

NÍVEIS CRÍTICOS FOLIARES DE BORO, COBRE, MANGANÊS E ZINCO EM MILHO

LEAF BORON, COPPER, MANGANESE AND ZINC CRITICAL LEVELS IN MAIZE

Uberlando Tiburtino LEITE¹; Boanerges Freire de AQUINO¹; Raimundo Nonato Carvalho ROCHA¹; Jaeverson da SILVA¹

RESUMO: O presente estudo, realizado em casa de vegetação, usando um solo NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Distrófico, objetivou determinar o efeito de doses crescentes e níveis críticos foliares de B, Cu, Mn e Zn no milho sobre variáveis de absorção e produção da cultura. Os experimentos envolveram os seguintes tratamentos: seis doses de B (0, 0,4, 0,8, 1,6, 3,2 e 6,4 mg kg⁻¹), seis de Cu (0,0, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0 e 16,0 mg kg⁻¹), sete de Mn (0,0, 3,0, 6,0, 12,0, 24,0, 32,0 e 48,0 mg kg⁻¹) e sete de Zn (0,0, 2,0, 4,0, 8,0, 16,0, 24,0 e 32,0 mg kg⁻¹), com três repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Cada parcela foi constituída por um vaso com 4 dm³ de solo, com três plantas. As adubações com B, Cu, Mn e Zn incrementaram significativamente a produção de matéria seca da parte aérea do milho, bem como os seus teores e conteúdos na folha. Determinaram-se como níveis críticos foliares, relacionados com 90% da produção máxima de matéria seca, respectivamente, os teores de 39,01, 1,14, 27,20 e 34,07 mg dm⁻³ de B, Cu, Mn e Zn. A faixa entre deficiência e toxicidade de B na planta de milho (cv. BR 106) não foi tão estreita - 39,01 a 188,72 mg kg⁻¹, como tem sido comumente reportado.

UNITERMOS: *Zea mays*, Micronutrientes, Teores foliares.

INTRODUÇÃO

Os níveis críticos foliares dos nutrientes consistem em informações fundamentais para a avaliação do estado nutricional de uma cultura, além de auxiliarem nas recomendações de adubação e/ou correção de solos deficientes destes.

A disponibilidade de micronutrientes para as plantas depende, entre outros fatores, da textura, matéria orgânica, e, principalmente, do pH do solo. O aumento do pH do solo reduz a disponibilidade do Cu, Fe, Mn e Zn (MARSCHNER, 1995). A maior disponibilidade de B ocorre na faixa de pH de 5,0 a 7,0. A sua deficiência é comum em solos arenosos de zonas com alta pluviosidade. A deficiência de Cu ocorre com maior intensidade em solos orgânicos, dada a formação de complexos estáveis. Nos solos brasileiros, as deficiências de B e de Zn são as de maiores ocorrências, tanto em culturas anuais como em perenes (SFREDO et al., 1997), sendo mais raros problemas nutricionais envolvendo o Mn e o Cu.

A importância do B, em geral, decorre da sua participação em vários processos fisiológicos na planta,

como transporte de açúcares, metabolismo de carboidratos, de RNA e de AIA, metabolismo fenólico, síntese da parede celular e integridade da membrana (MARTENS; WESTERMANN, 1991; YAMADA, 2000; HO, 2002). Porém, segundo Cakmak; Römheld (1997), apenas essas duas últimas estão bem definidas. A sua mobilidade na planta é bastante reduzida, contudo é redistribuído entre os diferentes órgãos através do floema (BROWN; SHELP, 1997), principalmente naquelas que produzem polióis que complexam o B, tornando-o móvel no floema (YAMADA, 2000). Malavolta et al. (1997) definem como faixa de suficiência de B para o milho, concentrações na folha variando de 15 a 20 mg kg⁻¹, ao passo que Lopes (1998) considera essa faixa como sendo de 5 a 25 mg kg⁻¹. A tolerância relativa das plantas à toxidez provocada pelo excesso de B parece depender da velocidade de transporte do elemento das raízes para a parte aérea (DELGADO et al., 1994).

Os problemas de toxidez de Mn nos solos brasileiros são mais comuns que os de deficiência, fazendo com que o conhecimento da sua disponibilidade no solo e para a planta tenha importância fundamental para o seu

¹ Mestrando, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa.

Received: 29/07/02 Accept: 27/11/02

correto manejo. A redistribuição do Mn na planta é limitada, de modo que os sintomas de deficiência surgem em folhas novas, mesmo que as folhas velhas contenham altas concentrações desse elemento (PEREIRA et al., 2001). O aumento da sua disponibilidade no solo implica em aumento do seu teor na parte aérea da planta, que, segundo Dechen et al. (1991), varia de 10 a 20 mg kg⁻¹. A toxicidade de Mn reduz a produção de clorofila e a capacidade fotossintética, comprometendo o crescimento das raízes e a produção de matéria seca total (SMITH et al., 1983). Para o milho, ainda não foi determinado, com precisão, o nível foliar tóxico desse micronutriente.

Quanto ao cobre, o seu teor na planta é normalmente inferior a 10 mg kg⁻¹, podendo variar de 3 a 40 mg kg⁻¹ (PAIS; BENTON JONES, 1997). A absorção ocorre ativamente como Cu²⁺ ou como compostos orgânicos solúveis. A mobilidade na planta é reduzida, podendo, porém, deslocar-se das folhas velhas para as mais novas. Os sintomas de deficiência iniciam-se nos órgãos mais jovens, ao passo que a toxidez manifesta-se principalmente nas raízes, comprometendo a permeabilidade das membranas (SELIGA, 1993). Entretanto, essa toxidez é pouco comum na agricultura.

O zinco é um dos micronutrientes mais estudados no Brasil, onde vários trabalhos conduzidos em casa de vegetação e em campo têm demonstrado que a sua adição promove incrementos significativos à produção das culturas (GALRÃO, 1995; GALRÃO; MESQUITA FILHO, 1981; RITCHEY et al., 1986; SOUZA et al., 1985). Dada a sua mobilidade reduzida na planta, os sintomas de carência são observados primeiramente nas partes mais novas da planta. Contudo, se aplicado via foliar, ele pode ser transportado até os frutos e outras regiões em crescimento, porém em quantidades nem sempre suficientes (SHARMA et al., 1990; WELCH, 1995). Várias pesquisas têm sido desenvolvidas avaliando as respostas do milho ao Zn, sem chegar, no entanto, a um consenso sobre os teores foliares de Zn tóxicos às plantas, diagnosticados visualmente (AMARAL et al., 1996; RITCHEY et al., 1986; GALRÃO, 1994).

