

TOXICIDADE DE BORO EM CAFEIEIRO EM FASE DE FORMAÇÃO CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO NO BRASIL

Felipe Santinato¹, Gustavo Caione² e Renato de Mello Prado³

→ O boro, melhora muito a gente chegar a hora de aprofundar na literatura, segundo nos **RESUMO** conceitos e depois na discussão.

A faixa de teores adequados de boro na cultura do café pode ser estreita e a tolerância da cultura à toxicidade depende das condições do solo e da idade da planta. Avaliou-se a tolerância do cafeeiro em formação a doses de boro aplicado em um Latossolo Vermelho. Os tratamentos foram doses de B: zero; 2,48; 4,98; 9,98; 19,95 e 39,9 kg ha⁻¹ na forma de ácido bórico. O experimento foi instalado em Campinas, Brasil, em um cafeeiro cultivar Catuai Vermelho IAC 144 com dezesseis meses de idade, cultivado em Latossolo Vermelho distroférico. Avaliaram-se os teores foliares de B ~~durante período experimental~~, teor de B nos frutos e a produtividade, ~~após 390 dias da aplicação do micronutriente~~. Conclui-se que os teores foliares de boro apresentaram variações ao longo dos meses com maiores valores nos estágios chumbinho atingindo níveis de toxicidade, no entanto, sem apresentar sintomas visuais. Apesar da ausência visual de toxicidade, a produtividade do cafeeiro em função da aplicação de B diminuiu com ajuste linear atingindo 26% na dose de 39,9 kg ha⁻¹.

→ As 30 até 390 dias após aplicação do micronutriente

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica* L., micronutriente, nutrição de plantas.

ABSTRACT

KEYWORDS: *Coffea arabica* L., boron, toxicity.

INTRODUÇÃO

A baixa produtividade das plantas cultivadas no mundo deve-se, a desordem nutricional seja pelo excesso ou à deficiência de elementos minerais (AMARAL et al., 2011). Nas lavouras ~~de média produtividade, no ano de alta produção, observaram-se percentuais elevados de problemas com micronutrientes como o B (MARTINEZ et al., 2003), sendo o B e o Zn os micronutrientes mais deficientes em solos sob o cultivo de café no Brasil (Ferreira et al., 2001). A correção adequada da deficiência de B com uso de fertilizantes boratados depende de vários fatores como modo de aplicação (FAGUNDES et al., 2010), tempo de aplicação e da fonte de B utilizada (ROSOLEM et al., 2007), além do tipo de solo cultivado (FERNANDES et al., 2012).~~

O boro atua na divisão e diferenciação celular, síntese de compostos que formam a parede celular e estabilização das novas células formadas, promovendo o crescimento das sementes, frutos e internódios dos ramos do

de cafeeiro em anos de alto potencial de produção foi observado problemas de deficiência de micronutrientes, como o boro

pois este nutriente é um dos

www

cafeeiro (COETZER, 1990; MARSHNER, 1995; MARENCO & LOPES, 2005), especialmente no processo reprodutivo do cafeeiro, tendo estudos com uso de boro em aplicação foliar nos períodos de pré e pós florada obtiveram ^{atingiu} incremento de 32% na produtividade do cafeeiro (Santinato et al., 1991).

A adubação boratada na cultura do cafeeiro é amplamente utilizada, mas o uso de altas doses pode ocasionar toxicidade na planta, pois o limite entre os teores adequados e tóxico é relativamente pequena ^{na maioria dos} nos vegetais. Um outro fator que pode aumentar o risco de toxicidade nas plantas seria o fato que a água utilizada na irrigação das lavouras pode conter elevado teor de B (BINGHAM, 1973).

Os sintomas de toxicidade ^{de B} em cafeeiro são caracterizados pelo surgimento de manchas verde-amarelo nas folhas velhas, local onde o micronutriente mais se acumula (BROWN, 1998), evoluindo para o aparecimento de pequenas manchas escuras, queima total nas bordas das folhas (MALAVOLTA, 2006) e queda prematura (WUTSCHER & SMITH, 1993).

O conhecimento da dose de B adequada a ser fornecida em plantas ^{foliares} jovens de cafeeiro deve-se ter maior atenção, pois nelas sua ~~taxidez~~ taxa é mais grave pelo efeito de concentração da dose aplicada em relação à menor área foliar das plantas (MATIELLO et al., 2009), entretanto, é pouco conhecido esse efeitos do micronutriente em cafeeiros na fase de formação.

