

ROCHA, Geraldo César. Micronutrientes nos solos do Brasil. *Semina: Ci. Agr., Londrina*, v. 16, n. 1, p. 158-168, mar. 1995.

**RESUMO:** Nesta revisão bibliográfica são abordados os micronutrientes Zn, B, Mn, Mo, Cu, Fe e Cl. O trabalho mostra os teores e as formas de ocorrência desses elementos em vários solos do Brasil, os métodos de extração, a eficiência destes, e correlações entre os teores e outras propriedades do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência; ocorrência e métodos de extração de micronutrientes nos solos.

## INTRODUÇÃO

Os micronutrientes são encontrados nos solos sob várias formas, sejam como íons trocáveis, sejam em compostos minerais e/ou orgânicos, cuja solubilidade depende do pH do solo. Os compostos de cobre, cobalto, manganês, boro, ferro e zinco são solúveis em meio ácido; já os compostos de molibdênio são solubilizados em meio alcalino. O potencial de oxidação e redução também interfere na solubilidade desses elementos, o qual depende da presença, posição e movimentação do lençol freático.

Existe uma correlação positiva entre o conteúdo de micronutrientes no solo, o teor de argila e a quantidade de humus. Assim, a distribuição desses elementos entre os diferentes horizontes de um perfil de solo relaciona-se, na maior parte dos casos, com o conteúdo de argila e de matéria orgânica desses horizontes.

Para a agricultura, o mais importante é conhecer o conteúdo, no solo, das formas disponíveis dos micronutrientes para as plantas; entretanto, o teor total desses elementos constitui de certa maneira uma reserva do solo e também é importante ser determinado.

Segundo AUBERT & PINTA (1977), a distribuição e o teor dos micronutrientes depende dos processos que levaram à formação do solo, como a podzolização e a ferralitização, os quais são função de fatores biológicos, climáticos, geológicos e outros. Entretanto, o fator primordial que controla a presença dos micronutrientes no solo e a sua disponibilidade para as plantas são os minerais presentes nas rochas. A concentração desses elementos nas diferentes litologias depende do tipo de rocha e do elemento considerado. Assim, as rochas eruptivas básicas e ultrabásicas (basaltos, dunitos) são ricas em cobre, cobalto e zinco, e relativamente pobres em lítio,

bário e estrôncio. Já as rochas eruptivas ácidas, como os granitos, são ricas em elementos alcalinos e boro, sendo pobres em cobre e cobalto. Em relação às rochas metamórficas como os gnaisses, o conteúdo desses elementos situa-se entre os teores das rochas ácidas e básicas.

DAVIES (1980) cita que, para se considerar os efeitos da pedogênese na distribuição dos micronutrientes, deve-se atentar para o fato de que a mobilidade do elemento é determinada primeiramente pela estabilidade do mineral hospedeiro num dado ambiente intempérico. Uma vez mobilizado no solo por dissolução dos minerais hospedeiros, o destino de um micronutriente vai depender da sua espécie iônica, a qual está relacionada com o potencial iônico e o diâmetro do íon hidratado. A solubilidade é então função de fatores ambientais como o pH, E<sub>h</sub>, atividade de outras espécies dissolvidas, e interações com a matéria orgânica e o material coloidal; além disso, sabe-se que grande parte das reações químicas envolvendo micronutrientes é catalizada por microorganismos.

A correção de deficiências do solo em micronutrientes não é simples, já que quantidades muito pequenas estão envolvidas, como lembra SAUCHELLI (1969). Assim, se a adição for em excesso, o resultado pode ser fatal para a planta. Entretanto, nenhuma regra geral pode ser dada sobre qual a quantidade ideal de um dado micronutriente no solo, já que cada espécie de planta apresenta necessidade e tolerâncias específicas, além do que os efeitos dos vários micronutrientes são interrelacionados.

## ZINCO

O zinco do solo ocorre em minerais primários, como os ferromagnesianos (biotitas e hornblendas), presentes nas rochas básicas; nas rochas ácidas aparece co-

1 - Departamento de Geociências - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Universitário, Juiz de Fora, MG. - CEP 36036-330.

mo mineral secundário na forma de fosfatos, carbonatos e hidróxidos; ocorre ainda como cátion trocável, na solução do solo e na matéria orgânica (MELLO et al., 1983). Segundo MALAVOLTA (1976), a maior parte do zinco do solo encontra-se na forma relativamente insolúvel, existindo parte como zinco trocável e parte como solúvel em água. Comumente a concentração nos solos varia de 20 a 3000 ppm, com uma média de 600 ppm de zinco total (LINDSAY, 1979). Sabe-se que as rochas básicas e ultrabásicas vão originar solos com os maiores teores desse elemento, sendo que o latossolo roxo e a terra roxa estrutura têm apresentado teores de zinco total variando na faixa de 46 a 260 ppm (BRASIL SOBRINHO et al., 1979c; MURAOKA, 1984; BENEVIDES FILHO, 1982). Já os solos como podzólico vermelho amarelo, litossolo, areia quartzosa, glei pouco húmico e latossolos em geral, normalmente apresentam teores mais baixos que 100 ppm, notando-se um aumento da concentração desse elemento com a profundidade (VALADARES & CATANI, 1975). Existem correlações positivas e significativas entre o teor de zinco total e o teor de óxidos de ferro ou o conteúdo de argila (FERREIRA & SINGH, 1985; VALADARES & CATANI, 1975), tendo sido encontrado para alfisol e oxisol da região cacauzeira da Bahia correlação positiva com a matéria orgânica (SANTANA & IGUE, 1972).

A extração do zinco total do solo tem sido feita usando-se a fusão alcalina (MURAOKA, 1984; BRASIL SOBRINHO et al., 1979b), o ataque perclórico-fluorídrico (VALADARES & CATANI, 1975) e o ataque com HCl (SANTANA & IGUE, 1972; FERREIRA & SINGH, 1985). MURAOKA (1984) concluiu que a fusão alcalina foi o extrator mais eficiente para zinco total, vindo em segundo lugar a digestão com ácido fluorídrico.

Para o zinco disponível, têm sido usados os seguintes extratores: HCl 0,10N; EDTA 0,025N; EDTA 0,05M (pH 7,0);  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N (pH 8,6); DTPA 0,005M (pH 7,3); Carolina do Norte (HCl 0,05N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N);  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  0,01M; HCl 0,05 e 0,10N e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05 e 0,10N (LOPES & COX, 1977; JACINTHO et al., 1971; LAUN, 1975; BENEVIDES FILHO, 1982; RIBEIRO & SARABIA, 1984; FERREIRA & SINGH, 1985; SINGH & OLIVEIRA, 1985; SOUZA & HIROCE, 1970). Algumas modificações têm sido propostas e se mostrado eficientes como o DTPA ao pH do solo e EDTA +  $\text{CaCl}_2$ , embora sejam para culturas específicas como o feijoeiro (MURAOKA et al., 1983b). Também tem-se feito a avaliação desse elemento por testes microbiológicos (BRASIL SOBRINHO et al., 1980; BENEVIDES FILHO, 1982), e testes biológicos (BRASIL SOBRINHO et al., 1979c). O uso de zinco radioativo como traçador pode também ser uma ferramenta útil neste tipo de estudo (SILVEIRA & MELLO, 1975; SILVEIRA et al., 1975a, 1975b; BRASIL SOBRINHO et al., 1979a).

