

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas

ÁLVARO VILELA DE RESENDE

CETEM

Centro de Tecnologia Mineral
Ministério de Ciência e Tecnologia

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

**Micronutrientes na agricultura brasileira:
disponibilidade, utilização e perspectivas**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

José Alencar Gomes da Silva

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Eduardo Campos

Ministro da Ciência e Tecnologia

Luís Manuel Rebelo Fernandes

Secretário Executivo

Avilico Franco

Secretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Adão Benvindo da Luz

Diretor do CETEM

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

Fernando Antonio Freitas Lins

Coordenador de Assessoramento Tecnológico

João Alves Sampaio

Coordenador de Processos Minerais

Antonio Rodrigues Campos

Coordenador de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Cosme Antonio de Moraes Regly

Coordenador de Administração

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

ISSN - 0103-6319

Coletânea Fertilizantes – IX

Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas

ÁLVARO VILELA DE RESENDE

Eng. Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas.
Pesquisador da Embrapa Cerrados.

ISBN: 85-7227-208-9

CETEM / MCT
2005

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

CARLOS CÉSAR PEITER

Editor

ZULEICA CASTILHOS

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Francisco E. de Vries Lapido Loureiro (CETEM), Francisco R. C. Fernandes (CETEM), Gilson Ezequiel Ferreira (CETEM), Alfredo Ruy Barbosa (consultor), Gilberto Dias Calaes (ConDet), José Mário Coelho (CPRM), Rupen Adamian (UFRJ), Saul Barisnik Susick (UNICAMP).

A Série Estudos e Documentos publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

JACKSON DE FIGUEIREDO NETO

Coordenação editorial

ANA SOFIA MARIZ

Capa e Editoração eletrônica

THATYANA PIMENTEL RODRIGO DE FREITAS

Revisão

SUMÁRIO

RESUMO ▶ 6

ABSTRACT ▶ 6

1. INTRODUÇÃO ▶ 7

2. MICRONUTRIENTES VEGETAIS ▶ 8

3. MICRONUTRIENTES NO SOLO ▶ 9

3.1. Principais minerais e rochas fontes de micronutrientes no solo

3.2. Reações e interações dos micronutrientes no solo

3.3. Disponibilidade de micronutrientes nos solos brasileiros

4. DEFICIÊNCIAS DE MICRONUTRIENTES EM CULTURAS NO BRASIL ▶ 17

5. PRINCIPAIS FONTES DE MICRONUTRIENTES ▶ 18

6. ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES ▶ 20

6.1. Recomendações gerais de manejo e eficiência da adubação

7. PROBLEMAS E PERSPECTIVAS DO USO DE MICRONUTRIENTES ▶ 23

8. NECESSIDADE DE PESQUISA ▶ 27

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ▶ 29

RESUMO

O uso de micronutrientes na agricultura brasileira é tema complexo e ainda controverso. Os micronutrientes ocorrem em teores muito baixos no solo e têm sua dinâmica bastante afetada pelas características do mesmo. Os problemas de deficiência e de excesso de micronutrientes são condicionados por numerosas interações com componentes do solo, as quais, por sua vez, são dependentes do manejo adotado no sistema de produção. Assim, o pH, a umidade, o teor de matéria orgânica, a fração mineral e a biologia do solo, além da própria planta, são fatores que condicionam a disponibilidade e o aproveitamento de micronutrientes pelas culturas. O melhor entendimento da dinâmica nos diferentes tipos de solo e do requerimento pelas diversas culturas, bem como a definição de doses, fontes e estratégias de fornecimento de micronutrientes, adequadas às condições locais, são passos fundamentais para que se consiga conciliar maior produtividade das lavouras e uso eficiente de insumos.

Palavras-chave: micronutrientes, fertilizantes, fontes, dinâmica dos solos

ABSTRACT

The use of micronutrients in the Brazilian agriculture is a complex and controversial issue. The micronutrients contents in soil are very low and their dynamics are strongly influenced by soil nature. Deficiencies and excess of micronutrients are conditioned by a number of interactions with soil components, being also affected by the management of crop systems. The soil moisture, pH, organic matter content, mineral fraction and biological activity, besides the plant characteristics, determine the micronutrient availability and plant uptake. A better understanding of the micronutrient dynamics in different types of soil and crop needs, as well as the definition of adequate doses, sources, and application methods, for local conditions, are essential steps to achieve high yields with efficient use of fertilizers.

Keywords: micronutrients, fertilizers, sources, soil dynamics

1. INTRODUÇÃO

Uma vez que os solos brasileiros, em sua maioria, apresentam baixa fertilidade natural ou foram exauridos pelo cultivo continuado, a correção de deficiências de micronutrientes tem constituído aspecto fundamental no manejo das lavouras. Atualmente, existem no mercado numerosas opções de produtos fertilizantes contendo micronutrientes, para uso em diversas formas de aplicação. Contudo, apesar da reconhecida importância da adubação com esses nutrientes, o tema não é satisfatoriamente contemplado nas ações de pesquisa e várias questões vêm sendo tratadas sem o devido respaldo científico. Neste capítulo procurou-se abordar a importância para o crescimento vegetal, a dinâmica e disponibilidade no solo, as fontes e formas de aplicação de micronutrientes, bem como, a evolução e perspectivas de sua utilização no país.

2. MICRONUTRIENTES VEGETAIS

Por serem exigidos em maiores quantidades pelas plantas, os elementos químicos carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são denominados macronutrientes. Nos cultivos comerciais, normalmente, o suprimento dos seis últimos nutrientes depende do uso de fertilizantes e corretivos de solo. Existem ainda outros sete elementos requeridos em pequena proporção, mas que são igualmente indispensáveis para o adequado desenvolvimento dos vegetais, os chamados micronutrientes. É sabido que o boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) desempenham funções essenciais no metabolismo da planta, sem as quais a produção das culturas é inviabilizada. Embora não seja essencial para os vegetais, o cobalto (Co) é fornecido para plantas leguminosas, pois trata-se de um elemento necessário ao processo de fixação biológica de N. Outros elementos químicos, como o silício (Si) e o níquel (Ni), são considerados úteis para as plantas, uma vez que podem promover efeitos favoráveis ao crescimento, apesar de não terem propriamente uma função de nutriente.

