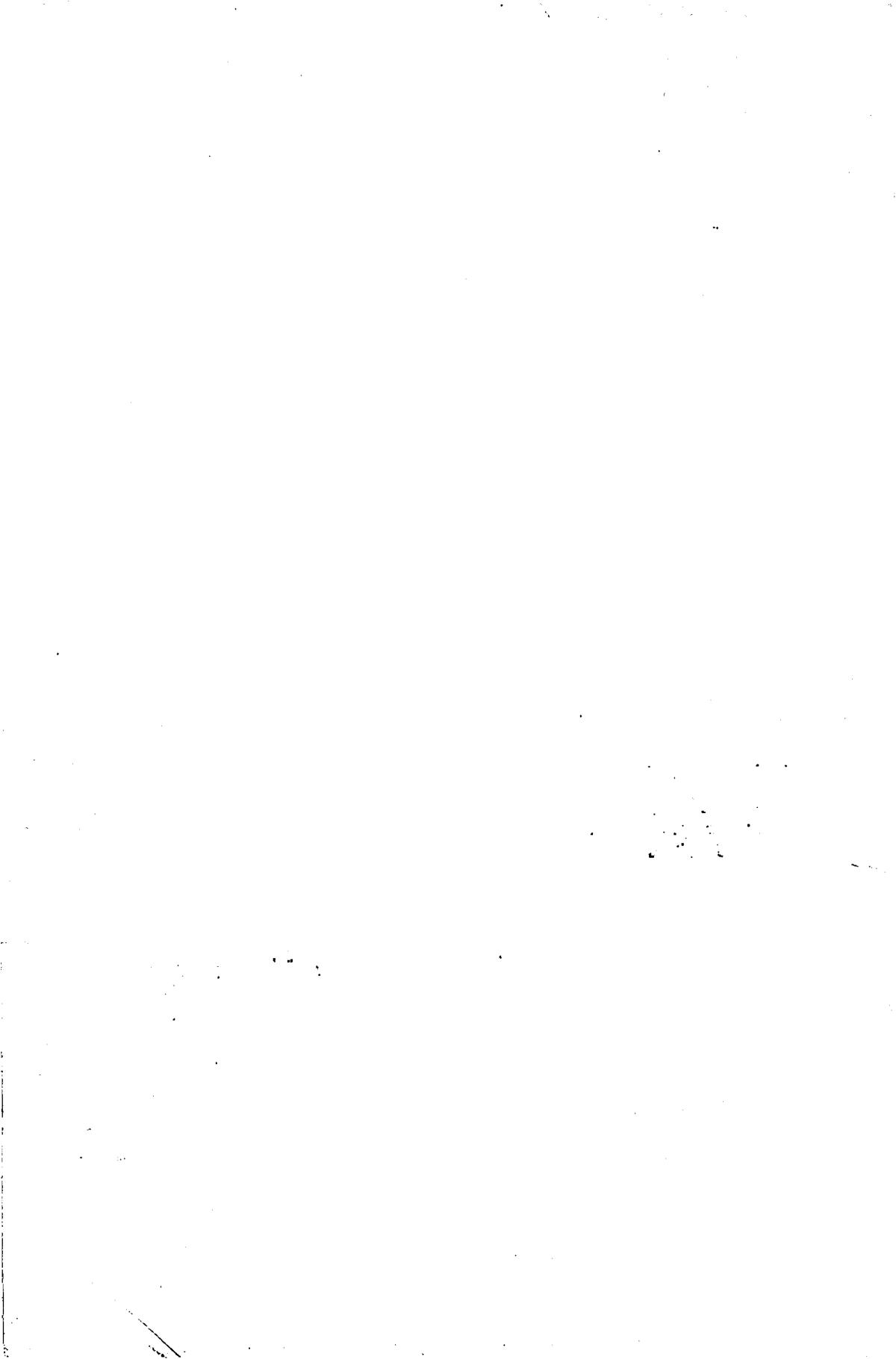


**RESPOSTA, NÍVEIS CRÍTICOS E EFICIÊNCIA DE  
EXTRATORES PARA BORO EM FEIJOEIRO  
CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA**

**EDUARDO DAL'AVA MARIANO**

1998



43972

MFJ30671

EDUARDO DAL'AVA MARIANO

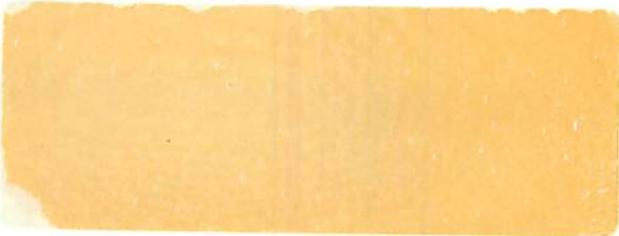
**RESPOSTA, NÍVEIS CRÍTICOS E EFICIÊNCIA DE EXTRATORES  
PARA BORO EM FEJJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

**Orientador:**

Prof. VALDEMAR FAQUIN

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1998



Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA

Mariano, Eduardo Dal' Ava

Resposta, níveis críticos e eficiência de extratores para boro em feijoeiro  
cultivado em solos de várzea / Eduardo Dal' Ava Mariano. -- Lavras :  
UFLA, 1998.

