

110

**Circular
Técnica**

Campina Grande, PB
Outubro, 2007

Autores

Maria da Conceição Santana Carvalho
Eng. agrôn., D.Sc., da
Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1143 – Centenário
58107-720 – Campina Grande, Pb
E-mail: mcscarva@npa.embrapa.br

Embrapa

Nutrição e Adubação do Algodoeiro com Micronutrientes



Nem todos os elementos encontrados na planta são essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento. Um elemento só é considerado essencial quando satisfaz os critérios de essencialidade, estabelecidos por

Arnon e Stout (1939): um elemento é essencial se na sua ausência a planta não completa seu ciclo vital, sendo que esse elemento não pode ser substituído por outro; o elemento participa diretamente de algum composto ou de alguma reação, sem os quais a planta não vive.

Os elementos essenciais considerados micronutrientes, absorvidos em menor quantidade pelas plantas e expressos em miligramas por quilograma de matéria seca, são: B (boro), Cl (cloro), Cu (cobre), Fe (ferro), Mn (manganês), Mo (molibdênio), Ni (níquel) e Zn (zinco). Embora exigidos em menores quantidades, os micronutrientes são tão importantes para a nutrição e o crescimento das plantas quanto os macronutrientes. Alguns elementos, embora não atendam aos critérios de essencialidade, são classificados como benéficos para o desenvolvimento de algumas plantas, como Na (sódio), Se (selênio), Si (silício) e cobalto (Co). Para o algodoeiro, há relatos do efeito da aplicação de Si no alongamento à ruptura da fibra (MEDEIROS et al., 2005) e aumento da resistência à pragas e doenças (TOMQUELSKI, 2005), embora haja necessidade de mais estudos.

A obtenção de altas produtividades de algodão com excelente qualidade de fibra depende, dentre outros fatores, de uma adequada nutrição mineral. Nos últimos anos, o uso de fertilizantes contendo micronutrientes tem se tornado rotina na cultura do algodão, o que se deve, principalmente, ao fato de que a maior parte da área plantada está localizada na região dos cerrados, cuja maioria dos solos são naturalmente pobres em micronutrientes (LOPES, 1984). Além disso, de acordo com Lopes (1999), outros fatores que despertaram o maior interesse pela utilização de fertilizantes contendo micronutrientes no Brasil foram: o aumento da produtividade de inúmeras culturas com maior remoção e exportação de todos os nutrientes; a incorporação inadequada de calcário ou a utilização de doses elevadas, acelerando o

aparecimento de deficiências induzidas; o aumento na proporção de produção e utilização de fertilizantes NPK de alta concentração, reduzindo o conteúdo incidental de micronutrientes nesses produtos; e o aprimoramento da análise de solos e análise foliar como instrumentos de diagnose de deficiências de micronutrientes.

Para se fazer uma adubação equilibrada com micronutrientes é necessário considerar os diversos aspectos referentes ao comportamento dos mesmos no solo e na planta, envolvendo: conhecimento das exigências da cultura, diagnose visual e foliar, análise de solo, características das fontes e modos de aplicação mais eficientes. No presente trabalho, estes aspectos serão abordados, de forma generalizada, com o objetivo de fornecer informações para uma recomendação de adubação buscando a máxima produtividade econômica.

Formas Absorvidas e Mobilidade dos Micronutrientes na Planta

A absorção é o processo pelo qual o elemento passa do substrato (solo, solução nutritiva) para uma parte qualquer da célula (parede, citoplasma, vacúolo) da planta. As formas com que os micronutrientes são absorvidos pela planta são apresentadas na Tabela 1. No solo, a absorção desses nutrientes ocorre após seu contato com a raiz, que se dá por meio dos processos de interceptação radicular, fluxo de massa ou difusão. O modo de contato com as raízes está relacionado com a mobilidade dos micronutrientes na solução do solo e tem importância prática para a localização dos fertilizantes, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 1. Forma de absorção dos micronutrientes pelas plantas.

| Elemento | Forma absorvida |
|-----------------|------------------------------------|
| Boro (B) | H_3BO_3 e $H_2BO_3^-$ |
| Cloro (Cl) | Cl^- |
| Cobre (Cu) | Cu^{2+} , Cu-quelado |
| Ferro (Fe) | Fe^{2+} , Fe^{3+} , Fe-quelado |
| Manganês (Mn) | Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn-quelado |
| Molibdênio (Mo) | MoO_4^{2-} |
| Zinco (Zn) | Zn^{2+} , Zn-quelado |

Tabela 2. Relação entre o modo de contato dos micronutrientes com as raízes e a localização de adubos.

| Elemento | Processo de contato nutriente-raiz | | | Aplicação de adubos |
|------------|------------------------------------|----------------|---------|---------------------|
| | Interceptação | Fluxo de massa | Difusão | |
| | % do total | | | |
| Boro | 29 | 71 | 0 | Distante, cobertura |
| Cobre | 70 | 20 | 10 | Lanço, localizado |
| Ferro | 50 | 10 | 40 | Lanço, localizado |
| Manganês | 15 | 5 | 80 | Perto, localizado |
| Molibdênio | 20 | 80 | 0 | Lanço, semente |
| Zinco | 20 | 20 | 60 | Perto, localizado |

Fonte: Malavolta et al. (1989).

Após a absorção, os micronutrientes são transportados no interior da planta, na forma igual ou diferente da absorvida, a um órgão ou região de acúmulo. A partir daí esses nutrientes se movimentam para outro local dentro da planta, caracterizando o processo de redistribuição, o qual ocorre predominantemente pelo floema. Os micronutrientes são classificados quanto à sua mobilidade no floema em: móveis (cloro); parcialmente móveis (Zn, Cu, Fe, Mn, Mo) e imóveis (B).

A mobilidade dos nutrientes no floema tem relevância prática porque determina o órgão em que os sintomas de deficiência se manifestarão. Assim, para os elementos que possuem baixa mobilidade quanto à redistribuição, os sintomas tendem a aparecer nas folhas e nos órgãos mais novos. Outro aspecto importante é que a cultura exige um suprimento contínuo dos nutrientes pouco móveis e imóveis, pois havendo interrupção no suprimento não ocorrerá mobilização suficiente do nutriente para suprir a necessidade dos órgãos mais jovens (MALAVOLTA et al., 1989). Como resultado disso, no caso da necessidade de aplicações foliares para correção de deficiências, estas devem ser repetidas várias vezes para que sejam efetivas.

Função dos Micronutrientes e Principais Sintomas de Deficiência e Toxicidade no Algodoeiro

Os micronutrientes desempenham diversas funções nas plantas, destacando-se a ativação de enzimas, as quais catalizam várias reações metabólicas responsáveis pelos processos bioquímicos dentro da planta. Os sintomas de deficiência ou toxicidade são resultantes de alterações no metabolismo da planta

decorrentes da falta ou excesso de determinado nutriente. Assim, os micronutrientes participam direta ou indiretamente do desenvolvimento da planta e da produção (Tabela 3)

Tabela 3. Participação dos micronutrientes no desenvolvimento e produção do algodoeiro.

| Elemento | Participação |
|------------|--|
| | Absorção de nutrientes |
| Boro | Formação de raiz Pegamento da florada |
| Cloro | Fotossíntese Crescimento e produção |
| Cobalto | Formação de clorofila |
| Cobre | Fotossíntese Resistência a doenças |
| Ferro | Fotossíntese, respiração e formação de clorofila |
| Manganês | Idêntico ao cobre |
| Molibdênio | Formação de proteínas |
| Zinco | Crescimento e produção |

Fonte: Malavolta et al. (1989).

Boro

As funções do B na planta estão associadas com as do Ca na regulação do funcionamento da membrana e parede celular, divisão e aumento das células, sendo essencial à formação dos tecidos meristemáticos. Tem influência no desenvolvimento de raízes, absorção iônica e germinação do grão de pólen. O B participa, também, do transporte de carboidratos por meio da formação de complexos açúcar/borato, sendo importante na síntese de proteínas (MARSHNER, 1995).

O algodoeiro é uma das plantas mais exigentes em B, acumulando de 170 g/ha a 680 g/ha (ROCHESTER, 2007). O fornecimento regular desse nutriente favorece o florescimento e a frutificação, com reflexos positivos no aumento da produtividade e da qualidade das fibras. Durante o florescimento, a deficiência de B pode inviabilizar a germinação do grão de pólen, tornando os óvulos estéreis e impedindo a formação das sementes e das fibras advindas delas. A conseqüência final é a redução da produtividade.

Por se tratar de um elemento imóvel no floema, os sintomas de deficiência de B se manifestam

primeiramente nos pontos de crescimento ativo, ou seja, nas folhas mais novas do "ponteiro" da planta, principalmente na época do florescimento.