O objetivo deste trabalho foi determinar os níveis críticos foliares de B, Cu, Mn e Zn para o milho, bem como determinar os seus efeitos sobre algumas importantes características vegetativas.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação no Centro Nacional de Pesquisa de Agricultura Tropical (EMBRAPA/CNPAT) em Fortaleza (CE), utilizando um NEOSSOLO QUATZARÊNICO Distrófico, textura

arenosa, sob vegetação primitiva de caatinga hiperxerófila, coletado no perímetro irrigado “Nova Russas”, Município de Russas (CE), na camada de 0-20 cm de profundidade.

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2,0 mm de abertura, sendo retiradas subamostras para caracterização química e física, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997), apresentando os seguintes resultados: pH_{H₂O} = 5,8; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 0,6 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,5 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 46,0 mg dm⁻³; P = 2,0 mg dm⁻³; Na⁺ = 6,0 mg dm⁻³; B = 6,9 mg dm⁻³; Cu²⁺ = 0,5 mg dm⁻³; Fe²⁺ = 12,4 mg dm⁻³; Mn²⁺ = 9,2 mg dm⁻³; Zn²⁺ = 1,4 mg dm⁻³; M.O. = 4,8 g kg⁻¹; C.E. = 0,2 dS m⁻¹; areia grossa = 680 g kg⁻¹; areia fina = 230 g kg⁻¹; silte = 30 g kg⁻¹; argila = 60 g kg⁻¹;

Após a secagem e peneiramento, 4,0 dm³ de solo foram acondicionados em vasos com capacidade para 5 dm³, constituindo a unidade experimental.

Foram realizados quatro ensaios, um para cada micronutriente. O delineamento usado foi o inteiramente casualizado, com três repetições e seis tratamentos para boro e cobre, e sete tratamentos para manganês e zinco. Foram utilizadas seis doses de B (0,0; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2 e 6,4 mg kg⁻¹), seis de Cu (0,0, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0 e 16,0 mg kg⁻¹), sete de Mn (0,0, 3,0, 6,0, 12,0, 24,0, 32,0 e 48,0 mg kg⁻¹) e sete de Zn (0,0, 2,0, 4,0, 8,0, 16,0, 24,0 e 32,0 mg kg⁻¹). Utilizaram-se bórax (Na₂B₄O₇·10H₂O), sulfato de cobre (CuSO₄·5H₂O), sulfato de manganês (MnSO₄·H₂O) e sulfato de zinco (ZnSO₄·7H₂O) puros, como fontes de B, Cu, Mn e Zn, respectivamente, aplicados em soluções separadas.

Como adubação básica, foram aplicados os seguintes nutrientes em mg dm⁻³: 150 de N; 150 de P, 100 de K, 3,75 de Fe, 0,25 de Mo, 0,75 de Cu, 2,5 de Mn e 3,0 de Zn. As seguintes fontes foram utilizadas na adubação básica: (NH₄)₂SO₄ e CO(NH₂)₂, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, KCl, FeSO₄·7H₂O com EDTA, Na₂MoO₄·2H₂O, CuSO₄·5H₂O, MnSO₄·3H₂O, ZnSO₄·7H₂O, respectivamente. Utilizaram-se como corretivos o CaCO₃ e o MgCO₃ P.A., nas doses, respectivamente, de 0,5 e 0,45 mg dm⁻³. A adubação com NPK e com Fe e Mo, bem como a aplicação dos corretivos, foi realizada em todos os tratamentos, inclusive nas testemunhas. Já a aplicação de Cu, Mn e Zn, nas doses acima, ocorreu de forma que o elemento só foi aplicado nos ensaios em que ele não era avaliado.

Com exceção do P e do K, os nutrientes foram aplicados na forma de solução e misturados ao solo, o qual permaneceu em incubação durante 25 dias, mantendo-se a umidade entre 60 e 80% do volume total de poros – VTP, utilizando-se água destilada. O N e o K

foram parcelados em duas aplicações iguais, uma no plantio e a outra aos 25 dias após a emergência das plântulas. Para o N, no plantio, foi usado o sulfato de amônio foi usado como fonte, e uréia em cobertura.

A planta indicadora utilizada foi o milho (*Zea mays* L.), cv. BR 106, desenvolvido pela EMBRAPA/CNPMS, semeando-se 10 sementes por vaso, deixando-se três plantas por vaso após a emergência. Os níveis de umidade do solo foram idênticos aos empregados na incubação, controlando-se o teor de umidade com pesagens diárias de todos os vasos.

Aos 45 dias após a emergência, foram colhidas as três plantas de milho de cada vaso, para determinação da produção de matéria seca e dos teores dos nutrientes na folha. As folhas coletadas para análise foram aquelas recém-maduras, localizadas no terço superior da planta (MALAVOLTA et al., 1997). Todo material vegetal coletado foi lavado com água destilada e deionizada, levado para secagem, a 60 °C em estufa com circulação forçada de ar até atingir peso constante, pesado e moído em moinho tipo Wiley para posterior análise de boro, cobre, manganês e zinco, seguindo-se a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Avaliaram-se a produção de matéria seca (MS), o teor e o conteúdo de B, de Cu, de Mn e de Zn na folha. Foram ajustadas as equações de regressão para produção de MS (variável dependente) e níveis de B, de Cu, de Mn e de Zn (variáveis independentes); para concentrações de B, de Cu, de Mn e de Zn, e para conteúdo de B, de Cu, de Mn e de Zn como variáveis dependentes dos níveis desses micronutrientes aplicados no solo. A partir da equação de regressão do peso da matéria seca da parte aérea da planta, em função das doses dos micronutrientes supracitados, estimaram-se as doses associadas com 90% da produção máxima de MS. Substituindo-se esses valores nas equações de regressão entre as doses dos micronutrientes e as suas concentrações e conteúdos na folha, foram obtidos, respectivamente, os níveis e os conteúdos críticos foliares de B, de Cu, de Mn e de Zn.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção, acúmulo e toxicidade de boro, cobre, manganês e zinco aplicados no solo

As doses utilizadas dos quatro micronutrientes aplicados no solo influenciaram significativamente os seus teores e conteúdos na folha do milho.