82 p. : il.

Orientador: Valdemar Faquin.  
Dissertação (Mestrado) - UFLA.  
Bibliografia.

1. Feijão - Resposta - Boro. 2. Solo de várzea. 3. Nível crítico. 4. Extrator  
para boro. 5. Fertilidade - Avaliação. 6. Cultivo. I. Universidade Federal de  
Lavras II. Título.

CDD-635.652891

EDUARDO DAL'AVA MARIANO

**RESPOSTA, NÍVEIS CRÍTICOS E EFICIÊNCIA DE EXTRATORES  
PARA BORO EM FEJJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

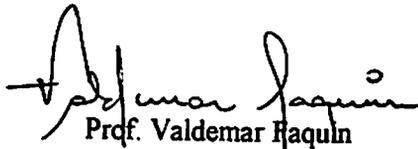
APROVADA em 27 de agosto de 1998

Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto

UFLA

Dra. Miralda Bueno de Paula

EPAMIG



Prof. Valdemar Raquin

UFLA

(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

*Aos meus pais, Sérgio e Darci, pelo esforço dedicado  
a minha formação e ao meu irmão, Marcelo,  
pelo apoio incondicional,*

**DEDICO**

*À minha esposa, Isabela, pelo amor,  
carinho e companheirismo,*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela oportunidade de realização do curso e pela concessão da bolsa de estudos via Programa Especial de Treinamento (PET).

À FAPEMIG e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao professor Valdemar Faquin, pela orientação, apoio e ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos professores Antônio Eduardo Furtini Neto e Nilton Curi, pela co-orientação, esclarecimentos e sugestões, colaborando para a concretização deste trabalho.

A Dra. Miralda Bueno de Paula, pelas sugestões apresentadas.

Aos amigos José Romilson, Rogério, Marcos Aurélio, Marcos Kondo, Flávia, Reginaldo, Paula, Adriana, Watson, Marcelo e Luiz Arnaldo, pela solidariedade e momentos convividos.

Aos irmãos, Fábio e Clóvis Eduardo, pela agradável convivência diária.

A todo o corpo docente, discente e de funcionários do Departamento de Ciência do Solo, enfim todos que, de alguma maneira, contribuíram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| RESUMO.....   | i             |
| ABSTRACT.....   | iii           |
| CAPÍTULO 1.....   | 1             |
| 1 Introdução geral .....  | 1             |
| 2 Revisão de literatura .....   | 3             |
| 2.1 Características dos solos de várzea.....  | 3             |
| 2.2 B no solo .....   | 5             |
| 2.2.1 Fatores que afetam a disponibilidade de B .....   | 7             |
| 2.3 B na planta.....  | 12            |
| 2.4 Avaliação da disponibilidade de B .....   | 18            |
| 3 Referências bibliográficas .....  | 21            |
| CAPÍTULO 2: Resposta e níveis críticos de B em feijoeiro cultivado<br>em solos de várzea do sul de Minas Gerais ..... | 29            |
| Resumo.....   | 29            |
| Abstract.....   | 30            |
| 1 Introdução.....   | 31            |
| 2 Material e métodos.....   | 33            |
| 3 Resultados e discussão.....   | 37            |
| 3.1 Atributos dos solos usados no experimento.....  | 37            |
| 3.2 Variáveis de produção .....   | 39            |
| 3.3 Níveis críticos inferior e superior de B nos solos .....  | 44            |
| 3.4 Níveis críticos inferior e superior de B na planta .....  | 49            |
| 3.5 Relação Ca/B .....  | 52            |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.6 Sintomas de deficiência e toxidez de B .....   | 54        |
| 4 Conclusões.....  | 56        |
| 5 Referências bibliográficas .....   | 57        |
| <b>CAPÍTULO 3: Eficiência de extratores na avaliação de B disponível em solos de várzea do sul de Minas Gerais .....</b> | <b>63</b> |
| Resumo.....  | 63        |
| Abstract.....  | 64        |
| 1 Introdução.....  | 65        |
| 2 Material e métodos .....   | 66        |
| 3 Resultados e discussão .....   | 69        |
| 3.1 B disponível no solo por diferentes extratores .....   | 69        |
| 3.2 Correlação entre B disponível e atributos dos solos .....  | 76        |
| 4 Conclusões .....   | 78        |
| 5 Referências bibliográficas .....   | 79        |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>81</b> |

## RESUMO

MARIANO, Eduardo Dal'Ava. Resposta, níveis críticos e eficiência de extratores para B em feijoeiro cultivado em solos de várzea. Lavras: UFLA, 1998. 82p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)\*