Os principais sintomas de deficiência de B no algodoeiro são:

- Folhas novas do "ponteiro" amareladas e enrugadas, contrastando com o verde normal das folhas mais velhas.
- Aumento da queda de botões florais e dos frutos, os quais apresentam escurecimento interno na sua base.
- Flores defeituosas, brácteas cloróticas, que podem envolver totalmente a corola atrofiada, enquanto as pétalas crescem menos, dobram as extremidades para dentro e apresentam manchas pardas na face interna.
- Aparecimento de anéis concêntricos verde-escuros nos pecíolos e nas hastes, com respectivo escurecimento interno.
- Superbrotamento e morte dos ponteiros, quando a deficiência é muito severa.
- Podem ocorrer engrossamento e rachadura nos nós e nas hastes.
- Em casos extremos, as gemas apicais morrem.
- As plantas produzem pouco e têm seu ciclo prolongado.

Por sua vez, a aplicação de B em excesso no sulco de plantio pode causar toxicidade nas plantas novas, cujo sintoma típico é um crestamento das folhas mais velhas, entre as nervuras, com manchas amareladas.

Cloro

Tem função relacionada com a fotossíntese, participando da fotólise da água. É móvel no floema e não tem sido constatada deficiência dele condições de campo, principalmente devido ao uso de cloreto de potássio na adubação e da pequena quantidade requerida.

Cobre

Funciona como ativador de enzimas, participando da síntese de proteínas, óleos e ceras. Está associado à formação de clorofila, atuando na fotossíntese (MALAVOLTA et al., 1989). Tem baixa mobilidade na planta, logo os sintomas de deficiência aparecem nas folhas novas, caracterizados por clorose, retículo fino e nervuras tortas e salientes (PASSOS, 1980; FUNDAÇÃO MT, 2001).

Ferro

Atua na ativação de várias enzimas, é essencial para a formação de clorofila e participa de vários processos metabólicos da planta como fotossíntese, respiração e assimilação de nitrogênio. O sintoma típico de deficiência é clorose internerval das folhas novas dos ponteiros, contrastando com o verde das nervuras. Não se espera deficiência de ferro no Brasil, a não ser em condições de elevada disponibilidade de manganês, devido ao antagonismo entre eles, ou em solos alcalinos (LOPES, 1999).

Manganês

O Mn também atua como ativador de enzimas e participa de processos importantes na planta como síntese de proteínas, fotossíntese, respiração e absorção de íons. É um nutriente pouco móvel na planta, o que acarreta o aparecimento dos sintomas de deficiência nas folhas novas. A deficiência de manganês provoca desestruturação dos cloroplastos, evidenciada por clorose internerval nas folhas do ponteiro, formando uma malha grossa que contrasta com a cor verde das nervuras e regiões circunvizinhas. Em condições de campo, tem-se observado deficiência em algodoeiro cultivado em solos arenosos do oeste da Bahia, após aplicação de doses elevadas de calcário, nos quais o pH em água tenha atingido valores superiores a 6,3 (FERREIRA; CARVALHO, 2005). O aumento do pH numa unidade reduz a disponibilidade de Mn em 100 vezes (MORTVEDT et al., 1991).

Os sintomas de toxicidade também se manifestam nas folhas mais novas com o aparecimento de lesões necróticas ao longo das nervuras. Estas folhas se tornam enrugadas e distorcidas, podendo cair. Ocorre redução da expansão foliar e encurtamento

de entrenós. Em estágios mais avançados de toxidez, o crescimento do ponteiro é afetado (MARCUS-WYNER; RAINS, 1982). Em condições de campo, os sintomas de toxidez de Mn podem ocorrer em solos ácidos (pH < 5,0) não corrigidos.

Há evidências que as cultivares de algodoeiro se diferenciam quanto à sensibilidade à toxicidade de Mn (ROSOLEM; FERRELLI, 2000; ROSOLEM, 2001a) e, sendo assim, a diagnose visual se torna uma ferramenta muito importante.

Molibdênio

O Mo é constituinte das enzimas nitrogenase e nitrato redutase, participando, assim, da bioquímica de assimilação, transporte e fixação de nitrogênio. Também atua na síntese de aminoácidos e proteínas e parece estar ligado ao metabolismo do P, beneficiando o crescimento radicular. Sua disponibilidade no solo aumenta com a calagem.

No campo, não se tem observado sintomas de deficiência de Mo no algodoeiro. Em solução nutritiva, os sintomas se caracterizam como clorose internerval, na fase de florescimento, podendo ocorrer enrolamento da lâmina foliar para baixo (MARCUS-WYNER; RAINS, 1982). O teor de Mo encontrado nas folhas do algodoeiro, no florescimento, situa-se entre 1 a 3 mg/kg (YAMADA et al., 1999; MALVOLTA, 2002).

Zinco

O Zn é ativador de várias enzimas e é essencial para a síntese do aminoácido triptófano, o qual é um precursor do ácido indol-acético. Assim, o sintoma típico de deficiência desse nutriente no algodoeiro é a redução dos internódios e do limbo foliar, associado à clorose internerval nas folhas novas, que se apresentam com as bordas voltadas para cima e lóbulos alongados no formato de dedos (SILVA et al., 1995). Rosolem e Bastos (1997) descreveram, também, que algumas folhas de plantas cultivadas em vasos apresentaram manchas cloróticas com formas e contornos irregulares.

Em campo, os sintomas de deficiência podem aparecer em solos com baixo teor desse nutriente, sobretudo após a aplicação de calcário. Em solos já adubados por vários anos, com fertilizantes

contendo Zn, os teores desse nutriente na folha tendem a diminuir com a calagem e com altas doses de fósforo, mas sem provocar deficiência na cultura (FERREIRA; CARVALHO, 2005).

Quantidades de Micronutrientes Exigidas pelo Algodoeiro

Para se fazer uma adubação equilibrada, além da quantidade de nutrientes disponível no solo, é muito importante conhecer a quantidade total de nutrientes extraídos pela planta, exportados (fibra e sementes) e quanto retornou ao solo através dos restos culturais. Porém, as quantidades de nutrientes exportadas, para cada tonelada produzida, variam em função das condições de clima, solo, cultivares e manejo adotado. Por isso, é necessário que essas informações sejam produzidas nas condições específicas de cada propriedade.

Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de algodão são muito pequenas. Os dados encontrados na literatura indicam que, para cada 1.000 kg de algodão em caroço produzidos, são acumulados cerca de 120 g de boro, 43 g de Cu (cobre), 60 a 1.200 g de Fe, 52 a 92 g de Mn, 1 g de Mo, e 43 a 62 g de Zn (zinco) (MALAVOLTA et al., 1991; STAUT; KURIHARA, 2001).

No Brasil, geralmente a exportação de micronutrientes de algumas cultivares plantadas, para cada 1.000 kg de algodão em caroço produzidos, se situa na faixa de 16 a 27 g de B, 6 a 9 g de Cu, 7 a 200 g de Fe, 10 a 15 g de Mn e 11 a 44 g de Zn (ALTMANN; PAVINATO, 2001; STAUT; KURIHARA, 2001; MALAVOLTA, 2002).

Na Austrália, Rochester (2007) mediu as quantidades de nutrientes absorvidos pelo algodoeiro e exportados nas sementes em dois experimentos de campo entre 1999 e 2005. Nesses experimentos, cuja produtividade de algodão em pluma variou de 975 a 2.725 kg/ha, o algodoeiro acumulou 168 a 682 g/ha de B, 66 a 214 g/ha de Zn, 26 a 89 g/ha de Cu, 127 a 729 g/ha de Mn, e 350 a 2.022 g/ha de Fe. Por sua vez, as quantidades de micronutrientes exportadas nas sementes foram: 26 a 65 g/ha de B, 59 a 109 g/ha de Zn, 14 a 28 g/ha de Cu, 6 a 22 g/ha de Mn, e 102 a 161 g/ha de Fe.

Malavolta (2002) apresentou um balanço aproximado dos micronutrientes na cultura do algodão no Brasil, considerando o consumo de fertilizantes com micronutrientes e a produção (Tabela 4). Pode-se observar que o balanço entre a entrada pelo uso de fertilizantes e a saída devido à exportação pela cultura é positivo para a maioria dos micronutrientes, exceto ferro que raramente é contemplado na adubação.

Tabela 4. Balanço aproximado dos micronutrientes na cultura do algodão no Brasil.

| Micronutriente | Entrada | Saída | Balanço |
|----------------|---------------|-------|---------|
| | toneladas/ano | | |
| Boro | 180 | 58 | 122 |
| Cobre | 120 | 19 | 101 |
| Ferro | 0 | 435 | -435 |
| Manganês | 340 | 29 | 311 |
| Molibdênio | 8 | 0,3 | 7,7 |
| Zinco | 400 | 23 | 377 |

Fonte: Malavolta (2002).