Boro

O teor de boro na folha do milho aumentou significativamente em correspondência ao incremento das doses aplicadas, ajustando-se ao modelo linear, representado pela equação $\text{Teor (mg kg}^{-1}\text{)} = 39,0095 + 35,9631^{**}B$ ($R^2 = 0,98$) (Figura 1). Os teores variaram de 39,01 a 269,17 mg kg⁻¹ de B, com os valores limites sendo determinados, respectivamente, nas plantas não adubadas e nas adubadas com a dose mais elevada do nutriente (6,4 mg dm⁻³). Estes dados demonstram a existência de um efetivo transporte de B do sistema radicular para a parte aérea da planta. Por outro lado, deve ser salientado que certos aumentos no teor desse nutriente na folha se deveu ao efeito de concentração de B, em função da menor produção de matéria seca (JARREL; BEVERLY, 1981). O teor relativamente elevado de B, obtido sem aplicação do nutriente, pode ser atribuído ao seu teor inicial relativamente elevado no solo, que era de 6,9 mg dm⁻³. Essa elevada disponibilidade do B na solução do solo pode ter sido favorecida pelos reduzidos teores de alumínio no solo, uma vez que este é o principal agente de adsorção do B no solo (GOLDBERG, 1997). O comportamento apresentado pela absorção do B pela planta, corrobora a afirmativa de que esse processo depende somente da concentração disponível na solução do solo (YAMADA, 2000). Estes teores são bastante superiores ao teor de 3,6 mg kg⁻¹ determinada por Lavado et al. (2001), trabalhando com milho. A aplicação de doses de B acima de 1,6 mg kg⁻¹ resultou em teores foliares acima do limite máximo da faixa normal de B (7 – 75 mg kg⁻¹) considerada por estes autores.

As doses de B aplicadas no solo influenciaram o seu conteúdo na folha, similarmente ao que ocorreu com as concentrações, ou seja, o conteúdo de B na folha aumentou linearmente com o incremento das doses de B utilizadas, ajustando-se os dados à equação $\text{Conteúdo (mg vaso}^{-1}\text{)} = 3,1069 + 1,877^{**}B$ ($R^2 = 0,93$) (Figura 1).

A presença de B na folha em concentrações acima de 75,39 mg kg⁻¹ causou toxicidade às plantas, acarretando diminuição da produção de matéria seca da parte aérea do milho (Figura 1), concordando com a afirmação feita por Malavolta et al. (1997) de que, em geral, nas regiões da folha onde não aparecem anormalidades visíveis de toxidez, o teor de B não chega a 100 mg kg⁻¹; nas folhas onde há clorose (toxidez) o teor do nutriente é de 100 – 1.500 mg kg⁻¹, passando de 1.500 mg kg⁻¹ nas áreas necrosadas.

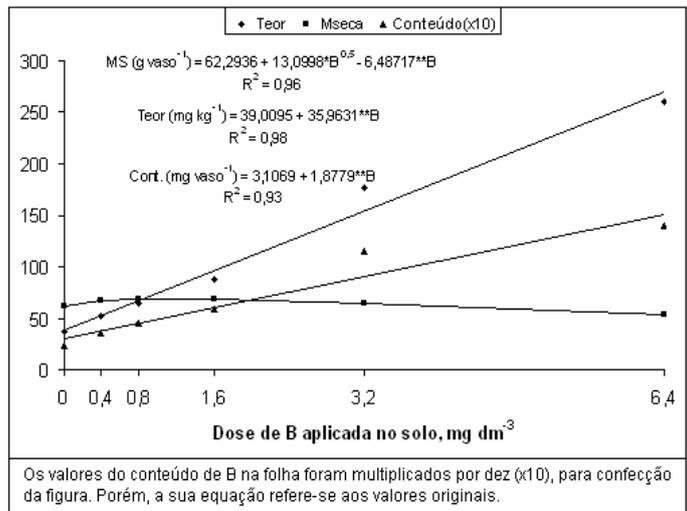


Figura 1. Teor e conteúdo de boro na folha e produção de matéria seca pela cultura do milho (cv. BR 106), aos 45 dae, em função das doses do nutriente aplicadas no solo.

As plantas adubadas com as doses mais elevadas de B apresentaram sintomas de toxidez provocados pelo excesso desse micronutriente. Inicialmente, observou-se uma clorose nas folhas mais velhas, evoluindo em seguida para necrose em forma de “V”, da ponta em direção à base da folha. O sintoma final foi o secamento total da folha, dando a impressão de uma senescência precoce. A tolerância relativa das plantas à toxidez de B parece depender da velocidade de transporte do elemento das raízes para a parte aérea (DELGADO et al., 1994). Os efeitos tóxicos visuais do excesso do B foram iniciados aos 12 dias após a aplicação da fonte de B (Bórax), período que corresponde ao de maior taxa de absorção do nutriente (DINIZ et al., 1999).

Cobre

O teor de cobre na folha do milho variou de 0,84 a 8,83 mg kg⁻¹, sendo afetado significativamente pelas doses do nutriente aplicadas no solo (Figura 2). O teor mais elevado foi obtido com a aplicação de 16,0 mg kg⁻¹ de Cu, enquanto o menor teor foi encontrado nas plantas não adubadas. O incremento foi diretamente relacionado com o aumento das doses aplicadas, sem limite de saturação, uma vez que os teores ajustaram-se ao modelo linear de regressão, determinado pela equação $Teor (mg\ kg^{-1}) = 0,8438 + 0,4991**Cu$ ($R^2 = 0,99$). Resultados semelhantes foram obtidos por Galrão; Sousa (1985), trabalhando com trigo em solo orgânico. Estes resultados mostram que a absorção de Cu pelo milho ocorre de acordo com a disponibilidade do nutriente na solução do solo.

