

Produção Animal

UNICASTELO



MICRONUTRIENTES NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Autores:

DEIVIDI RODRIGO DIAS¹

KÄTHERY BRENNECKE^{2*}

LIANDRA MARIA ABAKER BERTIPAGLIA³

PAULO HENRIQUE MOURA DIAN⁴

GABRIEL MAURÍCIO PERUCA DE MELO⁵

HELENO A. DE LIMA FILHO⁶

¹ Discente de graduação do curso de Agronomia da UNIVERSIDADE BRASIL, campus Descalvado

^{2,3,4,5} Docentes do curso de Mestrado Stricto sensu em Produção Animal da UNIVERSIDADE BRASIL, campus Descalvado

*orientadora email: katherybr@yahoo.com.br

⁶ Discente do Mestrado Stricto sensu em Produção Animal da UNIVERSIDADE BRASIL, campus Descalvado.

Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar / Deividi Rodrigo
Dias...[et.al]. Descalvado: [s.n.], 2016.

31p. : il. (Boletim Técnico da Universidade Camilo Castelo Branco,
Departamento de Produção Animal, 18)

1.Adubação. 2. Produtividade. 3. Saccharum officinarum.
I. Brennecke, Käthery. II. Bertipaglia, Liandra Maria Abaker. III. Dian,
Paulo Henrique Moura. IV. Melo, Gabriel Maurício Peruca de.
V. Lima Filho, Heleno A. de. VI. Título.

CDD 633.61

Boletim Técnico da Produção Animal

(Programa de Mestrado Profissional em Produção Animal)

Ano 2016

Universidade Camilo Castelo Branco

campus Descalvado

Disponibilização *on line*

Autores / Organizadores

Profa. Dra. Cássia Maria Barroso Orlandi

Prof. Dr. Gabriel M.P. de Melo

Profa. Dra. Käthery Brennecke

Prof. Dra. Liandra M.A. Bertipaglia

Profa. Dr. Paulo Henrique Moura Dian

Prof. Dr. Vando Edésio Soares

MICRONUTRIENTES NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

A cana-de açúcar é uma das culturas de maior importância no cenário atual do agronegócio brasileiro. Embora tenha apresentado aumentos de produtividade no país no decorrer dos últimos anos, a produtividade média de cana-de-açúcar está em torno de 74 t ha⁻¹ e pode ser considerada baixa em comparação ao potencial genético das variedades atuais, do qual acredita-se que, a produtividade, poderia ser maior se a expansão não tivesse ocorrido também em solos pouco favoráveis, principalmente no estado de São Paulo. Diante disso, foi constatada, além da calagem e adubação convencional com NPK, a necessidade de uma adubação mais específica para suprir a falta dos micronutrientes exigidos pela planta. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou fazer uma revisão de literatura sobre os micronutrientes e sua importância na cultura da cana-de-açúcar. Foram abordados assuntos referentes aos sintomas de deficiências na cultura e mostrados resultados da adubação com os micronutrientes em diferentes trabalhos científicos publicados. Analisando os trabalhos citados, foram identificados resultados a favor da aplicação de micronutrientes, principalmente em solos com baixa fertilidade, porém, em solos com boa fertilidade, os resultados não são favoráveis à incorporação dos micronutrientes, não mostrando aumento significativo de produção ou melhora de características desejáveis na cultura. Entretanto, muitos autores citam a escassez de pesquisas relacionadas às exigências da cultura perante aos micronutrientes e ainda muitos trabalhos são inconclusivos, deixando incertezas sobre a eficácia de seu uso.

Palavras chave: Adubação, produtividade, *Saccharum officinarum*.

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar representa grande fonte de divisas para o Brasil, tanto pela produção de açúcar quanto pela produção de álcool etílico. Tem apresentado significativa expansão em área cultivada, assim como aumento substancial em sua produtividade, reflexo de vários fatores de produção, como: variedades melhoradas, práticas culturais, tratamentos fitossanitários e utilização de corretivos e fertilizantes (VITTI et al., 2005).

A cana-de-açúcar disseminou-se em todos os estados brasileiros, sobre os mais diferentes tipos de solos.

Embora tenha apresentado aumentos de produtividade no país no decorrer dos últimos anos, a produtividade média da cana-de-açúcar, de 74 t ha⁻¹ (UNICA, 2015), ainda é baixa e poderá ser melhorada. Um dos fatores que contribui para essa baixa produtividade é a expansão da cultura em áreas com solos de baixa fertilidade, especialmente no Estado de São Paulo (SIQUEIRA, 2014).

Embora a cana-de-açúcar seja uma planta muito rústica, a economicidade de sua produção agroindustrial é gradativamente prejudicada à medida que as características ambientais vão se tornando mais adversas (VITTI et. al, 2005).

A exploração cada vez mais intensiva do solo, em áreas pouco favoráveis ou até mesmo em regiões mais propícias ao cultivo da cana-de-açúcar, tem gerado problemas nas culturas, ligados principalmente à retirada de micronutrientes da terra, sem a necessária reposição desses elementos fundamentais à produtividade.

Muitas técnicas agronômicas são empregadas na produção de cana-de-açúcar, dentre elas estão a escolha de variedades adequadas ao solo e clima, a conservação e correção química dos solos, controle de pragas e plantas daninhas, entre outras (VITTI et al., 2005).

Esses solos requerem o aperfeiçoamento do manejo para a obtenção de resultados economicamente mais favoráveis. Para isso, além da correção da acidez do solo com a calagem, adubação com NPK e rotação de culturas com leguminosas como a soja, amendoim ou a utilização de adubos verdes, é fundamental a aplicação de micronutrientes (MELLIS e QUAGGIO, 2009).

A resposta da cultura à aplicação dos micronutrientes ainda é pouco conhecida na cana-de-açúcar, pois há poucos trabalhos sobre o assunto. Esta carência de informações gera incertezas em relação ao uso de micronutrientes em cana-de-açúcar e ainda existem dúvidas quanto às doses a serem aplicadas, qual o momento adequado em se aplicar e até sobre a capacidade de respostas da cultura ao uso destes, fazendo com que os produtores deixem de adubar a cultura com estes elementos, o que pode estar comprometendo a produtividade da cultura no Brasil.

Portanto, a busca pela escolha de adubação balanceada visando maior produtividade são pontos cada vez mais abordados e é neste contexto em que se enquadra a utilização de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar e justifica o tema dessa revisão.

2. OBJETIVO

O objetivo desta revisão foi identificar a importância da aplicação de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância econômica e produtiva da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar tem grande importância no setor socioeconômico do país, principalmente na produção de açúcar e etanol (SIQUEIRA, 2014).

A cana-de-açúcar está entre as culturas que mais se expande no país. De acordo com dados do UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar – (2015) a área plantada de cana-de-açúcar no Brasil, em 2015, foi de aproximadamente 11 milhões de hectares, dos quais 5,7 milhões se encontram no Estado de São Paulo e a produtividade média foi de 74 t ha⁻¹.

Segundo Becari (2010) a produção agrícola brasileira de cana-de-açúcar deverá aumentar, acompanhando o crescimento da demanda mundial por açúcar e álcool por muitos anos. Isso se dará devido ao possível fim dos subsídios do açúcar europeu, a conquista de novos mercados consumidores, e principalmente com a

busca global por fontes de energia renováveis capazes de reduzir o uso de combustíveis fósseis e a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera.

Já Peres (2014) informou que a produtividade média de cana-de-açúcar no Brasil vem diminuindo, principalmente, devido aos menores investimentos em nutrição mineral. Entretanto, solos com maior fertilidade natural ou adubados suportam um número maior de cortes até a reforma do canavial, de maneira que a produtividade ao longo dos anos se mantém econômica (ROSSETTO et al., 2008, citado por PERES, 2014).