Objetivou-se avaliar a tolerância do cafeeiro à aplicação de doses elevadas de boro em um Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no município de Campinas, SP, coordenadas geodésicas 22°51'52,23" latitude sul e 47°02'51,63" longitude oeste, altitude de 670 m, em um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006). Utilizou-se cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, plantado em janeiro de 2010, ^{apresentando} apresentando dezesseis meses de idade. Na área foram coletadas amostras de solo (camada de 0-20cm) antes da instalação do experimento e realizou-se a análise química para fins de fertilidade conforme metodologia proposta por Raij et al. (2001), tendo os seguintes resultados: pH (CaCl₂) = 5,7; M.O._c = 34 g dm⁻³; P_{-resina} = 184 mg dm⁻³; K⁺ = 3,9 mmol_c dm⁻³; Mg⁺² = 6 mmol_c dm⁻³; Ca⁺² = 35 mmol_c dm⁻³; S = 16 mg dm⁻³; Na = 0,4 mmol_c dm⁻³; (H+Al) = 20 mmol_c dm⁻³; CTC = 65,3 mmol_c dm⁻³ e V = 69%; B = 0,7 mg dm⁻³; Fe = 36 mg dm⁻³; Zn = 5,8 mg dm⁻³; Cu = 6,9 mg dm⁻³ e Mn = 8 mg dm⁻³.

Durante o período experimental foram coletados os dados de temperatura média do ar e de precipitação nos anos de 2011 e 2012 (Figura 1). Estes resultados indicam que durante o período experimental não houve estresses ambiental ou seja a temperatura e a precipitação foram adequadas para o desenvolvimento normal das plantas (Santinato & Fernandes, 2012).