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, objetivando avaliar a resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca-MG) à aplicação de doses de B, estimar os níveis críticos de B nos solos e nas plantas e comparar a eficiência de extratores para B em quatro solos de várzea: Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O), este último artificialmente drenado, que apresentaram, respectivamente, 0,18, 0,23, 0,21 e 0,16mg de B  $\text{dm}^{-3}$  (água quente). O experimento foi em DIC com quatro repetições, dividido em dois arranjos fatoriais; o primeiro com dois fatores: quatro solos (GP, A, GH e O) e sete doses de B (0, 0,25, 0,50, 1,50, 3,00, 6,00 e 10,00mg  $\text{dm}^{-3}$ ) e o segundo com três fatores: quatro solos (GP, A, GH e O), sete doses de B (0, 0,25, 0,50, 1,50, 3,00, 6,00 e 10,00mg  $\text{dm}^{-3}$ ) e quatro extratores ( $\text{BaCl}_2$  0,125%, Mehlich I, Água Quente e  $\text{CaCl}_2$  0,01mol  $\text{L}^{-1}$ ). Os solos receberam calcário dolomítico e uma adubação básica com macro e micronutrientes. Após incubação por 24 dias antes da semeadura, os solos foram amostrados e analisados para B pelos extratores testados. Cada parcela foi constituída por um vaso com 3 $\text{dm}^3$ , em que cultivaram-se três plantas, tendo sido uma colhida no florescimento, na qual avaliaram-se os teores foliares de Ca e B e as duas restantes, na maturação de grãos, avaliando-se a matéria seca de grãos e os teores de B na matéria seca da parte aérea. O feijoeiro respondeu em produção de grãos à aplicação de B, com uma distinta potencialidade dos solos na produção. Os níveis críticos de B nos solos variaram entre os solos quando determinados pelo mesmo extrator e entre os extratores para um mesmo solo. A variação dos níveis críticos de B foliar entre os solos de várzea estudados é reflexo da influência dos atributos dos solos na disponibilidade de B e no coeficiente de utilização do micronutriente pelas plantas. Os extratores testados mostraram-se eficientes na avaliação do B disponível.

---

\* Comitê Orientador: Valdemar Faquin - UFLA (Orientador), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA e Miralda Bueno de Paula - EPAMIG.

## ABSTRACT

MARIANO, Eduardo Dal'Ava. Response, critical levels and efficiency of extractor solutions to B in bean plant cultivated in lowland soils. Lavras: UFLA, 1998. 82p. (Dissertation - Master Program in Agronomy)\*

The experiment was carried out in a greenhouse at the Soil Science Department of the Federal University of Lavras, with the objective of determining the response of bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) to B doses, critical levels for B in soil and at the top of the plants and to compare the efficiency of extractor solutions for B in four lowland soils, that comprise the classes Low Humic Gley (GP), Aluvial (A), Humic Gley (GH) and Bog Soil (O). The experimental design was completely randomized with four replications, in two factorial schemes, the first being: four types of soils (GP, A, GH and O) and seven B doses (0, 0.25, 0.50, 1.50, 3.00, 6.00 and 10.00 mg/kg of soil), and the second, four types of soils (GP, A, GH and O), seven B doses (0, 0.25, 0.50, 1.50, 3.00, 6.00 and 10.00 mg/kg of soil) and four extractor solutions (BaCl<sub>2</sub> 0,125%, Mehlich I, hot water and CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>). Lime, macro and micronutrients and boron doses were thoroughly mixed with the soil samples and left to incubate during 24 days. Then the soil samples were submitted to B extraction by the extractor solutions. Bean seeds were sown in pots containing three dm<sup>3</sup> of the treated soil. Grain dry matter yield and B contents of plant shoots at flowering period and at the end of the cycle were determined. The results indicated a great response of bean plant in the grain dry matter yield to application of B. In soils, the critical levels varied among soils when determined by the same extractor solution and among the extractor solutions for the same soil. In plants, the critical levels variation showed the influences of the soil attributes on B availability. The four extractor solutions showed high correlation coefficients between soil B and plant uptake. They also had a similar behaviour for the evaluation of B.

---

\* Guidance Committee: Valdemar Faquin - UFLA (Major Professor), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA and Miralda Bueno de Paula - EPAMIG.

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A implantação do Programa Nacional de Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis - PROVARZEAS, possibilitou a incorporação de milhares de hectares de várzeas ao processo produtivo brasileiro. No estado de Minas Gerais, onde houve maior sistematização de áreas através do programa, existe aproximadamente 1,5 milhão de hectares de várzeas irrigáveis potencialmente aptas para serem cultivadas (Minas Gerais, 1975).

A exploração dessas áreas apresenta-se como uma boa alternativa para expansão da fronteira agrícola, incorporando áreas cujo aproveitamento tem se limitado quase que exclusivamente ao cultivo do arroz irrigado por inundação contínua. A topografia favorável à mecanização e a disponibilidade de água abrem perspectivas para a produção de duas ou mais safras anuais, sendo que no período da seca, espécies como feijão, trigo e ervilha podem ser cultivadas com vantagens (Moraes e Dynia, 1992).

