroz cultivadas em condições de casa de vegetação.

Nitrogênio

O teor de foliar N do tratamento completo, de 1,8%, indicou que este nutriente não estaria limitando o desenvolvimento da cultura (Vieira *et al.*, 1999). As plantas no tratamento testemunha apresentaram um teor menor de N nas folhas (1,2%), que se enquadraria numa faixa de deficiência para esta cultura (Vieira *et al.*, 1999), no entanto, na ocasião da amostragem a planta não exibia os sintomas típicos relacionados com a deficiência de N (Fig. 2). A movimentação (destorroamento e peneiramento) e a secagem e reumedecimento do solo são tratamentos que fizeram parte da preparação deste experimento em vasos. Estes procedimentos eliminam grande parte da biomassa microbiana do solo e expõem a matéria orgânica associada aos agregados do solo, o que proporciona uma maior disponibilidade de N no solo como resultado do processo de mineralização (ALVES, 1992). Dessa forma, é possível que este suprimento extra de N tenha sido suficiente para atender a pequena demanda das plantas de arroz que se encontravam sujeitas à limitação de outros nutrientes no tratamento testemunha. Deve-se

considerar também que o NO_3^- , em solos calcários, é a principal forma de N disponível para as plantas, pois as condições de pH são altamente favoráveis às perdas de NH_4^+ por volatilização de amônia (Urquiaga *et al.*, 1990). Logo, o fertilizante nitrogenado adicionado no tratamento completo pode ter sido parcialmente perdido, o que reduziria as diferenças no aproveitamento de N em relação à testemunha não adubada.

Potássio, Cálcio e Magnésio

Não houve diferença quanto aos teores de K entre os tratamentos completo e testemunha (Fig. 2), o que permite supor que a pré-incubação feita com o K, para reduzir a relação Ca/K, reduziu o efeito depressivo da menor absorção de K^+ pelo excesso de Ca^{+2} em solução. A Figura 2 também mostra que os teores de Ca e Mg foram maiores na testemunha do que no tratamento completo, e que no caso do Ca, o seu teor estava bastante elevado para uma gramínea (Vieira *et al.*, 1999). Aparentemente, a diferença observada entre ambos os tratamentos, deveu-se apenas a um efeito de concentração destes elementos, ocorrida devido a alta disponibilidade dos mesmos na solução do solo, e à limitação do crescimento da testemunha pela deficiência de outros nutrientes (Mengel & Kirkby, 1982). Novamente, os teores de Mg na planta indicaram que a pré-incubação do solo foi suficiente para equilibrar, também, a relação Ca/Mg. É importante ressaltar que embora a teoria mostre que o desbalanço desses cátions em solução seja deletério para a nutrição da planta (Sposito, 1989), vários trabalhos têm demonstrado que a disponibilidade de K^+ para várias plantas não é afetada pelos altos teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} em solução, mas sérias deficiências, principalmente de Mg^{+2} , podem ser observadas em solos com elevados teores de K^+ (KISSEL *et al.*, 1985).

Enxofre

Cerca de 2 meses após o plantio do arroz, observou-se que as plantas estavam com crescimento retardado e com sintomas cloróticos nas folhas mais jovens. Tal situação caracterizou uma deficiência de S (Malavolta *et al.*, 1974), nutriente este que foi adicionado imediatamente em todos os vasos, com exceção do tratamento -S. Em solos calcários, o gesso é normalmente encontrado em quantidades suficientes para suprir a necessidade das plantas de S, ficando a matéria orgânica como uma fonte secundária. No entanto, dependendo do manejo, principalmente da irrigação, que é aplicado ao solo, as fontes minerais de S podem reduzir-se e tomarem-se menos importantes do que a matéria orgânica (Kissel *et al.*, 1985).