Principais Causas de Deficiências e Toxicidade de Micronutrientes

O conhecimento dos fatores que influenciam o aparecimento de deficiência ou toxicidade de micronutrientes é de fundamental importância para o manejo da adubação.

A pobreza no solo é a principal causa de deficiência de todos os micronutrientes, mas o total presente no solo não indica, necessariamente, a quantidade disponível. Dentre os fatores que influenciam a disponibilidade dos micronutrientes, o pH do solo é um dos mais importantes. Assim, com exceção de Mo, cuja disponibilidade aumenta com a elevação do pH, a calagem aumenta as chances de ocorrer deficiência de micronutrientes, sobretudo quando são aplicadas doses elevadas de calcário. Por sua vez, em condições de acidez elevada (pH em água menor que 5,0), ocorre aumento da solubilidade de micronutrientes catiônicos (Cu, Zn, Fe e Mn). É o caso, por exemplo, do Mn, cuja fitotoxicidade pode ocorrer na faixa de pH entre 4 a 5, mas o aumento do pH numa unidade reduz a disponibilidade de Mn e de Zn em 100 vezes (MORTVEDT et al., 1991).

O potencial de óxido-redução do solo (aeração) influencia a disponibilidade de Fe e de Mn, favorecendo a predominância de formas mais oxidadas, em condições de boa aeração, e mais reduzidas (Fe^{2+} e Mn^{2+} , absorvidas pelas plantas), em condições de baixa aeração (encharcamento, compactação). Assim, em condições onde ocorre combinação de pH elevado ou calagem excessiva e chuvas intensas, com encharcamento do solo, é possível que ocorra deficiência temporária de Fe induzida pelo aumento da solubilidade de Mn (MORTVEDT et al., 1991; LOPES, 1999).

Outro fator que interfere na disponibilidade dos micronutrientes é a matéria orgânica, que é a principal fonte de B nos solos nas condições tropicais. Assim, fatores que inibem a decomposição da matéria orgânica, como condições de seca, reduzem o suprimento de B para as plantas. Por sua vez, os micronutrientes metálicos, especialmente Cu, Mn e Zn, formam complexos estáveis com a matéria orgânica ("fixação"), induzindo a deficiência. Solos arenosos, com baixa CTC, em locais sujeitos a elevados índices de chuva tendem a ser pobres em micronutrientes, especialmente B, devido ao alto grau de lixiviação.

A absorção de micronutrientes pela planta pode ser afetada também pela presença de outro nutriente na solução do solo. Estas interações ocorrem tanto no solo como na planta podendo resultar em antagonismo, inibição ou sinergismo. São conhecidas, por exemplo, as interações envolvendo P x Zn, P x Fe, S x Mo, N x B, Mn x Fe, B x Zn, Mo x Cu, entre outras, em que o excesso do primeiro na adubação leva à diminuição da absorção do segundo, caracterizando a inibição. No caso da interação P x Mo, ocorre sinergismo, ou seja, a presença do fósforo favorece a absorção de molibdênio. Devido às diversas interações que ocorrem entre os micronutrientes, os fertilizantes do tipo quelatos são mais eficientes que os sais, especialmente em pulverizações foliares com soluções contendo vários micronutrientes.

Na Tabela 5 é apresentado um resumo das causas mais comuns de deficiência de micronutrientes no Brasil.

Tabela 5. Principais causas de deficiência de micronutrientes.

| Elemento | Causas de deficiência |
|------------|---|
| Qualquer | Pobreza no solo |
| | Falta na adubação ou baixa solubilidade |
| | Uso inadequado (dose, localização, época) |
| | Variedades menos eficientes |
| Boro | Seca (veranico) |
| | Muita chuva (lixiviação) |
| | Baixo teor de matéria orgânica |
| | Excesso de nitrogênio na adubação |
| Cobre | Calagem excessiva (pH > 6,5) |
| | Muito fósforo na adubação |
| | Elevado teor de matéria orgânica |
| Ferro | Calagem excessiva (pH > 6,5) |
| | Excesso de manganês (deficiência induzida) |
| | Alto teor de matéria orgânica e umidade (solos orgânicos, várzea) |
| | Calagem excessiva (pH > 6,3) |
| Manganês | Alto teor de matéria orgânica (solos orgânicos) |
| | Acidez (pH baixo) |
| Molibdênio | Excesso de enxofre e pouco fósforo na adubação |
| | Calagem excessiva (pH > 6,5) |
| Zinco | Excesso de fósforo na adubação |

Fonte: Adaptado de Malavolta et al. (1989).

Adubação do Algodoeiro com Micronutrientes

De acordo com Malavolta et al. (1989), adubar é a arte de responder perguntas. Qual ou quais o(s) elemento(s) aplicar? Em que quantidade? Qual a melhor época de aplicação? Qual o modo mais eficiente de aplicar? Qual o efeito do nutriente na produtividade e na qualidade do produto? Qual o impacto da adubação no meio ambiente? Qual é o custo?

Para responder a essas perguntas, a adubação deve ser pensada como uma equação, em que a quantidade do micronutriente (Mi) a ser fornecida pelo adubo é igual à diferença entre a exigência da cultura e a capacidade de suprimento pelo solo, multiplicada por um fator (f), maior que uma unidade, para compensar as perdas. Essas perdas são devido à lixiviação (boro, cloro), reações de adsorção e precipitação no solo (boro, cobalto, cobre, zinco, manganês, ferro, molibdênio) e erosão.

$$Mi \text{ (adubo)} = [Mi \text{ (exigência da cultura)} - Mi \text{ (solo)}] \times f$$

A exigência da cultura é determinada pela análise química da planta inteira, enquanto a quantidade exportada é medida pela análise química da parte exportada, no caso do algodoeiro, fibras e sementes.

A análise química do solo fornece resultados que permitem a avaliação da fertilidade do solo, servindo de base para a recomendação de calagem e adubação. Porém, a recomendação de micronutrientes para o algodoeiro com base na análise de solo ainda é limitada, sobretudo no Cerrado, devido à insuficiência de experimentos de calibração para esses nutrientes. Por isso, juntamente com a análise de solo e o histórico da área (uso de fertilizantes contendo micronutrientes), a análise química das folhas é muito importante para auxiliar na recomendação e monitorar, ao longo dos anos, possíveis problemas de deficiência ou de toxidez.

Tão importante quanto a análise é a amostra. Assim, a amostragem do solo e de folhas deve ser feita respeitando os critérios técnicos para que a amostra represente fielmente a área avaliada.

Interpretação da Análise de Solos para Micronutrientes

A seguir são apresentadas as tabelas de interpretação de análise de solos para micronutrientes divulgadas pelos órgãos oficiais de pesquisa e pelas Comissões Estaduais de Fertilidade do Solo (Tabela 6, 7 e 8).

Tabela 6. Interpretação de resultados de análise de solo para micronutrientes em solos de Cerrado, camada 0-20 cm, pH H₂O 6,0 para Cu, Mn e Zn.

| Teor no solo | B (água quente) | Cu | Mn | Zn |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| mg/dm ³ | | | | |
| Baixo | < 0,2 | < 0,4 | < 1,9 | < 1,0 |
| Médio | 0,3 a 0,5 | 0,5 a 0,8 | 2,0 a 5,0 | 1,1 a 1,6 |
| Alto | > 0,5 | > 0,8 | > 5,0 | > 1,6 |

Extrator Mehlich 1 para Cu, Mn e Zn.
Fonte: Sousa e Lobato (2004).

Tabela 7. Interpretação de resultados de análise de solo para micronutrientes no Estado de São Paulo.

| Teor no solo | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|--------------------|-------------|-----------|--------|-----------|-----------|
| mg/dm ³ | | | | | |
| Baixo | < 0,2 | < 0,2 | < 4 | < 1,2 | < 0,5 |
| Médio | 0,21 a 0,60 | 0,3 a 0,8 | 5 a 12 | 1,2 a 5,0 | 0,6 a 1,2 |
| Alto | > 0,60 | > 0,8 | > 12 | > 5,0 | > 1,2 |

Extratores: B = água quente; Cu, Fe, Mn e Zn = DTPA.
Fonte: Raij et al. (1996).