Por serem originados de materiais com grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica e por passarem pelo menos um período sob inundação, os solos de várzea apresentam características e propriedades adversas daquelas verificadas em condições de boa drenagem, destacando-se a reação do solo, as condições de oxidação-redução, o acúmulo de matéria orgânica e o desenvolvimento de organismos anaeróbios. Além disso, a diversificação de culturas em várzeas arroseiras, além do aspecto técnico – aproveitamento residual de fertilizantes, aeração do solo com melhoria das características hidrodinâmicas, redução de pragas e doenças, entre outras –, proporciona uma maior estabilidade econômica e social e contribui para a fixação do trabalhador rural no campo.

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura tradicional no sul de Minas Gerais, praticada, geralmente, por pequenos produtores em áreas cuja fertilidade natural encontra-se exaurida devido ao mau uso do solo. Ultimamente, seu cultivo vem sendo preconizado nas várzeas, no entanto, devido a ampla variação dos solos em relação a suas características físicas e químicas e, conseqüentemente, à sua fertilidade, são necessários estudos básicos em solos para um sistema de produção não tradicional - cultura de feijão em várzeas.

Torna-se necessário, portanto, não somente expandir o uso dos solos de várzea através da sistematização de novas áreas, como também conhecer as variáveis envolvidas em sua utilização, fornecendo subsídios para sua exploração alternativa. Tendo em vista esses solos apresentarem limitações ao uso agrícola, fundamentadas no excesso de água e/ou baixa fertilidade natural, é imprescindível conhecer sua capacidade de suprir as plantas de nutrientes e aprimorar as recomendações de adubação, visando uma produção eficiente e sustentável ao longo dos anos.

Entretanto, nota-se que estudos envolvendo a avaliação das deficiências, respostas aos nutrientes e correção dos solos, são realizados, em sua grande maioria, em solos de terras altas. Além disso, as pesquisas têm se restringido a trabalhos sobre macronutrientes, sendo reduzidos os trabalhos relativos a micronutrientes (Rajj e Bataglia, 1988).

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio e o fósforo são os que mais têm limitado a produção em culturas como o arroz, milho, trigo, feijão, batatinha e soja, em solos de várzea, principalmente no Vale do Paraíba (São Paulo) e em Minas Gerais (Abreu, 1985). Trabalhos recentes com solos de várzea representativos do sul de Minas Gerais mostraram baixa disponibilidade de boro, fósforo, potássio e nitrogênio, além de dificuldades na avaliação da disponibilidade do micronutriente (Corá, 1991; Paula, 1995; Andrade, 1997).

Nos últimos anos, o interesse pelo uso de micronutrientes na agricultura tem sido maior, notadamente de boro e zinco, uma vez que a produtividade agrícola em algumas regiões do Brasil vem sofrendo sérias reduções pela deficiência desses no solo, em função da baixa fertilidade de alguns solos, da maior remoção pelas colheitas de algumas plantas cultivadas e do uso crescente de calcário e adubos fosfatados que contribuem para maior insolubilização de micronutrientes.

No Brasil, os métodos de análise para micronutrientes ainda não apresentam a confiabilidade desejada, principalmente em baixas concentrações, como são encontrados nos solos. Além disso, poucos são os estudos que contribuem para o estabelecimento de limites de teores, na interpretação da análise de micronutrientes. As informações sobre a disponibilidade e métodos de avaliação do boro em solos de várzea são escassas. O método da água quente, mais aceito e utilizado, é moroso e pouco adequado para análises de rotina.

Diante da necessidade da geração de conhecimentos científicos nesses sistemas e das perspectivas de utilização racional dos solos de várzea de Minas Gerais para a produção de alimentos, objetivou-se, com o presente estudo, avaliar a resposta do feijoeiro à aplicação de boro em quatro solos de várzea, comparar a eficiência de extratores na avaliação da sua disponibilidade, bem como determinar os níveis críticos do micronutriente nos solos e na planta.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Características dos solos de várzea**

Várzea ou planície de inundação constitui-se de terrenos baixos e mais ou menos planos, localizados às margens dos rios e lagos, nos quais predominam, basicamente, os solos Glei Pouco Húmico, Glei Húmico, Orgânico e Aluviais (Curi et al., 1988). Assim, os solos de várzea se desenvolvem a partir

de sedimentos transportados por cursos d'água ou mesmo trazidos das encostas circunvizinhas pelo efeito erosivo das chuvas e são, em geral, muito heterogêneos devido a sua origem sedimentar, com deposição de materiais de composição granulométrica, mineralógica e orgânica diversa. Os processos pedogenéticos que atuaram sobre esses materiais os transformaram, em maior ou menor grau, introduzindo mais um fator de heterogeneidade. Por essa razão, tais solos apresentam grandes variações de características de um local para outro, que refletem na sua aptidão de uso (Klamt, 1984).