As bactérias autotróficas são consideradas como os principais organismos que oxidam o S orgânico do solo a SO_4^{-2} , contudo, a atividade destes organismos em solos calcários é bastante reduzida, o que poderia justificar a deficiência de S observada. Nesse caso, somente a presença de substâncias orgânicas prontamente metabolizáveis poderia vir a estimular a decomposição da matéria orgânica nativa por microrganismos quimioheterotróficos, e assim tornar disponível o S para as plantas (Cifuentes & Lindemann, 1993). Outra hipótese para explicar a deficiência generalizada de S ocorrida no solo em estudo é a da formação do íon-par CaSO_4 ou a adsorção de Ca^{+2} por hidróxi-óxidos. Nesse último processo, ocorre um aumento das cargas positivas de superfície dos colóides minerais, o que favorece a adsorção de ânions como o SO_4^{-2} . Tais mecanismos são mencionados como responsáveis pela baixa disponibilidade de S em alguns solos (Bolan *et al.*, 1993). Surpreendentemente, a análise foliar das plantas do tratamento -S mostraram teores mais altos desse elemento em comparação aos tratamentos completo e testemunha (Fig. 2). Como a

principal função do S é a composição de certos aminoácidos, pode-se afirmar que plantas mal nutridas em S possuem relações N/S entre 70/1 a 80/1 (Mengel & Kirkby, 1982). Paradoxalmente, neste experimento, as relações mantiveram-se em torno de 10/1, embora a produção de matéria seca das plantas do tratamento -S tenham sido cerca de 40% do tratamento completo (Fig. 1).

Cobre e Boro

Conforme se observa na Figura 3, os teores de Cu e B foram maiores na testemunha e nos tratamentos com os respectivos elementos faltantes do que no tratamento completo, indicando um efeito de concentração por menor crescimento devido à ausência de outros elementos. É importante mencionar que ambos os elementos têm sua disponibilidade reduzida em solos calcários devido a processos de adsorção e interação com os carbonatos, no entanto, no caso do B, a sua indisponibilidade é agravada somente em valores de pH próximos a 9 (Keren & Bingham, 1985).

Ferro e Manganês

Tanto a ausência de Fe quanto de Mn, no adubo adicionado, afetaram significativamente o acúmulo de matéria seca das plantas de arroz (Fig. 1), sendo que a ausência de Mn resultou em uma redução de aproximadamente 50% do acúmulo de matéria seca em comparação ao tratamento completo. A análise de Mn nos tecidos das plantas de arroz apresentaram valores de concentração com a seguinte ordem de tratamento: -Fe < completo < -Mn < testemunha (Fig. 3). O teor de Mn encontrado no tratamento -Fe esteve próximo do limite de deficiência para a cultura do arroz, que é de 20 mg/kg de Mn (Vieira *et al.*, 1999). No caso do Fe, o seu teor no tecido de arroz, encontrado no tratamento completo, foi de 130 mg/kg de

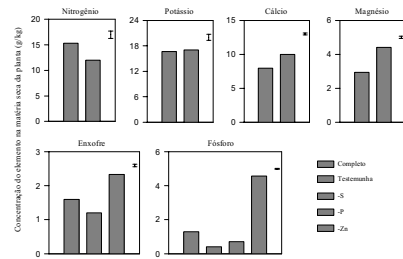


Figura 2. Teores de N, K, Ca, Mg, S e P na matéria seca de plantas de arroz para os tratamentos Completo e Testemunha. Também são mostrados os teores de S para o tratamento -S; e P para os tratamentos -P e -Zn. As barras ao lado direito de cada gráfico correspondem ao valor de L.S.D. ($p < 0,05$).