Para solos de Piracicaba (SP), BENEVIDES FILHO (1982) encontrou teores variando de 4,75 a 16,16 ppm de zinco disponível (HCl 0,1N), sendo que latossolos roxos foram os solos bem supridos, podzólicos e litossolos os moderadamente supridos e glei pouco húmico e areia

quartzosa os solos mal supridos em zinco. BRASIL SOBRINHO et al. (1980), empregando testes microbiológicos em amostras de solos também de Piracicaba, encontraram teores de zinco disponível acima de 10 ppm para latossolos roxos; de 5 a 10 ppm para regossolos, podzólicos arenosos e argilosos e solos hidromórficos; e teores menores que 5 ppm para podzólico raso, regossolo e alguns latossolos roxos. Ainda em amostras de solos de Piracicaba tratadas com acetato de amônio e ditizona, BRASIL SOBRINHO et al. (1979b) encontraram teores de zinco disponível acima de 2 ppm para latossolo roxo, de 1 a 2 ppm para podzólicos arenosos e alguns latossolos roxos, e teores abaixo de 1 ppm para os demais horizontes superficiais de solos daquele município. Utilizando o milho como planta teste, constataram que a maior parte dos latossolos roxos de Piracicaba não é deficiente em zinco, uma vez que todos os demais solos, correspondentes a 80% da área estudada, se apresentaram deficientes nesse elemento.

Com relação aos oxissolos sob vegetação de cerrado, LOPES & COX (1977) constataram que o teor médio de zinco extraível com o extrator Carolina do Norte foi de 0,9 microgramas por mililitro; considerando o nível crítico de 0,8 microgramas por mililitro, concluíram que 81% das amostras superficiais de solos analisados apresentaram teor abaixo desse nível. Em outro trabalho, GALRÃO & LOPES (1979) consideraram o nível crítico de 1 ppm para zinco e constataram que 95% das amostras superficiais de solos sob cerrado são deficientes nesse elemento. OLIVEIRA et al. (1982) confirmaram essa carência ao estudarem um latossolo vermelho escuro sob cerrado. Já COUTO et al. (1985) constataram que os níveis críticos de zinco diminuem com o aumento do equivalente de umidade e do teor de óxidos de ferro e alumínio, de argila, de gibbsita e de fósforo.

FERREIRA & SINGH (1985), trabalhando com amostras de solos representativos da Amazônia coletadas até a profundidade de 60 cm, determinaram o teor de zinco disponível extraído em DTPA 0,005M (pH 7,3), concluindo que houve uma diminuição no teor desse micronutriente à medida que diminuía a CTC, a relação C/N e o conteúdo de matéria orgânica e de fósforo disponível. Entretanto, SINGH & OLIVEIRA (1985), também trabalhando com amostras superficiais de solos do trópico úmido, verificaram que o teor de zinco variou de 0,08 a 3,78 ppm para podzólico vermelho amarelo e terra roxa estruturada; notaram haver correlação entre o zinco e pH do solo, mas não com a matéria orgânica.

Empregando diferentes extratores de zinco disponível em solos da região cacauzeira da Bahia, SANTANA & IGUE (1972) constataram maiores teores em alfisol e menores teores em oxisol; além disso, verificaram que a maior concentração de zinco disponível ocorreu no horizonte A dos solos, evidenciando a correlação desse elemento com a matéria orgânica.

COUTO et al. (1992) verificaram que os extratores Mehlich 1 e HCl 0,1 N apresentaram comportamento semelhante quanto à recuperação do zinco aplicado a solos

sob cerrado em Minas Gerais, notando, entretanto, que suas capacidades extratoras variaram entre os solos. BARBOSA FLHO et al. (1990) confirmaram aquele autor, utilizando amostra superficial de um latossolo vermelho-escuro distrófico, e concluindo que aqueles mesmos extratores correlacionaram significativamente entre si quanto à extração de zinco do solo.

De PAULA et al. (1991) avaliaram extratores para zinco em solos hidromórficos e aluviais, observando que não foi significativa a correlação entre zinco absorvido e zinco extraído do solo quando se utilizavam os extratores DTPA e KCl 0,1 N. Segundo esses autores, o extrator Mehlich 1 apresentou o mais alto grau de correlação para a relação entre produção e zinco nativo no solo, possibilitando determinar o nível crítico de 2,1 ppm de zinco no solo de várzea.

Os principais fatores que influenciam a disponibilidade de zinco para as plantas são: pH, fixação pelos minerais de argila e fixação pelo fosfato.

Com relação à fixação de zinco pelo solo, as frações silte e argila são as mais ativas neste processo (SILVEIRA et al., 1975a), sendo que as quantidades de zinco fixadas correlacionam-se positivamente com o pH e teores de fósforo e de matéria orgânica (SILVEIRA et al., 1975b). MACHADO & PAVAN (1985), trabalhando com solos agrícolas do Paraná, notaram que a capacidade máxima de adsorção de zinco pelos solos aumentou com a elevação do pH de 4,0 a 7,0, observando que a dinâmica das reações de fixação desse elemento pelos solos relacionou-se com o teor de argila, teor de matéria orgânica e reação do solo.

## BORO

O boro encontra-se principalmente no mineral primário turmalina. Segundo MENGEL & KIRBY (1982), o conteúdo total de boro em solos está na faixa de 20 a 200 ppm, sendo a fração disponível para as plantas variável de 0,4 a 5 ppm. MARCONI et al. (1981) lembram que essa variação depende da composição mineralógica da rocha, sendo que nem todo o boro do solo é assimilável pelas plantas. O boro assimilável pode ser proveniente tanto da forma inorgânica quanto da orgânica. Entretanto, MALAVOLTA (1976) cita que o boro assimilável resulta quase que totalmente da decomposição da matéria orgânica. Assim, a deficiência desse micronutriente é mais frequente em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica.

Excetuando o cloro, o boro é o elemento mais facilmente lixiviado no solo, sendo que as secas prolongadas podem diminuir o teor de boro assimilável, já que a mineralização da matéria orgânica é dificultada. MELLO et al. (1983) destacam, entretanto, que pouco se conhece sobre as formas de boro mineral no solo, lembrando que a adsorção desse elemento pelos óxidos de ferro e alumínio deve ser um mecanismo importante que controla a solubilidade do boro no solo.

A extração do boro total do solo é feita através da

fusão alcalina ou por ataques sucessivos com ácidos, segundo BRASIL SOBRINHO & FREIRE (1980) e CASA-GRANDE (1978). Os dois primeiros autores, trabalhando com solos do Estado de São Paulo, encontraram que os podzolizados de Lins e Marília apresentaram teores mais altos de boro total, com valores acima de 50 ppm para os horizontes superficiais; por outro lado, o latossolo vermelho escuro e o latossolo roxo apresentaram os teores mais baixos, menores que 40 ppm. Os autores constataram grande variação na relação entre o boro total e o boro solúvel, e concluíram que nem sempre a quantidade solúvel desse elemento depende do teor total. CASA-GRANDE (1978) encontrou em solos do Município de Piracicaba, SP, teores de boro total variando de 9,1 a 112,5 ppm. As areias quartzosas apresentaram o teor mais baixo de boro total, havendo correlação entre o boro total e o conteúdo de argila.