A expansão da cana-de-açúcar no Brasil ocorreu em áreas tradicionais e não tradicionais de cultivo desta cultura e muitas indústrias foram montadas em regiões de solos com baixa fertilidade, que além da calagem, rotação de culturas e adubação NPK, observam-se baixos teores de micronutrientes no solo (VITTI et al., 2005).

A produtividade da cana-de-açúcar é influenciada pela disponibilidade de nutrientes pelo solo, portanto, a adubação é muito importante para a cultura (AZEVEDO, 2002), como a dos micronutrientes (KORNDORFER et al., 1995).

A maioria dos solos tropicais tem baixa disponibilidade de micronutrientes, principalmente zinco e boro ocasionado pela baixa fertilidade natural desses solos, alto grau de intemperização e também pelo manejo inadequado, como excesso de calagem (ou incorporação superficial do calcário) e mesmo de adubação (fosfatada).

Em sistemas com cultivo de cana-de-açúcar, Tokeshi (1991), acrescenta que o micronutriente é influenciado, além da correção da acidez do solo, pelas variedades da cana-de-açúcar, pela água disponível e pelas atividades dos microorganismos.

Vitti et al. (2005) comentam que a adubação com micronutrientes em cana-de-açúcar ainda apresenta controvérsias, até mesmo em solos onde os teores são baixos. Muitos resultados de pesquisa são contraditórios e a mente conservadora de técnicos que trabalham no setor resulta por discriminar a utilização de micronutrientes nas práticas de adubação, porém alguns estudos indicam ganhos expressivos em produtividade com a aplicação de micronutrientes.

Historicamente no setor canavieiro, tem sido dada pouca atenção para a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de micronutrientes. No entanto, é imprescindível que seja explicada a importância desses elementos para essa cultura (VITTI et al, 2005).

3.2 Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, assim como todas as plantas superiores, necessita de macro (N, P, K, Ca, Mg, S) e de micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Ni e Si) para o seu desenvolvimento (MELLIS e QUAGGIO, 2015).

Os nutrientes vegetais podem ser definidos como aqueles sem os quais as plantas não completam seu ciclo de vida, insubstituíveis por outros, e diretamente envolvidos no metabolismo vegetal (BECARI, 2010).

Eles desempenham funções vitais no metabolismo das plantas, pois são responsáveis por processos metabólicos e/ou fenológicos e ativadores enzimáticos (MELLIS e QUAGGIO, 2015).

Como produz alta quantidade de massa, a cana-de-açúcar extrai grande quantidade de nutrientes do solo e os acumula na planta (SEIXAS, 2010).

A importância dos micronutrientes para a cultura da cana-de-açúcar é evidenciada quando se observam as quantidades extraídas dos mesmos, que podem ser relativamente baixas quando comparadas à extração de macronutrientes, porém de fundamental importância ao desenvolvimento da cultura (ORLANDO FILHO, 1993).

De acordo com Fageria et al. (2002), citado por Adorna (2011), a deficiência de micronutrientes está muito generalizada por todo o mundo, devido ao aumento na demanda de micronutrientes por práticas mais intensivas de manejo e adaptação de cultivares altamente produtivos, que podem ter maior exigência por micronutrientes; aumento na produção de culturas em solos marginais com baixos níveis de nutrientes essenciais; maior uso de fertilizantes concentrados e com menor quantidade de micronutrientes; diminuição no uso de esterco de animais, de compostos e de resíduos de culturas, o uso de solos com baixas reservas nativas, e envolvimento de fatores naturais e antropogênicos que limitam a adequada disponibilidade para as plantas e criam desequilíbrios entre os nutrientes.

Casarin et al. (2001) relatam que em solos de baixa fertilidade ou que são explorados durante muitos anos, a ocorrência de deficiência de micronutrientes na cana-de-açúcar torna-se ainda mais agravada.

Os ganhos de produtividade proporcionados pelos micronutrientes na cana-de-açúcar vão além do simples fato de se produzir mais e aumentar a rentabilidade da cultura. Atualmente há grande demanda pela produção de etanol de cana-de-

açúcar no país, o que tem feito com que a área ocupada pela cultura cresça a cada dia. Porém, essa expansão tem gerado crítica por parte da comunidade internacional, que chegou a considerar o Brasil como o principal responsável pela crise mundial de alimentos, alegando-se que a cana-de-açúcar tem ocupado áreas antes destinadas à produção de grãos (MELLIS e QUAGGIO, 2009).

Malavolta (1982), citado por Vitti et al. (2005) apresentou as quantidades de micronutrientes extraídas e exportadas pela cultura da cana-de-açúcar, que seguem na tabela 1.

Tabela 1. Extração e Exportação de micronutrientes para a produção de 100 t de colmos (Vitti, 2005)

Planta	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo*
	-----g. 100 t ⁻¹ -----					
Colmos	149	234	1.393	1.052	369	1,00
Folhas	86	105	5.525	1.420	223	
Total	235	339	7.318	2.470	592	1,00

Fonte: Malavolta, 1982

Embora extraídos em menores quantidades, os micronutrientes que podem apresentar as maiores limitações para a produtividade da cultura da cana-de-açúcar no Brasil são o Cu e o Zn (ORLANDO FILHO et al., 1994). Para Mellis et al. (2008) os limitantes são B, Cu, Zn, Mn e Mo.

Orlando Filho et al. (2001) alertam que a cana-de-açúcar muitas vezes apresenta o fenômeno da “fome oculta” em relação aos micronutrientes. Ou seja, a planta não mostra os sintomas característicos visíveis da deficiência de micronutrientes, mas a deficiência existe limitando economicamente a produtividade.

Vitti e Mazza (2002) encontraram em amostras de folhas e de solos, teores de micronutrientes abaixo dos adequados para cana-de-açúcar, principalmente de B e Zn, nas regiões de Piracicaba e Araçatuba, embora não tenham sido especificados quais solos.

Anderson e Bowen (1992) comentam que os solos cultivados com cana apresentam teores adequados de ferro, porém eventualmente podem ocorrer deficiência deste micronutriente em solos com pH na faixa alcalina.

Ainda são poucos os trabalhos com micronutrientes na cana-de-açúcar no Brasil, principalmente realizados a campo, sendo que em alguns casos são

observadas respostas com aplicação de micronutrientes e em outros isso não ocorre (ADORNA, 2011).

3.3 Funções dos micronutrientes e sintomas das deficiências

Os micronutrientes desempenham funções vitais no metabolismo das plantas, fazendo parte de compostos responsáveis por processos metabólicos e da ativação enzimática, atuando no crescimento, perfilhamento, resistência às doenças, qualidade e produtividade (VITTI et al., 2005).

3.3.1 BORO (B)

O Boro é responsável pelo desenvolvimento de raízes e transporte de açúcares (VITTI et al., 2005). Este elemento está diretamente relacionado ao metabolismo do cálcio, responsável pela formação adequada da parede celular (VITTI et al., 2005).

O B é um elemento químico solúvel em água e os minerais contendo B possuem baixa dureza. São encontrados em depósitos evaporíticos em regiões desérticas aonde eram anteriormente lagoas ou praias (ZANARDO e MARQUES JÚNIOR, 2009).

O B é um elemento essencial para o crescimento da planta, pois participa em diversos processos, tais como, absorção de íons, transporte de carboidratos, síntese de lignina e celulose, além de ácidos nucleicos e proteínas (ALLEONI; CAMARGO; CASAGRANDE, 1998).