(Fig. 3), nível este considerado alto porém ainda adequado para a cultura em estudo (Mohr & Schopfer, 1995; Vieira *et al.*, 1999). No tratamento com omissão de Fe, a sua concentração chegou a 155 mg/kg, sendo ainda maior na testemunha (218 mg/kg), e chegando a níveis acima de 350 mg/kg, no tratamento -Mn, considerados tóxicos para esta cultura (Tanaka & Yoshida, 1970; Vieira *et al.*, 1999). Contudo, não foi visualmente notado qualquer sintoma que estivesse relacionado com toxidez de Fe. De acordo com Mengel & Geurtzen (1986) as altas concentrações de HCO_3^- presentes em solos calcários não interferem na absorção de Fe mas sim inativando-o a nível fisiológico. Segundo estes autores, o Fe, já na planta, tem distribuição via simplasto, e, provavelmente, as altas concentrações de HCO_3^- no apoplasto impedem o funcionamento dos carreadores de Fe do plasmalema por inibição das ATPases. Dessa forma embora a planta acumule grandes quantidades de Fe, é possível que esta ainda venha apresentar sintomas de deficiência. Neste experimento, mesmo com maiores concentrações de Fe no tecido, o tratamento -Fe proporcionou uma redução significativa da produção de matéria seca de arroz em comparação ao tratamento completo (Fig. 1). Comparando-se os teores de Fe do tratamento completo com os do tratamento -Fe, observa-se que o último apresentou valores um pouco maiores. Tal efeito pode ser atribuído à

concentração por redução de crescimento (Fig. 1). Também pode-se atribuir o efeito de concentração ao tratamento testemunha, contudo, deve-se considerar que neste tratamento, a ausência de adubação pode ter diminuído a competição do Fe com outros elementos, o que fez o teor de Fe subir cerca de 60% em relação ao tratamento completo (Fig. 3). É importante observar que em comparação ao tratamento completo, o tratamento com omissão de Fe proporcionou maiores teores de Mn, e no tratamento -Mn obteve-se um incremento em cerca de 200% nos teores de Fe. Mesmo considerando a existência do efeito de concentração, tal comportamento é forte indicativo de um antagonismo entre Fe e Mn. De acordo com Zaharieva *et al.* (1988), as interações Fe-Mn ocorrem a 2 níveis. Um deles é à nível de acumulação, quando o Fe restringe a absorção de Mn, e o outro é à nível metabólico, quando a presença de Mn atua diminuindo as concentrações de Fe^{+2} assimilável pela planta, pois o Mn^{+2} é capaz de trocar com o Fe^{+2} presente nos quelatos (p.e. Fe-EDTA, usado neste experimento). Neste caso, a absorção de Fe pela planta é sensivelmente diminuída (Lucena *et al.*, 1988).

Fósforo e Zinco

Ambos os tratamentos onde se omitiram P e Zn, proporcionaram grande redução no crescimento das plantas. A não adição de P no tratamento testemunha e no tratamento -P parece ter sido o fator que mais limitou o desenvolvimento das plantas. Segundo a análise de solo, a disponibilidade de P encontrada no solo utilizando-se o método de Olsen e o método da Resina (Tabela 1) é uma das principais razões para os baixos teores deste elemento na planta. Para a cultura de arroz, em condições de sequeiro, considera-se como baixa uma disponibilidade de P no solo abaixo de 7 mg/kg de P (Van Raij *et al.*, 1996), limite muito próximo do

encontrado neste estudo. Da mesma forma, uma disponibilidade de P abaixo de 5,0 mg/kg de P no solo significa alta possibilidade de resposta a fertilização com P, pelo método de Olsen (Olsen & Dean, 1982). Pelos princípios utilizados, considera-se que ambos os métodos foram apropriados para as condições deste estudo, pois as formas de extração não influenciam significativamente a solubilização dos precipitados Ca-P (Santos & Alves, 1994), encontrados em solos calcários.

A adubação fosfatada aplicada no tratamento completo não foi tão eficiente, ficando o valor do teor foliar de P nas plantas de arroz em um nível relativamente baixo (Vieira *et al.*, 1999). Devido a processos de adsorção e precipitação, a disponibilidade de P aplicado ao solo foi bastante reduzida. De acordo com Sharpley *et al.* (1984), a disponibilidade de P fertilizante, medido pela extração por resina, foi inversamente relacionada com o conteúdo de $CaCO_3$ de 20 solos calcários dos EUA.