3. MICRONUTRIENTES NO SOLO

3.1. Principais minerais e rochas fontes de micronutrientes no solo

A) BORO

O elemento está presente em diversos minerais, usualmente na forma de boratos ou borossilicatos, embora poucos tenham importância como fonte de B. A turmalina seria o mineral de maior relevância para os solos ácidos de regiões úmidas. Outros importantes minerais de boro são o bórax, a colemanita e a ulexita. Ao contrário dos demais micronutrientes, há maior concentração de B em granitos do que em basaltos. Comparativamente às rochas maciças, as rochas clásticas, calcárias, folhelhos e aquelas que contêm argilas marinhas são mais ricas em B, originando solos com maior disponibilidade do nutriente. Todavia, a principal fonte para as plantas nos solos agrícolas é a matéria orgânica (Dantas, 1991; Raij, 1991).

B) CLORO

O cloro e o boro são os micronutrientes de maior solubilidade e tendem a ser carreados pelas águas, acumulando-se nos oceanos. Cloretos de sódio, potássio, magnésio ou cálcio (ex: halita, silvinita, carnalita, taquidrita) são os principais minerais de cloro, os quais caracterizam-se pela elevada solubilidade e dificilmente permanecem como tais no solo (somente sob condições de aridez). Apesar disso, não têm sido detectadas deficiências em condições normais de cultivo (Raij, 1991). Em decorrência dessa situação, não existem muitos estudos e não há maiores preocupações quanto ao fornecimento desse micronutriente. O cloro está presente na água da chuva, além do mais, costuma ser adicionado indiretamente nas adubações, uma vez que o cloreto de potássio é largamente utilizado na agricultura como fonte de K.

c) COBRE

Ocorre em minerais primários, freqüentemente associado ao enxofre na forma de sulfetos, como a calcopirita, a calcocita e a bornita. Aparece como componente traço em minerais constituintes de rochas ígneas e em minerais secundários na forma de óxidos, carbonatos e silicatos. Normalmente, os minerais de cobre apresentam elevada solubilidade, razão pela qual não devem estar presentes em solos mais intemperizados. O cobre como elemento isolado caracteriza-se pela baixa solubilidade, sendo fortemente retido pela fase sólida do solo. À semelhança do que ocorre com os demais micronutrientes, o conteúdo total de Cu nos solos varia muito. A fração disponível pode ser insuficiente para o crescimento das culturas, mesmo em solos com maior riqueza do elemento (Ferreira & Cruz, 1991).

d) FERRO

O ferro é importante constituinte da crosta terrestre (5% em peso) e está presente em todos os tipos de solo. As rochas ígneas (95% da crosta terrestre) são especialmente ricas, estando o elemento presente em minerais como olivina, augita, hornblenda e biotita. O ferro ocorre em solos também na forma de óxidos primários como a hematita, ilmenita e magnetita. Com o intemperismo, os óxidos e hidróxidos de Fe acumulam-se no perfil e passam a ser abundantes nos solos altamente intemperizados. Apesar disso, a deficiência pode ocorrer, mesmo em solos com elevados conteúdos de Fe, pois pequena proporção permanece solúvel (Bataglia, 1991; Borkert et al., 2001a).

e) MANGANÊS

Após o ferro, o manganês é o elemento mais abundante na crosta terrestre e sua ocorrência geológica está bastante associada à do primeiro. Os teores de Mn nas rochas variam de

350 a 2.000 mg kg⁻¹. As rochas ferro-magnesianas apresentam maior abundância do elemento. O Mn faz parte de diversos minerais, ligado principalmente ao oxigênio e silício. Os óxidos (ex: pirolusita e manganita) e sulfetos de manganês são as formas mais comuns nos solos. Durante o intemperismo, os compostos de Mn são oxidados, reprecipitados e concentrados na forma de minerais secundários. A disponibilidade do nutriente pode ser bastante variável, implicando em deficiência ou toxicidade às plantas, dependendo da solubilidade dos compostos de manganês presentes no solo (Borkert, 1991; Raij, 1991; Borkert et al., 2001a).

F) MOLIBDÊNIO

Em minerais, o molibdênio ocorre como sulfeto (molibdenita) ou na forma de óxidos (ilsemanita, povelita e ferrimolibdita). A maior parte do molibdênio presente no solo está em formas oclusas, no interior de minerais primários e secundários. O intemperismo desses minerais libera íons molibdato, cuja solubilidade aumenta em condições alcalinas, contrariamente ao que se observa com os outros micronutrientes metálicos (Cu, Fe, Mn e Zn). Os teores totais e disponíveis de Mo nos solos são normalmente inferiores aos dos demais micronutrientes (Santos, 1991; Raij, 1991).

G) ZINCO

Está presente em diversas rochas básicas e ácidas, situação condicionada, em parte, pelo fato de que a substituição isomórfica de Mg por Zn nos silicatos se dá com certa facilidade. Aparece como elemento acessório em minerais primários tais como olivina, hornblenda, augita, biotita e magnetita. Formas comuns de compostos que contém o elemento envolvem sulfetos (esfalerita), carbonatos, silicatos e fosfatos (Souza e Ferreira, 1991; Raij, 1991).

3.2. Reações e interações dos micronutrientes no solo

O comportamento dos micronutrientes no solo é muito influenciado pelas características do meio. Fatores ligados à textura e mineralogia do solo, matéria orgânica, pH, condições de oxidação-redução e interação entre nutrientes tornam mais complexa a dinâmica no solo e interferem na disponibilidade às plantas. A natureza e intensidade dos fenômenos relacionados a esses fatores variam conforme as características do solo e o micronutriente em questão.