Tabela 8. Interpretação de resultados de análise de solo para micronutrientes em Minas Gerais.

| Teor no solo | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|--------------------|-------------|-----------|---------|--------|-----------|
| mg/dm ³ | | | | | |
| Muito baixo | □ 0,15 | □ 0,3 | □ 8 | □ 2 | □ 0,4 |
| Baixo | 0,16 a 0,35 | 0,4 a 0,7 | 9 a 18 | 3 a 5 | 0,5 a 0,9 |
| Médio ¹ | 0,36 a 0,60 | 0,8 a 1,2 | 19 a 30 | 6 a 8 | 1,0 a 1,5 |
| Bom | 0,61 a 0,90 | 1,3 a 1,8 | 31 a 45 | 9 a 12 | 1,6 a 2,2 |
| Alto | > 0,90 | > 1,8 | > 45 | > 12 | > 2,2 |

¹O limite superior dessa classe indica o nível crítico. Extratores: B = água quente; Cu, Fe, Mn e Zn = DTPA
Fonte: Alvarez et al. (1999).

Interpretação de Análise de Folhas para Micronutrientes na Cultura do Algodoeiro

Os teores de nutrientes presentes nas folhas são reflexos das condições de fertilidade dos solos e da adubação a que a cultura está submetida. Assim, existe uma relação direta entre os teores no solo e aqueles presentes nos tecidos foliares e destes com a produtividade, até determinado limite.

Basicamente, a diagnose foliar consiste em se determinar o conteúdo dos nutrientes nas folhas e comparar os resultados usando-se tabelas de interpretação geradas pela pesquisa. Trata-se de uma ferramenta essencial para a avaliação do estado nutricional do algodoeiro e da disponibilidade de nutrientes no solo, sobretudo para os micronutrientes, devendo ser usada em conjunto com a análise do solo e o histórico de uso da área, visando a uma recomendação de adubação que proporcione a máxima eficiência econômica.

Geralmente, recomenda-se a coleta de, pelo menos, 25 folhas por área homogênea, colhidas de 25 plantas diferentes, sendo a folha retirada da quarta ou da quinta posição do caule principal contada a partir do ápice, durante o período de máximo florescimento. Essa folha é recém-madura, completamente expandida, fisiologicamente a mais ativa e se encontra em equilíbrio fisiológico. Normalmente, o período decorrente entre a amostragem das folhas e a obtenção dos resultados não permite que a correção seja feita em tempo hábil no mesmo ano. Porém, uma vez detectadas as deficiências ou excessos, as correções deverão ser feitas para atender à cultura subsequente.

Na Tabela 9, são apresentadas as faixas de teores foliares consideradas adequadas para a cultura do algodão no Estado de São Paulo. Na Tabela 10, encontram-se as faixas de teores foliares observados em áreas de alta produtividade na Região do Cerrado.

Tabela 9. Teores foliares de micronutrientes considerados adequados para o algodoeiro.

| B | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn |
|---------|--------|----------|----------|-----------|----------|
| mg/kg | | | | | |
| 30 a 50 | 5 a 25 | 40 a 250 | 25 a 300 | 0,5 a 1,0 | 25 - 200 |

Fonte: Silva e Rajj (1996); Malavolta (1987).

Tabela 10. Teores foliares de nutrientes medidos em lavouras de alta produtividade no Cerrado do Brasil.

| B | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn |
|---------|--------|----------|---------|-------|---------|
| mg/kg | | | | | |
| 40 a 80 | 8 a 15 | 70 a 250 | 35 a 80 | 1 a 3 | 30 a 65 |

Fonte: Yamada et al. (1999); Malavolta (2002).

Recomendações Oficiais de Adubação com Micronutrientes para a Cultura do Algodoeiro no Brasil

Geralmente, recomenda-se que seja feita uma adubação corretiva para atingir níveis adequados e adubações de manutenção para restituir a quantidade exportada pela cultura (GALRÃO, 2004; SOUSA; LOBATO, 2004). As recomendações oficiais para alguns Estados e para a Região do Cerrado são descritas na Tabela 11.

Respostas do algodoeiro à adubação com micronutrientes

As pesquisas feitas com micronutrientes na cultura do algodoeiro nas diversas regiões produtoras do Brasil, sendo as mais recentes no Cerrado, mostram que são freqüentes as respostas ao B. As respostas ao Zn são raras e ocorrem em áreas de Cerrado recém-abertas ou em solos pobres nesse nutriente e cultivados sucessivamente sem adubação com Zn. Eventualmente, ocorre resposta ao Mn via pulverização foliar, em solos com pH (em água) acima e 6,3. A adubação corretiva com Zn, Cu e B é uma estratégia eficiente para suprir a necessidade desses nutrientes para a cultura, apresentando efeito residual de pelo menos 4 anos (SILVA, 1999; ROSOLEM et al., 2001b; ZANCANARO et al., 2005; ROSOLEM, 2005; FERREIRA; CARVALHO, 2005).

Boro

Dentre os micronutrientes, tem-se observado que o B é o mais limitante, havendo respostas do algodoeiro à adubação, sobretudo em regiões com alto potencial produtivo e solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e áreas com calagem

excessiva e sem histórico de aplicações de B nas últimas safras (SILVA et al., 1982; CARVALHO et al., 1996a, 1996b; REIS JÚNIOR, 2001; ZANCANARO et al., 2004).

No Brasil, as recomendações oficiais de adubação do algodoeiro com B (Tabela 11) são para aplicar de 0,5 a 2,5 kg/ha de B anualmente (no sulco de semeadura, em cobertura ou parte no sulco e parte em cobertura), quando o teor de B no solo, extraído pelo método de água quente, for menor que 0,6 mg/dm³. As doses maiores (2 a 2,5 kg/ha de B) são indicadas para áreas de solos arenosos, pobres em matéria orgânica e que já apresentaram algum sintoma de deficiência. A adubação foliar é recomendada apenas para corrigir deficiências observadas durante o desenvolvimento da planta, parcelada em pelo menos quatro aplicações de 0,15 a 0,18 kg/ha de B cada uma, durante o florescimento (SILVA; RAIJ, 1996).

Tabela 11. Recomendações oficiais para adubação do algodão com micronutrientes.

| Estado /Região | Recomendação |
|-----------------------|---|
| MG ^{1/} | Em solos corrigidos, arenosos, pobres em matéria orgânica: aplicar 1,0 kg/ha de B no sulco de plantio. |
| Cerrado ^{2/} | Adubação corretiva, quando os teores encontram-se no nível baixo (Tabela 6): aplicar a lanço 2,0 kg/ha de B, 2,0 kg/ha de Cu, 6,0 kg/ha de Mn, 6,0 kg/ha de Zn e 0,4 kg/ha de Mo; ou aplicar no sulco de plantio um terço dessas doses em três anos consecutivos. Sintomas de deficiências observados: pulverizar com 400 L/ha de uma das seguintes soluções: 0,3% de ácido bórico ou 0,5% de bórax; 0,5% de sulfato de Zn; 0,5% de sulfato de Mn; 0,5% de sulfato de Cu. Adicionar, exceto na solução com bórax, 1,0 g/L de cal extinta ou cal hidratada. |
| SP ^{3/} | Solos corrigidos, teor de B no solo < 0,61 mg/dm ³ : aplicar 0,5 kg/ha de B no sulco. Solos arenosos, pobres em matéria orgânica, B no solo < 0,21 mg/dm ³ : 1,0 kg/ha de B; aparecendo sintomas aplicar 1,2 kg/ha. Solos com 0,21 a 0,60 mg/dm ³ de B: usar 0,5 - 1,0 kg/ha de B no sulco ou em cobertura, junto com nitrogênio, dose 25% maior do que a do sulco. Foliar: alternativa para corrigir deficiências - 4 aplicações de 0,15 - 0,18 kg/ha de B cada uma, durante o florescimento. Na correção de solo de Cerrado: aplicar 3,0 kg/ha de Zn, se o teor no solo < 0,6 mg/dm ³ . |
| MS ^{4/} | 0,5 a 1,2 kg/ha de B, 4,5 a 5,5 kg/ha de Zn no sulco de semeadura, as maiores doses referem-se a solos de Cerrado. |
| GO ^{5/} | 1,0 a 1,5 kg/ha de B; 2 kg/ha de Zn aplicados no sulco de plantio. |

1/Pedroso Neto et al. (1999); 2/Galvão (2004); 3/Silva e Rajj (1996); 4/Staut e Kurihara (1998); 5/Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Goiás (1988).

Os resultados de pesquisas recentes feitas nas condições do Cerrado (FERREIRA; CARVALHO, 2005; ZANCANARO et al., 2004a) têm validado as recomendações oficiais. Em Mato Grosso, Zancanaro e Tessaro (2006) concluíram, a partir de dados de um experimento de campo conduzido por três safras, no qual se variou doses de B e saturações por bases do solo (ZANCANARO et al., 2004), que a aplicação anual de 1,0 kg/ha desse nutriente é suficiente para suprir a necessidade da cultura; os autores verificaram, também, que as aplicações de quantidades pequenas anualmente são mais eficientes que o efeito residual de doses elevadas.