A umidade excessiva, característica comum desses solos, pode estar relacionada a um lençol freático próximo à superfície, posição no relevo, presença de camadas de menor permeabilidade no subsolo, ou ainda o efeito combinado desses fatores. Sob tal condição, forma-se um ambiente redutor, onde ocorre também a redução e/ou remoção do ferro presente no sistema, conferindo ao solo uma coloração cinza (processo de gleização).

A camada superficial é normalmente escura, em face do acúmulo de matéria orgânica e a cor cinza da camada inferior pode estar misturada com cores avermelhadas, amareladas ou brunadas, indicando um grau de hidromorfismo (má drenagem) menos acentuado.

Conforme EMBRAPA (1982), os solos típicos de várzea de Minas Gerais podem ser enquadrados principalmente nas classes Aluvial (A), Glei Pouco Húmico (GP), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O). Nesta seqüência, algumas tendências quanto às propriedades desses solos são: aumento em teor de matéria orgânica, deficiência de arejamento, altura e estabilidade relativa do nível de água e previsibilidade de propriedades (Curi et al., 1988).

Além da má drenagem, os solos podem apresentar limitações físicas relacionadas à composição granulométrica muito fina ou muito grosseira, respectivamente, com deficiente ou excessiva infiltração e retenção de água, ou ainda limitações químicas, como a presença de nutrientes em concentrações

baixas ou muito altas, causando deficiência ou toxidez às plantas, respectivamente. Em consequência às limitações químicas, adubação e calagem são necessárias para a obtenção de rendimentos compensadores das culturas neles instaladas (Klamt, 1984).

Por outro lado, os solos de várzea apresentam boas condições para utilização em agricultura de alta produtividade, como topografia adequada à mecanização, bom potencial físico e químico, baixa susceptibilidade à erosão e percolação, e disponibilidade de água, sendo este último aspecto de suma importância quando se considera a seca e/ou veranicos como fatores altamente limitantes da produção em algumas regiões onde se encontram estas várzeas.

Uma vez que esses sistemas apresentam características particulares no que se refere à reação do solo, às condições de oxidação-redução e ao teor de matéria orgânica, o que provoca alterações na dinâmica dos nutrientes no solo e na relação solo-planta, é essencial, sob o ponto de vista técnico, o entendimento das características e limitações desses solos para a sua exploração adequada.

## 2.2 B no solo

O boro (B) é um elemento não-metal do grupo 3A, de raio iônico pequeno e que não forma cátion do tipo  $B^{3+}$ . Apresenta comportamento semelhante ao dos não-metais, sendo muito grande a semelhança entre o ácido silícico e o ácido bórico (Raij, 1991). Os óxidos  $B_2O_3$  e  $SiO_2$  são similares em sua natureza ácida e ambos formam vidros que se cristalizam com dificuldade. Em solução, as formas mais importantes são o ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) e o ânion  $B(OH)_4^-$ . Trata-se de um ácido muito fraco e sua dissociação parcial somente ocorre em valores elevados de pH ( $pK_1 = 9,14$ ).

As formas inorgânicas mais comuns do B são o ácido bórico e o ânion  $B(OH)_4^-$ , sendo o ácido bórico ( $B(OH)_3$ ) a forma predominante nos valores mais

comuns de pH dos solos, enquanto o  $B(OH)_4^-$  predomina somente em pHs acima de 9,2 (Lindsay, 1972).

O B ocorre nos minerais sempre combinado com o oxigênio, em coordenação triangular, formando boratos ou, mais raramente, em coordenação tetraédrica, substituindo o silício nos boro-silicatos. Devido à grande diferença entre os raios iônicos dos dois elementos (B – 0,023 nm; Si – 0,043 nm), esta substituição é apenas parcial (Marconi et al., 1980).

O B participa da estrutura de elevado número de minerais, no entanto, sua concentração é maior nos granitos do que em basalto, diferentemente dos demais micronutrientes. A turmalina é o principal mineral que contém B, respondendo por quase 95% do conteúdo total deste elemento nos solos bem drenados das regiões úmidas. O B do solo é quantificado nas formas total e disponível, sendo que os teores de B total variam acentuadamente, dependendo do tipo de mineral presente no solo e dos teores de matéria orgânica (Dantas, 1991).

Nos solos brasileiros, os teores de B total variam de 30 a 60mg dm<sup>-3</sup> e de B solúvel em água quente, de 0,06 a 0,50mg dm<sup>-3</sup>, indicando que apenas pequena fração do B total ocorre na forma disponível. Apesar disso, no solo, a matéria orgânica concentra a maior parte do B que irá suprir as exigências das plantas (Malavolta, 1980), sendo liberado para a solução do solo durante a mineralização da matéria orgânica, podendo, a partir daí, seguir vários caminhos, tais como ser absorvido pelas plantas, ser perdido por lixiviação ou ser adsorvido pelos colóides do solo (Berger e Pratt, 1963).