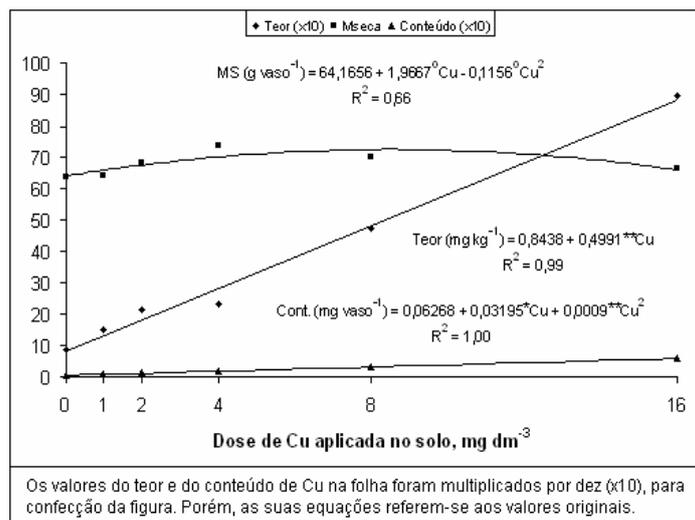


Figura 2. Teor e conteúdo de cobre na folha e produção de matéria seca pela cultura do milho (cv. BR 106), aos 45 dae, em função das doses do nutriente aplicadas no solo.

Os teores determinados no presente estudo encontram-se entre 3,0 e 40 mg kg⁻¹, faixa considerada normal por Pais; Benton Jones (1997) para o Cu na matéria seca da maioria das culturas. Os baixos teores internos de Cu, obtidos com a aplicação das menores doses do nutriente, podem estar relacionados aos baixos valores de pH e de matéria orgânica (CARTER; GUPTA, 1997), bem como ao excesso de P e de Zn, fatores que, nessas condições, dificultam a disponibilidade e conseqüente absorção do Cu pelas raízes (SALVADOR et al., 1999).

Não se observaram sintomas de toxicidade de Cu nas plantas. Segundo Galrão; Sousa (1985), os teores encontrados na presente investigação estão em nível de suficiência para as culturas. Accioly et al. (2000) encontraram teor de 10,27 mg kg⁻¹ na folha do milho após aplicação de 1,3 mg kg⁻¹ de Cu. Por sua vez, Berton et al. (1997) citam teores foliares de até 335,0 mg kg⁻¹ de Cu em milho. A incoerência entre os resultados pode ser devida à presença de fatores distintos no solo, influenciando diferentemente a disponibilidade e absorção do Cu.

O conteúdo de Cu na folha também foi influenciado pelas doses de Cu aplicadas no solo, porém com os dados

ajustando-se ao modelo quadrático, representado pela equação Conteúdo (mg vaso⁻¹) = 0,06268 + 0,03195*Cu + 0,0009**Cu² (R² = 1,00). Isto mostra que a absorção do Cu pela planta de milho é definida mais pela sua disponibilidade na solução do solo, do que pelo crescimento e acúmulo de matéria seca da planta.

Manganês

O teor de Mn na folha foi influenciado pelas doses aplicadas (Figura 3), com aumentos correspondentes ao incremento destas, o que também foi verificado por Accioly et al. (2000). Os teores de Mn na folha ajustaram-se ao modelo linear de regressão, representado pela equação Teor (mg kg⁻¹) = 27,2012 + 33,1622**Mn (R² = 0,99). Os teores variaram de 27,20 a 1.618,99 mg kg⁻¹ de Mn, onde o limite inferior foi obtido na ausência de adubação com manganês, e o limite superior com a aplicação da dose mais elevada do nutriente (48,0 mg dm⁻³). Estes resultados revelam a ocorrência de condições favoráveis à absorção de Mn no solo em estudo, como reduzido teor de matéria orgânica e de pH.

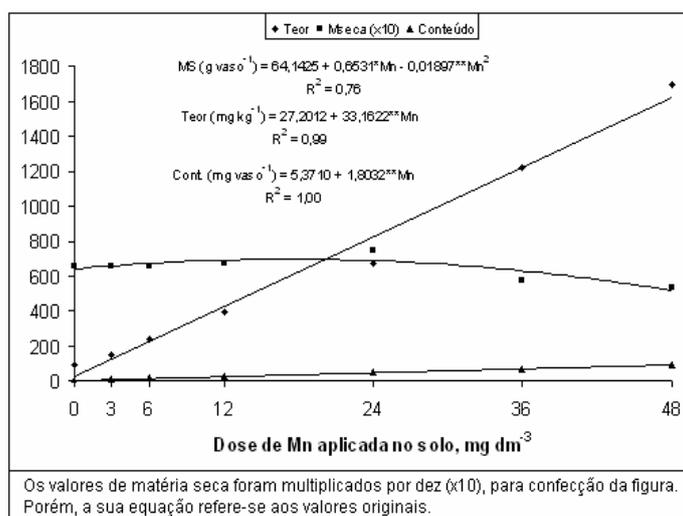


Figura 3. Teor e conteúdo de manganês na folha e produção de matéria seca pela cultura do milho (cv. BR 106), aos 45 dae, em função das doses do nutriente aplicadas no solo.

Os altos teores resultantes da aplicação das doses mais elevadas de Mn, resultaram em efeito depressivo sobre as plantas de milho. As razões para valores tão elevados podem ter sido o elevado conteúdo do Mn disponível no solo, resultando em sua maior absorção pelas raízes e a ocorrência do efeito de concentração do Mn na folha (JARREL; BEVERLY, 1981), visto que a produção de matéria seca obtida com essas doses foi bastante reduzida.

O conteúdo de Mn acumulado na folha também foi influenciado pelas doses aplicadas (Figura 3), com os valores ajustando-se ao modelo linear, cuja equação é Conteúdo (mg vaso⁻¹) = 5,371 + 1,8032**Mn (R² = 1,00). Percebe-se, portanto, uma elevada correlação entre o teor e o conteúdo de Mn na folha do milho. Essa correlação indica que a absorção do Mn pela planta de milho continua ocorrendo independente do nível de desenvolvimento da planta, podendo-se inferir, portanto, que a absorção desse

nutriente é um processo determinado, em maior grau, pela sua própria atividade (disponibilidade na zona de absorção).