Inclua análise química aréica, filtração orgânica

Felipe: talvez fra melhor assim: duas vece exclui

Inclui talvez... Fruto fase chumbinho

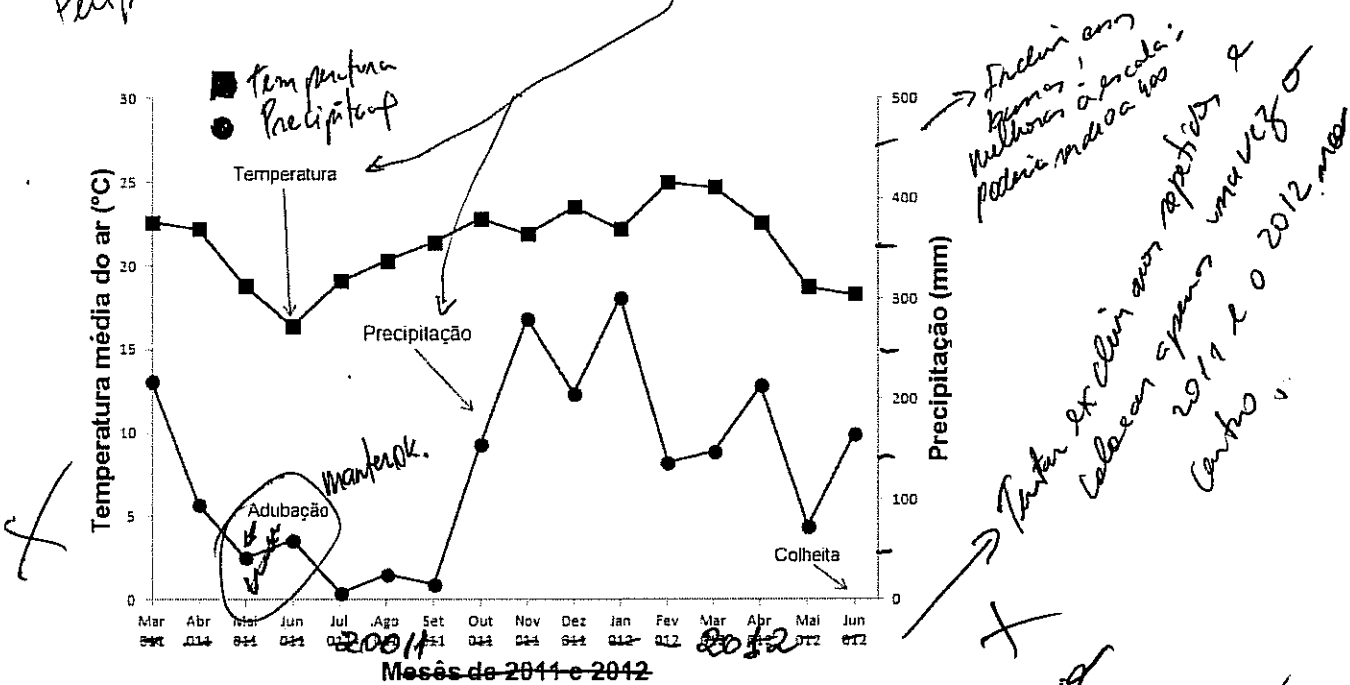


Figura 1. Temperatura média do ar e precipitação pluvial durante todo período experimental, Campinas, SP.

O espaçamento entre linhas da cultura foi de 4,0 m e 0,5 m entre plantas, totalizando 5.000 plantas por ha. Os tratamentos foram seis doses de boro: zero; 2,48; 4,98; 9,98; 19,95 e 39,90 kg ha⁻¹, na forma de ácido bórico (17,0% de B). O micronutriente foi aplicado no solo em faixa de 0,1 m na projeção da copa das plantas (FERNANDES et al., 2012). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi composta por seis plantas, sendo consideradas quatro como úteis para as avaliações. O experimento foi instalado no dia 14 de maio de 2011.

Os tratamentos nutricionais, fitossanitários e culturais foram efetuados com base nas recomendações vigentes para a região pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) – PROCAFÉ (MATIELLO et al., 2010).

As avaliações nutricionais do cafeeiro se procederam através da amostragem ~~análise~~ foliar efetuada aos 30; 90; 180; 240; 300 e 390 dias após a aplicação dos tratamentos, e dos frutos aos 390 dias. Em cada avaliação foram coletadas 20 folhas do 3º e 4º pares de ramos do terço médio das plantas de cada parcela. Os frutos foram colhidos quando o percentual de grãos verdes era inferior a 15% (MATIELLO et al., 2010). Primeiramente fez-se a arruação das linhas de café de cada parcela, a fim de eliminar restos culturais que pudessem se misturar à produção. Em seguida colocou-se um pano de colheita de cada lado da linha do cafeeiro, evitando perdas na derriça. Na colheita, os frutos foram separados quanto ao estágio de maturação e mensurados em recipientes graduados. Após a determinação do volume, os valores foram convertidos para o equivalente em café beneficiado (kg ha⁻¹), conforme descrito por REIS (2008). Para cada parcela, coletou-se também amostra de frutos (2 L).

O material vegetal coletado, as folhas e os frutos foram lavado em água deionizada e levado para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65-70 °C até atingir peso constante, conforme descrito por Jones Junior et al. (1991). Após esse processo, os materiais vegetais foram pesados, moídos em moinho