O cobre, ferro, manganês e zinco em solução apresentam-se na forma de cátions. Todos são convertidos em formas insolúveis pela elevação do pH do solo. Além disso, Cu e Zn caracterizam-se por adsorver fortemente aos colóides inorgânicos do solo e formar complexos com a matéria orgânica. Já Fe e Mn podem também passar para formas de diferentes solubilidades devido a processos de oxidação-redução (Raij e Bataglia, 1991). Os micronutrientes boro, cloro e molibdênio comportam-se mais como ânions, no tocante à dinâmica no solo. O boro e cloro são fracamente retidos, sendo facilmente lixiviados. De certo modo, a dinâmica do molibdênio assemelha-se à dos fosfatos. O Mo, na forma de molibdato, é adsorvido às cargas positivas dos colóides, sendo a força de retenção tão maior quanto mais ácido for o solo. Assim sendo, a calagem, ao elevar o pH, favorece o aumento da disponibilidade ao ponto de satisfazer completamente o requerimento de Mo pelas culturas (Fontes et al., 2001).

Ao diminuir a disponibilidade de Mn, a calagem evita um problema comum nos solos ácidos, que é a toxicidade do elemento às plantas. Por outro lado, na região do Cerrado, valores de pH em água acima de 6,0 e saturação por bases maior que 50% provocam redução na disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn) e o uso exagerado de calcário tem sido causa freqüente de deficiências (Sousa, 1998). A calagem excessiva indisponibiliza esses micronutrientes pela formação

de óxidos, cuja solubilidade vai depender do pH (Volkweiss, 1991).

Para o cobre, por exemplo, a redução da disponibilidade com a elevação do pH decorre não só da diminuição da solubilidade do elemento na forma de óxidos, mas também do aumento da precipitação e adsorção às superfícies dos colóides e da maior estabilidade das ligações com a matéria orgânica (Harmsen & Vlek, 1985, citados por Ferreira & Cruz, 1991). A adsorção de Zn aos óxidos de ferro e de alumínio aumenta com a elevação do pH. Além disso, o elemento é adsorvido com uma energia variável em função do tipo de argila: vermiculita > montmorilonita > illita > caulinita (Souza e Ferreira, 1991).

A presença de formas disponíveis de Fe e Mn está muito condicionada às mudanças nas condições de oxidação-redução do meio. Assim, os ciclos de umedecimento e secagem do solo e a atividade biológica interferem na disponibilidade desses micronutrientes (Borkert et al., 2001a). Numa situação em que predominam processos de redução (ex: encharcamento) esses elementos tendem a passar para formas mais solúveis, sendo absorvidos em maiores quantidades pelas plantas.

Solos pobres em matéria orgânica e arenosos são mais propensos às deficiências de micronutrientes, pois, além de não disporem de uma importante fonte que é a matéria orgânica, a lixiviação é facilitada pela falta de cargas elétricas que permitiriam a retenção dos micronutrientes adicionados via adubação. Por outro lado, teores elevados de matéria orgânica também podem levar à deficiência de cátions metálicos (principalmente o Cu) que formam complexos de alta estabilidade com compostos orgânicos.

Interações antagônicas entre nutrientes no solo e na planta são comuns e podem provocar problemas de desbalanço nutricional e deficiência de micronutrientes (Dechen et al., 1991; Borkert et al., 2001a). Altas concentrações de P podem induzir a carência de Zn, comprometendo o crescimento. Níveis elevados de Cu inibem fortemente a absorção de Zn e vice-

versa. O mesmo ocorre na interação Fe-Mn. A absorção de Mo pode ser prejudicada por efeito competitivo do sulfato. Outros possíveis tipos de antagonismo são relatados na literatura, mas não foram ainda investigados em detalhes.

3.3. Disponibilidade de micronutrientes nos solos brasileiros

Grande parte dos solos brasileiros é naturalmente deficiente em micronutrientes, notadamente Zn e B. Mesmo as terras férteis são exauridas quando utilizadas para fins agrícolas, principalmente em sistemas de alta produtividade e uso intensivo do solo. Adicionalmente, tem-se como agravantes, o aumento do uso de fertilizantes concentrados que não contém micronutrientes como impurezas, a redução da disponibilidade de micronutrientes catiônicos decorrente de calagem inadequada e a maior exportação de nutrientes devido ao uso de variedades mais produtivas e ao emprego de técnicas agronômicas que proporcionam produtividades cada vez mais elevadas. Por tudo isso, o risco de problemas associados à carência de micronutrientes é grande quando não se atenta para a sua correta reposição. Na Tabela 1 são sumarizadas as principais condições que favorecem a ocorrência de deficiências.

Apesar do uso crescente, a análise de solo para micronutrientes possui limitações. Tem-se problemas na avaliação da disponibilidade devido à dificuldade de detecção dos baixos teores presentes nos solos, à dinâmica complexa dos elementos e às freqüentes contaminações na amostragem ou mesmo nos procedimentos de análise. As determinações mais comuns envolvem o uso de soluções ácidas ou de agentes complexantes para extração de micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn), enquanto o B é quantificado após extração com água quente. A análise das folhas das culturas, em complementação à análise do solo, é de grande utilidade e permite melhorar bastante o monitoramento das reservas de micronutrientes no solo.

Provavelmente em função do reduzido número de estudos realizados até o momento, em geral, há certa semelhança entre os níveis críticos de micronutrientes no solo propostos para regiões distintas (Tabela 2). Todavia, variações de níveis críticos no solo e na planta têm sido detectadas para diferentes locais e culturas (Fageria, 1998; Borkert et al., 2001b; Embrapa, 2001; Hitsuda et al., 2001; Borkert et al., 2002; Sfredo et al., 2002; Pereira et al., 2002a,b), sugerindo a conveniência de estudos específicos, considerando as condições de solo, clima, cultivares, manejo e produtividade. Essa carência de pesquisa é notada principalmente quando os técnicos buscam maior refinamento na avaliação nutricional e adubação das culturas em sistemas de alta produtividade.

Tabela1. Condições de maior probabilidade de deficiência de micronutrientes.

MICRONUTRIENTE	CONDIÇÕES QUE FAVORECEM DEFICIÊNCIA*
B	solos arenosos; alta pluviosidade; veranicos e estação seca; baixos teores de matéria orgânica; pH fora da faixa de 5,0 a 7,0.
Cu	solos orgânicos; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5; níveis elevados de outros íons metálicos como Fe, Al, e Mn; doses elevadas de N.
Fe	calagem excessiva (pH elevado); solos encharcados; excesso de outros metais como Mo, Cu, e Mn; excesso de P; pH fora da faixa de 4,0 a 6,0.
Mn	calagem excessiva (pH elevado), solos arenosos; solos orgânicos; excesso de Ca, Mg, e K; níveis elevados de Fe, Cu e Zn; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5.
Zn	calagem excessiva (pH elevado); altos níveis de P; matéria orgânica elevada; solos arenosos (baixa CTC); pH fora da faixa de 5,0 a 6,5.
Mo	solos ácidos (pH menor que 5,5); solos arenosos; doses pesadas de sulfatos; níveis elevados de Cu.