A primeira demonstração de que o Boro é essencial à cana-de-açúcar resultou de um trabalho de Van den Honert, em 1932; onde ele detectou que uma concentração de 0,1 ppm de B foi suficiente para reestabelecer plantas que apresentavam sintomas de deficiência desse micronutriente (ESPIRONELLO, 1976).

Segundo Espironello et al. (1996), os teores foliares do elemento considerados adequados para cana-de-açúcar estão entre 10 e 30 mg kg⁻¹ do peso do material vegetal seco.

Alguns fatores observados por Lopes e Carvalho (1988) afetam a disponibilidade de B às plantas, segundo eles as altas precipitações pluviométricas causam lixiviação do B e reduzem a sua disponibilidade às plantas principalmente

em solos de textura arenosa, além disso, secas prolongadas também reduzem a disponibilidade do B e podem induzir deficiência nas culturas. Os mesmos autores citaram que ocorre menor decomposição da matéria orgânica, principal fonte natural de B em solos tropicais. Além disso, ocorre também redução no crescimento das raízes das plantas reduzindo a sua capacidade de absorção do B do solo. O pH do solo também é um importante fator que controla a disponibilidade de B à planta, ocorrendo maior disponibilidade na faixa entre 5 e 7.

Estudando os sintomas de deficiência de Boro, Martin (1934), citado por Espironello et al. (1996) observou o desenvolvimento anormal da cana em solução nutritiva desprovida desse micronutriente, com enfezamento da planta, apresentação de folhas cloróticas e distorcidas, lesões definidas nas folhas e no colmo, paralisação do crescimento dos tecidos meristemáticos e morte prematura da planta.

Anos depois a Martin, Tokeshi (1991) observou algo semelhante sobre a deficiência deste micronutriente que apresentou pequenas estrias cloróticas e aquosas no espaço internerval das folhas jovens.

As áreas cloróticas podem evoluir para a necrose e o crescimento irregular do limbo foliar causando enrugamento em algumas bandas, como mostra a figura 1 (VITTI et al., 2005). Isso também foi observado por Tokeshi (1991), que citou que em casos mais severos, os sintomas evoluem para a necrose das folhas, encurtamento do limbo foliar e necrose do tecido meristemático intercalar, causando os sintomas da necrose interna em forma espiral no caule, próximo ao meristema apical.



Figura 1. Folhas novas apresentando enrugamento (Vitti et al., 2005).

O B é um micronutriente extremamente importante para a cana-de-açúcar, principalmente quando relacionado ao acúmulo de sacarose (SIQUEIRA, 2014). Segundo o autor, o efeito promissor do B no acúmulo de sacarose, pode estar relacionado à sua função na formação da parede celular e na estrutura dos vasos condutores.

Martello (2016) estudou o efeito da deficiência de Boro em duas variedades da cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva e verificou que as variedades estudadas, comportaram-se de maneira diferente frente a baixa disponibilidade de B na solução nutritiva, sendo uma mais tolerante que a outra em relação à deficiência de boro, porém, para ambas a deficiência reduziu o comprimento e superfície das raízes, e aumentou o diâmetro radicular das plantas de cana-de-açúcar. Houve redução do comprimento de entrenós e altura de plantas. Também detectou que a produção de matéria seca foi incrementada nas plantas sob deficiência de B e a concentração de nutrientes na parte aérea, exceto Ca, foi reduzida.

O mesmo autor comenta que novos estudos são necessários para refinar a recomendação de B para a cana-de-açúcar, não apenas no que diz respeito à taxa a ser aplicada, mas também para investigar o destino do micronutriente na planta.

No entanto, em adubação com Boro, Alvarez e Wutke (1963), utilizando 1 kg ha⁻¹ de Boro no solo e Malavolta (1990), com duas aplicações foliares de 0,175 kg h⁻¹ de B, conseguiram aumentos de produtividade da ordem de 18%.

Em estados de deficiência mais avançados, a planta apresenta desenvolvimento retardado chegando a secar suas folhas e morrer (SULTANUM, 1972).

A faixa entre a deficiência e a toxidez de B é muito estreita (BOWEN, 1983). Apesar de essencial à vida das plantas, o papel do Boro não está totalmente esclarecido, ainda há poucos trabalhos na literatura relacionados a nutrição de B em cana-de-açúcar. Estudos são escassos e os resultados na maioria das vezes inconclusivos (MARTELLO, 2016).

3.3.2 CLORO (Cl)

O cloro é um elemento essencial tendo envolvimento no desdobramento da molécula da água na fotossíntese, o que tem sido confirmado por vários autores (MARSCHENER, 1986 citado por DECHEN et al., 1991).

Pouco se sabe sobre a função do cloro em outros processos metabólicos (VITTI et al., 2005).

Além disso, não há registros de deficiência de Cl para os cultivos no estado de São Paulo (ABREU e RAIJ, citado por CANTARELLA et al, 1997).

De acordo com Anderson e Bowen (1992), a deficiência do cloro provoca encurtamento e deformação das raízes, além do aumento das raízes laterais, porém, em solos brasileiros a deficiência dificilmente será observada, devido à utilização em larga escala de cloreto de potássio (KCL) como fonte de K para a cultura (ORLANDO FILHO et al., 2001).

3.3.3 COBRE (Cu)

O cobre é absorvido pelas plantas na forma iônica (Cu^{+2}) (SOBRAL e WEBER, 1983). É um dos micronutrientes de maior importância para a cana-de-açúcar, atuando como ativador de diversas enzimas (TAIZ; ZEIGER, 2004), como a polifenoloxidase, que é de grande importância nos processos respiratórios das plantas em crescimento (BONNER, citado por JACINTO et al .1964).

Segundo Humbert (1963), os níveis mais altos de cobre na cana são encontrados no anel de crescimento e nas regiões de cera.

Na planta o cobre é considerado parcialmente móvel, o que faz com que os sintomas visuais de sua deficiência apareçam primeiramente nas folhas mais novas (MALAVOLTA et al. 1997).

Lopes e Carvalho, (1988) observaram que a disponibilidade do Cu às plantas é afetada pelo pH do solo. Quanto maior o pH do solo, menor é a disponibilidade do Cu às plantas e dependendo do teor do micronutriente no solo pode causar deficiências nas culturas.

A deficiência de cobre é generalizada nos tabuleiros distróficos do Nordeste, Norte Fluminense (Campos dos Goytacazes) e no Espírito Santo. Em Pernambuco e Alagoas a aplicação de cobre nos canaviais proporcionou aumento na produtividade da cultura (MARINHO e ALBUQUERQUE, 1981).

Analisando as deficiências de Cu em cana, Anderson e Bowen (1992) citado por Vitti et al. (2005) observaram que uma das deficiências era o pequeno desenvolvimento das plantas, redução na produção das folhas novas e também folhas cloróticas com manchas verde-escuras, que podem ser observadas na figura 2.

Com o agravamento da deficiência do Cu pode ocorrer redução no vigor e no perfilhamento da cana. As folhas perdem a sua turgidez tornando-se murchas e caídas curvando-se para o solo (doença do “topo caído”) como pode-se observar na figura 3 (BECARI, 2010).