Zinco

O teor de Zn na folha aumentou significativamente com as doses aplicadas (Figura 4). Os dados ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão, representado pela equação $\text{Teor (mg kg}^{-1}\text{)} = 34,4856 - 0,7499^{\text{ns}}\text{Zn} + 0,341^{\text{**}}\text{Zn}^2$ ($R^2 = 0,98$), sendo os teores mínimo (34,49 mg kg⁻¹) e máximo (359,67 mg kg⁻¹) foram

encontrados, respectivamente, nos tratamentos sem adubação e de maior dose de Zn (32,0 mg kg⁻¹). O teor reduzido obtido com a aplicação da dose de 4,0 mg dm⁻³ de Zn pode ter sido causado por um efeito de diluição, e que pode ser explicado pelo aumento da matéria seca nas plantas que receberam essa dose. Por outro lado, um efeito de concentração, resultante da baixa produção de matéria seca, com conseqüente aumento no teor do Zn na folha, pode ter sido a razão para o elevado teor desse elemento nas plantas adubadas com 32,0 mg kg⁻¹.

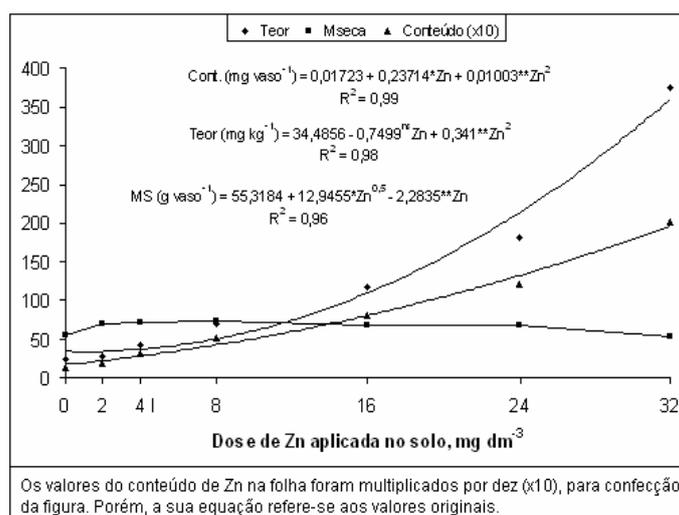


Figura 4. Teor e conteúdo de zinco na folha e produção de matéria seca pela cultura do milho (cv. BR 106), aos 45 dae, em função das doses do nutriente aplicadas no solo.

Deve-se salientar, entretanto, que mesmo o teor mais elevado de Zn na folha (359,67 mg kg⁻¹), considerado suficiente para promover o surgimento dos sintomas visuais da toxicidade de Zn por Malavolta; Violante Netto (1989) e Jones et al. (1991), não causou tais sintomas, embora a produção de matéria seca tenha sido depreciada. Contudo, Amaral et al. (1996) obtiveram resultados em que os teores de até 322,0 mg kg⁻¹ de Zn na folha, em um LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO argiloso, não causaram sintomas visuais provocados pelo excesso desse micronutriente, confirmando os resultados aqui obtidos.

O conteúdo de Zn acumulado na folha aumentou em correspondência ao incremento das doses aplicadas, ajustando-se ao modelo quadrático (Figura 4), representado pela equação $\text{Conteúdo (mg vaso}^{-1}\text{)} = 0,01723 + 0,23714^{\text{*}}\text{Zn} + 0,01003^{\text{**}}\text{Zn}^2$ ($R^2 = 0,99$). Houve uma elevada correlação positiva entre o conteúdo e o teor de Zn na folha do milho, ao passo que a correlação entre esse conteúdo e a produção de matéria seca foi

reduzida. Pode-se inferir, portanto, que a absorção do Zn pelo milho depende, em maior grau, da disponibilidade do nutriente na zona de absorção do que da taxa de crescimento da planta, o que se justifica pela demanda relativamente baixa do elemento pelas plantas (micronutriente).

Matéria seca e concentrações de boro, cobre, manganês e zinco na folha

Boro

A produção de matéria seca de plantas de milho, aos 45 dias de cultivo, foi significativamente afetada pela dose de boro aplicado no solo (Figura 1), onde os dados ajustaram-se ao modelo de raiz quadrada, representado pela equação $\text{MS (g vaso}^{-1}\text{)} = 62,2936 + 13,0998^{\text{*}}\text{B} - 6,48717^{\text{**}}\text{B}^2$ ($R^2 = 0,96$). A maior produção de matéria seca (68,91 g vaso⁻¹) foi obtida com o teor foliar de 75,66 mg kg⁻¹ de B, ao passo que a menor produção (62,29 g vaso⁻¹) foi obtida pelas plantas que apresentaram o maior

teor de B na folha (269,17 mg kg⁻¹). Portanto, a faixa ótima de B na folha do milho variou de 39,01 a 188,72 mg kg⁻¹, sendo o nível crítico foliar, associado com 90% da produção máxima de matéria seca, de 39,01 mg kg⁻¹ (Figura 5A). Essa ampla faixa de concentração de B vai de encontro ao dogma consagrado de que a faixa entre deficiência e toxicidade do nutriente na planta é estreita, e que tem contribuído enormemente para a não aplicação de maiores doses desse elemento (YAMADA, 2000). Esse teor foi obtido sem a aplicação de B, mostrando que o solo em estudo possui B em suficiência para o cultivo do milho. Cabe ressaltar, porém, que a aplicação de B deverá ocorrer para repor as quantidades extraídas e exportadas da área de cultivo, bem como para obtenção de produções acima de 90% da produção máxima, caso seja economicamente viável. Esse nível encontra-se fora e acima das faixas de suficiência do B na folha definidas por Malavolta et al. (1997) – 15 a 20 mg kg⁻¹ – e por Lopes (1998) – 5 a 25 mg kg⁻¹ – para o milho. Este fato pode ser explicado por se tratar de uma recomendação generalizada, sem considerar propriedades peculiares às condições de realização dos estudos, bem como a cada tipo de solo e de planta usada, estando, por isso, essas faixas sujeitas a alterações em seus valores.