Fonte: Adaptado de Araújo (1998) e Lopes (1999).

*Itens em negrito representam as condições mais comumente associadas aos problemas de deficiência no Brasil.

Tabela2. Faixas de disponibilidade consideradas adequadas na interpretação de análise de solo para micronutrientes, segundo diferentes fontes de consula.

	B ^{5, 6}	Cu ⁷	Fe	Mn ⁸	Zn ⁹
Raij et al. (1996) ¹	0,21 - 0,60	0,3 - 0,8	5 - 12	1,3 - 5,0	0,6 - 1,2
Alvarez V. et al. (1999) ²	0,36 - 0,60	0,8 - 1,2	19 - 30	6 - 8	1,0 - 1,5
Galvão (1999) ²	0,3 - 0,5	0,5 - 0,8	-	2 - 5	1,1 - 1,6
Sousa e Lobato (1998) ²	0,5	0,5	-	5	1
Comissão... (1994) ³	0,1 - 0,3	0,2 - 0,5			0,2 - 0,5
Amplitudes de valores ⁴	0,3 - 0,6	0,5 - 1,2	19 - 30	2 - 8	1,0 - 1,6

¹ Extrator DTPA para Cu, Fe, Mn, e Zn. Estado de São Paulo.

² Extrator Mehlich 1 para Cu, Fe, Mn e Zn. Estado de Minas Gerais e região do Cerrado.

³ Extrator HC1 0,1 mol L⁻¹ para Cu e Zn. Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

⁴ Dados referentes ao extrator Mehlich 1.

⁵ Extração com água quente.

⁶ Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 0,13 mg dm⁻³ (Pereira et al., 2002a).

⁷ Faixa adequada para a soja no Mato Grosso seria de 1,6 - 2,4 mg dm⁻³ (Sfreda et al., 2002).

⁸ Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 12,5 mg dm⁻³ (Pereira et al., 2002b).

⁹ Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 2,5 mg dm⁻³ (Borkert et al., 2002).

4. DEFICIÊNCIAS DE MICRONUTRIENTES EM CULTURAS NO BRASIL

Desde a década de 1950 vem sendo relatada ampla ocorrência de deficiências de micronutrientes no país, especialmente de Zn e B, com frequência variável conforme a região e dependendo da espécie cultivada (Malavolta, 1994; Lopes & Abreu, 2000). Na região do Cerrado, a baixa disponibilidade de micronutrientes parece ser mais crítica. Segundo Galvão (1998), de modo geral, as respostas mais marcantes e freqüentes em solos de cerrado são para Zn (arroz, milho, soja, café), B (algodão, soja, trigo) e Cu (soja, trigo). Nos últimos anos, também têm sido detectadas muitas áreas com deficiência de Mn induzida por manejo inadequado da calagem, ou seja, aplicação de calcário em excesso ou má incorporação do produto no solo. A falta dos outros micronutrientes é menos comum, sendo observada em casos isolados, para condições específicas de solo, cultura e manejo.

É preciso ressaltar, entretanto, que há grande discrepância em relação ao nível de detalhamento de tais informações para diferentes culturas. Para algumas dessas culturas dispõe-se de razoável conhecimento, respaldado por resultados de pesquisa, enquanto que outras não foram ainda suficientemente estudadas quanto aos requerimentos em micronutrientes.

5. PRINCIPAIS FONTES DE MICRONUTRIENTES

São muito variadas as opções de produtos empregados como fontes de micronutrientes. Tais fontes diferem bastante quanto ao estado físico, reatividade química, custo e biodisponibilidade. As mais comuns são os produtos inorgânicos (óxidos, carbonatos e sais metálicos como os sulfatos, cloretos e nitratos), os quelatos sintéticos obtidos pela reação de sais metálicos e um agente quelatizante (ex: a partir de reação de um sal de Fe com o ácido etilenodiaminotetraacético – EDTA, obtém-se o Fe-EDTA), as “fritas” (“Fritted Trace Elements” – FTE, materiais vítreos moídos) e os complexos orgânicos resultantes da reação de sais metálicos com subprodutos de indústrias como a de celulose (Lopes, 1999; Mortvedt, 2001). Em geral, as fontes solúveis (sais e quelatos) são mais caras, por unidade de nutriente, que as insolúveis (óxidos e fritas) (Volkweiss, 1991).

Em virtude das baixas dosagens empregadas, a aplicação uniforme nas lavouras pode constituir um problema para o manejo da adubação com micronutrientes. Assim, o fornecimento de micronutrientes agregados aos formulados NPK na adubação de base tem-se tornado habitual. Na maioria dos formulados, a concentração de cada micronutriente não ultrapassa 0,5%, mas a distribuição na lavoura é bastante facilitada (Volkweiss, 1991). A dificuldade é encontrar fertilizantes ensacados contendo o micronutriente necessário na quantidade requerida para diferentes condições de cultura e solo. Os micronutrientes podem ser incorporados ao formulado ou revestir os grânulos de NPK. Contudo, uma fonte solúvel pode ser convertida a insolúvel por reações durante a fabricação de misturas e vice-versa. Sais solúveis de Cu, Fe, Mn e Zn tendem a se tornar insolúveis quando incorporados a fosfatos de amônio e ou fertilizantes amoniados mistos (Lopes, 1991). Apesar do uso generalizado, faltam maiores estudos sobre fontes misturadas ou incorporadas ao NPK.