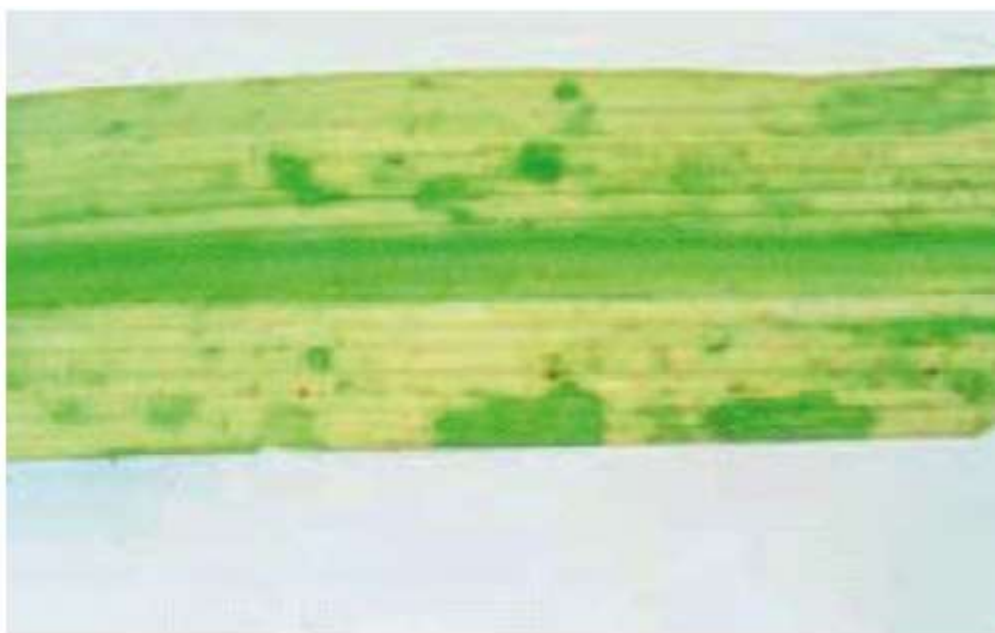


Figura 2. Deficiência do cobre em lâmina foliar de cana-de-açúcar (Anderson e Bowen, 1992).



Figura 3. Deficiência do cobre em lâmina foliar de cana-de-açúcar (Anderson e Bowen, 1992).

Em um experimento realizado em tabuleiros de Pernambuco, foi verificado que 5 kg ha⁻¹ de Cu, como sulfato de cobre, foram suficientes para elevar a produtividade média (cana-planta e duas soqueiras) em 13 t ha⁻¹ (IAAPLANALSUCAR, 1984).

3.3.4 FERRO (Fe)

O ferro atua principalmente no transporte dos elétrons nas células, sendo fundamental na síntese de clorofila, além de participar como ativador enzimático (SOBRAL e WEBER, 1983).

A deficiência de Fe é temporária, tornando o enraizamento mais superficial num período em que os brotos estão sendo nutridos por reservas do colmo das mudas ou pelas raízes das soqueiras. Nesta fase, a cana-de-açúcar apresenta clorose internerval, formando estrias paralelas longitudinais em toda a extensão da folha. Em casos mais severos, as folhas tornam-se brancas e ficam com as pontas ressecadas.

Apesar de ser um sintoma muito comum nos canaviais, não há necessidade de suprir a cana-de-açúcar com esse micronutriente, pois são sintomas que

desaparecem com o estabelecimento pleno das raízes, que encontram Fe disponível em abundância nos solos brasileiros.

Mesmo assim, Alvarez e Wutke (1963), verificaram que a adição de 2 kg ha⁻¹ de Fe proporcionaram um aumento de 9% na produtividade de cana-de-açúcar.

A figura 4 demonstra a cana em idade inicial com sintoma de deficiência de ferro.



Figura 4. Planta clorótica-esbranquiçada (Vitti et al., 2005).

3.3.5 MANGANÊS (Mn)

O manganês é o segundo micronutriente mais exigido pela cultura da cana-de-açúcar (BENNET et al., 2013) e a sua falta pode ocasionar problemas à cultura canavieira, principalmente baixa produtividade.

O manganês atua principalmente como parte do sistema enzimático nas plantas, ativando várias reações metabólicas importantes. Ele tem ação direta na fotossíntese, ajudando na síntese de clorofila e aumentando a disponibilidade de fósforo e cálcio (LOPES, 1998).

Além de atuar na fotossíntese e estar envolvido na estrutura, funcionamento e multiplicação de cloroplastos, também realiza o transporte eletrônico (VITTI et al., 2005).

Segundo Bataglia, citado por Borkert (1988), a disponibilidade do Mn às plantas é afetada pelo pH do solo. O aumento de uma unidade de pH no solo provoca uma redução de 100 vezes na atividade do Mn na solução do solo.

O manganês não é translocado na planta, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas mais novas e as deficiências ocorrem com mais frequência em solos com alto teor de matéria orgânica, em solos com pH de neutro a alcalino, e em solos que naturalmente têm baixo teor de Mn (LOPES, 1998).

Segundo Tokeshi (1991), a deficiência de manganês ocorre principalmente em solos alcalinos, devido à presença de rochas calcárias, conchas marinhas ou com calagem excessiva.

Os sintomas de deficiência de Mn ocorrem inicialmente nas folhas mais novas e se caracterizam pelo aparecimento de estrias cloróticas longitudinais nos espaços internervais; essas estrias são progressivas e tornam-se necrosadas, secando os espaços internervais do limbo foliar, com o decorrer do tempo (SOBRAL e WEBER, 1983).

As plantas de cana-de-açúcar deficientes do micronutriente manganês apresentam sintomas visuais como faixas longitudinais bem distintas de tecidos verde e amarelo do meio para as pontas das folhas, que podem ser observadas na figura 5. Em casos severos, a folha perde totalmente a cor verde, tornando-se uniformemente clorótica; nas regiões esbranquiçadas podem aparecer manchas necróticas que coalescendo produzem estrias contínuas de tecido morto. Também surgem estrias amarelas ao longo das nervuras e folhas mais finas (VITTI et al., 2005).



Figura 5. Estrias amarelas ao longo das nervuras (Vitti et al., 2005)

Azeredo & Bolsanello (1981) obtiveram aumento de até 27% na produtividade da cana-planta com o uso de 5 kg ha⁻¹ de Mn no sulco e um aumento de 10% com pulverização foliar de uma solução com 0,1 g L⁻¹ de Molibdênio.

3.3.6 ZINCO (Zn)

Dentre os micronutrientes essenciais para a produção de cana-de-açúcar o zinco pode ser considerado um dos mais importantes, pois sua deficiência tem sido frequentemente observada. (VALE et al. 2008).

O conteúdo de Zn em plantas é considerado deficiente quando for 400 mg Zn kg⁻¹ (MATTIAZZO-PREZOTTO, citado por MELLIS, 1996).

Para a cultura da cana-de-açúcar são considerados adequados teores foliares de 10 a 50 mg kg⁻¹ de Zn de massa seca (RAIJ et al., 1996).

Segundo Sobral e Weber (1983), o Zn é parcialmente móvel nas plantas e dessa forma sua deficiência primeiramente ocorrerá nas folhas mais novas.

Tokeshi, 1991 observou que em plantas com mais de seis meses nota-se um ligeiro encurtamento nos entrenós, clorose internerval e amarelecimento mais acentuado da margem para a nervura central, quando junto a ela normalmente a lâmina se mantém verde.

Pode-se observar redução do crescimento dos internódios e paralisação do crescimento do topo. Formam-se estrias cloróticas na lâmina foliar, convalescendo e formando uma faixa larga de tecido clorótico de cada lado da nervura central, mas não se estendendo à margem da folha, exceto em casos severos de deficiência (VITTI et al., 2005). Na figura 6, pode-se observar uma faixa larga clorótica.