Coletaram também

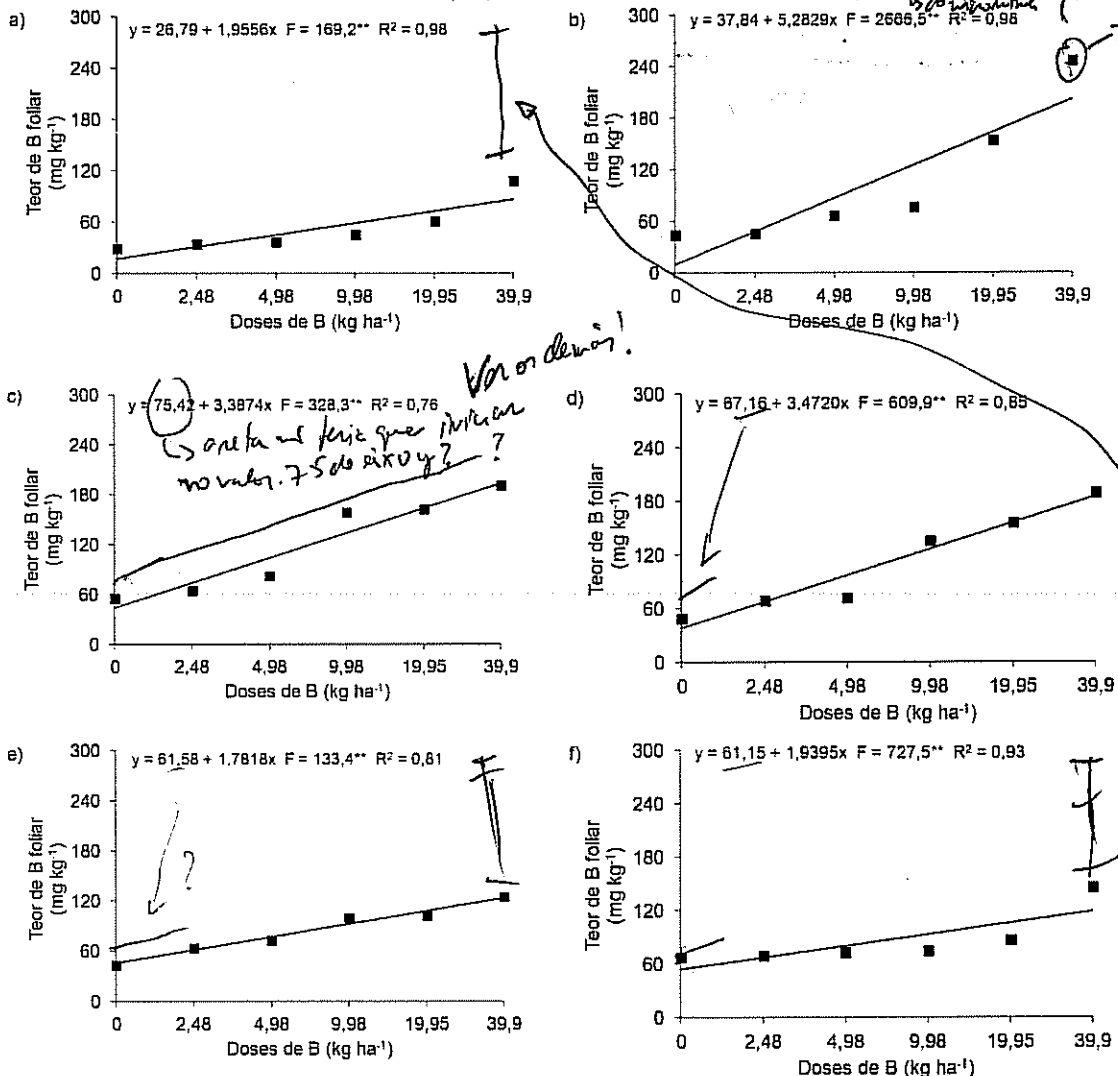
tipo Willey, de aço inoxidável, passados em peneira de malha de 0,841 mm² e acondicionados em embalagens de papel devidamente identificadas, para realização das análises químicas. O teor de B no tecido vegetal foi analisado conforme metodologia proposta por Bingham (1982).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F (P<0,05) e análise de regressão para os efeitos significativos utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011). Os coeficientes dos componentes de cada modelo foram testados, escolhendo-se os modelos significativos, com maior coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mobilidade do B varia muito entre as espécies de plantas, o que tem implicações na expressão de deficiência ou toxicidade em diferentes espécies e no manejo da adubação com esse micronutriente (BASTOS & CARVALHO, 2004). A seguir encontram-se os teores foliares de B em função das épocas amostrais.

A aplicação de doses de B no solo proporcionou aumento linear no teor foliar de B do cafeeiro em todos os meses avaliados, correspondendo às estações inverno, primavera, verão e outono (Figura 2). *Nota-se que o maior teor de B foi a triplo na amostragem foliar realizada aos 90 dias após a aplicação (Figura 2b).*



*Grande Solha
 Soma + revisões
 de 1/10/2010*

*265
 0 55 110 165 220*

Ver esse valor e adotar o valor máximo p/ todos os gráficos! Isso melhora a representatividade dos dados utilizando todos os dados da figura. Diminuir os buracos para uma

Ver os dados!

Observa-se aumento da fecundação de B ao longo da ciclo da planta após a aplicação de este nutriente, atingindo ponto de máximo de $1-1-1-1$ $\mu\text{g m}^{-2}$ com 30, 90, 180, 240, 300 e 390 dias, respectivamente (Figura 3) com uso de matéria orgânica do substrato

notou-se que o teor máximo de B foi atingido em menor tempo após a aplicação no solo e ~~devido~~ ^{devido} ao maior contato do nutriente

Este fato ocorre provavelmente devido a maior absorção e micronutriente proporcionado pelas maiores doses de nutrientes e ~~o retorno~~ ^{o retorno} sendo ~~devido~~ ^{importante} por lixiviação do nutriente pois o solo de aréa é ^{fraca} argilosa e com elevada CTC.