O extrator mais usado para se determinar o boro solúvel tem sido a água fervente (BRASIL SOBRINHO & FREIRE, 1980; FREITAS, 1959; HOROWITZ & DANTAS, 1973a; CASAGRANDE, 1978; RIBEIRO & SARABIA, 1984; FERREIRA & CRUZ, 1985; OLIVEIRA & SINGH, 1985; CARVALHO, 1988). Uma das alternativas que tem sido usadas para substituir a água quente é o HCl 0,05N (RUY, 1986; LIMA FILHO, 1991), cujo inconveniente maior é a necessidade de vidraria isenta de boro. Também se usam métodos biológicos como o do girassol (ESPIRONELLO et al., 1976; CASAGRANDE, 1978); o ácido fosfórico (CASAGRANDE, 1978) e a técnica do elemento faltante (MARTINS & BRAGA, 1977). Trabalhando com solos representativos do Rio Grande do Sul, FREITAS (1959) concluiu que a maioria dos solos daquele Estado apresentou teor baixo de boro solúvel (menor que 0,5 ppm). Do total, 23,7% dos solos apresentaram teor maior que 0,5 ppm e apenas um solo orgânico, 1,2% do total, mostrou teor de 1 ppm. Os solos do litoral daquele Estado mostraram-se bastante pobres em boro solúvel. BRASIL SOBRINHO & FREIRE (1980) dividiram os solos de Piracicaba (SP) em três classes de acordo com o teor de boro solúvel: a classe alta, com teores variando de 0,32 a 0,25 ppm deste elemento, envolvendo solos como os latossolos roxos; a classe média, representada por regossolos e glei pouco húmico, com 0,25 a 0,12 ppm de boro, e a classe baixa, com teores menores que 0,12 ppm, representada geralmente por podzólicos rasos e arenosos.

BATAGLIA e van RAIJ (1989), em um trabalho com solos de São Paulo sobre eficiência de extratores de micronutrientes na análise do solo, constataram que para boro, a água e a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M mediante fervura mostraram coeficientes de correlação mais elevados do que o extrator de Mehlich.

CASAGRANDE (1978), também trabalhando com solos do Município de Piracicaba, constatou que areias quartzosas apresentaram o teor mais baixo de boro solúvel, enquanto o glei pouco húmico foi o solo mais bem suprido em boro solúvel em ácido fosfórico. Para as areias quartzosas, o teor de boro solúvel em água fervente aumentou com a profundidade; já o glei pouco

húmico e o latossolo roxo apresentaram diminuição do teor com o aumento da profundidade. Verificou-se correlação entre o boro solúvel em água e os teores de argila, matéria orgânica e  $Fe_2O_3$ , não se constatando correlação deste elemento com o pH. Já GARGANTINI et al. (1970) determinaram deficiência de boro em solos hidromórficos da várzea do rio Paraíba. Usando métodos biológicos para avaliação de boro assimilável em solos de Piracicaba, ESPIRONELLO et al. (1976) constataram que a maioria dos solos estava deficiente nesse nutriente (teor abaixo de 0,3 ppm), sendo que apenas o latossolo roxo não apresentou reação à adição de boro. CATANI et al. (1971) confirmaram que, para os horizontes B<sub>2</sub> e B<sub>3</sub> de latossolo vermelho escuro orto, e para o horizonte Ap de podzólico vermelho amarelo variação Piracicaba, a quantidade de boro adsorvido aumentou com o acréscimo de boro na solução e com o aumento de pH.

Para solos sob vegetação de cerrado, RIBEIRO & SARABIA (1984) verificaram que a água quente foi mais eficiente que Mehlich 1 em 80% dos latossolos do Triângulo Mineiro; destes solos, MARTINS & BRAGA (1977) constataram que o latossolo vermelho escuro distrófico mostrou-se pobre em boro. Fazendo dosagem de boro pelo método da curcumina, além de calcular as isotermas de Langmuir, RIBEIRO & BRAGA (1974) concluíram que a adsorção de boro pelo solo é maior em valores altos de pH, sendo que o cálcio participa na retenção daquele elemento; a adsorção de boro não se correlacionou com os teores de argila, de matéria orgânica e de óxidos de ferro e alumínio, e os solos mais novos mostraram maior capacidade na adsorção de boro.

O papel do cálcio na retenção de boro também foi constatado por LAUN (1975) em latossolo vermelho-amarelo fase arenosa e em regossolo sob vegetação de cerrado em São Paulo, o qual mostrou que os teores de boro daqueles solos foram aumentados após calagem; o autor também demonstrou haver boa correlação entre os testes microbiológicos e os testes químicos, sendo que os primeiros mostraram que respectivamente os dois solos estudados são ligeiramente deficientes ou bem supridos em boro.

No Nordeste, onze classes de solos, representativos do Estado de Pernambuco, foram estudados em termos de conteúdo de boro extraível com água fervente (HOROWITZ & DANTAS, 1973a). Os autores verificaram que o conteúdo de boro daqueles solos se mostrou adequado, variando de 0,58 a 4,34 ppm nas camadas superficiais. Considerando o limite de 0,5 ppm como nível crítico, apenas os podzólicos vermelho-amarelo latossólicos mostraram teor médio abaixo deste valor. O boro solúvel correlacionou-se com a matéria orgânica, e a explicação para o bom suprimento de boro seria o material de origem, representado por rochas ácidas.

BUZETTI et al. (1990) constataram que, para um latossolo vermelho-escuro textura argilosa, os níveis críticos de boro no solo variaram entre 0,11 e 0,23 ppm de boro, níveis esses abaixo dos citados na literatura.

Na Amazônia, OLIVEIRA & SINGH (1985) constata-

taram que o conteúdo de boro disponível varia bastante para os solos daquela região; com base no nível crítico de 0,5 ppm, os solos classificaram-se na seguinte ordem, em extensão de deficiência em boro: latossolo vermelho-amarelo = solos aluviais (100%) > latossolo amarelo (62,5%) > glei pouco húmico (33%) > terra roxa estruturada (0%).

FERREIRA & CRUZ (1985) sugeriram modificações no método convencional de extração de boro com água em ebulição, propondo a combinação de aquecimento a 70°C com agitação simultânea das amostras, utilizando-se uma relação solo:água de 1:1 e um tempo de agitação de cinco minutos para os trabalhos de rotina.

## MANGANÊS

Segundo LINDSAY (1979), os solos contêm geralmente de 20 a 3000 ppm de manganês, com uma média de 600 ppm de teor total desse elemento. MALAVOLTA (1976) mostra que o manganês ocorre no solo como vários óxidos e hidróxidos de solubilidade diversa. Os minerais mais comuns que o contêm são pirolusita e hemanita. Além da forma trocável, aparece como complexo na matéria orgânica. Segundo o autor citado, esse micronutriente existe no solo em três estados de oxidação: divalente ( $Mn^{2+}$ ), como cátion adsorvido ou na solução do solo; trivalente ( $Mn^{3+}$ ); e tetravalente ( $Mn^{4+}$ ), como óxido inerte. Esse elemento pode tornar-se não assimilável em solos com muita matéria orgânica e alto pH devido à formação de complexos organo-minerais insolúveis, ou mesmo devido à retenção sob forma trocável (DOBEREINER & ALVAHYDO, 1966). Nota-se que a dinâmica do manganês e dos seus compostos no solo é muito complexa, como acentuam MELLO et al. (1983).

A extração do manganês total do solo tem sido, principalmente, feita com  $HClO_4$  (SANTANA & IGUE, 1972; SINGH, 1984), tendo-se também usado a fusão alcalina e a digestão com ácido fluorídrico (MURAOKA, 1984). Este último autor encontrou os maiores teores de manganês total em latossolo roxo (730 ppm) e terra roxa estruturada (240 ppm). VALADARES & CAMARGO (1983) concluíram que o agrupamento de solos do Estado de São Paulo de acordo com os materiais de origem não foi eficiente para o estudo dos teores de manganês, a não ser para os solos derivados de rochas básicas que apresentaram teores totais desse elemento superiores aos demais solos.