Em casos mais severos, ocorre necrose das folhas, a partir da ponta. Além disso, a deficiência de Zn na cana-de-açúcar pode provocar também o surgimento de manchas vermelhas nas folhas, devido ao ataque de fungos, como pode ser observada na figura 7 (SOBRAL e WEBER, 1983; ORLANDO FILHO et al., 2001; TAIZ e ZEIGER, 2004).

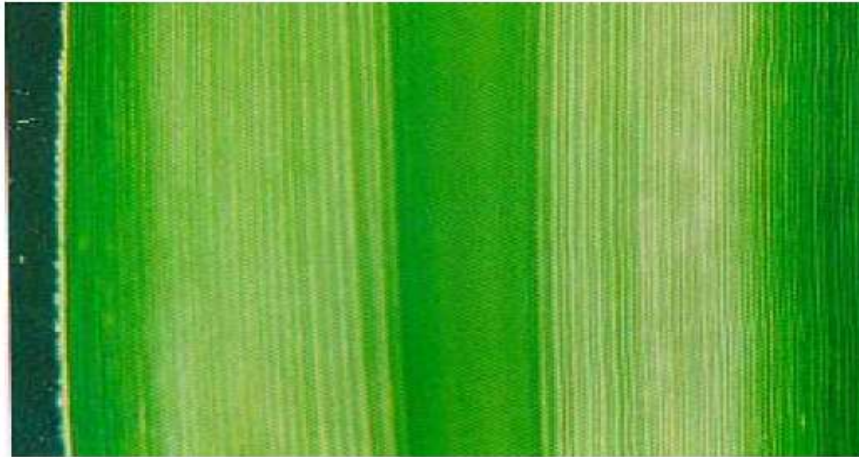


Figura 6. Faixa larga clorótica na lâmina foliar (Becari, 2010)

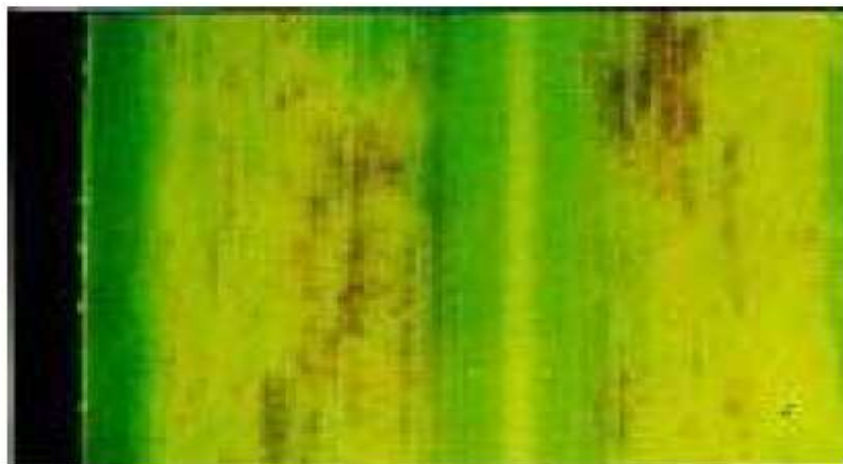


Figura 7. Manchas vermelhas nas folhas em folhas novas (Becari, 2010)

3.3.7 MOLIBDÊNIO (Mo)

O Mo é essencial às plantas que utilizam o nitrato (N-NO_3^-) como uma das fontes de nitrogênio melhorando a eficiência da adubação nitrogenada e a produção de sacarose pela cana. Este micronutriente é componente da enzima redutase do nitrato responsável pela conversão do nitrato (N-NO_3^-) a nitrito (N-NO_2^-) que posteriormente é convertido em aminoácidos (VIDOR e PERES, 1988).

As enzimas que contém Mo possuem funções, tanto estrutural como catalíticas, e estão diretamente relacionadas a reações de óxido-redução do metabolismo do N (MARSCHNER, 1995).

O molibdênio aumenta a eficiência da adubação nitrogenada e a produção de sacarose. É essencial para o metabolismo do nitrogênio em plantas que utilizam

como fonte deste nutriente o nitrato do solo e/ou o nitrogênio atmosférico (VITTI et al., 2005).

Absorvido como Molibdato (MoO_4^{2-}), o Mo tem sua importância para a cana-de-açúcar intimamente ligada ao metabolismo e a fixação biológica do nitrogênio (SOBRAL e WEBER, 1983).

O material de origem é fator preponderante na ocorrência do Mo nos solos. Os menores teores de Mo ocorrem nos solos derivados de sedimentos arenosos e os maiores nos solos derivados de rochas básicas (CAMARGO, 1988).

A deficiência de Mo ocasionará uma diminuição na produção da enzima nitrogenase que se refletirá na redução da quantidade de nitrogênio fixado biologicamente (BERGERSEN, 1974).

Os sintomas de deficiência de Mo são raros, mas quando acontecem, são semelhantes aos observados em plantas deficientes em B, porém, esses aparecem nas folhas mais velhas da cana-de-açúcar (BECARI, 2010), na forma de estrias amarelas de 1 a 3 mm de largura por até 17 cm de comprimento nas folhas de cana-de-açúcar (ORLANDO FILHO, 1982), conforme figura 8.

As estrias começam no terço apical da folha e as folhas mais velhas secam prematuramente, do meio para as pontas (VITTI et al, 2015). Este sintoma pode ser observado na figura 9.

Quando ocorre a deficiência de Mo, geralmente a cana-de-açúcar apresenta níveis mais baixos de açúcares e de ácido ascórbico (SOBRAL e WEBER, 1983).



Figura 8. Deficiência do molibdênio em cana-de-açúcar. (Anderson e Bowen, 1992)

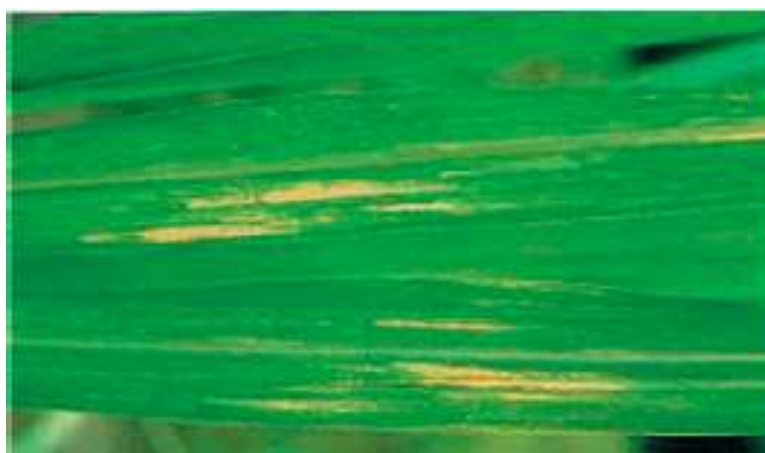


Figura 9. Deficiência do molibdênio em cana-de-açúcar. (Anderson e Bowen, 1992)

3.3.8 NÍQUEL (Ni)

O Ni é componente da urease e está diretamente relacionado ao metabolismo do N. Plantas deficientes em Ni podem apresentar manchas escuras e arredondadas nas folhas novas devido ao acúmulo de ureia. Em casos severos essa deficiência é necrótica (LEVY, 2013).

A essencialidade do Níquel nas plantas superiores foi evidenciada por Eskew et al. (1983), que cultivaram soja em solução nutritiva que apresentou necrose na extremidade dos folíolos devido ao acúmulo de ureia em concentrações tóxicas, consequência da baixa atividade da uréase, decorrente da deficiência de Ni. Trabalhos posteriores (ESKEW et al., 1984) e (BROWN et al., 1987) com feijão e cevada confirmaram a essencialidade do Ni e ele foi inserido na lista de micronutrientes após os pesquisadores verificarem que as sementes de plantas de cevada cultivadas em solução nutritiva com ausência de Ni, após três gerações, eram inviáveis e não germinavam adequadamente (REIS et al., 2014).