Cobre

O Cu absorvido em excesso poderá provocar toxidez à planta. No presente estudo a produção de matéria seca pelo milho foi significativamente influenciada pelas doses do nutriente aplicadas no solo (Figura 1), com os dados ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, definidos pela equação $MS \text{ (g vaso}^{-1}\text{)} = 64,1656 + 1,9667^{\circ}Cu - 0,1156^{\circ}Cu^2$ ($R^2 = 0,66$). A produção máxima (72,53 g vaso⁻¹) foi obtida com a aplicação de 8,51 mg dm⁻³, com as plantas apresentando teor do nutriente na folha de 5,09 mg kg⁻¹. Essa resposta positiva do milho à aplicação de Cu não foi observada por Galvão; Sousa (1985), salientando que estes autores avaliaram a influência do Cu sobre o peso de mil grãos. Determinou-se, portanto, como faixa ótima de Cu para o milho, a faixa de 1,14 a 8,83 mg kg⁻¹ de Cu na folha, considerando-se como nível crítico foliar, associado com 90% da produção máxima de matéria seca, o teor de 1,14 09 mg kg⁻¹ (Figura 5B), obtido com a dose de 0,59 mg dm⁻³ de Cu. O conteúdo de Cu nessas plantas era de 0,40 mg vaso⁻¹. Esses resultados discordam, portanto, das recomendações feitas por Malavolta et al (1997), que consideram a faixa de suficiência de Cu variando de 6,0 a 20 mg kg⁻¹ e por Lopes (1998), que considera deficientes em Cu as plantas com teores foliares inferiores a 5,0 mg kg⁻¹. Também, Berton et al. (1997) citam que o teor de 335,0 mg kg⁻¹ na

folha do milho não exerceu efeito tóxico às plantas e/ou prejuízos à produção de matéria seca. Esse teor referido por esse último autor é bastante elevado, já que, para a maioria das culturas, o nível foliar ótimo de Cu é bem inferior ao mesmo, inclusive o obtido na presente pesquisa.

Manganês

As doses de Mn aplicadas no solo influenciaram a produção de matéria seca no milho (Figura 3), com os valores de produção ajustando-se ao modelo quadrático, representado pela equação $MS \text{ (g vaso}^{-1}\text{)} = 64,1425 + 0,6531^{\circ}Mn - 0,01897^{\circ}Mn^2$ ($R^2 = 0,76$). O nível crítico foliar de Mn, responsável por 90% da produção máxima, foi de 27,20 mg kg⁻¹ (Figura 5C), obtido sem aplicação de Mn. Contudo, a produção máxima foi obtida pelas plantas com teor foliar de Mn de 598,06 mg kg⁻¹, sugerindo que o solo estudado possui Mn em suficiência para o cultivo do milho, sendo necessária, entretanto, a aplicação do nutriente em caso de implantação da cultura. Teores foliares superiores a 598,06 mg kg⁻¹ promoveram toxidez à cultura, evidenciada pela menor produção de matéria seca. Estes resultados concordam, em parte, com Anderson; Boswell (1968), que afirmam ser a produção de matéria seca somente prejudicada quando as concentrações de Mn na folha estiverem acima de 720 mg kg⁻¹. Jones; Nelson (1978) também confirmam os presentes resultados, uma vez que esses autores não observaram prejuízo ao desenvolvimento das plantas quando a concentração foliar de Mn foi de 320 mg kg⁻¹. Uma redução no teor de clorofila, causada pelo excesso de Mn no tecido, pode ter sido a causa das produções obtidas com a aplicação das doses mais elevadas, já que a redução no número de clorofilas reduz a capacidade fotossintética da planta e o crescimento das raízes, resultando em um decréscimo da produção de matéria seca total da planta.

Zinco

O milho mostrou-se responsivo à aplicação de Zn, sendo constatados incrementos na produção de matéria seca nos tratamentos adubados em relação ao tratamento não adubado. Os dados de produção de matéria seca ajustaram-se ao modelo raiz quadrada (Figura 4), cuja equação de regressão é $MS \text{ (g vaso}^{-1}\text{)} = 55,3184 + 12,9455^{\circ}Zn^{0,5} - 2,2835^{\circ}Zn$ ($R^2 = 0,96$). A produção máxima (73,67 g vaso⁻¹) foi obtida quando o teor de Zn na folha era de 50,48 mg kg⁻¹, promovida pela dose de 8,04 mg dm⁻³ de Zn, e a menor produção (55,32 g vaso⁻¹) obtida pelas plantas com teor foliar de Zn de 34,49 mg kg⁻¹, determinada no tratamento sem adubação. Esse teor foi insuficiente para promover o crescimento ótimo do

milho, concordando com citação de Malavolta; Violante Netto (1989). O efeito depressivo do excesso de Zn na folha sobre a produção de matéria seca ocorreu a partir do teor de 175,16 mg kg⁻¹. Determina-se, portanto, como ótimo de Zn na folha do milho a faixa de 34,07 a 175,16 mg kg⁻¹, considerando-se como nível crítico, responsável pela produção de matéria seca correspondente a 90% da produção máxima, o teor foliar de 34,07 mg kg⁻¹ de Zn (Figura 5D), resultante da aplicação da dose de 1,08 mg

dm⁻³ de Zn. A faixa ótima de Zn na folha do milho citada por Lopes (1998) e Pais; Benton Jones (1997) – 15-150 mg kg⁻¹, engloba esse nível crítico e aquele responsável pela produção máxima, contudo, é menos ampla que a aqui determinada como ótima. Estes resultados corroboram também a afirmação feita por Jones et al. (1991) de que teores a partir acima de 150 mg kg⁻¹ de Zn na folha afetarão negativamente a produção de matéria seca da cultura.