SANTANA & IGUE (1972) notaram que, para solos representativos da região cacauzeira da Bahia, o maior teor de manganês total foi encontrado em alfisolos, e os menores, nos oxisolos. Estes dados parecem concordar com os de SINGH (1984), que encontrou teores de manganês total variando de 15 a 347 ppm para solos do trópico úmido brasileiro, os quais foram dispostos na seguinte seqüência: terra roxa estruturada > podzólico vermelho amarelo > latossolo amarelo. Para solos do Estado de São Paulo, VERDADE (1960) demonstrou que o manganês

total é encontrado em quantidades relativamente baixas, correlacionando-se positivamente com os teores de argila e de ferro, os quais aumentaram em profundidade (FERREIRA & SINGH, 1985). Para a região cacauceira da Bahia, SANTANA & IGUE (1972) encontraram correlação positiva e significativa de manganês total com argila para ultissolos, vertissolos, hidromórficos, e com matéria orgânica para alfissolos, ultissolos, vertissolos e hidromórficos, e com matéria orgânica para alfissolos, ultissolos e inceptissolos.

Apesar de ainda existirem dúvidas em relação às formas de manganês que são efetivamente absorvidas pelas plantas, o chamado manganês solúvel tem sido considerado como sendo aquele extraído pelos seguintes reagentes:  $\text{CaCl}_2$  0,5 M; EDTA 0,05 M;  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  1 N; DTPA 0,005 M (pH 7,3); Carolina do Norte;  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1 N;  $\text{HNO}_3$  0,01 N e solução alcoólica de hidroquinona (HOROWITZ & DANTAS, 1966; LOPES & COX, 1977; SINGH, 1984; VALADARES & CAMARGO, 1983; MURAOKA et al., 1983a; FERREIRA & SINGH, 1985; VERDADE, 1960; SINGH, 1984 e CATANI & GALLO, 1951).

Considerando o manganês redutível como aquele disponível para as plantas e extraído com solução alcoólica de hidroquinona, HOROWITZ & DANTAS (1966) concluíram que, para os solos do sertão de Pernambuco, sujeitos à baixa precipitação pluviométrica e com pouca matéria orgânica, os teores de manganês encontrados foram considerados suficientes, enquanto que para os solos da Zona da Mata daquele estado, com clima quente e úmido e com alta precipitação, os teores se mostraram insuficientes, possivelmente devido à lixiviação. Para o Estado de São Paulo, VALADARES & CAMARGO (1983) amostraram quatorze unidades representativas de solos, para os quais os teores de manganês foram considerados altos; concluíram, entretanto, que o manganês solúvel não mostrou correlação satisfatória com manganês total, pH, C, argila e CTC. Entretanto, VERDADE (1960), utilizando o extrator  $\text{HNO}_3$  0,01 N, notou que a quantidade solubilizada desse elemento foi muito baixa para possibilitar alguma conclusão definitiva.

Para amostras superficiais de solos sob vegetação de cerrado do Brasil Central, predominantemente oxissolos, LOPES & COX (1977), empregando o extrator Carolina do Norte ( $\text{HCl}$  0,05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N), concluíram que a mediana de manganês foi de 7,6 microgramas/mililitro, o que mostrou que 63% das amostras apresentaram teor adequado deste elemento. A relativa suficiência desse micronutriente para solos sob cerrado pode ser explicada pelo alto grau de intemperismo e boa drenagem do material, fato que, em condições muito ácidas, pode levar a problemas de toxidez para as plantas (GALRÃO & LOPES, 1979). Essa hipótese foi demonstrada por MARTINS & BRAGA (1977), que encontraram teores tóxicos desse elemento em um latossolo roxo distrófico sob cerrado.

Na Amazônia, SINGH (1984) constatou que o EDTA 0,05 M (pH 7,8) foi o extrator mais eficiente para manganês, classificando os solos latossolo vermelho-amarelo,

glei pouco húmico e terra roxa estruturada como ricos em manganês, sendo o latossolo amarelo, o aluvial e o podzólico vermelho-amarelo considerados pobres nesse elemento. Concluiu também que a possibilidade de ocorrência de toxidez pode obedecer à seguinte ordem: terra roxa estruturada glei pouco húmico latossolo vermelho-amarelo podzólico vermelho-amarelo. Já FERREIRA & SINGH (1985), também para solos do trópico úmido, concluíram que para podzólicos, latossolos, cambissolos, terra roxa estruturada e plintossolos, até a profundidade de 60 cm, existe correlação positiva entre manganês disponível e teor de carbono orgânico, CTC efetiva, fósforo disponível e relação C/N.

Para a região cacauceira da Bahia, SANTANA & IGUE (1972) encontraram maior teor de manganês disponível em alfissolo e menor teor em oxissolo; correlação positiva e significativa entre manganês e matéria orgânica para alfissolo, ultissolo, inceptissolo, vertissolo e oxissolo; correlação negativa e significativa entre manganês e teor de argila para aqueles solos, sendo o manganês disponível com maior teor em superfície devido à associação com matéria orgânica.

Com relação às dificuldades e problemas para a interpretação das análises para o manganês, PAVAN & MIYAZAWA (1984) constataram que a maior disponibilidade desse elemento ocorre nas épocas do ano com maior temperatura e menor umidade (verânicos). Alertam para o fato de que o modo de preparo da amostra pode alterar o teor de manganês trocável, fato que pode causar erros na interpretação dos resultados de análise do manganês do solo. Além disso, o próprio manejo do solo pode ter grande influência na dinâmica desse elemento. CAMARGO & VALADARES (1980) lembram que a calagem e o baixo teor de matéria orgânica podem abaixar os teores de manganês trocável, sendo que a valores baixos de pH, ao contrário, a adição de matéria orgânica poderá solubilizar o manganês, elevando os teores para níveis tóxicos e favorecendo também a lixiviação desse nutriente.

## MOLIBDÊNIO

MALAVOLTA (1976) cita que o molibdênio se encontra no solo sob quatro formas: molibdênio não disponível, presente na rede cristalina de minerais primários (olivina) e secundários; molibdênio trocável, retido pelos minerais de argila como fon molibdato; molibdênio presente na matéria orgânica; e molibdênio solúvel em água. Ao contrário do que acontece com outros micronutrientes, a disponibilidade do molibdênio aumenta com o aumento de pH, sendo outro fator importante na disponibilidade desse nutriente a quantidade de óxidos de ferro e alumínio, os quais diminuem a disponibilidade do molibdênio. Para LINDSAY (1979), o teor de molibdênio nos solos varia de 0,2 a 5 ppm, com uma média de 2 ppm.

FASSBENDER (1984) destaca a importância do molibdênio adsorvido em solos ácidos, pois existem indícios de que 50% do molibdênio total em solos arenosos

ácidos e até 80% em solos argilosos se acham adsorvidos. Segundo esse autor, é a seguinte a ordem de seletividade desse elemento pelos constituintes minerais: hidróxidos de ferro, hidróxidos de alumínio, haloisita, nontronita, caulinita.

Para a extração de molibdênio total dos solos, tem sido utilizada a solução ácida de oxalato de amônio, a água régia, o ácido sulfúrico (1+1) e o ácido perclórico (1+1). Tem-se empregado também o ataque perclórico-fluorídrico e reativos como  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (SANTANA & IGUE, 1972; BATAGLIA et al., 1976; HOROWITZ, 1978; CATANI et al., 1970b).