O sintoma inicial da deficiência de Ni é a palidez ou amarelecimento das folhas durante o crescimento foliar ou crescimento precoce do dossel das plantas. Essa clorose pálida tende a ser uniforme na folha. Porém, esse sintoma pode ser confundido com a deficiência de enxofre e ferro, portanto não é um bom parâmetro (REIS et al., 2014).

Apesar de ser um micronutriente essencial para a cana-de-açúcar, os sintomas de deficiência de Ni são difíceis de serem detectados em plantas e muitas

vezes, são confundidos com os sintomas de deficiência de Mn e Fe. É mais comum ocorrer toxicidade em plantas por esse elemento (MELLIS e QUAGGIO, 2013).

Outros sintomas da deficiência do Ni nas plantas são redução do tamanho e formato alterado da folha, região verde-escuro nas pontas foliares, necrose apical foliar, curvatura e enrugamento da região apical foliar, em casos mais severos ausência do desenvolvimento laminar (REIS, 2014).

Sintomas de deficiência de Ni, dificilmente são detectados em plantas nas condições de campo, porém, o efeito fitotóxico do Ni é conhecido a muito tempo (REIS, 2014).

3.3.9 SILÍCIO (Si)

O silício é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre e acumula-se nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1 a 10% da matéria seca das mesmas (KORNDORFER, 2004, citado por VITTI et al, 2005).

O Silício não é essencial, mas se destaca por ser um elemento benéfico para a cultura, fortalecendo a estrutura celular e aumentando a resistência ao acamamento e ataque de pragas e patógenos (MELLIS e QUAGGIO, 2015).

O silício é um elemento envolvido com funções relacionadas com a transpiração, capaz de se concentrar na epiderme das folhas formando uma barreira física à invasão de fungos no interior das células, dificultando também, o ataque de insetos sugadores e mastigadores (KORNDORFER, 2004).

O silício apesar de não ser considerado um elemento essencial para as plantas é o elemento mais absorvido pela cana-de-açúcar, seguido por potássio, nitrogênio, cálcio e magnésio (TISDALE et al., 1985) e uma vez que o silício é absorvido pela cana, ele se encontra nas margens das folhas na forma sílica amorfa, podendo desenvolver cargas negativas (EPSTEIN, 1999).

A cana-de-açúcar responde favoravelmente à adubação com Si, particularmente nos solos pobres nesse elemento, entretanto, Alvarez et al, (1988) dizem que para se observar os efeitos desejados do Si sobre a produção, as quantidades de Si requeridas são normalmente elevadas, geralmente entre 3 e 5 t ha⁻¹, tornando esse insumo bastante caro.

Elawad et al. (1982), observaram que quando as lâminas foliares da cana-de-açúcar contêm menos que 1% de silício a planta pode apresentar redução no

crescimento, perfilhamento escasso, senescência prematura de folhas, falhas na brotação e sintomas de deficiência nas folhas diretamente expostas aos raios solares.

Segundo Anderson e Bowen (1992) e Orlando Filho et al. (1994), os sintomas de deficiência de Si em folhas de cana-de-açúcar são demonstrados por pequenas manchas brancas circulares conhecidos como leaf freckling (sardas) nas folhas mais velhas, sintoma demonstrado na figura 10. O aparecimento da ferrugem na cana de açúcar pode estar relacionado com o referido sintoma. Porém de acordo com Fox e Silva (1978), com a aplicação de 6 toneladas de Silicato ao solo o sintoma desaparece.



Figura 10. Sintomas característicos de deficiência de silício (Si) nas faces abaxial (a) e adaxial (b) de folha de cana-de-açúcar. (KORNDORFER, 2004)

3.4 Respostas da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de micronutrientes

A adubação com micronutrientes para a cultura da cana-de-açúcar ainda é pouco utilizada pelos produtores devido à falta de informações consistentes sobre o efeito dos micronutrientes em cana-de-açúcar. Vários autores relatam a falta de trabalhos sobre o assunto (SULTANUM, 1972; ESPIRONELLO et al., 1976; AZEREDO e BOLSANELLO, 1981; ANDRADE et al., 1995 e FRANCO, 2008). Mesmo assim, na sequência serão relatados alguns trabalhos realizados.

Martello, em 2016, estudou o efeito da deficiência de boro em duas variedades da cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva e verificou que as variedades estudadas, comportaram-se de maneira diferente frente à baixa disponibilidade de B na solução nutritiva, uma sendo mais tolerante que a outra com a deficiência de boro, porém, para ambas a deficiência de B reduziu o comprimento e superfície das raízes, e aumentou o diâmetro radicular das plantas de cana-de-açúcar. Houve redução do comprimento de entrenós e altura de plantas. Também detectou que a produção de matéria seca foi incrementada nas plantas sob deficiência de B e a concentração de nutrientes na parte aérea, exceto Ca, foi reduzida.

Alguns trabalhos recentes, associando o B ao uso de maturadores químicos, indicaram estreita correlação entre o fornecimento do nutriente na pré-colheita da cana-de-açúcar e o aumento do teor de sacarose das plantas (LEITE, 2010; SIQUEIRA, 2014).

Peres, em 2014, avaliou a eficiência de fertilizantes fosfatos aplicados no solo e micronutrientes aplicados via foliar sobre a produtividade e qualidade tecnológica em soqueira de cana-de-açúcar e observou que a utilização de micronutrientes não proporcionou ganho produtivo significativo em relação à área sem aplicação.

Adorna et al. (2013), concluíram que a aplicação de Zn e B propiciou o aumento na produtividade de colmos e açúcar em solo arenoso e com baixo teor do nutriente.

Oliveira et al. em 2012, avaliaram a produção de biomassa e a qualidade da forragem no ciclo de cana-planta, em função da adubação com cobre e manganês, aplicados no sulco de plantio e concluíram que a adubação não influenciou em nenhuma das variáveis analisadas, devido provavelmente à alta adsorção desses elementos pela matéria orgânica do solo. No entanto, houve efeito varietal para os acúmulos de matéria natural, matéria seca e a produção de colmos.

Benett et al. (2011) avaliaram o efeito da aplicação de 5 doses diferentes de Mn e 3 fontes (quelato, FTE e sulfato de manganês) aplicados no sulco, imediatamente antes do plantio da cana-planta. Eles concluíram que as fontes de Mn proporcionaram semelhantes produtividades de colmos, porém aumentaram o número de internódios e o diâmetro de colmo na cana-planta e o quelato de Mn proporcionou maior número de colmo por metro de sulco na cana-soca.

Em sua dissertação de mestrado em 2010, Becari realizou 7 tratamentos constituídos por doses fixas de micronutrientes, aplicadas somente no sulco de plantio e avaliou os resultados com adubações individuais de cada micronutriente (Zn, Mn, Cu, B, Mo) e um complexo com os 5 micronutrientes, além do tratamento controle e concluiu que a aplicação de Zn e Mo, no sulco de plantio foi capaz de aumentar o conteúdo foliar destes micronutrientes.

O mesmo autor também observou que a aplicação dos micronutrientes (Zn, Mn, Cu, B e Mo) em solos de baixa fertilidade aumentou a produtividade agrícola e industrial (açúcar) da cana-planta. Além disso, o Zn foi o micronutriente que proporcionou maiores ganhos de produtividade (20 t ha^{-1} em análise conjunta) em cana-planta.