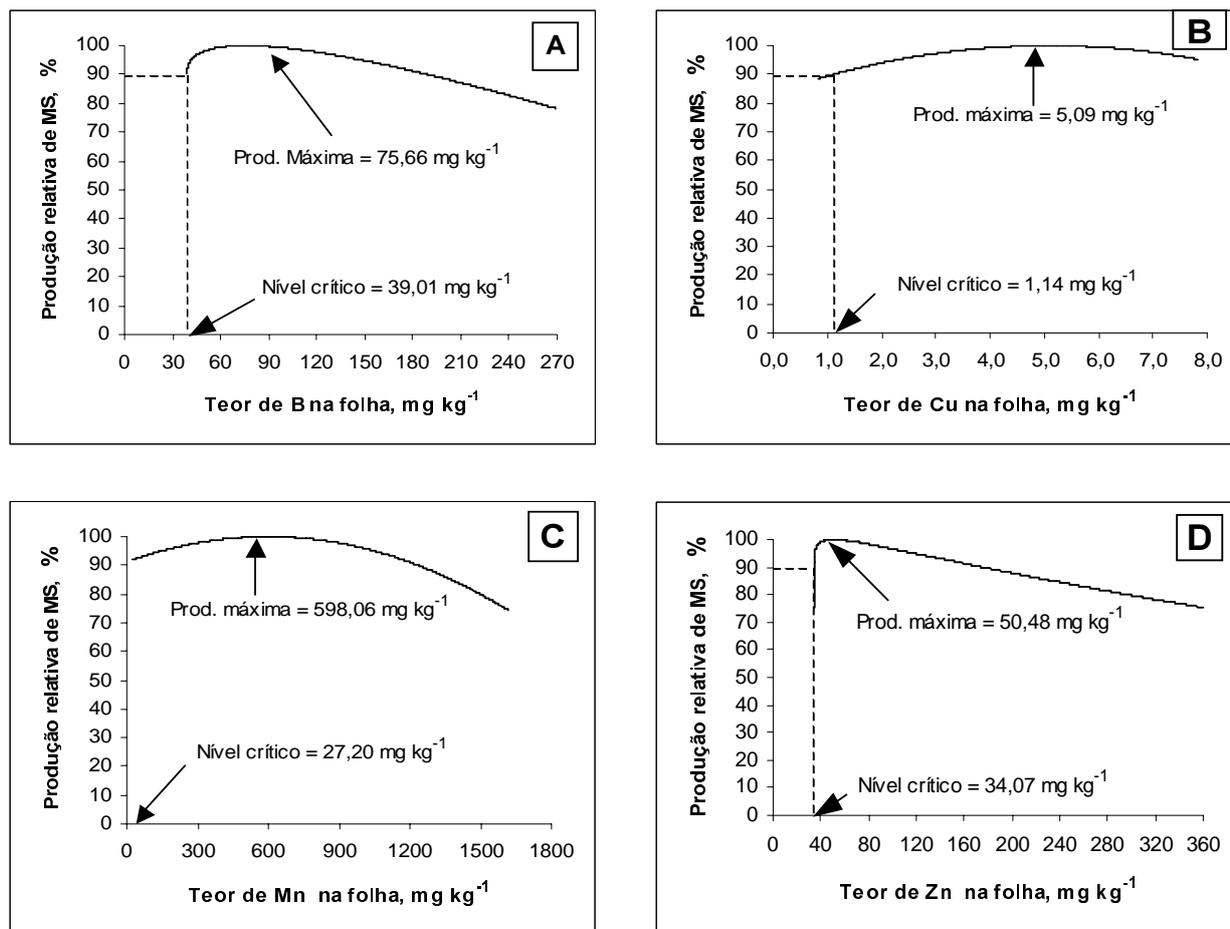


Figura 5. Níveis críticos foliares de boro (A), de cobre (B), de manganês (C) e de zinco (D) para a cultura do milho (Cv. BR 106), aos 45 dae, considerando-se a produção relativa de matéria seca.

São reportados, entretanto, na literatura valores de nível crítico de Zn para o milho inferiores ao aqui determinado. Ritchey et al. (1986) afirmam que o milho não mais responde positivamente à aplicação do Zn quando esse nutriente encontra-se em teores acima de 17,5 mg kg⁻¹ na folha. Galrão (1994) e Rosolem; Ferrari (1998) obtiveram resultados em que o maior rendimento de grãos em milho foi obtido em plantas que apresentaram teores foliares de Zn em torno de 14,0 mg kg⁻¹. Resultados

semelhantes foram obtidos por Galrão (1995) e Souza et al. (1995). Estes autores obtiveram resultados em que o nível crítico de Zn na folha do milho situou-se na faixa de 16,0 e 20,0 mg kg⁻¹. Como a faixa ótima de Zn para as culturas varia consideravelmente com as características do solo, principalmente com o tipo de solo e com o pH, essa discrepância entre os valores acima pode ser explicada pelos diferentes tipos de solo utilizados nesses experimentos, bem como pelas condições experimentais

distintas em que os mesmos foram realizados. Estes fatores podem ter contribuído para a ocorrência de teores distintos de Zn na folha.

Por outro lado, existem pesquisas nas quais foram determinados valores bem mais elevados para o nível crítico foliar de Zn, de modo que superam o valor aqui encontrado. Accioly et al. (2000) reportam que a produção de matéria seca no milho não foi depreciada pelo teor foliar de Zn de 194,8 mg kg⁻¹. Amaral et al. (1996) obtiveram resultados em que os teores de até 322,0 mg kg⁻¹ de Zn na folha, em um LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO argiloso, proporcionaram incrementos à produção de matéria seca do milho. Isto reforça a hipótese de que o valor do nível crítico foliar do Zn poderá ser, de modo geral, influenciado pelo tipo de solo, reforçando a necessidade de pesquisas locais para determinação dos níveis e, ou faixas ótimas deste e de outros nutrientes para as diversas culturas.

CONCLUSÕES

1. As adubações com B, Cu, Mn e Zn incrementaram significativamente a produção de matéria seca da parte aérea do milho (cv. BR 106), bem como os seus teores na folha;
2. Os níveis iniciais de B e de Mn no solo foram suficientes para obtenção de produções de matéria seca pelo milho (cv. BR 106) equivalentes a 90% da produção máxima. As doses de máxima eficiência técnica para o Cu e Zn foram estimadas, respectivamente, em 0,59 e 1,08 mg dm⁻³;
3. Os níveis críticos foliares relacionados com 90% da produção máxima de matéria seca foram, respectivamente, 39,01, 1,14, 27,20 e 34,07 mg dm⁻³ de B, Cu, Mn e Zn;
4. A faixa entre deficiência e toxicidade de B na planta de milho (cv. BR 106), não foi tão estreita – 39,01 a 188,72 mg kg⁻¹, como tem sido comumente reportado.