Outros insumos agrícolas como calcário, gesso e fertilizantes fosfatados apresentam teores razoáveis de micronutrientes como contaminantes. Normalmente esses produtos são utilizados em larga escala e, assim, quantidades expressivas de micronutrientes podem ser adicionadas ao solo, indiretamente. Na agricultura brasileira, em 2003, somente as aplicações de calcário e fertilizantes fosfatados adicionaram o correspondente a cerca de 50% de B, 49% de Cu, 161% de Mn, 46% de Mo e 42% de Zn em relação às quantidades desses micronutrientes que foram exportadas nos produtos colhidos (Yamada, 2004). Alguns fungicidas também possuem micronutrientes (Cu, Zn ou Mn) em sua composição e, portanto, não deixam de ser fontes desses elementos. As quantidades de Cu ministradas nas aplicações para controle fitossanitário acabam por atender a demanda das culturas em termos nutricionais (Marschner, 1995; Pülschen, 2004).

É importante destacar que muitas matérias-primas utilizadas para a produção de fertilizantes com micronutrientes são subprodutos da indústria metalúrgica e podem apresentar teores variáveis de metais pesados como contaminantes (cádmio, por exemplo). Portanto, existe a preocupação com o potencial de acumulação desses elementos químicos no solo e sua transferência para os produtos colhidos. Todavia, tais riscos são minimizados devido às reduzidas quantidades desses fertilizantes necessárias ao adequado desenvolvimento das culturas (Lopes, 1999; Mortvedt, 2001).

6. ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES

A preocupação principal do agricultor sempre foi a manutenção da fertilidade do solo por meio de adubações para o fornecimento de N, P e K, nutrientes que sempre proporcionam alta resposta em produção. No entanto, diversos estudos evidenciam a obtenção de consideráveis ganhos de produtividade devido à aplicação de micronutrientes. Nesse contexto, especialmente em sistemas de produção mais tecnificados, consolidou-se a prática de fertilização com Zn, B, Cu e outros micronutrientes de maneira generalizada, como forma de garantir produtividades satisfatórias das diversas culturas. Reflexo disso é que, nos últimos anos, o consumo de micronutrientes na agricultura brasileira aumentou cerca de 13,3 vezes, enquanto o incremento no uso de macronutrientes no mesmo período foi de 2,1 vezes (Yamada, 2004). Essa situação propiciou abertura para um novo mercado e para o desenvolvimento de formulações e produtos que variam de fontes simples, comercializadas separadamente, até verdadeiros coquetéis de fontes e misturas com outras substâncias tidas como melhoradoras do aproveitamento de nutrientes ou promotoras do crescimento das plantas.

6.1. Recomendações gerais de manejo e eficiência da adubação

Lopes (1986) destaca a existência de efeitos positivos, nulos e detrimental da aplicação de micronutrientes, havendo, em termos de respostas, grande especificidade local em relação a solos e culturas. Esse aspecto é indicativo de que o estabelecimento de recomendações abrangentes e padronizadas não seria a estratégia ideal quando se visa ao fornecimento racional de micronutrientes.

Em geral, para a obtenção de bons resultados, o manejo da adubação com micronutrientes deve ser algo mais refinado que aquele adotado para os macronutrientes, em virtude da

maior complexidade inerente ao comportamento dos primeiros no solo e na planta. A análise de solo é a referência para o dimensionamento da aplicação de micronutrientes em áreas que nunca foram adubadas. A partir de então, a conveniência de uma adubação complementar deve ser confirmada por meio da análise foliar (Sousa, 1998).

A análise de solo tem a vantagem de permitir a avaliação da fertilidade do solo e a adoção de medidas corretivas, previamente ao plantio da lavoura. Entretanto, não é conveniente manejar a adubação somente com base na análise do solo, que algumas vezes leva a interpretações e recomendações duvidosas. Em virtude dos aspectos já comentados, a análise de solo para micronutrientes está sujeita a interferências e sua interpretação ainda não foi satisfatoriamente aperfeiçoada. No caso do zinco, por exemplo, o nível crítico para o milho é de 1 mg dm⁻³ quando o pH está em torno de 6,0 e aumenta com a elevação do pH (Galvão, 2002). O nível crítico de Cu também costuma ser maior em solos com altos conteúdos de matéria orgânica. Dessa forma, a análise das folhas da cultura é altamente recomendável visando ao diagnóstico mais preciso do estado nutricional da lavoura, o qual, em última instância, reflete a eficiência no manejo da adubação.

Em virtude da falta de informações pormenorizadas para condições locais, a chamada “adubação de segurança” é ainda muito difundida. Para a região do Cerrado, por exemplo, a adubação de segurança consiste da aplicação a lanço e incorporação, a cada quatro ou cinco anos, de doses que variam de 4,0-6,0 kg de Zn; 3,0-6,0 kg de Mn; 0,5-2,0 kg de B; 1,0-4,0 kg de Cu; e 0,2-0,4 kg de Mo por hectare. Normalmente, o efeito residual dessa adubação é suficiente para quatro ou mais cultivos, sobretudo em relação ao Cu e Zn (Comissão..., 1988; Sousa, 1998; Galvão, 2002).

Embora para culturas perenes a adubação foliar realizada junto com a aplicação de defensivos seja prática rotineira, não há dúvida que, para culturas anuais, a melhor forma de

6.

A
D
U
B
A
Ç
Ã
O

C
O
M

M
I
C
R
O
N
U
T
R
I
E
N
T
E
S

aplicação de micronutrientes é via solo. Neste caso, a adubação foliar só é recomendada quando não foi feita aplicação no solo ou esta foi insuficiente (Galvão, 1998). Assim sendo, preferencialmente, a adubação foliar deve ser complementar à via solo. Seu efeito residual é pequeno ou nulo. Segundo Lopes (1999), pulverizações foliares de Zn em milho, Mn na soja e Mo em feijão podem dar bons resultados em relação à não aplicação dos referidos micronutrientes. As adubações foliares feitas juntamente com os tratamentos fitossanitários são mais compensatórias em termos de custo (Volkweiss, 1991). Os micronutrientes podem ainda ser fornecidos via semente (principalmente Co e Mo) ou por imersão das raízes de mudas em soluções contendo os nutrientes desejados.