Comparada com outros nutrientes, a química do B é muito simples, pois ele não sofre reações de oxirredução e nem de volatilização. Sua concentração na solução do solo é geralmente controlada pelas reações de adsorção e sua principal forma de transporte é fluxo de massa. Exceto o cloro, o B é o mais móvel dos micronutrientes, podendo ser lixiviado principalmente em solos de

textura leve. Contudo, uma grande variedade de atributos do solo afeta o comportamento do B (Evans e Sparks, 1983; Keren e Bingham, 1985). Quando o elemento é liberado pelos minerais do solo, pela matéria orgânica após sua mineralização, ou quando é adicionado ao solo por meio de fertilizantes, uma parte permanece na solução, e outra parte é adsorvida ou “fixada” pelas partículas do solo (Gupta et al., 1985).

O teor de argila, o teor de carbono orgânico, a capacidade de troca de cátions, a superfície específica e o pH do solo parecem ser os fatores que apresentam correlações significativas com o B adsorvido em diferentes tipos de solo (Elrashidi e O'Connor, 1982).

### 2.2.1 Fatores que afetam a disponibilidade de B

A disponibilidade de um nutriente no solo refere-se ao seu teor que está em forma passível de ser absorvida pelas raízes e metabolizado pelas plantas. Os fatores mais importantes que afetam a disponibilidade de B no solo são discutidos a seguir.

\* **pH** - como uma função do pH da solução do solo, a adsorção de B aumenta na faixa de pH 3 a 9 e decresce na faixa de pH 10 a 11,5 (Goldberg e Glaubig, 1986). O ácido bórico é a espécie que predomina em pH abaixo de 7, e sua adsorção é baixa, devido à baixa afinidade que ele tem com os minerais de argila (Evans e Sparks, 1983). Na faixa de reação ácida, a concentração da espécie  $B(OH)_4^-$  é pequena, e assim sua contribuição na quantidade total de B adsorvido é baixa, embora sua afinidade com a argila seja alta. À medida que o pH aumenta, a concentração de  $B(OH)_4^-$  também aumenta e, aproximadamente, ao pH 9 atinge a máxima adsorção, pois a quantidade de  $(OH)^-$  ainda é baixa a ponto de competir com o borato (Hingston, 1964).

Acréscimos adicionais do pH resultarão num aumento da concentração de hidroxila em relação ao  $B(OH)_4^-$ , e a quantidade de B adsorvido decresce

rapidamente, devido à competição com o  $(OH)^-$  por sítios de adsorção (Keren e Bingham, 1985). O valor de pH no qual irá ocorrer máxima adsorção de B dependerá dos coeficientes de afinidade entre as espécies  $B(OH)_3$ ,  $B(OH)_4^-$  e  $(OH)^-$ , e os sítios de adsorção da superfície de minerais de argila, óxidos, matéria orgânica, etc. (Keren e Gast, 1983). A absorção de B por plantas em iguais condições de conteúdo do nutriente foi maior em valores mais baixos de pH de solo (Wear e Patterson, 1962). Pavan e Corrêa (1988) obtiveram correlação positiva entre adsorção de B no solo e pH, somente em solos com pH superior a 6,5, sendo que, com a reacidificação do meio, o B foi novamente solubilizado, indicando uma reação química rápida e reversível.

Há muito tempo se tem registro do efeito da calagem no aumento da adsorção de B pelo solo. Carbonatos de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) foram adicionados a solos com diferentes pHs e teores de carbono orgânico, observando-se aumento na porcentagem de B adsorvido pelos solos à medida que aumentava a dose de calcário (Midgley e Dunklee, 1939). Os autores cogitaram uma possível formação de metaboratos insolúveis de Ca e concluíram que, mesmo misturado ao adubo de fórmula 10-10-10, o calcário promoveu diminuição no teor de B solúvel no solo. Um fato interessante observado neste trabalho foi que o gesso agrícola ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) não influenciou na adsorção de B pelo solo.

Quando os solos recebem calcário, as diversas formas de alumínio trocável são substituídas pelo Ca e Mg e precipitam-se na forma de  $Al(OH)_3$ . Este precipitado pode adsorver B. Considera-se que, enquanto o aumento do pH aumenta a adsorção de boro, o efeito dominante é o decréscimo em sua concentração na solução do solo, devido à adsorção do elemento no  $Al(OH)_3$  recém-precipitado. Essa adsorção é alta logo após a aplicação de calcário devido à recém-precipitação do  $Al(OH)_3$ , decrescendo acentuadamente com o tempo e tomando-se constante ao redor de 7 dias (Evans e Sparks, 1983). Sendo assim, a

aplicação de calcário ao solo em superdosagens pode tornar o B menos disponível, causando deficiência às plantas, mesmo que a quantidade de B no solo não seja tão baixa.

O pH do solo pode exercer também um efeito indireto na disponibilidade de B, por afetar a atividade microbiológica do solo. Siqueira e Franco (1988) afirmam que a taxa máxima de mineralização de compostos orgânicos ocorre em pH aproximadamente neutro. Lembrando que a matéria orgânica é uma importante fonte de B nos solos de regiões tropicais, este processo deve ter uma importância relevante em sua disponibilidade, embora Parks e White (1952) postulem que um estímulo na atividade microbiana pode aumentar a formação do grupo diol e tornar o B não disponível às plantas, pelo menos temporariamente.