Sabe-se que a ocorrência de molibdênio total dos solos está relacionada com o material de origem. Assim, BATAGLIA et al. (1976) constataram que solos originados do arenito Bauru e de sedimentos arenosos recentes se mostraram pobres em molibdênio; ao contrário, os solos originados de rochas básicas e sedimentos modernos apresentaram teores maiores desse micronutriente. Isso foi confirmado por SANTANA & IGUE (1972), ao constatarem que os teores de molibdênio total aumentaram com a profundidade, sendo, entretanto, maiores em oxissolo e menores em inceptissolo da região cacauzeira da Bahia.

O molibdênio solúvel pode ser obtido tratando-se o solo com oxalato ácido de amônio ao pH 3,3 (solução extratora de Tamm) ou solução 0,03 N de  $\text{NH}_4\text{FeSO}_4$  0,1 N (DANTAS & HOROWITZ, 1976; BATAGLIA et al., 1976; CATANI et al., 1970b). Tratando amostras superficiais de quatorze unidades representativas de solos do Estado de São Paulo com solução de oxalato de amônio ao pH 3,3, BATAGLIA et al. (1976) determinaram teores solúveis de molibdênio variando de 0,01 a 0,16 ppm; esses teores correlacionaram-se positivamente com os teores de argila e de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mas não com os de matéria orgânica.

Estudando solos do município de Piracicaba (SP), CATANI et al. (1970a) concluíram que no podzólico vermelho-amarelo variação Piracicaba (horizontes Ap e A12) e no latossolo vermelho escuro orto (horizontes Ap e B1), a adsorção de molibdato cresceu com o aumento da concentração desse íon na solução de equilíbrio, sob pH constante. Por outro lado, o aumento do pH ocasionou a diminuição da adsorção de molibdato, mesmo sendo constante a concentração desse íon na solução de equilíbrio. GARGANTINI et al. (1970), trabalhando com solos do Vale do Rio Paraíba no Estado de São Paulo, concluíram que os solos hidromórficos daquela área são deficientes em molibdênio. Já DANTAS & HOROWITZ (1976) usaram a solução extratora de Tamm para determinar o molibdênio solúvel em dois solos do agreste pernambucano. Concluíram que os solos estavam bem supridos desse micronutriente, o qual aumentava de teor do horizonte A para o B.

Mais tarde, HOROWITZ (1978) usou o diagrama Eh-pH para estudar onze perfis representativos de solos da zona litoral e zona da mata de Pernambuco, e concluiu que o íon  $\text{HMoO}_4^-$  foi a forma predominante naqueles solos, ocorrendo também  $\text{MoO}_2^+$ . Segundo o autor, a

maior proporção de um ou outro desses íons depende do potencial de oxidação-redução de cada horizonte do perfil do solo. LANTMANN et al. (1989) concluíram que o molibdênio nativo de um latossolo roxo álico e de um latossolo vermelho-escuro álico encontra-se mais disponível para a soja em pH  $\text{CaCl}_2$  acima de 4,8.

Outro fator importante no fenômeno de adsorção é a mineralogia do solo (SIQUEIRA & VELLOSO, 1978). Estes autores mostraram que em solos sob cerrado do Amapá, onde a caulinita chega a 70% na fração argila, a adsorção de molibdato foi comparativamente alta e mais evidenciada ao pH 4,0, decrescendo com o aumento do pH.

## COBRE

Segundo LINDSAY (1979), a faixa comum para cobre total em solos varia de 2 a 100 ppm, com uma média de 30 ppm. Esse autor lembra que os minerais que controlam a solubilidade do  $\text{Cu}^{2+}$  nos solos não são conhecidos. Entretanto, MALAVOLTA (1976) afirma que esse micronutriente pode ocorrer nos solos como cobre metálico, fazendo parte de minerais diversos (calcopirita, bornita, malaquita, etc.), como sais neutros insolúveis, como compostos solúveis, adsorvido às argilas, e sob a forma de composto orgânico. Sintomas de carência manifestam-se em solos arenosos ácidos e solos turfosos ácidos.

A extração do cobre total dos solos se faz principalmente com  $\text{HClO}_4$ . Também tem-se utilizado o HF e o HCl, este último nas concentrações de 2 M e 1 N (JACINTHO et al., 1969; HOROWITZ & DANTAS, 1973b; FERREIRA & SINGH, 1985 e SINGH, 1986).

O  $\text{HClO}_4$  mostrou-se o mais eficiente extrator de cobre total de latossolos do Estado de São Paulo (JACINTHO et al., 1969). FERREIRA & SINGH (1985), analisando amostras de até 60 cm de profundidade de latossolos, podzólicos, cambissolos, terra roxa estruturada e plintossolos da Amazônia, notaram um aumento da concentração de cobre total com a profundidade, acompanhado por um acréscimo no teor de argila e de ferro. Para essa mesma região, SINGH (1986) constatou que o cobre total nos horizontes superficiais dos solos se distribuía na seguinte ordem decrescente: terra roxa estruturada > latossolo vermelho amarelo > glei pouco húmico > latossolo amarelo > aluvial, sendo que o teor desse nutriente variou de 0,91 ppm (no podzólico vermelho amarelo) a 340,63 ppm (na terra roxa estruturada). Trabalhando na zona litoral-mata de Pernambuco, HOROWITZ & DANTAS (1973b) constataram a tendência do cobre em se concentrar nos horizontes superficiais dos solos representativos daquela região, apesar de também ocorrer a concentração desse elemento nos horizontes iluviais de solos com horizonte arenoso. Extraíram o cobre total com HCl 2 M e 0,1 N, verificando que esse ácido na concentração de 2 M retirou de 10% a 50% do cobre total, enquanto na concentração 0,1 N somente de 1 a 2% desse elemento foram extraídos do solo. Concluíram que a quantidade de cobre

encontrada foi alta, apesar de a maioria dos solos ter se desenvolvido de rochas ácidas.

GIMENEZ et al. (1992) avaliaram que Mehlich foi o extrator mais eficiente para cobre em latossolo vermelho-escuro distrófico e latossolo roxo distrófico. Constataram que o nível crítico de cobre no solo, extraído com DTPA, foi de 1,0 e 3,0 microgramas/grama para os solos estudados, respectivamente.

Na região cacauieira da Bahia, SANTANA & IGUE (1972) encontraram maiores teores de cobre total em oxissolo e vertissolo, notando correlação positiva e significativa entre esse elemento e matéria orgânica para alfissolo, solo hidromórfico, oxissolo e inceptissolo; e entre cobre e argila para vertissolo, inceptissolo e solo hidromórfico.

O cobre disponível dos solos pode ser determinado após extração com diversos reativos, sendo o HCl 0,1 N o mais utilizado. Outros extratores, como o EDTA 0,05 M, Carolina do Norte, DTPA, HCl 2 M, CH<sub>3</sub>COOH 0,10 N e NH<sub>4</sub>OAc tem sido utilizados. JACINTHO et al. (1969) enfatizaram que o teor de cobre extraído varia de acordo com a técnica empregada, o que indica a complexidade das formas de cobre no solo. LOPES & COX (1977), usando o extrator Carolina do Norte (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N), determinaram que a mediana de cobre solúvel para os solos sob vegetação de cerrado do Brasil Central foi de 0,65 microgramas/mililitro, estando 70% daqueles solos abaixo do nível crítico considerado de 1 micrograma/mililitro. PEREIRA et al. (1971) concluíram que 80% das amostras de solos da região de Teófilo Otoni, a nordeste do Estado de Minas Gerais, principalmente podzólicos vermelho-amarelos, foram considerados normais em termos de teores de cobre solúvel. FERREIRA & SINGH (1985) estudaram a distribuição dos micronutrientes com a profundidade para solos da Amazônia, concluindo que o cobre disponível extraído com DTPA 0,005 M (pH 7,3) diminuiu em concentração com a profundidade, correlacionando-se com o carbono, a CTC efetiva, o fósforo disponível e a relação C/N até a profundidade de 60 cm.