Os resultados experimentais indicam, também, que a adubação anual com quantidades de B acima de 2,0 kg/ha/ano ou a adubação corretiva a lanço, com quantidades ainda maiores, resulta em elevação dos teores de B no solo (SILVA et al., 1982; FERREIRA; ZANCANARO et al., 2004a, 2005; CARVALHO, 2005), que tende a se acumular nas camadas subsuperficiais (SILVA et al., 1982; FERREIRA; CARVALHO, 2005). Esse acúmulo no solo permite o efeito residual da adubação, confirmado pelo aumento de produtividade e/ou do teor de B na folha do algodoeiro nas safras subsequentes.

Na literatura, há relatos de toxicidade de B no algodoeiro, devido à aplicação de doses superiores a 2,0 kg/ha no sulco de semeadura. No Estado de São Paulo, foi constatado que doses desse nutriente acima de 1,6 kg/ha, aplicadas durante 9 anos consecutivos, levaram ao acúmulo de B no solo e provocaram redução na produtividade no último ano de avaliação (SILVA, 1999).

Em Santa Helena de Goiás, GO, num solo com 600 g/kg de argila e 0,4 mg/dm³ de B, foram observados sintomas de toxicidade nas plantas novas quando se aplicou mais de 2 kg/ha de B no sulco de plantio. Entretanto, os sintomas desapareceram à medida que a planta se desenvolveu e não afetou a produtividade de algodão (FERREIRA; CARVALHO, 2005). Por sua vez, quando o fertilizante foi aplicado a lanço e incorporado no solo antes do plantio, não foram detectados sintomas de toxicidade e nem diminuição da produtividade, nas duas safras avaliadas, mesmo com doses de até 21 kg/ha, quando os teores de B atingiram a 1,23 mg/dm³ no solo e 84 mg/dm³ na folha do algodoeiro (Figura 1).

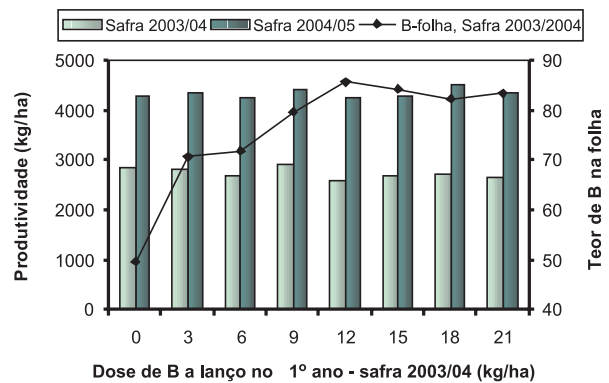


Fig. 1. Produtividade de algodão em caroço e teor de B na folha, em função de doses desse nutriente aplicadas a lanço em solo argiloso com 0,4 g/dm³ de B e 40 g/dm³ de matéria orgânica. Santa Helena de Goiás, GO, safra 2003-2004 e 2004-2005.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Carvalho (2005).

Com relação ao modo de aplicação, alguns estudos têm mostrado que embora as aplicações foliares sejam efetivas em aumentar o teor do nutriente nas folhas, a aplicação via solo (sulco ou cobertura) resulta em maior produtividade (CARVALHO et al., 1996a, 1996b).

Nos experimentos conduzidos em solos arenosos do oeste da Bahia e em solos argilosos de Santa Helena de Goiás, GO, embora não tenha havido diferença de produtividade, dentre as diversas formas de aplicação no solo (pré-plantio a lanço, sulco, sulco + cobertura, cobertura) a aplicação parcelada, parte no sulco e o restante em cobertura, foi a que proporcionou maior aumento no teor de B na folha (FERREIRA; CARVALHO, 2005). Respostas positivas do algodoeiro à aplicação foliar de B e de Mn foram verificadas num solo de Cerrado com pH de 6,7 (REIS JÚNIOR, 2001).

Devido à alta mobilidade de B no solo, especialmente nos solos arenosos, é recomendável parcelar a adubação (sulco + cobertura, sulco + foliar, sulco + cobertura + foliar), mas as doses necessárias tendem a diminuir na seqüência dos modos de aplicação: lanço > cobertura > sulco >> foliar. A adubação via solo é mais eficiente que a adubação foliar, que deve ser usada apenas como complemento.

Zinco

No Brasil, na grande maioria dos estudos de adubação do algodoeiro com Zn, não se obteve resposta em aumento de produtividade, de onde se

conclui que o algodoeiro é pouco exigente nesse nutriente. Silva (1999) relatou que, num experimento de longa duração conduzido em Latossolo Roxo do Estado de São Paulo, após alguns anos de calagens e de adubações fosfatadas, surgiram sintomas de deficiência de Zn. Nessas condições, a aplicação de 3 kg/ha de Zn no sulco de semeadura, usando sulfato de zinco, foi suficiente para evitar o aparecimento dos sintomas de carência e promover aumentos significativos na produtividade de algodão.

Galvão (2004) indica para o Cerrado, quando o teor no solo for considerado baixo (menor que 1,0 mg/dm³ determinado pelo método Mehlich 1), a adubação corretiva com 6 kg/ha de Zn ou a divisão dessa quantidade em 3 anos consecutivos no sulco de semeadura, a qual, segundo o autor, supre as necessidades da cultura por, pelo menos, quatro cultivos. No Estado de São Paulo, é recomendada a aplicação de 3,0 kg/ha de Zn no sulco de semeadura, em áreas de Cerrado, quando o teor no solo, extraído com DTPA, encontra-se abaixo de 0,6 mg/dm³ (SILVA; RAIJ, 1996).

Em Turvelândia, GO, em solo argiloso de alta fertilidade, com saturação por bases, na camada de 0 a 20 cm, variando de 54% a 76% e adubado anualmente com micronutrientes, não houve resposta à aplicação de Zn, Cu, Mn e B aplicados no solo (FERREIRA; CARVALHO, 2005). As concentrações dos micronutrientes nas folhas se encontravam em níveis considerados adequados, com exceção do Mn, cujos teores foram deficientes, quando a saturação por bases do solo foi superior a 70%.

Em Santa Helena de Goiás, GO, em experimento conduzido por 3 anos (safras 2003/2004 a 2005/2006), em Latossolo Vermelho-Argiloso, com saturação por bases de 47% e 1,1 g/dm³ de Zn (Mehlich 1), não houve resposta em produtividade com aplicação foliar (duas pulverizações foliares com 200 l/ha de solução 0,5% de sulfato de Zn) e nem com doses de 5 a 20 kg/ha de Zn aplicados a lanço e incorporados ou 1/3 da dose aplicada no sulco de plantio em cada safra, embora os teores de Zn no solo e na folha do algodoeiro tenham aumentado significativamente (FERREIRA; CARVALHO, 2005; CARVALHO et al., 2007).

Em Campo Novo dos Parecis, MT, foi conduzido um experimento de campo por três safras consecutivas, para estudar a resposta do algodoeiro à adubação corretiva com Zn em diferentes níveis de saturação por bases do solo, após 4 anos de cultivo com soja (ZANCANARO et al., 2004). Verificou-se um pequeno incremento de produtividade apenas no primeiro ano (safra 2001/2002) na menor dose aplicada, quando o teor de Zn no solo passou de 0,6 para 1,1 mg/dm³ (Figura 2). Nas safras seguintes, as produtividades não foram afetadas pelo teor de Zn no solo, embora os teores na folha tenham diminuído.

Em função desses resultados, Zancanaro e Tessaro (2006) concluíram que em solos com teor de Zn acima de 1,7 mg/dm³ e saturação por bases abaixo de 60% a probabilidade de resposta do algodoeiro ao Zn é muito baixa. Assim, esses autores sugerem o valor de 1,7 mg/dm³ (extrator Mehlich 1) como nível crítico de Zn para o algodoeiro. Esse valor é bem próximo do nível crítico de 1,6 mg/dm³ de Zn, proposto para várias culturas em Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999) e na Região do Cerrado (GALRÃO, 2004).