\* **Textura** - a adsorção de B é dependente também da textura do solo. Uma alta correlação foi encontrada entre a porcentagem de argilo-minerais no solo (montmorilonita, caulinita e clorita) e a máxima adsorção de B (Nicholaichuk et al., 1988). Após adicionar B em quantidades idênticas a solos com diferentes texturas, Gupta (1968) observou que a recuperação do elemento por meio de extração com água quente foi menor nos solos argilosos do que nos de textura mais grosseira, sugerindo adsorção de B pelas partículas de argila. Conseqüentemente, para uma mesma disponibilidade do nutriente, solos argilosos requerem maiores doses de B comparados com solos de textura mais grosseira, embora os primeiros apresentem maior capacidade de suprimento do nutriente ao longo do tempo, chamado fator capacidade do solo.

\* **Óxidos de Fe e Al** - na composição da fração argila do solo, os óxidos de Fe e Al desempenham um importante papel na adsorção de B. Este papel é intensificado em decorrência da predominância desses compostos como constituintes da fração coloidal inorgânica na maioria dos solos tropicais. A adsorção de B aumenta com o aumento de pH, ocorrendo a adsorção máxima a

pH 6 a 8 para óxidos de Al e pH 7 a 9, para óxidos de Fe (Su e Suarez, 1995; Sims e Bingham, 1968a). A adsorção de B por grama é maior nos óxidos de Al do que nos óxidos de Fe, provavelmente devido a maior área de superfície específica dos óxidos de Al, uma vez que a adsorção por metro quadrado (intensidade de adsorção) foi similar em magnitude para óxidos de Fe e Al (Goldberg e Glaubig, 1985). A adsorção de B também é maior em sólidos recém-precipitados, decrescendo com o aumento da cristalinidade (Hatcher et al., 1967; Sims e Bingham, 1968).

Quanto ao efeito da calagem na adsorção de B, é de se esperar que após aplicação de calcário haja aumento na adsorção de B pelo solo, principalmente aqueles com altos teores de óxidos de Fe e Al.

O mecanismo de adsorção de B pelos óxidos de Fe e Al parece ser troca de ligantes com grupos hidroxila situados na superfície dos minerais. O B é especificamente adsorvido como  $B(OH)_3$  e  $B(OH)_4^-$ , onde os íons são presos em complexos de esfera interna, não contendo água entre o íon e o grupo funcional da superfície. Esta troca de ligantes é o mecanismo por onde ânions tomam-se especificamente adsorvidos na superfície dos minerais, inclusive causando mudanças no ponto de carga zero (PCZ) do solo.

\* **Argilominerais** - também apresentam importantes superfícies de adsorção de B, com o máximo de adsorção ocorrendo na faixa de pH 8 a 10. Alguns autores citam que a illita é o mais reativo dos minerais de argila, enquanto que a caulinita apresenta o mais baixo nível de adsorção de B (Hingston, 1964; Keren e Mezuman, 1981). O processo de adsorção de B pelos argilominerais envolve 2 passos: inicialmente o B é adsorvido na superfície da partícula; posteriormente migra incorporando-se à estrutura, substituindo o silício ou o alumínio presente. Entretanto, a taxa de adsorção de B em argilominerais consiste de uma rápida reação de adsorção e uma lenta reação de

fixação, pois a fixação de B aumenta depois de seis meses de reação (Harder, 1961).

O Fe e o Al presentes nas entrecamadas como recobrimento ou até como impureza, aumentam bastante a quantidade de B adsorvido em minerais de argila (Sims e Bingham, 1968b; Gupta et al., 1985). Três mecanismos são considerados para explicar o fenômeno (Evans e Sparks, 1983): ligação do H do  $B(OH)_3$  nas entrecamadas ricas em oxigênio na superfície planar da argila; ligação iônica do íon borato com materiais adsorvidos nas entrecamadas (por exemplo, hidróxido de alumínio); reação do íon borato com materiais que estão nas entrecamadas e que se movem para sítios externos ou para a solução.

\* **Matéria orgânica** - talvez este seja o constituinte dos solos que mais afeta a disponibilidade de B, principalmente por adsorver mais B com base em peso do que os constituintes minerais. O B disponível encontra-se associado, principalmente, à matéria orgânica, o que explica seus teores mais altos nos horizontes superficiais (Berger e Truog, 1940; Evans e Sparks, 1983). Há diversos trabalhos que mostram estreita correlação entre teores de B solúvel em água quente e o teor de matéria orgânica dos solos (Brasil Sobrinho, 1965; Gupta, 1968; Ruy, 1986).

O B pode ligar-se a diversos compostos como xilose, manose, glucose e galactose, que são formados à medida que ocorre decomposição da matéria orgânica (Parks e White, 1952). A troca de ligantes parece ser o mecanismo de adsorção de B a compostos orgânicos. Complexos boro-diol formados durante a decomposição da matéria orgânica do solo concorrem para a fixação de B.