Não é tarefa simples a análise comparativa dos resultados obtidos em diferentes experimentos testando fontes, doses e formas de aplicação de micronutrientes. Muitos dos trabalhos publicados não descrevem o histórico de área (nível inicial de disponibilidade e aplicações anteriores de micronutrientes, uso de defensivos com micronutrientes na sua composição, etc), as características dos fertilizantes, os procedimentos de aplicação e outras informações que podem influenciar muito a ocorrência e a magnitude das respostas. Dessa forma, há resultados controversos, dificultando conclusões consistentes sobre a eficiência da adubação com micronutrientes.

7. PROBLEMAS E PERSPECTIVAS DO USO DE MICRONUTRIENTES

A dificuldade de se definir doses precisas para diferentes condições ambientais e de manejo é, provavelmente, o aspecto mais limitante à utilização de micronutrientes de maneira eficiente. Os sistemas de diagnose nutricional e as recomendações de manejo não foram ainda suficientemente aprimorados, por isso, são bastante restritas as possibilidades de variar as dosagens na adubação. Ademais, a estreita amplitude entre os níveis de deficiência e de toxidez de micronutrientes é um outro fator que torna arriscado tal procedimento.

Normalmente, os níveis críticos de micronutrientes na planta são distintos conforme a espécie cultivada e o próprio tipo de solo. Alguns estados possuem valores de referência para interpretação de análise foliar, definidos a partir de experimentação local ou, muitas vezes, por extrapolação de dados obtidos em outras regiões ou no exterior. A soja está entre as plantas mais estudadas no Brasil. Todavia, como pode ser observado pelas informações apresentadas na Tabela 3, muitos valores de níveis críticos foliares de micronutrientes propostos nas publicações nacionais são similares aos que haviam sido indicados por Peck (1979) com base em resultados de pesquisa estrangeira. Essa situação pode ser interpretada como um indicativo de que, a despeito dos esforços de pesquisa, ainda não houve nítido progresso na definição dos níveis críticos para essa cultura.

Muitas vezes, a adubação com micronutrientes é executada sem se atentar para a sua real necessidade. Principalmente em áreas cultivadas há mais tempo e que já apresentam certa reserva de micronutrientes devido ao efeito residual de adubações anteriores, isso pode significar custos adicionais e desperdício de insumos. Como já mencionado, em várias regiões, tornou-se tradicional a aplicação sistemática de Zn e B, micronutrientes cuja resposta à aplicação é freqüente para um grande número de culturas. Em função disso, muitas áreas hoje apresentam

Tabela3. Faixas de teores adequados de micronutrientes para interpretação de análise foliar da soja, segundo diferentes fontes de consulta.

	B	Cu ³	Fe	Mn	Mo	Zn
Ambrosano et al. (1996) ^{1,2}	21 - 55	10 - 30	50 - 350	20 - 100	1 - 5	20 - 50
Embrapa (1996) ^{1,2}	21 - 51	10 - 40	51 - 350	21 - 100	1 - 5	21 - 50
Malavolta et al. (1997) ¹	21 - 55	10 - 30	51 - 350	21 - 100	-	21 - 50
Martinez et al. (1999) ¹	20	10	50	20	-	20
Galvão (1999)	21	4	-	20	-	20
Consultor O. C. Martins citado por Vitti e Trevisan (2000) ²	44	10	128	62	-	45
Fundação MS citada por Vitti e Trevisan (2000) ²	64	8	155	71	-	51
Peck (1979) ¹	21 - 55	10 - 30	51 - 350	21 - 100	1 - 5	21 - 50
Amplitude de valores	20 - 64	4 - 40	50 - 350	20 - 100	1 - 5	20 - 50

¹ Nível crítico é o limite inferior da faixa.

² Nível crítico para produtividade acima de 60 sc ha⁻¹.

³ Sugestão de faixa adequada de 6 - 14 mg kg⁻¹ (Embrapa, 2001).

disponibilidade adequada, ou mesmo alta, de Zn. Nessa condição, a adubação continuada com esse micronutriente pode ser desnecessária e cara (Volkweiss, 1991).

A enorme diversidade de produtos comercializados como fonte de micronutrientes, muitos deles, coquetéis de vários nutrientes e outras substâncias para uso via solo, folha ou semente, são complicadores para a definição de recomendações de adubação. Esse fato é agravado pela existência de falhas na legislação que trata das garantias dos fertilizantes. Em alguns casos, obtém-se ganho de produtividade, mas é difícil detectar qual nutriente propiciou tal ganho. Silva et al. (2001), trabalhando com vários produtos comerciais contendo macro e micronutrientes e aminoácidos, não obtiveram respostas para aplicações foliares na soja em Uberlândia-MG. Num estudo semelhante, Sfredo et al. (1996) detectaram resposta em produtividade até mesmo para a aplicação de água pura, com 19% de ganho em relação à testemunha, enquanto que ganhos de 20 a 36% foram obtidos com diversos produtos comerciais multinutrientes. Esses autores associaram o incremento de produção à presença de Mo nos produtos.

É preciso considerar que, o que é estatisticamente diferente nos experimentos não significa, necessariamente, que seja vantajoso para o agricultor e vice-versa. Muitas vezes, os ganhos em produtividade pela adubação com micronutrientes são discretos. Por isso, a relação benefício/custo, no contexto da propriedade agrícola, é que dará indicativo da viabilidade dos resultados experimentais. A falta de análise econômica de experimentos costuma ser uma grande falha nos trabalhos com micronutrientes.

A grande maioria das pesquisas realizadas no Brasil até o momento foram voltadas para sistemas de cultivo com preparo convencional do solo. Nessas condições, a mobilização periódica do solo permite a incorporação e homogeneização dos corretivos e fertilizantes em todo o volume da camada arável, independentemente da forma como foram aplicados.

O preparo do solo tende a anular as variações na dinâmica e disponibilidade de micronutrientes decorrentes do modo de distribuição dos adubos (localizado ou a lanço, incorporado ou não). É de se esperar que o preparo periódico também favoreça as reações de solubilização, em função da diluição das fontes na camada arável e do maior contato com as partículas do solo. A introdução de sistemas com menor mobilização do solo, como o plantio direto, é um fator que certamente deve influenciar o manejo da adubação com micronutrientes. A aplicação de nutrientes de forma balanceada é um dos maiores desafios para os que trabalham com plantio direto (Spehar e Landers, 1997). A despeito de sua importância, esse novo condicionante não tem sido devidamente considerado nas ações de pesquisa.