SINGH (1986) afirmou que o cobre disponível variou com o tipo de solo e com o extrator utilizado, tendo os extratores mostrado a seguinte ordem decrescente de eficiência para cobre disponível: EDTA 0,05 M pH 7,0 > HCl 0,1 N > Carolina do Norte > DTPA 0,005 M pH 7,3 > NH<sub>4</sub>OAc pH 4,6. Esse autor trabalhou com seis classes de solos importantes da Região Amazônica, a saber: podzólico vermelho-amarelo, latossolo vermelho-amarelo, terra roxa estruturada, glei pouco húmico e aluvial, concluindo que 47% desses solos, todos de textura grosseira, se mostraram deficientes em cobre extraído com DTPA 0,05 M. Por outro lado, a terra roxa estruturada foi o solo que apresentou o maior teor desse elemento, podendo atingir níveis tóxicos para as plantas. Em Pernambuco, HOROWITZ & DANTAS (1973b) concluíram que o EDTA 0,05 M foi o extrator mais satisfatório para cobre disponível em onze solos representativos da zona litoral-mata daquele estado. Considerado o nível crítico de 0,6 ppm de cobre, os solos deficientes daquela região foram: brunizem

avermelhado, latossolo vermelho-amarelo distrófico e podzólico vermelho-amarelo. Já os solos com teor adequado desse micronutriente foram: bruno não-cálcico planossólico, terra roxa estruturada, podzólicos vermelho-amarelos latossólicos e com argila de atividade alta.

A adsorção de cobre em dois solos do Rio Grande do Sul, avaliada através das equações de Langmuir, levou POMBO & KLAMT (1986) a concluir que a terra roxa estruturada (hapludult) apresentou maior capacidade de adsorção de cobre no horizonte A, enquanto o podzólico vermelho-amarelo (paleudult) a apresentou no horizonte B. Para solos orgânicos, GALRÃO & SOUZA (1985) concluíram que os extratores HCl 0,1 N, Mehlich 3 e DTPA apresentaram boa capacidade para avaliação da disponibilidade de cobre nos solos, sendo que o extrator Mehlich 1, normalmente usado em rotina, apresentou a menor capacidade de avaliação desse nutriente.

## FERRO

Segundo MELLO et al. (1983) o ferro se encontra no solo em quantidades apreciáveis nos minerais primários como nos ferromagnesianos (anfíbólios e piroxênios), e na biotita; nos minerais acessórios como a ilmenita, magnetita e pirita; nos minerais secundários como nos óxidos hidratados, limonita e goethita. Aparece, ainda, em compostos orgânicos, e, em quantidades pequenas, como íon trocável e na solução do solo, como confirma MALAVOLTA (1976). O teor total médio desse micronutriente no solo, segundo LINDSAY (1979) é 3,8%.

A extração do ferro total pode ser feita com ácido perclórico e/ou com ácido sulfúrico, segundo FERREIRA & SINGH (1985). Estes autores, trabalhando com solos podzólicos, latossolos, cambissolos, terra roxa estruturada e plintossolo da Amazônia, verificaram um aumento da concentração dos teores totais desse elemento com a profundidade, acompanhado de um aumento dos teores de argila para todos os solos. Isso também foi atestado por SANTANA & IGUE (1972) para solos da região cacauieira da Bahia, admitindo-se a associação do ferro total aos óxidos hidratados de ferro e alumínio, cujas concentrações também aumentam em profundidade. Esses mesmos autores encontraram correlação positiva entre o ferro total e a matéria orgânica para um oxissolo e negativa para solos hidromórficos.

SINGH (1986), trabalhando com seis classes de solos representativos do trópico úmido brasileiro, determinou que o ferro total variou de 0,46% (em podzólico vermelho-amarelo) a 26,33% (em terra roxa estruturada). Os solos ordenaram-se da seguinte maneira de acordo com o conteúdo em ferro total: terra roxa estruturada, glei pouco húmico, latossolo vermelho-amarelo, latossolo amarelo, podzólico vermelho-amarelo, solo aluvial. Enfatiza o autor que essa sequência é a mesma para o conteúdo de ferro livre (extraído pelo método citrato-ditionito-bicarbonato). Para os solos da região concluiu que o ácido sulfúrico foi o extrator mais eficiente.

O ferro livre do solo tem sido extraído com DTPA

0,005 M pH 7,3; extrator Carolina do Norte;  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1 N pH 4,6 e EDTA 0,05 M pH 7,0 (LOPES & COX, 1977; FERREIRA & SINGH, 1985; SINGH, 1986). Para a grande maioria dos oxissolos sob vegetação de cerrado do Brasil Central, LOPES & COX (1977), utilizando o extrator Carolina do Norte, concluíram que a mediana de ferro foi de 32,5 microgramas/mililitro, sendo que a maioria das amostras superficiais daqueles solos (58%) apresentou de 25 a 40 microgramas de ferro por mililitro. Não se detectou deficiência de ferro nas áreas de cerrado do Brasil e nem problemas de toxidez; sabe-se, entretanto, que altos teores de ferro na forma de óxidos constituem um dos principais fatores que favorecem a fixação de fósforo por estes solos. GALRÃO & LOPES (1979) lembram que não há qualquer sugestão para nível crítico de ferro. Alertam para o fato de que, em condições de má drenagem, parte do  $\text{Fe}^{3+}$  poderá ser transformada em  $\text{Fe}^{2+}$ , resultando níveis tóxicos desse elemento para as plantas.

Para solos representativos da Amazônia, FERREIRA & SINGH (1985) notaram um decréscimo no teor disponível de ferro acompanhado de um decréscimo em carbono orgânico, CTC efetiva, fósforo disponível e relação C/N. Para solos da Bahia, SANTANA & IGUE (1972) encontraram os maiores valores de ferro disponível para alfisol, e os menores valores para oxisol; encontraram, ainda, correlação positiva entre ferro disponível e matéria orgânica em alfisol, solo hidromórfico, inceptisol e oxisol, e correlação negativa entre esse micronutriente e argila em ultisol. É importante a forma na qual o ferro se encontra no solo, como reforçam COSTA & SOUZA (1976); observaram que em latossolo roxo da região de Campinas, solo rico em ferro na forma de óxidos, esse elemento não se mostrava disponível para a planta de arroz, havendo aumento do teor na folha quan-

do o ferro era adicionado ao solo. Deve-se lembrar que o mesmo experimento foi feito com solo hidromórfico, o qual não se mostrou deficiente em ferro.