No tratamento -Zn, o teor de P chegou a valores considerados adequados para a planta (Fig. 2), no entanto foi o tratamento que gerou a menor produção de matéria seca de arroz ainda que o teor de Zn no tratamento -Zn não tenha sido muito diferente do tratamento completo (Fig. 3). Logicamente, os maiores teores de P no tratamento -Zn devem ter sido devidos a um efeito de concentração pelo pouco crescimento das plantas. Ficou clara a ocorrência de um antagonismo entre P e Zn, quando se comparam os teores destes elementos obtidos dos tratamentos -P, -Zn, testemunha e completo (Fig. 2 e Fig. 3). Marschner & Schropp (1977) encontraram que altas doses de P fornecidas à videiras crescidas em vasos contendo solo calcário induziram à sintomas de deficiência de Zn. Como observado neste experimento, os mesmos autores descreveram o pequeno crescimento das plantas como sintoma da deficiência de Zn. Paralelamente, em um experimento em solução nutritiva, os

autores já citados, demonstraram que o efeito de deficiência de Zn ocorria devido à adição de P, sendo os teores de Zn deste tratamento superiores ao tratamento onde não se adicionou P e que não exibia sintomas de deficiência. Dessa forma o P parece interferir fisiologicamente no uso do Zn.

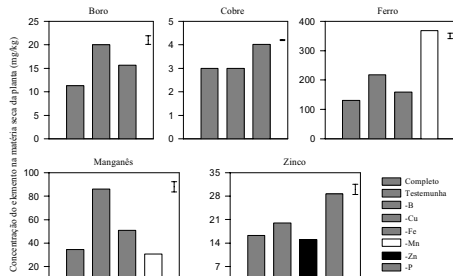


Figura 3. Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na matéria seca de plantas de arroz para os tratamentos completo e Testemunha. Também são mostrados os teores de B, para o tratamento -B, Cu para o tratamento -Cu, Fe e Mn para os tratamentos -Fe e -Mn, e Zn pra os tratamentos -Zn e -P. As barras ao lado direito de cada gráfico correspondem ao valor de L.S.D. ($p < 0,05$).

De forma geral, pode-se dizer que, neste solo calcário, todos os elementos estudados encontravam-se em níveis limitantes para o crescimento do arroz. A não adição de S ou P ou Mn ou Zn produziram os efeitos mais negativos no acúmulo de matéria seca pelas plantas desta cultura. A análise dos teores dos elementos nos tecidos foliares das plantas, juntamente com os dados de produtividade, permitiu concluir que houve forte antagonismo entre Fe e Mn e entre P e Zn, sendo que no caso de Fe e Zn, mostrou-se que seus respectivos antagonísticos, provavelmente, causaram efeitos inibitórios a nível fisiológico.

Tudo indica que, pela forte limitação nutricional, o uso agrícola deste solo exigirá uma correção de fertilidade. Contudo, a forma e as quantidades indicadas para a fertilização exigirão um estudo mais aprofundado, pois nutrientes como P e Zn, além de se tornarem rapidamente indisponíveis após adição no solo, apresentam um forte antagonismo entre si.

LITERATURA CITADA

- ALVES, B. J. R. 1992. Avaliação da mineralização do N do solo *in situ*. Tese de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil, 148 p.
- BOLAN, N. S., J. K. SYERS & M. E. SUMNER. 1993. Calcium-induced sulfate adsorption by soils. *Soil Science Society of American Journal*, 57: 691-696.
- CHEN, Y. & P. BARAK. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advances in Agronomy*, 35: 217-240.
- CIFUENTES, F. R. & W. C. LINDEMANN. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Science Society of American Journal*, v. 57: 727-731.
- ELGALA, A. M., A. S. ISMAIL & M. A. OSSMAN. 1986. Critical levels of iron, manganese and zinc in Egyptian soils. *Journal of Plant Nutrition*, 9: 267-280.
- FAHAD, A. A. 1987. Movement of manganese-54 in calcareous soils as affected by leaching solution, lime content, salinization, and sterilization. *Soil Science Society of American Journal*, 51: 1487-1492.
- KEREN, R. & F. T. BINGHAM. 1985. Boron in water, soils and plants. *Advances in Soil Science*, 1: 229-276.
- KISSEL, D. E., D. H. SANDER & R. ELLIS JR. 1985. Fertilizer-plant interactions in alkaline soils. In: *Fertilizer Technology and Use*. O. P. Engelstad, ed. SSSA, Madison, WI, EUA, p. 153-196.