Um outro aspecto que tem merecido destaque é que, embora seja essencial para as plantas, o excesso de certos micronutrientes, como Zn e Cu, é motivo de preocupação quanto ao problema de contaminação ambiental, haja vista que esses elementos enquadram-se dentre os chamados metais pesados (Nellessen & Fletcher, 1993, Marques et al., 2002) e podem acumular-se no solo no decorrer de aplicações sucessivas. Nesse aspecto, é preciso considerar que aportes não previstos desses elementos ocorrem quando da aplicação de fertilizantes, corretivos e defensivos.

8. NECESSIDADE DE PESQUISA

A maioria dos trabalhos de revisão abordando a adubação com micronutrientes no Brasil ressalta a necessidade de maiores esforços direcionados para a pesquisa concernente ao tema. O pequeno número de trabalhos em comparação ao que se publica sobre os macronutrientes, é uma evidência contundente de que os estudos envolvendo micronutrientes têm sido relegados. Assim, muito ainda está por ser feito. Há necessidade de aprimoramento das informações referentes às áreas cultivadas há décadas, assim como de pesquisa de base sobre disponibilidade e resposta a micronutrientes em áreas e culturas recém-incorporadas à exploração agrícola.

As prioridades de estudos ainda são a calibração de análises de solo e folhas, eficiência de fontes, doses e modos de aplicação e efeito residual de micronutrientes. É importante que sejam feitas avaliações econômicas dos resultados. Falta aprimoramento dos limites de interpretação de análise de solos e plantas, considerando-se as diferenças de comportamento das culturas (Lopes, 1991; Malavolta et al., 1991; Raij e Bataglia, 1991; Volkweiss, 1991). O ideal é que estudos envolvendo todas essas questões fossem conduzidos de forma difusa, no maior número possível de microrregiões, de modo a produzir informações e tecnologias adequadas para condições locais. Tem-se comprovado que a extrapolação de informações de manejo de micronutrientes para áreas de grande abrangência geográfica nem sempre contribui para aumentar a eficiência no uso de insumos ou a produtividade das culturas.

Apenas mais recentemente tem-se atentado para a possibilidade de seleção, melhoramento ou modificação genética visando à obtenção de genótipos mais eficientes na absorção e, ou, utilização de micronutrientes. Quase sempre, os programas de melhoramento tradicionais trabalham a seleção em condições edáficas otimizadas, descartando a chance de se obter materiais mais adaptados ao crescimento em ambientes com

suprimento subótimo ou deficitário de micronutrientes. A existência de variabilidade genética, em termos de resposta diferencial de cultivares ao fornecimento de micronutrientes, já foi evidenciada para culturas como a soja (Broch e Fernandes, 1999) e o milho (Galvão, 1986).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.
- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHASH.A.A. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.). Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p.189-191. (Boletim técnico, 100).
- ARAÚJO, M.A.G. Adubação com nutrientes secundários e micronutrientes em plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1, 1998. Rio Verde. Resumos de palestras... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998, p.5-12.
- BATAGLIA, O.C. Micronutrientes no solo: ferro. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.159-172.
- BORKERT, C.M. Micronutrientes no solo: manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.173-190.
- BORKERT, C.M.; HITSUDA, K.; CASTRO, C.; SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; PEREIRA, J.E.; YAMADA, T. Adubação da soja com macro e micronutrientes e manejo da fertilidade do solo em rotação de culturas em solos do Brasil. In: HOFFMANN-CAMPO; C.B.; SARAIVA, O.F. (org.). Resultados de pesquisa da Embrapa Soja – 2000: solos. Londrina: Embrapa Soja, 2001b. p.23-35. (Documentos, 162).
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A.; BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Eds.) Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001a. p.151-185.

- BORKERT, C.M.; PEREIRA, L.R.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de zinco no solo do estado do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, São Pedro, 2002. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.126-127. (Documentos, 185).
- BROCH, D.L.; FERNANDES, C.H. Resposta de diferentes cultivares de soja a aplicação de micronutrientes via semente. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 21, 1999, Dourados. Resumos... Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/Embrapa Soja, 1999. p.215-216. (Documentos, 7).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE GOIÁS. Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás: 5a aproximação. Goiânia:UFG/Emgopa, 1988. 101p. (Informe Técnico, 1).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3 ed. Passo Fundo: Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC, SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.
- DANTAS, J.P. Micronutrientes no solo: boro. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.113-130.
- DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Mecanismos de absorção e translocação de micronutrientes. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.79-97.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil: 1996/97. Londrina: CNPSo, 1996. 164p. (Documentos, 96).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2001/2002. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 267p. (Documentos, 167)
- FAGERIA, N.K. Manejo da calagem e adubação do arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L.F. (eds.). Tecnologia para o arroz de terras altas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. p.67-78.

- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Micronutrientes no solo: cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.131-157.
- FONTES, R.L.F.; ABREU, C.A.; ABREU, M.F. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Eds.) Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.187-212.
- GALRÃO, E.Z. Correção da deficiência de micronutrientes em solos de cerrado para culturas anuais. Brasília: Embrapa Cerrados, 1999. 2p. (Guia Técnico do Produtor Rural, 29).
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: GOEDERT, W.J. (ed.) Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. p.237-259.
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SIMPOSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1997, Dourados. Anais... Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. p.76-80. (Embrapa-CPAO. Documentos, 22).
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p.185-226.
- HITSUDA, K.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D. Capacidade de suprimento de enxofre e micronutrientes em dois solos de cerrado do nordeste do Brasil - diagnose nutricional de enxofre na soja. REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23, 2001, Londrina. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2001. p.93-94. (Embrapa Soja. Documentos, 157).
- LOPES, A.S. Micronutrientes nos solos e culturas brasileiras. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES: Situação atual e perspectivas na agricultura. São Paulo, 1984. Anais... São Paulo: Manah, 1986. p.110-141.
- LOPES, A.S. Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônoma. São Paulo: ANDA, 1999. 72p. (Boletim Técnico, 8)

- LOPES, A.S. Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.357-390.
- LOPES, A.S.; ABREU, C.A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, v.1, p.265-298, 2000.
- MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 1994. 153p.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A.E.; PAULINO, V.T. Micronutrientes – uma visão geral. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.1-33.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; CURTI, N. & SCHULZE, D.G. Trace elements in Cerrado soils. Tópicos em Ciência do Solo, 2:103-142, 2002.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnóstico foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.143-168.
- MORTVEDT, J.J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes. Presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Eds.) Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.237-253.
- NELLESSEN, J.E. & FLETCHER, J.S. Assessment of published literature on the uptake, accumulation, and translocation of heavy metals by vascular plants. Chemosphere, 27:1669-1680, 1993.