Figura 2 . Teores foliares de B em cafeeiros aos 30 (a), 90 (b), 180 (c), 240 (d), 300 (e) e aos 390 (f) dias após a aplicação de doses de boro no solo.

O teor foliar de B, independentemente das doses de B aplicadas, apresentou aumento com ajuste quadrático em função dos dias, em que o ponto de máximo foi obtido aos 217 dias após a aplicação (Figura 3 B), correspondendo ao mês de dezembro, período em que ocorre a granação dos frutos. Este resultado é explicado pela função fisiológica do boro, já que o nutriente é requerido para a expansão celular dos frutos (MARENCO & LOPES, 2005). O mês de setembro (Figura 2 B) também apresentou teores elevados de B, pois é o período que antecede a floração do cafeeiro, época em que a planta exige grandes quantidades desse elemento. Outros autores também verificaram resultados semelhantes, sendo relatado que a maior exigência de B pela planta é durante a fase reprodutiva, especialmente para a germinação do pólen, florecimento e na frutificação (BLEVINS & LUKASZEWSKI, 1997). Santinato et al. (1991), estudaram a aplicação de B antes e depois da floração do cafeeiro e concluíram que quando fornecido em quantidade adequada o B acarreta em maior pegamento da florada e, conseqüentemente, elevadas produtividades. Entre janeiro e março (240 a 300 dias após aplicação), nota-se na maioria dos tratamentos que o teor foliar de B apresentou decréscimos (Figura 3 A). Isso acontece, pois o elemento passa a ser transportado para os frutos onde participa da divisão e diferenciação celular e do transporte de carboidratos das folhas para os frutos (MELLO, 2008).

De acordo com indicações de vários autores, os teores foliares adequados de B para o cafeeiro estão entre 60 e 80 mg kg⁻¹ na fase de chumbinho (Loué, 1993; Malavolta, 1993; Novais et al; 1994; Matiello et al; 2010). Tendo como base esses trabalhos referência da literatura, observa-se que a dose de 2,48 kg ha⁻¹ elevou os teores foliares de B chegando a valores adequados para a cultura durante a fase chumbinho, e posterior queda até o término do experimento (Figura 3 A). A dose de 4,98 kg ha⁻¹ elevou os teores chegando ao nível limiar superior durante a fase de chumbinho, também decaindo posteriormente. As doses de 9,98 kg ha⁻¹ e 19,95 kg ha⁻¹ promoveram teores muito acima dos adequados para a cultura do café durante a fase de chumbinho. Após esta fase fenológica os teores diminuíram, mas ainda apresentavam valores elevados. A maior dose testada promoveu teores muito elevados desde a primeira avaliação aos 30 dias após aplicação do tratamento, apresentando teores tóxicos durante a fase de chumbinho. Aos 90 dias após aplicação as plantas apresentaram os maiores teores, com valor superior inclusive ao teor de toxicidade que é de 200 mg kg⁻¹ (Loué., 1993; Malavolta., 1993; Novais et al.,1994; Matiello et al., 2010). No entanto apesar de apresentar teor de 248,65 mg kg⁻¹, não se verificou qualquer medida de sintomas visual de toxicidade nas plantas estudadas. Este fato ocorreu provavelmente devido o tipo de solo em que se conduziu o estudo ser um argissolo, capaz de fixar o boro com maior intensidade que um solo arenoso, de forma que a planta suporte maiores doses do nutriente sem que haja sintomas visíveis de toxicidade. No experimento pioneiro de Franco & Gallo, (1976) testou-se doses elevadas de até 618 kg ha⁻¹ de B de um ano de idade cultivado em solo argiloso e em solo arenoso. Verificou-se que no solo arenoso a dose necessária para o aparecimento de sintomas de toxidez foi de 3,8 kg ha⁻¹

→ Um xiloplo refere-se à
de seu tecido de B
C-jei na fase de floração
Obratório

região pedúnculo
distância em 2
antes da aplicação
de B?

atrasado

combinados
permanente no
maiores doses
do nutriente
excesso
afirmam
valores
acima do
dieta
adequado