## CLORO

Segundo MENGEL & KIRBY (1982), o cloro no solo não é adsorvido pelos minerais, sendo um dos íons de maior mobilidade; portanto, é facilmente perdido por lixiviação sob condições de drenagem livre. Solos com pouco cloro apresentam menos de 2 ppm desse elemento. Entretanto, na prática, a deficiência em cloro ocorre muito raramente, já que a presença de  $\text{Cl}^-$  na atmosfera ou nas águas de chuva é mais do que suficiente para satisfazer as necessidades das culturas. MELLO et al. (1983) citam que nos solos o cloro deve ocorrer principalmente na forma iônica, solúvel, sendo desprezível a quantidade de cloro adsorvida. Para solos de regiões úmidas, o teor desse micronutriente é, em média, de 0,01%, sendo que nos solos salinos a concentração é muito maior. O autor lembra que, dentre os micronutrientes, o cloro é geralmente o elemento absorvido em maiores quantidades pelos vegetais, muito acima da quantidade necessária.

PAIVA NETO & QUEIROZ (1946), utilizando o método eletrotitrométrico, fizeram a dosagem de cloro em amostras dos 40 centímetros superficiais de mais de mil solos de São Paulo. Constataram que, no geral, o teor em cloretos dos solos é baixo, oscilando entre 0,2 e 2 mg de  $\text{Cl}^-/100$  g de solo. Em algumas áreas de baixada, sem circulação de água, encontraram-se até 20 mg  $\text{Cl}^-/100$  g de solo. Em amostras de baixada litorânea encontraram-se teores acima de 400 mg  $\text{Cl}^-/100$  g solo, o que foi explicado por serem áreas atingidas pelas marés.

ROCHA, Geraldo César. Trace elements in Brazilian soils. *Semina: Ci. Agr., Londrina*, v. 16, n. 1, p. 158-168, Mar. 1995.

**ABSTRACT:** A literature revision on trace elements (Zn, B, Mn, Mo, Cu, Fe and Cl) in Brazilian soils was prepared, with special attention to the chemical form and range in the soil, extraction methods and correlation of the amount in soils with soil properties.

**KEY-WORDS:** Occurrence; efficiency and extraction methods for trace elements in soils.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUBERT, H.; PINTA, M. *Trace elements in soils*. Amsterdam: Elsevier, 1977. 395 p.

BARBOSA FILHO, M.P.; DYNIA, J.F.; ZIMMERMANN, F.J.F. Resposta do arroz de sequeiro ao zinco e ao cobre com efeito residual para o milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 14, n. 3, p. 333-338, 1990.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; VALADARES, J.M.S. O molibdênio em solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1976, CAMPINAS. *Anais...* Campinas: Soc. Bras. Ci. Solo, 1976. p. 107-111.

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, n. 2, p. 205-212, 1989.

BENEVIDES FILHO, V.A. *Zinco em solos do Município de Piracicaba*. Piracicaba, 1982. 101 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP, 1982.

BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; FREIRE, O. Boro em alguns solos do Estado de São Paulo - avaliação por métodos químicos. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 55, n. 1-2, p. 83-105, 1980.



- BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; FREIRE, O.; NEDER, R.N. Zinco em alguns solos de Piracicaba - avaliação por testes microbiológicos. *Revista de Agricultura, Piracicaba*, v. 55, n. 1-2, p. 63-82, 1980.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; FREIRE, O.; SARRUGE, J.R. Retenção de zinco por alguns solos de Piracicaba. *Revista de Agricultura, Piracicaba*, v. 54, n. 4, p. 253-261, 1979a.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; FREIRE, O.; SILVEIRA, R.I. Zinco em alguns solos de Piracicaba - avaliação por testes químicos. *Revista de Agricultura, Piracicaba*, v. 54, n. 4, p. 217-235, 1979b.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; FREIRE, O.; SILVEIRA, R.I. Zinco em alguns solos de Piracicaba - avaliação por testes biológicos. *Revista de Agricultura, Piracicaba*, v. 54, n. 4, p. 237-251, 1979c.
- BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; SÁ, M.E. de Doses de boro na soja em diferentes condições de acidez do solo: I. Produção de matéria seca e de grãos e nível crítico no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 14, n. 2, p. 157-161, 1990.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Comportamento do Mn em oxisol influenciado pela aplicação de carbonato de cálcio e sacarose. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 14, n. 2, p. 71-75, 1980.
- CARVALHO, L.H. Aplicação de boro na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* hutch.). Piracicaba, 1988. 76 p. Tese (Doutorado) - ESALQ/USP, 1988.
- CASAGRANDE, J.C. O boro em solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, 1978. 122 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP.
- CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C.; FURLANI, P.R. A adsorção de molibdênio pelo solo. *Anais da ESALQ*, n. 27, p. 223-233, 1970a.
- CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C.; FURLANI, P.R. A determinação do teor total e do teor solúvel em diversas soluções, do molibdênio do solo. *Anais da ESALQ*, n. 27, p. 171-180, 1970b.
- CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C.; KROLL, F.M. A adsorção de boro pelo solo. *Anais da ESALQ*, n. 28, p. 189-198, 1971.
- CATANI, R.A.; GALLO, J.R.; KROLL, F.M. A extração do Mn e suas formas de ocorrência em alguns solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 11, n. 7-9, p. 255-266, 1951.
- COSTA, A.S.; SOUZA, D.M. Clorose do arroz devida à deficiência de ferro em solo latossol roxo de Campinas. *Summa Phytopathologica*, v. 2, n. 2, p. 115-121, 1976.
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. Níveis críticos de zinco no solo e na planta de milho em amostras de solo da região de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1985. Belém. Resumos... Belém, 1985.
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, n. 1, p. 79-87, 1992.
- DANTAS, H.S.; HOROWITZ, A. Determinação do molibdênio trocável em alguns solos de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1976, Campinas. Anais... Campinas: Soc. Bras. Ci. Solo, 1976.
- DAVIES, B.E. *Applied soil trace elements*. Avon: Wiley & Sons, 1980. 482 p.
- DOBEREINER, J.; ALVAHYDO, R. Eliminação da toxidez de manganês pela matéria orgânica em solo "Gley Hidromórfico". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 1, p. 243-248, 1966. (Série Agronomia).
- ESPIRONELLO, A.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; IGUE, T. Avaliação do boro assimilável e provas de respostas, pelo método biológico do girassol, à administração desse elemento a alguns solos cultivados com cana de açúcar. *Bragantia*, Campinas, v. 35, n. 20, p. 221-236, 1976.
- FASSBENDER, H.W. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Costa Rica: IICA, 1984. 398 p.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Modificação do método de água em ebulição para extração do boro solúvel em solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, 1985, Belém. Resumos... Belém, 1985.
- FERREIRA, W.A.; SINGH, R. Distribuição de micronutrientes com a profundidade com relação às diversas propriedades físicas e químicas de solos representativos da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, 1985, Belém. Resumos... Belém, 1985.
- FREITAS, G.G. Teor em boro de solos do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sul Riograndense*, v. 4, n. 1, p. 33-36, 1959.
- GALRÃO, E.Z.; LOPES, A.S. Deficiências nutricionais em solos de cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; uso e manejo, 1979, Brasília. Anais... Brasília: Editerra, 1979. 760 p.
- GALRÃO, E.Z.; SOUZA, D.M.G. Resposta do trigo à aplicação de cobre em solo orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, 1985, Belém. Resumos... Belém, 1985.
- GARGANTINI, H.; LEITE, N.; HUNGRIA, L.S. et al. Efeito de micronutrientes na produção e no tipo de tubérculos de batatas, em cultura efetuada em solos de várzea do vale do Paraíba. *Bragantia*, n. 29, Tomo único, 1970.
- GIMENEZ, S.M.N.; CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; CRUCES, I.I. Toxicidade de cobre em mudas de caféiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, n. 3, p. 361-366, 1992.
- HOROWITZ, A. Os fons do molibdênio no solo - um exemplo de aplicação dos diagramas Eh - pH. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 2, n. 2, p. 98-130, 1978.
- HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Boro disponível nos solos da zona litoral-mata de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 8, n. 7, p. 163-168, 1973a. (Série Agronomia).
- HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. III. Cobre na zona litoral-mata. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 8, n. 7, p. 168-176, 1973b. (Série Agronomia).

- HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. I. Manganês na zona da mata e no sertão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, n. 1, p. 353-390, 1966. (Série Agronomia).
- JACINTHO, A.O.; CATANI, R.A.; PIZZINATO, A. Determinação do teor total e do teor solúvel, em diversas soluções, do cobre do solo. *Anais da ESALQ*, n. 26, p. 99-117, 1969.
- JACINTHO, A.O.; CATANI, R.A.; PIZZINATO, A. Extração e determinação do teor solúvel de zinco do solo. *Anais da ESALQ*, n. 28, p. 275-285, 1971.
- LANTMANN, A.F.; SFREDO, G.T.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA, M.C.N. Resposta da soja a molibdênio em diferentes níveis de pH do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, n. 1, p. 45-49, 1989.
- LAUN, C.R.P. *Efeitos da aplicação de zinco e boro em solos sob vegetação de cerrado*. Piracicaba, 1975. 120 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP, 1975.
- LIMA FILHO, O.F. *Calibração de boro e zinco para o cafeeiro (Coffea arabica L. CV. Catuaí Amarelo)*. Piracicaba, 1991. 100 p. Dissertação (Mestrado) - CENA/USP, 1991.
- LINDSAY, W.L. *Chemical Equilibria in Soils*. New York: Wiley & Sons, 1979. 449 p.
- LOPES, A.S.; COX, I.R. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 41, n. 4, p. 742-747, 1977.
- MACHADO, P.L.O.; PAVAN, M.A. Estudo da dinâmica do zinco no solo - respostas do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, 1985, Belém. *Resumos...* Belém, 1985.
- MALAVOLTA, E. *Manual de Química Agrícola*. São Paulo: Ceres, 1976. 528 p.
- MARCONI, A.; FREIRE, O.; ABRAHÃO, I.O. Boro nos minerais, rochas, solos e plantas. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 55, n. 1-2, 1981.
- MARTINS, O.; BRAGA, J.M. Caracterização da fertilidade de cinco latossolos sob vegetação de cerrado no Triângulo Mineiro. *Revista Ceres*, v. 24, n. 136, p. 596-607, 1977.
- MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.; ARZOLLA, S. *Fertilidade do Solo*. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.
- MENGEL, K.; KIRBY, E.A. *Principles of Plant Nutrition*. 3. ed. Berna: International Potash Institute, 1982.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L.; NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e manganês do solo para o feijoeiro. II. Manganês. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 7, n. 2, p. 167-175, 1983.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L.; NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 7, n. 2, p. 167-175, 1983.
- MURAOKA, T. Avaliação dos teores totais de zinco e manganês do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, n. 1, p. 144-158, 1984.
- OLIVEIRA, I.P.; KLUTHCOVSKI, J.; CARVALHO, J.R.P. Efeitos de macro e micronutrientes na cultura do feijão em latossolo vermelho escuro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1982, Goiânia. *Anais...* Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1982. 361 p.
- OLIVEIRA, R.F.; SINGH, R. Disponibilidade de boro em solos representativos do trópico úmido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, 1985, Belém. *Resumos...* Belém, 1985.
- PAIVA NETO, J.E.; QUEIROZ, M.S. Cloreto (Cl<sup>-</sup>) nos solos do Estado de São Paulo, e sua dosagem. *Bragantia*, Campinas, v. 6, n. 3, p. 119-142, 1946.
- PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. Disponibilidade do manganês no solo; dificuldades e problemas na interpretação da análise para fins de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, n. 3, p. 285-289, 1984.
- PAULA, M.B. de; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, F.D.; MESQUITA, I.A. Curva de resposta e avaliação de extratores para zinco disponível em solos hidromórficos e aluviais sob arroz inundado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, n. 1, p. 49-55, 1991.
- PEREIRA, J.A.A.; SILVA, D.J.; BRAGA, J.M. Teores de fósforo, cobre e cobalto em algumas pastagens do município de Teófilo Otoni, MG. *Experientiae*, v. 12, n. 6, p. 155-188, 1971.
- POMBO, L.C.A.; KLAMT, E. Adsorção de zinco e cobre de dois solos do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 10, n. 3, p. 191-194, 1986.
- RIBEIRO, A.C.; BRAGA, J.M. Adsorção de boro pelo solo. *Experientiae*, v. 17, n. 12, p. 293-310, 1974.
- RIBEIRO, A.C.; SARABIA, W.A.T. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em latossolos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, n. 1, p. 85-89, 1984.
- RUY, V.M. *Contribuição para o estudo do boro disponível em solos*. Piracicaba, 1986. 105 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP, 1986.
- SANTANA, C.J.L.; IGUE, K. Formas de micronutrientes em solos da região cacauzeira da Bahia. *Turrialba*, v. 22, n. 1, p. 73-80, 1972.
- SAUCHELLI, V. *Trace elements in Agriculture*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1969. 248 p.
- SILVEIRA, R.I.; MELLO, F.A.F. Influência do tempo de contato e quantidade de Zn<sup>2+</sup> sobre a fixação desse cátion pelo solo. *Anais da ESALQ*, n. 32, p. 269-276, 1975.
- SILVEIRA, R.I.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MELLO, F.A.F. Influência das frações granulométricas sobre a fixação de Zn pelo solo. *Anais da ESALQ*, n. 32, p. 277-284, 1975a.
- SILVEIRA, R.I.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MELLO, F.A.F. Influência do pH e dos teores de fosfato solúvel e matéria orgânica sobre a fixação de Zn pelo solo. *Anais da ESALQ*, n. 32, p. 285-295, 1975b.

- SINGH, R. *Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro. II. Manganês.* Belém: CPATU-EMBRAPA, 1984. (Boletim de Pesquisa, 62).
- SINGH, R. *Micronutrient availability in dominant soil types of brazilian humid tropics. IV. Iron.* In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1986, Belém. *Anais...* Belém: MA/EMBRAPA/CPATU, 1986. V. 1.
- SINGH, R.; OLIVEIRA, R.F. *Avaliação do nível crítico de zinco para arroz de sequeiro em alguns solos do trópico úmido da região amazônica brasileira.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1985, Belém. *Resumos...* Belém, 1985.
- SIQUEIRA, C.; VELLOSO, A.C. *Adsorção de molibdato em solos sob vegetação do cerrado.* *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 2, n. 1, p. 24-28, 1978.
- SOUZA, D.M.; HIROCE, R. *Diagnose e tratamento preventivo, no solo, de deficiência de zinco em cultura de arroz de sequeiro em solos com pH abaixo de 7.* *Bragantia*, Campinas, v. 29, n. 9, p. 91-103, 1970.
- VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, A. *Manganês em solos do Estado de São Paulo.* *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 7, n. 2, p. 123-130, 1983.
- VALADARES, J.M.A.S.; CATANI, R.A. *Zinco em solos do Estado de São Paulo. I. Zinco total.* *Bragantia*, Campinas, v. 34, n. 5, p. 133-139, 1975.
- VERDADE, F.C. *Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo.* *Bragantia*, Campinas, v. 19, n. 35, p. 567-577, 1960.

Recebido para publicação em 30/09/1993