- LINDSAY, W. L. 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrientes in soils. *In: Micronutrients in Agriculture*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, EUA, p. 41-57.
- LUCENA, J. J., A. GARATE & O. CARPENA. 1988. Theoretical and practical studies on chelate-Ca-pH system in solution. *Journal of Plant Nutrition*, 11: 1051-1062.
- MALAVOLTA, E., H. P. HAAG, F. A. F. MELLO & M. O. C. BRASIL-SOBRINHO. 1974. *Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas*. Livraria Pioneira. São Paulo, SP, Brasil, 727 p.
- MALAVOLTA, E., G. C. VITTI & S. A. OLIVEIRA. 1989. *Avaliação do estado nutricional das plantas - Princípios e aplicações*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, SP, Brasil, 201p.
- MARSCHNER, H. & A. SCHROPP. 1977. Comparative studies on the sensitivity of six rootstock varieties of grapevine to phosphate induced Zn deficiency. *Vitis*, 16: 79-88.
- MENGEL, K. & G. GEURTZEN. 1986. Iron chlorosis on calcareous soils. Alkaline nutritional conditions as the cause of the chlorosis. *Journal of Plant Nutrition*, 9: 161-174.
- MENGEL, K. & E. A. KIRKBY. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Switzerland. 655 p.
- MOHR, H. & P. SCHOPFER. 1995. *Plant Physiology*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 629 p.
- OLSEN, S. R., & L. A. DEAN. 1982. Phosphorus. *In: Methods of Soil Analysis*. (Page et al, Eds.) Agronomy No.9. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, EUA, p. 1035-1049.
- VAN RAIJ, B., H. CANTARELLA, J. A. QUAGGIO & A. M. C. FURLANI. 1996. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- SAMPLE, E. C., & R. J. SOPER & G. J. RACZ. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. *In: The Role of Phosphorus in Agriculture*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, EUA, p. 263-310.
- SANTOS, J. C. F. & B. J. R. ALVES. 1994. Métodos de determinação de fósforo no solo e nos tecidos. *In: Manual de Métodos Empregados em Estudos de Microbiologia Agrícola*. EMBRAPA-SPI, Brasília, DF, Brasil, p. 495-512.
- SHARPLEY, A. N., C. A. JONES, C. GRAY & C. V. COLE. 1984. A simplified plant and soil phosphorus model: II. Prediction of labile, organic, and sorbed phosphorus. *Soil Science Society of American Journal*, 48: 805-809.
- SPOSITO, G. 1989. *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York. 277 p.
- TANAKA, A. & S. YOSHIDA. 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. *International Rice Research, Manila. Technical Bulletin, no. 10*.
- URQUIAGA, S., R. M. BODDEY & B. J. R. ALVES. 1990. Dinâmica de N no solo. *In: Anais do Simpósio Brasileiro sobre Nitrogênio em Plantas*, no.1, Imprensa Universitária, Seropédica, RJ, Brasil. p.181-251.

- VIEIRA, N. R. A., A. B. SANTOS & E. P. SANT'ANA. 1999. *A Cultura do Arroz no Brasil*. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, GO. 633 p.
- YASREBI, J., N. KARIMIAN, M. MAFTOUN, A. ABTAHI & A. M. SAMENI. 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of zinc sulphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25: 2133-2146.
- ZAHARIEVA, T., D. KASABOV & V. ROMHELD. 1988. Responses of peanuts to iron-manganese interaction in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 11: 1015-1024.