Vasques e Sanches em 2010, avaliaram a eficiência da utilização de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar e concluíram que o uso de micronutrientes proporciona acréscimos na produtividade da cana-de-açúcar. Os melhores resultados foram obtidos quando se utilizam aplicações via tolete mais a foliar.

Franco et al. (2009), constataram que o B na planta derivado de fertilizante 10B, quantificado na colheita de cana-de-açúcar, representou uma pequena fração do total de B acumulado pela planta, em torno de 2% do montante total aplicado, indicando a baixa eficiência agrônômica da taxa de B aplicada (4 kg ha^{-1}).

Costa Filho & Prado (2008) detectaram que doses de zinco na nutrição, crescimento e na produção de colmo da terceira soqueira de cana-de-açúcar proporcionou incrementos nos teores de zinco no solo e nas folhas, entretanto, não afetou o crescimento e a produção de colmos.

Experimentos em campo feitos no Brasil, em solos arenosos, têm demonstrado resultados bastante consistentes, em relação aos efeitos do silício em cana-de-açúcar. Segundo Datnoff, et al. (2001), os aumentos na produção variam de 11 a 16%, na cana planta e de 11 a 20% na cana soca, esses dados são demonstrados na tabela 2.

Tabela 2. Efeitos do silicato de Ca e Mg na produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar – Usina EQUIPAV/SP

Dose de silicato de Ca e Mg	Usina EQUIPAV							
	Faz. Barreiro (SP80-1842)				Faz. S.Clara (RB72-454)			
	C. Planta		Soca		C. Planta		Soca	
kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%
0	145	100	117	100	113	100	93	100
700	153	106	118	101	125	111	105	113
1400	154	106	125	107	127	112	98	105
2800	163	112	127	109	132	117	107	115
5600	161	111	130	111	131	116	112	120

Fonte: Datnoff et al. (2001)

Espironello et al. (1996) estudaram os efeitos do boro na cana-de-açúcar através da administração de doses crescentes do elemento em seis solos do município de Piracicaba/SP. Os autores incluíram a essa adubação duas doses de zinco (10 e 20 kg/ha de sulfato de zinco), uma combinação de boro e zinco (20 kg/ha de cada produto), e um tratamento com B, Cu, Fe, Zn, Mn e Mo, além da testemunha geral, sem adubação. Constataram que o boro e outros micronutrientes estudados não influenciaram a produção de cana e o teor de açúcar-provável.

Marinho e Albuquerque em 1981, concluíram que as respostas mais significativas da cana-de-açúcar à aplicação de micronutrientes foram verificadas na região nordeste do Brasil, em solos de tabuleiro. Os autores verificaram respostas positivas com aplicações de até 25 kg ha⁻¹ de Cu ou Zn, sendo que as doses médias econômicas foram em torno de 7 kg ha⁻¹ para ambos os micronutrientes estudados, e sugeriram a aplicação dessas quantidades em solos com teores iguais ou menores a 0,5 ppm de Zn e Cu.

Alvarez et al, em 1979, realizaram um estudo sobre os resultados de 23 experimentos em regiões canavieiras paulistas para avaliar possíveis respostas da cana-de-açúcar a micronutrientes. Apenas num dos experimentos verificou-se efeito significativamente favorável à aplicação de micronutrientes, no caso, cobre e molibdênio. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que, nas condições do ensaio, deficiências de micronutrientes não constituem problema para a lavoura canavieira no Estado de São Paulo.

Alvarez e Wutke (1963), citado por Becari (2010), não encontraram respostas significativas à produtividade de colmos em um latossolo roxo, porém, encontraram respostas significativas de produção com aplicações isoladas de B (17%), Mo (10%), Fe (9%) e Cu (7%), nas mesmas doses, em um podzólico Vermelho-Amarelo. Eles

ainda observaram resposta de até 21% de aumento de produtividade da cana-de-açúcar com adição de 0,2 kg ha⁻¹ de Mo no sulco de plantio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar que existe uma tendência de estudos envolvendo o B e o Zn, e pode-se condizer que essa informação venha condicionada ao fato do B e Zn apresentarem bons resultados em solos com deficiência destes elementos o que pode ser confirmado analisando os trabalhos de Adorna (2013) e Becari (2010), quando demonstraram experimentos com resultados significativos quanto à aplicação de zinco e boro, em solos pobres desses elementos e correlacionaram com o aumento da produção de colmo quando aplicado zinco e, aumento dos teores de açúcar quando aplicados boro. Outros autores também observaram aumento de teor de sacarose na cana-de-açúcar, com uso de B associado aos maturadores químicos.

Os resultados obtidos com a aplicação de B e Zn demonstraram que esses elementos influenciaram positivamente a cultura da cana-de-açúcar, melhorando características importantes para o produtor.

Por outro lado, Espironello (1996) e Peres (2014) não encontraram diferenças significativas na produtividade da cana-de-açúcar quando estudaram adubação foliar com micronutrientes.

Vale ressaltar que os estudos com micronutrientes são escassos, principalmente quando se relaciona com variedades atuais e melhoradas geneticamente, ocasionando uma certa carência quanto às informações em relação às dosagens a serem aplicadas, o que pode levar a pouca adoção desse tipo de adubação pelos produtores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNA, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C.; ROSSATO, O.B. Fertilization with filter cake and micronutrients in plant cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. V. 37, n. 3, p. 649-657. Junho, 2013.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados. **Scientia Agrícola**. V. 55, nº 3, p. 379-387. Piracicaba, SP. 1988.

ALVAREZ, J.; SNYDER, G.H.; ANDERSON, D.L.; JONES, D.B. Economic of calcium silicate slag application in a rice-sugarcane rotation in the Everglades. **Agric-system. Elsevier Publishers**. p. 179-188. 1988.

ALVAREZ, R.; WUTKE, A. C. P. Adubação de cana-de-açúcar. IX. Experimentos preliminares com micronutrientes. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 22, p. 647-650, 1963.

ALVAREZ, R. WUTKE, A.C.P.; ARRUDA, H.V.; GODOY JR., G. Adubação da cana-de-açúcar. Experimentos com micronutrientes nas regiões canavieiras do Estado de São Paulo. **Revista Bragantia**, v.31, nº 3, p.19-25,1979.

ANDERSON, D.L.; BOWEN, J.E. Nutrição da cana-de-açúcar. **Potafos**. Piracicaba, SP. 1992.

AZEREDO, D. F.; BOLSANELLO, J. Efeito de micronutrientes na produção e qualidade da cana-de-açúcar no Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais (Zona da Mata): estudo preliminar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 93, nº 9, p. 9-17, 1981.

BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: BORKERT, C.M. (Ed.). Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina: Embrapa-CNPSo/IAPAR/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.121- 132. 1988.

BECARI, G.R.G. Resposta da Cana-Planta à aplicação de micronutrientes. Dissertação mestrado. **Instituto agrônomo**. Campinas, SP. 2010.

BENETT, C. G.S.; BUZETTI, S; BENETT, K. S, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; COSTA, N.R.; MAEDA, A. S.; ANDREOTTI, M. Acúmulo de nutrientes no colmo de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de manganês. **Seminário: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, nº 3, p. 1077-1088, maio/jun. 2013.

BENETT, C. G.S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M.P.; MAESTRELO, P. R. Produtividade e desenvolvimento da cana-planta e soca em função de doses e fontes de manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 35. p. 1661-1668. 2011.

BERGERSEN, F.J. Development of root-nodule symbiosis. Formation and function of bacteroids. Amsterdam, p.473-498. 1974.