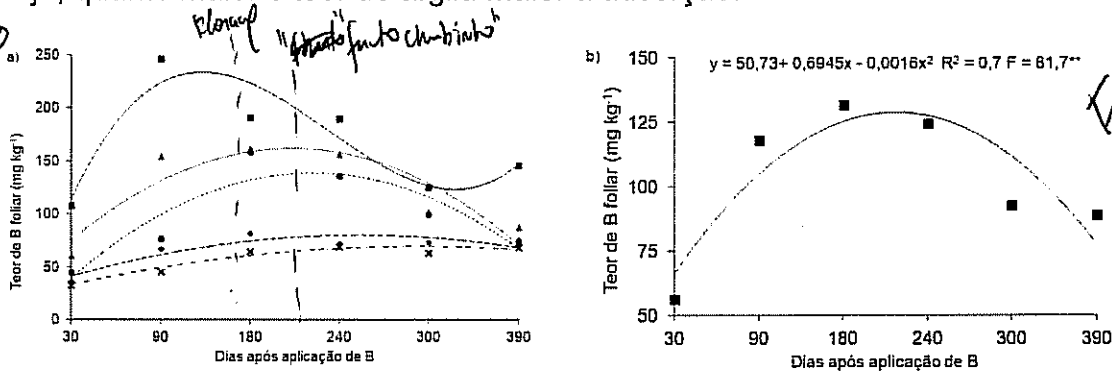
→ Não sendo 150
para o
nutriente
foi alto
sem a
tolerância
de planta ao
elevado de B.
Ver na literatura as
ações de planta
e solo

Estudamos parâmetros:
1) Presença de B
2) Quantidade de vacúolos

→ cita uma referência.

apresentando teor foliar próximo de 285 mg kg⁻¹ de B. No solo argiloso foi necessário aplicar dose entre 40,0 a 78,16 kg ha⁻¹ de B para o surgimento de sintomas de toxidez, sendo o teor foliar de 213 mg kg⁻¹ de B. Este trabalho evidencia que as doses adequadas de B para a cultura do café são diferentes para os dois tipos de solo, sendo o solo argiloso mais tolerante à altos níveis do nutriente. Corroborando este trabalho Correa et al. (1985), estudando a resposta de mudas de cafeeiro à aplicação de boro em dois Latossolos, um argiloso (75% de argila) e outro arenoso (11% de argila), chegaram a conclusão de que a capacidade de adsorção depende da textura do solo, ou seja, quanto maior o teor de argila maior a adsorção.

Felipe queria saber porque indicações em 2 doses de B e não avaliar no tratamento de 40 e 78,16



Felipe queria saber porque indicações em 2 doses de B e não avaliar no tratamento de 40 e 78,16

Felipe queria saber se o teor de B por si só está aumentando as doses da Figura 4.

Colocar 1 caso decimal e padronizar todas figuras.

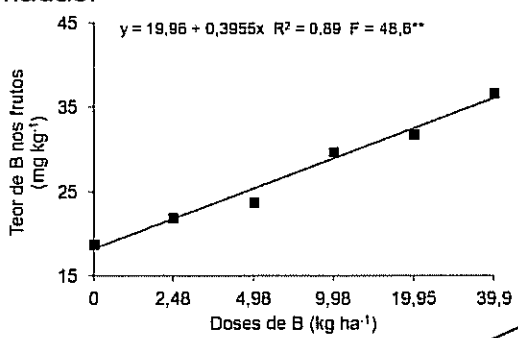
- x y (2,48 kg ha⁻¹ de B) = 25,85 + 0,28x - 0,0004x²; R² = 0,95; F = 23**
- ♦ y (4,98 kg ha⁻¹ de B) = 32,41 + 0,36x - 0,0007x²; R² = 0,80; F = 64**
- y (9,98 kg ha⁻¹ de B) = 10,11 + 1,14x - 0,0025x²; R² = 0,83; F = 171**
- ▲ y (19,95 kg ha⁻¹ de B) = 52,87 + 1,02x - 0,0025x²; R² = 0,71; F = 192**
- y (39,90 kg ha⁻¹ de B) = 14,75 + 3,98x - 0,0211x² + 0,00003x³; R² = 0,85; F = 216**

Figura 3. Variação temporal do teor foliar de boro em função da aplicação de diferentes doses do elemento (A) e média dos tratamentos (B) em Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com cafeeiro Catuaí Vermelho IAC 144. A curva cúbica é um problema. Como ficou o R2 da quadrática? Se não tive com valor pequeno tentar substituí-lo. Prof. A quadrática deu R2 de 28

Os teores de B presentes nos frutos de café apresentaram valores lineares crescentes em função das doses do micronutriente (Figura 4), fato que reforça a ideia da função fisiológica do B durante a fase reprodutiva, demonstrando que a planta possui o mecanismo de acúmulo do nutriente no grão. Segundo Laviola et al. (2007) o acúmulo de B e Zn nos frutos são maiores que de outros micronutrientes, pois ambos possuem grande importância nos processos de divisão celular e na estabilização de membranas das novas células formadas.