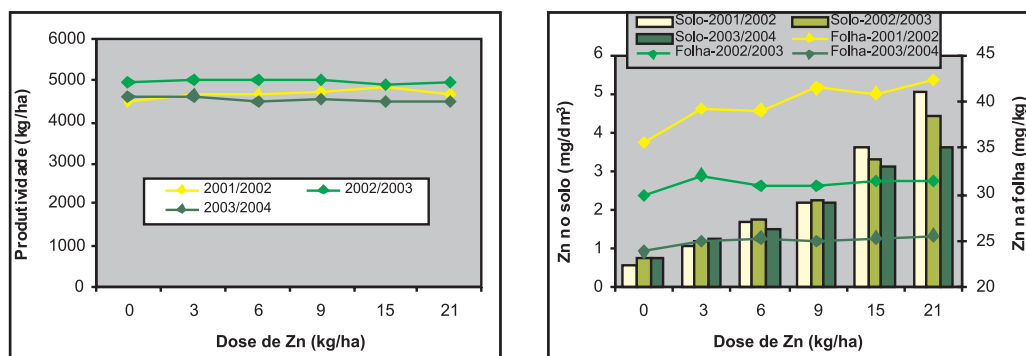


Fig. 2. Resposta do algodoeiro à adubação corretiva com Zn e teores médios desse nutriente no solo e na folha. A aplicação de Zn foi feita em 1997 a lanço e incorporado no solo, em área de Cerrado recém-aberta, seguida de 4 cultivos sucessivos com soja e 3 com algodão.

Fonte: Adaptado de Zancanaro et al. (2004a).

Assim, os resultados de pesquisas recentes, conduzidas nas condições do Cerrado, indicam que a adubação corretiva com 6 kg/ha de Zn, conforme recomendada por Galvão (2004), é uma estratégia eficiente para suprir as necessidades da cultura, apresentando efeito residual por cerca de 4 a 5 anos. É importante avaliar a necessidade de adubação com base na análise de solo, na diagnose visual (sintomas de deficiência na planta), no histórico das adubações e nos resultados de análise de folhas feitas em anos anteriores.

Manganês

Os resultados de pesquisas feitas, recentemente, na Região do Cerrado, mostram que é muito pouco provável a resposta do algodoeiro à adubação com Mn, em solos com saturação por bases abaixo de 60% e pH em água menor que 6,0. De acordo com Ferreira e Carvalho (2005), no oeste da Bahia, em solos de textura arenosa e média, onde a calagem em excesso chega a elevar o pH em água a valores acima de 6,3, é comum o aparecimento de sintomas de deficiência de Mn. Em condições semelhantes de pH do solo maior que 6,3, tem-se verificado resposta à aplicação foliar desse nutriente em Mato Grosso do Sul (REIS JÚNIOR, 2001).

Em Santa Helena de Goiás, GO, um experimento conduzido por duas safras consecutivas em Latossolo Vermelho-Argiloso com 13 mg/dm³ de Mn e saturação por bases 57 %, os teores desse nutriente na folha aumentaram linearmente com as quantidades aplicadas tanto no solo como via pulverizações foliares (Figura 3). Contudo, não houve influência na produtividade. Mesmo sem a aplicação de Mn, o teor do nutriente na folha (116 mg/kg) se encontrava na faixa considerada suficiente para o algodoeiro.

Rosolem (2005) relata que existem indicações de que a produtividade do algodoeiro só seria afetada pela deficiência de Mn quando os teores nas folhas recém-maduras estivessem abaixo 20 ou 30 mg/kg. Segundo o mesmo autor, como o comportamento desse nutriente na planta é variável em função das cultivares e das condições do meio, a diagnose visual é mais importante que a diagnose foliar, em se tratando do manejo da adubação com esse nutriente.

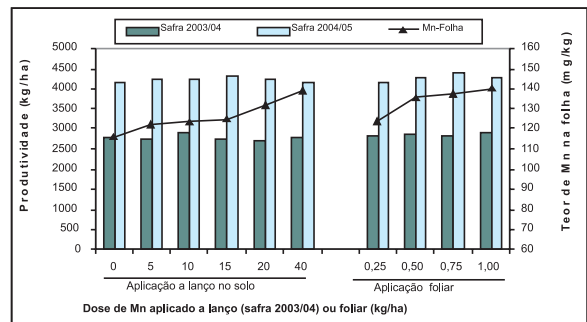


Fig. 3. Resposta do algodoeiro à adubação corretiva com sulfato de manganês aplicado a lanço e incorporado no solo. Santa Helena de Goiás, GO, safras 2003-2004 e 2004-2005.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Carvalho (2005).

Rosolem (2005) ressalta, também, que considerando a possível ocorrência de toxicidade de Mn, dependendo da região do País e da cultivar plantada, a adubação com esse nutriente deve ser feita com muito critério. Uma sugestão seria esperar a manifestação dos sintomas iniciais de deficiência nas folhas e então fazer a correção com aplicação foliar, estratégia que tem se mostrado eficiente para a cultura da soja.

Em Mato Grosso, em experimento conduzido por três safras consecutivas, em solo argiloso com 7 mg/dm³ de Mn (Mehlich 1) e saturação por bases que variou de 29 % a 59 %, a adubação corretiva com esse nutriente não afetou a produtividade do algodoeiro (Figura 4). Nessas condições, os autores concluíram que os solos com teores de Mn acima de 7 mg/dm³ (menor teor medido na área experimental) apresentam baixa probabilidade de resposta à adubação com esse nutriente, desde que a saturação por bases não seja superior a 60 %. Esse valor está um pouco acima do nível crítico de 5 mg/dm³ de Mn sugerido para diversas culturas no Cerrado (GALRÃO, 2004), mas abaixo dos 8 mg/dm³ indicado para Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999).

Cobre

No Brasil, não há registros de resposta do algodoeiro à adubação com Cu, mesmo em solos sob vegetação de Cerrado recém-aberto.

Num experimento conduzido em Campo Novo dos Parecis, MT (ZANCANARO et al., 2004), não houve resposta à aplicação de Cu, em área sob vegetação de Cerrado recém-aberto, quando o solo continha 0,8 mg/dm³ desse nutriente e as folhas mais que 6,5 mg/kg de Cu, mesmo após 4 cultivos com soja e 3 cultivos com algodão (Figura 5).

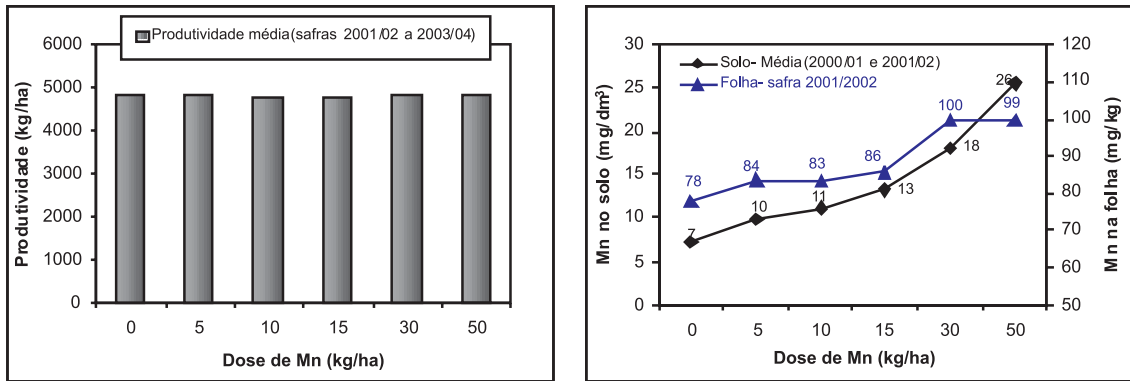


Fig. 4. Resposta do algodoeiro à adubação corretiva com Mn e teores médios desse nutriente no solo e na folha. A aplicação de Mn foi feita em 1997, a lanço, e incorporada no solo, em área de Cerrado recém-aberta, seguida de quatro cultivos sucessivos com soja e de três com algodão. Fonte: Adaptado de Zancanaro et al. (2004).

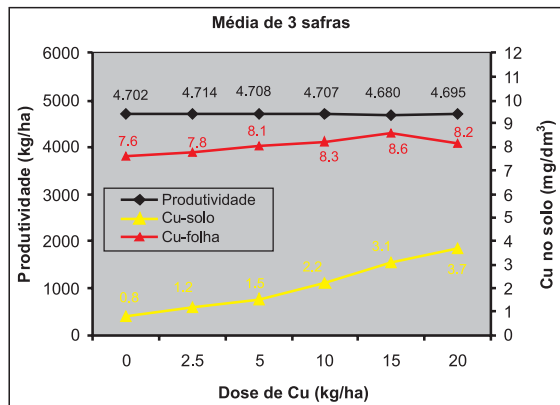


Fig. 5. Resposta do algodoeiro à adubação corretiva com Cu, após quatro cultivos sucessivos com soja. A aplicação desse nutriente foi feita em 1997, a lanço e incorporada no solo, em área de Cerrado recém-aberta, seguida de 4 cultivos sucessivos com soja e 3 com algodão. Fonte: Adaptado de Zancanaro et al. (2004).

Em Goiás, também não foi observada resposta à aplicação de Cu em solo argiloso com 40 g/dm³ de matéria orgânica, 58 % de saturação por bases e 2,3 mg/dm³ de Cu, na camada 0 a 20 cm de profundidade (FERREIRA; CARVALHO, 2005); os teores desse nutriente na folha variaram de 8 a 11 mg/kg.