CAMARGO, O.A. Micronutrientes no solo. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. Eds. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina. **Anais**. p.103-120. 1988.

CASARIN, V.; VILLA NOVA, V. S.; FORLI, F. Micronutrientes em cana-de-açúcar. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A. (Coords.). **Tópicos em tecnologia sucroalcooleira**. Jaboticabal: FUNEP. V. 1, p. 1-12. 2001.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. (Eds). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Ed. Campinas: Instituto Agrônomo. p. 27-29. (Boletim Técnico no 100), 1997.

COSTA FILHO, R. T.; PRADO, R. M. Zinco na Nutrição e na Produção de Colmos da Terceira Soqueira de Cana-de-Açúcar Cultivada em um Latossolo Vermelho Amarelo. **STAB** – JAN/ FEV V. 26 nº 3. 2008.

DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H., KORNDORFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001.

DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q. A. de C. Função dos micronutrientes nas plantas. Organizado por FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, SP. **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato e CNPq**, p.66-78. 1991.

ELAWAD, S. H.; GASCHO, G. J; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. II. Leaf freckling and nutrient content. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 484- 87, 1982.

ESPIRONELO, A.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; IGUE, T. Efeitos do boro em cana-de-açúcar cultivada em alguns solos do município de Piracicaba. **Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**, Campinas, SP. V. 35, nº 18, p. 191 - 211. Junho, 1976.

ESPIRONELLO, A.; RAIJ, B.VAN; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B.VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, **Instituto Agrônomo/ Fundação IAC**. p. 237-239. (Boletim Técnico, 100), 1996.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.541-664, 1999.

FRANCO, H.C.J., TRIVELIN, P.C.O., VITTI, A.C., OTTO, R., FARONI, C.E.; TOVAJAR, J.G. Utilization of (10B) derived from fertilizer by sugar cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p. 1667-1674, 2009.

FOX, R.L.; SILVA, V.A. Symptoms of plant malnutrition silicon an agronomically essential nutrient for sugarcane. **Agron. Assoc, Soil. Sci. Univ. Hawaii**, Série 8. 1978.

IAA/PLANALSUCAR. Solos e adubação. **Relatório Anual**. Piracicaba: PLANALSUCARp. p. 34-44. 1984.

JACINTHO, A. O.; CATANI, R. A.; PELLEGRINO, D. A Absorção do Cobre pela Cana de Açúcar Co 419 em função da idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz**. Piracicaba, SP. p. 127-138. 1964.

KORNDÔRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura. 3.ed. Uberlândia, **GPSi/ICIAG/UFU (Boletim Técnico, 1)**. 2004.

LEITE, G.H.P. Maturadores associados à boro e silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) (Tese de Doutorado). **Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas**, Botucatu, 2010.

LEVY, C.B. Níquel em soja: doses e formas de aplicação. Dissertação (mestrado em agricultura tropical e sub tropical). **Instituto agrônômico de Campinas**. Campinas, SP. 2013.

LOPES, A.S.; CARVALHO, J.G. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta. Correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. Eds. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina. **Anais**. p.133-178. 1988.

LOPES, A. S. Manual internacional de fertilidade do solo. 2. ed. Piracicaba: **Potafos**, 1998.

MALAVOLTA, E. VITTI, G.C. ; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações, 2. Ed., Piracicaba: **POTAFÓS**, 1997.

MARINHO, M.L. ALBUQUERQUE, G.A.C. Efeito do cobre e do zinco na produção de cana-de-açúcar em solos de tabuleiros de Alagoas. **Brasil Açucareiro**, 98:41-50, 1981.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2ª Edição. **Academic Press**, 889p. Londres. 1995.

MARTELLO, J. M. Boro em cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. (Tese de mestrado). **Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas**, Botucatu, 2016.

MELLIS, E. V. Adsorção e dessorção de Cd, Cu, Ni, Zn, em solo tratado com lodo de esgoto. Dissertação de mestrado. **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**. Piracicaba, SP. 2006.

MELLIS, E. V. M, QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELLOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (eds) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, p.331-335, 2008.

MELLIS, E.V.; QUAGGIO, J.A. Uso de micronutrientes em cana-de-açúcar. **International Plant Nutrition Institute**. Informações Agrônomicas. Nº 149. Piracicaba, SP. Março, 2015.

OLIVEIRA, M. W.; SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, D. C.; SILVA, J. C. T.; REIS, R. M. S. Produção e Qualidade da Forragem de Duas Variedades de Cana-de-Açúcar Influenciadas pela Adubação com Cobre e Manganês. *Rev. Cient. Prod. Anim.*, v.14, nº 2, p.165-168, 2012.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja o doutor do seu canavial. **Informações Agrônomicas**, n. 76, set/ 1994.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A.A. **CNPq/ FAPESP/ POTAFOS**. Jaboticabal. 2001.

PERES, C. E. B. STAB – Eficiência agrônômica de fontes de fósforo e micronutrientes sobre a produtividade e a qualidade tecnológica em soqueira de cana-de-açúcar. Dissertação de mestrado. **Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e engenharia de Alimentos**. Pirassununga, SP. 2014.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2.ed. Campinas, **Instituto Agrônomo & Fundação IAC**.(Boletim técnico 100). 1996.

REIS, A. R.; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. Papel fisiológico do Níquel: Essencialidade e Toxicidez em plantas. **Informações Agrônomicas**. Nº 147. Setembro/ 2014.

SEIXAS, R.M.C.; Variabilidade espacial da fertilidade do solo, do estado nutricional e da produtividade em canavial manejado homoganeamente e visualmente uniforme. **UFAL**. Rio Largo, AL. 2010.

SIQUEIRA, G. F. Aplicação de Boro e maturadores na pré-colheita da cana-de-açúcar em início e fina de safra. Dissertação mestrado. **Universidade Estadual Paulista**. Botucatu, SP. 2014.

SOBRAL, A.F.; WEBER, H. Nutrição mineral de cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.). Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. **IAA/PLANALSUCAR**. Piracicaba. p. 103-122, 1983.

SULTANUM, E. Considerações sobre a sintomatologia de micronutrientes em cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro V. 83, nº 2, p.1-15, 1972.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. SANTARÉM, E.R. Fisiologia vegetal. – 3ª Edição – Porto Alegre. **Artmed**. 2004.

TISDALE, S., NELSON, W., BEATON, J. Soil fertility and fertilizers. 4th edição London. **Macmillan Publishers**, 1985.

TOKESHI, H. Cana-de-açúcar. Organizado por FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na agricultura. **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato e CNPq**. Piracicaba, SP. p.485-499. 1991.

VALE, F.; ARAUJO, M.A.G.; VITTI G.C. Avaliação do estado nutricional dos micronutrientes em áreas com cana-de-açúcar. **FERTBIO 2008, Anais**. Londrina. 2008.

VASQUES, G. H.; SANCHES, A. C. Formas de aplicação de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, V.7, nº1, abr. 2010.

VIDOR, C.; PERES, J.R.R. Nutrição das plantas com molibdênio e cobalto. In: In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. Eds. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina. **Anais**. p.179-203. 1988.

VITTI, G.C. & MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar. In: **Informações Agronômicas**, nº 97, Piracicaba, 2002.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E.C.; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cana-de-açúcar: mitos e realidades. **Anais 2º Simpósio de Tecnologia de Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, SP. 2005

ZANARDO, A.; MARQUES JÚNIOR, J. Conceitos básicos em mineralogia. In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L.R.F. Química e mineralogia do solo – parte I. Conceitos básicos. 1ª ed. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. p.73-150. 2009.