Querer saber se o teor de B nos frutos...

O melhor seria ter mais 4 teores de B nos frutos!



provocado do solo por o aumento de B no café

Figura 4. Teores de B nos frutos em função dos tratamentos aplicados.

Note-se pelo coeficiente angular a taxa igual de 0,3955 mg kg⁻² para cada kg de B aplicado no solo tendo capacidade de acúmulo de B, entretanto, valor bem inferior ao de folha a exemplo do coeficiente de 1,9395 mg kg⁻² com 390 dias após aplicação do micronutriente (Figura 2f). Este é o valor de B no solo de matéria orgânica...

A aplicação de doses de boro resultou em redução com ajuste linear na produtividade do cafeeiro. A perda de produtividade é decorrente do elevado teor de B no solo no início do experimento que segundo Matiello et al., (2010) estava acima da faixa adequada de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$. Verifica-se que a aplicação da maior dose de B resultou em decréscimo de 13 sacas de café beneficiadas por hectare, ou seja, cada kg de boro aplicado acarretou em redução de 0,33 sacas. Este fato indica efeito de toxicidade quando se aplicou o elemento. O efeito visual de toxicidade (nível de tecido) é o último evento biológico que ocorre e, neste caso, já houve danos a nível celular, subcelular e molecular. Isto explica o fato de que as doses elevadas de B não terem proporcionado sintomas de toxidez; porém com decréscimo na produtividade. No experimento de Furlani Júnior et al. (2004) os autores relatam que doses acima de 1 g planta^{-1} de B mostram-se prejudiciais para a produtividade do cafeeiro. Resultado semelhante ao obtido no presente estudo em que se observou queda de 26% com a maior dose de B, em relação à ausência de sua aplicação.

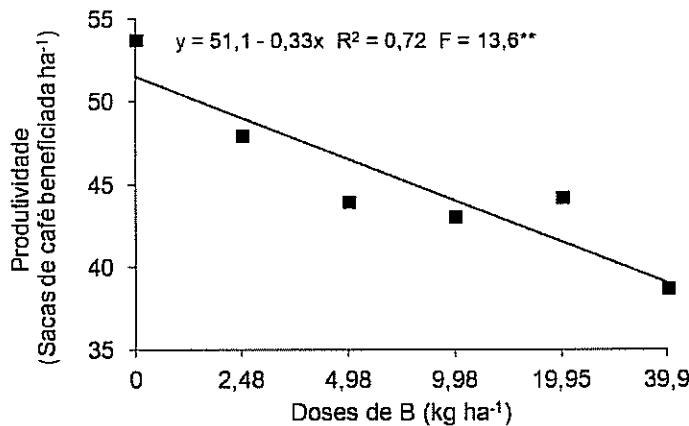


Figura 5. Produtividade de cafeeiro Catuaí Vermelho IAC 144, primeira safra, em função de doses de B.

CONCLUSÕES

Os teores foliares de boro apresentaram variações ao longo dos meses com maiores valores nos estágios chumbinho atingindo níveis de toxicidade, no entanto, sem apresentar sintomas visuais.

Apesar da ausência visual de toxicidade, a produtividade do cafeeiro apresentou queda linear com a aplicação de boro, atingindo 26% ao aplicar $39,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de B.

O boro quando em altas concentrações no solo promove alterações no metabolismo vegetal, principalmente no nível celular, subcelular e molecular. No presente estudo, a maior dose de B resultou em queda de 26% na produtividade do café beneficiado.

Nota-se que o decréscimo da produtividade induzido pela excessão de boro decorre pelo elevado teor foliar do micronutriente atingido no final da fase de florescimento e de chumbinho (Figura 5). O teor de B foliar considerado crítico ou seja representa diminuição de 20% na produtividade fora de fase de florescimento e de chumbinho. Estes valores críticos são maiores que o recomendado pelos outros autores que indicam teor foliar de B de 200 g kg^{-1} na fase de florescimento e de chumbinho.