Os resultados dos experimentos conduzidos na Região do Cerrado permitem concluir que em solos com teor de Cu acima de 0,8 mg/dm³ (extrator Mehlich 1) a probabilidade de resposta do algodoeiro à adubação com esse micronutriente é praticamente nula. Esse valor é exatamente igual ao sugerido por Galvão (2004) como nível crítico para diversas culturas no Cerrado. Galvão (2004) sugere, também, fazer adubação corretiva com 2 kg/ha desse nutriente a lanço, na abertura de novas áreas de Cerrado.

Considerando os resultados de pesquisas conduzidas em Mato Grosso, Zancanaro e Tessaro (2006) concluíram que, a adubação corretiva com 3 a 6 kg/ha de Cu, aplicado em área total e incorporado, é uma estratégia eficiente para suprir a necessidade em solos deficientes, com a vantagem de apresentar efeito residual por vários anos. Mais recentemente, os resultados obtidos no primeiro ano de um experimento conduzido em Pedra Preta, MT (ZANCANARO et al., 2005) mostraram que a aplicação de Cu em solo de textura argilosa com teor elevado desse nutriente, cultivado há vários anos com algodão, resultou em redução da produtividade (Figura 6).

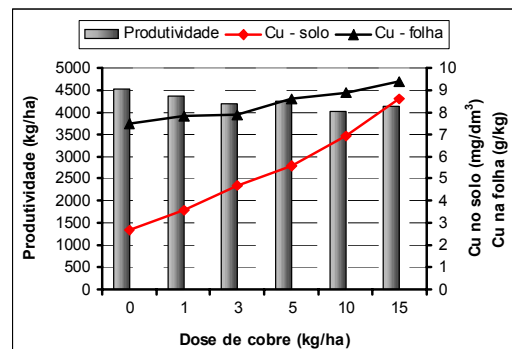


Fig. 6. Produtividade de algodão em caroço (cultivar Delta Opal) e teores de Cu no solo e na folha, em função de doses desse nutriente aplicadas a lanço e incorporadas em pré-plantio. Pedra Preta, MT, safra 2004-2005. Fonte: Adaptado de Zancanaro et al. (2005).

Fontes de Micronutrientes e Modos de Aplicação

A aplicação de micronutrientes pode ser feita via solo (lanço, no sulco, fertirrigação), via pulverização foliar ou via semente (Mo e Co). Os micronutrientes

devem ser fornecidos de preferência via solo, devido ao efeito residual por vários anos, principalmente do cobre e do zinco. No caso do boro, é comprovado que a adubação via solo é mais eficiente que a foliar (CARVALHO et al., 1996a, 1996b). A pulverização foliar deve ser usada para complementar a adubação via solo, caso a quantidade aplicada tenha sido insuficiente. No caso do algodoeiro, no período do florescimento, a aplicação foliar de boro pode resultar em benefícios para a planta, não substituindo, porém, o fornecimento via solo. Por outro lado, quando ocorre aplicação de calcário em excesso, se o pH do solo estiver acima de 6,5, a adubação foliar é mais eficiente do que a via solo, sobretudo para manganês.

As fontes de micronutrientes insolúveis em água como as fritas (FTE), os óxidos (de Zn, Mn e Cu) e a ulexita (fonte de boro) têm sua eficiência reduzida quando usadas na forma granulada (LOPES, 1999). Para aplicação no sulco na forma granulada, é conveniente o uso de fontes com pelo menos 40% do teor total solúvel em CNA (citrate neutro de amônio). As fontes mais indicadas para aplicação via solo são: bórax, ulexita e derivados granulados, para boro; oxi-sulfatos (óxidos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico) de Cu, Zn e Mn; sulfato de cobalto e óxido de molibdênio. Pode-se fazer aplicações via solo com fontes solúveis (sulfatos, ácido bórico) associados a herbicidas, por exemplo. Para pulverização foliar podem ser usados: ácido bórico (B), sulfatos (de Cu, Mn, Zn e Fe), molibdatos (Mo) e quelatos (de Zn, Cu, Mn, Fe), além de diversos produtos comerciais derivados dessas fontes. Os quelatos são mais eficientes do que os sais, especialmente em soluções com vários micronutrientes.

Adubação Foliar

A adubação foliar fundamenta-se no fato de as folhas possuem capacidade de absorção de água e nutrientes. Após a absorção, o nutriente poderá ser transportado da folha para outros órgãos, via floema, implicando em gasto de energia; porém, a mobilidade dos nutrientes no floema não é igual para todos os nutrientes. Dentre os micronutrientes, o boro é muito pouco móvel razão pela qual a pulverização foliar é menos eficiente do que a aplicação via solo.

A velocidade de absorção de nutrientes pela folha e, conseqüentemente, a eficiência da adubação foliar é influenciada por diversos fatores internos (inerentes à própria planta) e externos (solução e condições ambientais) (MALAVOLTA, 1980; ROSOLEM, 1984; BOARETO; ROSOLEM, 1989). Dentre os fatores externos, destacam-se: 1) a fonte de nutrientes; 2) a composição e a concentração da solução; 3) o pH da solução; 4) luz; 5) temperatura e umidade do ar; 6) ângulo de contato e 7) eficiência do equipamento de pulverização. Com relação aos fatores internos, as folhas mais novas, com maior umidade superficial e menor concentração interna do elemento, absorvem mais rapidamente o nutriente aplicado.

A composição e a concentração da solução é um dos fatores que mais influenciam a eficiência da adubação foliar: quanto mais concentrada a solução maior é a absorção. Com relação à composição da solução considerando-se que a velocidade de absorção via foliar é variável para cada elemento as seguintes observações devem ser levadas em conta, visando ao aumento da eficiência da adubação foliar, de acordo com Rosolem (1984) e Lopes (1999):

- A presença de uréia na solução facilita a absorção de outros elementos devido à difusão facilitada.
- O sulfato de magnésio é um agente protetor contra queimaduras foliares em concentrações mais altas;
- Não se deve misturar, devido ao alto grau de incompatibilidade: sais de cobre com sulfato de magnésio, ácido bórico e boratos; sais de zinco com óleos minerais; nem sais de cobre com uréia (desfolhante).
- A uréia, o cloreto de potássio e o sulfato de magnésio, quando presentes na solução aumentam a absorção de zinco do sulfato de zinco.
- O uso de agentes espalhantes diminui a tensão superficial e aumenta a superfície de contato com a folha, aumentando a eficiência da adubação foliar.
- Embora ocorra certo grau de inibição na absorção de zinco, pela mistura de fertilizantes contendo cobre e boro, uma maior concentração de zinco na solução contorna esse problema, permitindo a aplicação conjunta dos três micronutrientes via foliar.

- As pulverizações devem ser feitas no final da tarde ou pela manhã, quando o orvalho presente favorece a absorção dos micronutrientes.
- Para a pulverização em mistura com defensivos devem-se usar quelatos como fontes de micronutrientes, devido à maior compatibilidade destes em misturas.
- Para soluções com alta concentração, o pH deve ser ajustado entre 5,5 a 6,5.

Em comparação com a adubação via solo, a adubação foliar apresenta as seguintes vantagens: 1) torna possível a distribuição uniforme de nutrientes exigidos em pequenas quantidades; 2) as respostas das plantas são rápidas, possibilitando corrigir deficiências a curto prazo, embora, em alguns casos, a produtividade já esteja comprometida; 3) possibilita a aplicação dos micronutrientes conjuntamente com os defensivos e 4) é a forma mais eficiente de correção de nutrientes em solos com pH muito elevado.

As desvantagens são: 1) em função da baixa mobilidade da maioria dos micronutrientes, requerem várias aplicações e, a menos que possam ser combinados com a aplicação de defensivos, os custos operacionais são altos; 2) o efeito residual é muito menor do que a aplicação via solo e 3) além dos problemas de incompatibilidade, em soluções com vários nutrientes a presença de um elemento pode afetar negativamente a absorção do outro.

Os produtos usados na adubação foliar podem ser simples (contém apenas um elemento principal) e mistos (contém dois ou mais nutrientes). Em geral, quando os micronutrientes estão contidos em soluções de macronutrientes apresentam concentrações muito baixas, não sendo suficientes para corrigir deficiências. Os produtos que visam corrigir deficiências de micronutrientes devem ter maiores concentrações destes e baixas concentrações de macronutrientes. A concentração de micronutrientes a ser aplicada na cultura dependerá do volume da calda e do tipo de produto utilizado (sais ou quelatos). A eficiência dos quelatos é bem maior do que a dos sais, necessitando, portanto, de quantidades menores.