ABSTRACT: The present study, using a NEOSSOLO QUARTZARÊNICO dystrophic soil, was conducted under greenhouse regime and had as objectives (a) to determine maize leaf critical levels of boron, copper, manganese and zinc and (b) to evaluate the effects of increasing applications of these micronutrients on maize characteristics. The following treatments were tested: six B rates, six Cu rates, seven Mn rates and seven Zn rates, with three replications in a completely randomized block design. Three plants were used in each pot containing 4 dm³ of soil. Fertilization with B, Cu, Mn and Zn significantly increased aboveground dry matter production of maize, as well as their leaf levels and contents. Leaf critical levels were determined, related with 90% of the maximum dry matter production as 39.01, 1.14, 27.20 and 34.07 mg dm⁻³ of B, Cu, Mn and Zn, respectively. The range between B deficiency and toxicity in the plant was not as narrow as it has been commonly reported: 39.01 to 188.72 mg kg⁻¹, for maize.

UNITERMS: *Zea mays*, micronutrients, leaf levels.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; FAQUIN, V.; GUEDES, G. A. A. Pó de forno elétrico de siderurgia como fonte de micronutrientes e de contaminantes para plantas de milho. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1483-1491, 2000.

AMARAL, R. D.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F. Efeito de um resíduo da indústria de zinco sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 433-440, 1996.

ANDERSON, O. E.; BOSWELL, F. C. Boron and manganese effects on cotton yield, limit quality and earliness of harvest. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, n. 2, p. 488-493, 1968.

BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S.; CAMARGO, O. A.; BATAGLIA, O. C. Peletização do lodo de esgoto e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e N pelo milho em três Latossolos. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, n. 4, p. 685-691, 1997.

- BROWN, P. H.; SHELP, B. J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v. 193, n. 1, p. 85-101, 1997.
- CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, v. 193, n. 1/2, p. 71-83, 1997.
- CARTER, M. R.; GUPTA, U. C. Micronutrient concentration in barley and soybean under minimum tillage on podzolic soils in a cool climate. **Acta Agric. Scand.**, Stockholm, v. 47, n. 1, p. 7-13, 1997.
- DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. C. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 65-78.
- DELGADO, A.; BENLLOCH, M.; FERNANDEZ-ESCOBAR, R. Mobilization of boron in olive trees during flowering and fruit development. **Hort. Sci.**, Alexandria, v. 29, n. 3, p. 616-618, 1994.
- DINIZ, J. D. N.; GONÇALVES, A. N.; HERNANDEZ, F. F. F.; TORRES, A. C. Absorção de micronutrientes por explantes de bananeira *in vitro*. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, v. 34, n. 7, p. 1201-1209, 1999.
- GALRÃO, E. Z. Métodos de correção de deficiência de zinco para a cultura do milho em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob o Cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 229-233, 1994.
- _____. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 255-260, 1995.
- GALRÃO, E. Z.; MESQUITA FILHO, M. V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 5, n. 3, p. 167-170, 1981.
- GALRÃO, E. Z.; SOUSA, D. M. G. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 149-153, 1985.
- GOLDBERG, S. Chemistry and mineralogy of boron in soils. In: GUPTA, U.C. (Ed.). **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC, 1997. p. 3-5.
- HO, S. B. **Boron deficiency of crops in Taiwan**. Disponível em: <<http://www.agnet.org/library/article/eb486.html>>. Acesso em: jul. 2002.
- JARREL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Adv. Agron.**, New York, v. 34, n. 1, p. 197-224, 1981.
- JONES, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook: a practical sampling preparation, analysis and interpretation guide**. Athens: Micro-Macro, 1991. 213 p.
- JONES, W. F.; NELSON, L. E. Response of field grown soybeans to lime. **Comm. Soil Sci. Pl. Anal.**, v. 9, n. 7, p. 607-614, 1978.
- LAVADO, R. S.; PORCELLI, C. A.; ALVAREZ, R. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. **Soil & Tillage Research**, v. 62, n. 1, p. 55-60, 2001.
- LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998. 177 p.

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETTO, A. **Nutrição mineral, calagem e adubação de citros**. Piracicaba: Nagy, 1989. 153 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MARTENS, D. C.; WESTERMANN, D. T. Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). **Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies: micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of América, 1991. p. 549-592.

PAIS, I.; BENTON JONES, J. **The handbook of trace elements**. [S.l.]: St. Lucie, 1997.

PEREIRA, G. D.; BERTONI, J. C.; CARVALHO, J. G.; MORAIS, A. R. Doses e modos de adubação com manganês e seus efeitos na produção da cultura do arroz. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 625-633, 2001.

RITCHEY, K. D.; COX, F. R.; GALRÃO, E. Z.; YOST, R. S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, v. 21, n. 3, p. 215-225, 1986.

ROSOLEM, C. A.; FERRARI, L. F. Crescimento inicial e absorção de zinco pelo milho em função do modo de aplicação e fontes do nutriente. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 151-157, 1998.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Sintomas visuais de deficiências de micronutrientes e composição mineral de folhas em mudas de goiabeira. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, v. 34, n. 3, p. 1655-1662, 1999.

SELIGA, H. The hole copper in nitrogen fixation in *Lupinus luteus* L. **Plant and Soil**, The Hague, v. 155/156, p. 349-352, 1993.

SFREDO, G. S.; BORKERT, C. M.; NEPOMUCENO, A. L.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre a produtividade e teores de proteína da soja. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 41-47, 1997.

SHARMA, P. N.; CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S. C.; SHARMA, C. P. Zinc deficiency and pollen fertility in mayze (*Zea mays*). **Plant and Soil**, The Hague, v. 124, n. 2, p. 221-225, 1990.

SMITH, G. S.; EDMEDS, D. C.; UPSDELL, M. Manganese status of New Zealand pastures. 1. Toxicity in ryegrass, white clover and lucerne. **New Zeal. J. Agric. Res.**, Wellington, v. 26, n. 2, p. 215-221, 1983.

SOUZA, E. C. A.; SANTIAGO, G.; OLIVEIRA, L. C. L.; COUTINHO, E. L. M.; LIMA, L. A. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. **Cient.**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 39-49, 1995.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, n. 1, p. 49-82, 1995.

YAMADA, T. **Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas?** [S.l.]: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2000. 5 p. (Informações Agrônômicas, 90).