- PECK, T.R: Plant analysis for production agriculture. In: SOIL PLANT ANALYST'S WORKSHOP, 7, Bridgetown, 1979. Proceedings..., 1979. p.1-45.
- PEREIRA, L.R.; BORKERT, C.M.; CASTRO, C.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR., A.; OLIVEIRA NETO, W. Calibração de boro para a cultura da soja em solo do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, São Pedro, 2002. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2002a. p.123- 124. (Documentos, 185).
- PEREIRA, L.R.; BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de manganês para a cultura da soja em solo do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, São Pedro, 2002. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2002b. p.122-123.(Documentos, 185).
- PÜLSCHEN, L. Application of micronutrients: pros e cons of the different application strategies. In: IFA INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MICRONUTRIENTS, New Delhi, 2004. Annals... Paris: IFA, 2004. Disponível em: http://www.fertilizer.org/ifa/news/2004_3.asp (Acesso em 21/06/2004).
- RAIJ, B. van. Geoquímica de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.99-111.
- RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.333-355.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p.8-13.
- SANTOS, O.S. Micronutrientes no solo: molibdênio. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.191-217.
- SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; CASTRO, C. Efeito de micronutrientes sobre a produção de soja em três solos do Estado do Paraná. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.75, p.2-3, 1996.

- SFREDO, G.J.; PEREIRA, L.R.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de cobre no solo do Mato Grosso para a cultura da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, São Pedro, 2002. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.120-121. (Documentos, 185).
- SILVA, L.A.; HAMAWAKI, O.T.; SOUZA, M.P. Resposta da soja à adubação foliar com fertilizantes a base de macronutrientes, micronutrientes e aminoácidos. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23, Londrina, 2001. Resumos... Londrina: Embrapa Soja. 2001. p.86. (Documentos, 157).
- SOUSA, D.M.G. de. Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BASICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1, 1998, Rio Verde. Resumos de palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p.72-77.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Soja: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 30p. (Plano de Safra 1998/99).
- SOUZA, E.C.A.; FERREIRA, M.E. Micronutrientes no solo: zinco. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.219-242.
- SPEHAR, C.R.; LANDERS, J. Características, limitações e futuro do plantio direto nos cerrados. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997. p.127-131.
- VITTI, G.C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.90, 2000. 16p. (Encarte técnico).
- VOLKWEISS, S.J. Fontes e métodos de aplicação. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.391-412.
- YAMADA, T. Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.105, p.1-12, 2004. (Encarte Técnico)

COLETÂNEA

Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura: uma Abordagem Mínero-Química-Metalúrgica

Editores: F.E. Lapido Loureiro & Ricardo Melamed

- (V) Importância e Função dos Fertilizantes numa Agricultura Sustentável - F. E. Lapido Loureiro (CETEM / MCT) & Marisa Nascimento (COPPE / UFRJ)
- (V) Calcário Agrícola no Brasil - Samir Nahass (MME) & Joaquim Severino (UFPR)
- (V) Implications of soil chemical interections on the management of fertilizers in oxisols – Ricardo Melamed (CETEM / MCT)
- (V) Impactos Radiológicos da Indústria do Fosfato - Horst Fernandes, Mônica Aquino Pires do Rio & Mariza Franklin (IRD / CNEN)
- (V) Fertilizantes e Sustentabilidade. O Potássio na Agricultura Brasileira - Fontes e Rotas Alternativas - Marisa Nascimento (COPPE / UFRJ) & F. E. Lapido Loureiro (CETEM / MCT)
- (V) Crítica ao Modelo Brasileiro de Fertilizantes Fosfatados de Alta Solubilidade - A. Pinto Chaves & C. A. Ikeda Oba - EP/USP
- (V) Fabricação de um Fertilizante Organo-Fosfatado - C. A. Ikeda Oba - EP/USP
- (X) Enxofre - Ontem Indispensável à Guerra, Hoje Imprescindível à Paz. Sua Importância na Indústria dos Fertilizantes e na Agricultura - Gildo de Araújo S. C. de Albuquerque (CETEM / MCT)
- (V) Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas – Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados
- (+) Rotas Alternativas para Produção de Fertilizantes Fosfatados - F. E. Lapido Loureiro, Cristiano H. de Oliveira & Ramon Veras de Araújo (CETEM / MCT)
- (+) Processo de Produção de Fertilizantes Fosfatados com

Redução de Impactos Ambientais - Estudo de Caso - Fernando Pereira, Essaid Bilal, V. Bourgier (EMSE / França), F.E. Lapidou Loureiro (CETEM / MCT) & D. Grassi (INTI / Argentina)

- (+) As Terras Raras nos Minérios Fosfatados e sua Recuperação como Subproduto. Estudo de Caso - Fernando Pereira, Essaid Bilal, V. Bourgier (EMSE / França), F.E. Lapidou Loureiro (CETEM / MCT) & D. Grassi (INTI / Argentina)
- (?) Zeólitas: Função e Importância na Melhoria da Capacitação dos Solos Agrícolas - Marisa Bezerra de Melo Monte & Ana Cristina Pereira Duarte - CETEM/MCT
- (?) Nitrogênio Fertilizante – Importância e Condicionantes. Panorâmica Mundial e Particularidades Brasileiras - L.A. Fonseca de Barros - FOSFÉRTIL

Situação em abril de 2005:

(V) - Edição eletrônica em => <http://www.cetem.gov.br/publicações/series/>

(#) - Em fase de editoração

(X) - Entregue ao Conselho Editorial

(+) - Em fase de revisão pelos autores

(?) - Sem definição