Considerações Finais

A recomendação de adubação para determinada cultura é o final de um longo período de pesquisas nas mais diversas condições de clima, solo, cultivares e sistemas de manejo. As recomendações de adubação são diretrizes técnicas importantes para otimizar o retorno do investimento feito na cultura, visando ao aumento da produtividade pela melhoria da fertilidade dos solos. Elas indicam a faixa de quantidades de cada nutriente na qual é mais confiável investir para melhorar a rentabilidade do empreendimento. Indicam, também, como manejar os fertilizantes (modos e épocas de aplicação), com o objetivo de aumentar a eficiência de absorção pelas plantas e minimizar as perdas. Porém, as quantidades de nutrientes recomendadas não devem ser tomadas como uma receita. Cabe ao técnico responsável pelo dimensionamento da adubação fazer as adaptações, baseando-se nas condições locais. Os resultados das análises de solo e de folhas devem ser avaliados em conjunto com o histórico da área (adubações realizadas, surgimento ou não de sintomas de deficiências em safras anteriores) para auxiliar na tomada de decisão das quantidades a serem aplicadas.

Referências Bibliográficas

- ALTMANN, N.; PAVINATO, A. Experiências da SLC Agrícola no manejo da fertilidade do solo no cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 94, p. 1-4, 2001.
- 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. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-36.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to cooper. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 14, p.371-375, 1939.

- BOARETO, A. E.; ROSOLEM, C. A. **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 669 p.
- CARVALHO, L. H.; SILVA, N. M.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; KONDO, J. L.; CHAVEGATO, E. J. Aplicação de boro no algodoeiro em cobertura e em pulverização foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 265-269, 1996a.
- CARVALHO, L. H.; SILVA, N. M.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; KONDO, J. L.; CHAVEGATO, E. J. Aplicação de boro no algodoeiro em cobertura e em pulverização foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 271-275, 1996b.
- CARVALHO, M. C. S.; BARBOSA, K. A.; TEOBALDO, A. S. Resposta do algodoeiro a fontes, doses e modos de aplicação de zinco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6, 2007, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: AMIPA/ABRAPA/Embrapa Algodão, 2007. 1 CD-ROM.
- COMISSÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES DO ESTADO DE GOIÁS. **Recomendação de corretivos e fertilizantes para o Estado de Goiás**. Goiânia: UFG, 1988. 51 p.
- FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S. **Adubação do algodoeiro no Cerrado: com resultados de pesquisa em Goiás e Bahia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 71 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 138).
- FUNDAÇÃO MT. **Boletim de Pesquisa do Algodão**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. 283 p. (Fundação MT. Boletim, 4).
- GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 8, p.185-226.
- LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agronômica**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1999. 58 p. (Boletim Técnico, 8).
- LOPES, A. S. **Solos sob cerrados: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162 p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. 496 p.
- MALAVOLTA, E. **Micronutrientes para algodão e soja**. Piracicaba: CENA: USP, 2002. 21 p.
- MALAVOLTA, E.; BOARETO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes: uma visão geral. In: FRREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da (Ed). **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: POTAFOS, 1989. 319 p.
- MARCUS-WYNER, L.; RAINS, D. W. Nutritional disorders of cotton plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 13, p. 685-736, 1982.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MEDEIROS, L. B.; ALVES, W. W. A.; FONSECA, R. G.; FEITOSA, J. V. Algodão branco e colorido submetido à adubação silicatada: qualidade da fibra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5, Salvador, BA, 2005. **Anais...** Salvador, 2005. 1 CD-ROM.
- MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. **Micronutrients in Agriculture**. 2. ed. Madison: SSSA, 1991.
- PASSOS, S. M. G. **Algodão**. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1980. 138 p.
- PEDROSO NETO, J. C.; FALLIERI, J.; LANZA, M.; SILVA, N. M.; LACA BUENDIA, J. Algodão. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 278-279.

- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed., Campinas, SP: Instituto Agronômico: Fundação IAC, 1996. cap. 24, p. 261-273. (Instituto Agronômico. Boletim Técnico, 100).
- REIS JÚNIOR, R. A. Produtividade do algodoeiro em função da adubação potássica. In: **Resultados de pesquisa com algodão, milho e soja-safra 2000/2001**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste: Fundação Chapadão, 2001. p. 79-85.
- ROCHESTER, I. J. **Nutrient uptake and export from na Australian cotton field. Nutrient cycling in agroecosystems**, Dordrecht, v. 77, p. 213-223, 2007.
- ROSOLEM, C. A. Fertilizantes foliares. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA-DEP, 1984. p.419-450.
- ROSOLEM, C. A. Micronutrientes em Algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5, Salvador, BA, 2005. **Anais...** Salvador, 2005. 1 CD-ROM.
- ROSOLEM, C. A. Problemas em nutrição mineral, calagem e adubação do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, 2001b. 17 p. (Encarte Técnico, 95).
- ROSOLEM, C. A.; BASTOS, G. B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2. p. 377-387, 1997.
- ROSOLEM, C. A.; FERELLI, L. Resposta diferencial de cultivares de algodão ao manganês em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 355-361, 2000.
- ROSOLEM, C. A.; QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. Algodão, amendoim e soja. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B.; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq: FAPESQ: POTAFOS, 2001a. p. 319-354.
- SILVA, N. M. da. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. dos. **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: 1999. p. 57-92.
- SILVA, N. M. da; CARVALHO, L. H.; CIA, E.; FUZZATO, M. G.; CHIAVEGATO, E. J.; ALLEONI, L. R. F. Seja o doutor do seu algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 69, 1995. 26 p. (Arquivo do Agrônomo, 8).
- SILVA, N. M. da; CARVALHO, L. H.; CHIAVEGATO, E. J.; SABINO, N. P. Efeitos de doses de boro aplicadas no sulco de plantio do algodoeiro, em solos diferentes. **Bragantia**, Campinas, v. 41, p. 181-191, 1982.
- SILVA, N. M. da; RAIJ, B. van. Fibras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed., Campinas: Instituto Agronômico: Fundação IAC, 1996. cap. 24, p. 261-273. (Instituto Agronômico. Boletim Técnico, 100).
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p. il.
- STAUT, L. A.; KURIHARA, C. H. Calagem e Adubação. In: EMBRAPA AGROPECUARIA OESTE. **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Embrapa Algodão, 2001. p.103-123.
- TOMQUELSKI, G. V. **Atividade de indutores de resistência a pragas e doenças na cultura do algodão**. 2005. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP.
- YAMADA, T.; MALAVOLTA, E.; MARTINS, O. C.; ZANCANARO, L.; CASALE, H.; BAPTISTA, I. **Teores foliares de nutrientes observados em áreas de alta produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1999.
- ZANCANARO, L.; HILLESHEIM, J.; TESSARO, L.; VILELA, L. C. S. Calibração dos teores de manganês, zinco, cobre e boro no solo e nas folhas

da cultura do algodão cultivado em solo com condição de acidez variável. In: RELATÓRIO técnico FACUAL 2004. Rondonópolis: Fundação MT, 2004. Disponível em: <<http://www.facual.org.br>>. Acesso em: 10 abr. 2007.

ZANCANARO, L.; HILLESHEIM, J.; TESSARO, L.; VILELA, L. C. S. Resposta da cultura do algodão à adubação com zinco, cobre, manganês e boro em

solos com textura média e solos com textura arenosa. In: RELATÓRIO técnico FACUAL 2005. Rondonópolis: Fundação MT, 2005. Disponível em: <<http://www.facual.org.br>>. Acesso em: 10 abr. 2007.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. Calagem e adubação. In: ALGODÃO: pesquisa e resultados para o campo. Cuiabá: FACUAL, 2006. p. 56-81.

**Circular
Técnica, 110**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1143 Centenário, CP 174
58107-720 Campina Grande, PB
Fone: (83) 3315 4300 Fax: (83) 3315 4367
e-mail: sac@cnpa.embrapa.br

1ª Edição
Tiragem: 500

**Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**



**Comitê de
Publicações**

Presidente: Nair Helena Castro Arriel
Secretária Executiva: Nivia Marta Soares Gomes
Membros: Demóstenes Marcos Pedroza de Azevedo
Everaldo Paulo de Medeiros
Fábio Aquino de Albuquerque
Francisco das Chagas Vidal Neto
João Luiz da Silva Filho
José Wellington dos Santos
Luiz Paulo de Carvalho
Nelson Dias Suassuna

Expedientes: Supervisor Editorial: Nivia M.S. Gomes
Revisão de Texto: Nisia Luciano Leão
Tratamento das ilustrações: Oriel Santana Barbosa
Editoração Eletrônica: Oriel Santana Barbosa