Olson e Berger (1946) mostraram que a destruição da matéria orgânica por oxidação levou a uma significativa liberação de B numa forma disponível às plantas, causando um decréscimo na sua fixação. Entretanto, em outro experimento, houve aumento na adsorção de B após remoção da matéria orgânica, o que foi atribuído ao incremento na superfície exposta de óxidos de

Fe e Al mal cristalizados, que teriam seus sítios de adsorção oclusos pelo recobrimento da matéria orgânica. Essa adsorção por compostos orgânicos também aumenta com o aumento de pH, atingindo um máximo próximo de pH 9 e decrescendo na faixa de pH acima de 9 (Marzadori et al., 1991).

\* **Umidade do solo** - como o fluxo de massa é diretamente proporcional ao fluxo de água no solo, o transporte de B até às raízes é extremamente afetado pelas condições de umidade do solo. A deficiência deste micronutriente nas plantas durante períodos secos não pode estar somente associada aos níveis de B solúvel em água quente no solo. A redução da umidade do solo, em associação com a diminuição do fluxo de massa e taxa de difusão, bem como do fluxo transpiratório que é limitado nas plantas durante os períodos mais secos, podem ser os fatores responsáveis pela deficiência de B, mesmo havendo teores adequados desse no solo (Gupta, 1979).

A umidade do solo como condição necessária para que haja movimentação de B foi também enfatizada por Ferreira (1992) em um experimento com eucalipto, em que a umidade do solo mostrou ser um fator importante no aproveitamento do B do solo pela plantas, pois, sob condições de menor umidade, os sintomas de deficiência ocorreram mais precocemente e de maneira mais acentuada. Tisdale et al. (1985) relatam que a deficiência temporária de B durante períodos de seca é muito comum e se deve, em grande parte, ao fato da mineralização da matéria orgânica ser bastante lenta sob estas condições.

### **2.3 B na planta**

O papel do B na nutrição da planta ainda é o menos conhecido dentre os nutrientes minerais, sendo que todo o conhecimento adquirido a respeito veio de estudos sobre o que acontece quando o B é suprimido ou ressuprido após uma deficiência (Marschner, 1995).

As funções atribuídas ao B estão relacionadas ao metabolismo de carboidratos e fenóis, transporte de açúcares através das membranas, síntese de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e de fitohormônios, síntese, integridade e lignificação da parede celular e germinação do grão de pólen e tubo polínico (Marschner, 1995).

O B é absorvido da solução do solo na forma de  $H_3BO_3$  e  $H_2BO_3^-$ . Segundo Raven (1980), a membrana é permeável ao ácido bórico e a absorção é um processo passivo, ou seja, não metabólico. Baseado nisso, diz-se que a absorção de B é determinada pela sua concentração no solo e pela taxa de transpiração da planta. Gupta (1979) mencionou que a taxa de transpiração tem uma influência decisiva no transporte ascendente de B nas plantas, sugerindo, ainda, que este micronutriente seja principalmente translocado via xilema. O autor comenta que o seu movimento na planta com o fluxo transpiratório, também explica porque a deficiência deste nutriente sempre se inicia nos pontos de crescimento.

Outra importante propriedade do ácido bórico é sua habilidade em formar complexos cis-diol com uma grande variedade de moléculas orgânicas, que incluem açúcares, fenóis, ácidos orgânicos e alguns polímeros (Raven, 1980). A formação de complexos açúcar-borato confere maior solubilidade aos produtos da fotossíntese da planta, que atravessam mais facilmente as membranas celulares do que as moléculas de açúcares altamente polares, facilitando o transporte de açúcares através das membranas.

Em plantas superiores, uma grande proporção do conteúdo total de B está complexado em configurações cis-diol nas paredes celulares (Thellier et al., 1979). O maior requerimento de B em dicotiledôneas, comparado com gramíneas, está presumidamente relacionado a estas maiores proporções de compostos com configurações cis-diol na parede celular, notadamente substâncias pécticas e poligalacturônicas (Loomis e Durst, 1992).

Tal como o Ca, o B é considerado imóvel ou móvel somente a uma extensão limitada do floema. Esta imobilidade faz com que seu conteúdo seja maior nos órgãos mais velhos do que nos mais novos (Mengel, Kirkby, 1987). O B tem funções similares ao Ca no apoplasto, ambos regulando a síntese e a estabilidade de constituintes da parede celular, incluindo as membranas plasmáticas. Neste último caso, o efeito seria, provavelmente, pela formação de complexos cis-diol-borato com constituintes das membranas.

O B não somente complexa fortemente com constituintes da parede celular, mas também é requerido para integridade estrutural, formando ligações cruzadas de ester-borato. Essas ligações são relativamente fracas e, portanto, cumprem o papel de romper-se e restabelecer-se durante a elongação celular e, posteriormente, prover cargas negativas para interações iônicas, por exemplo, com  $Ca^{2+}$  (Loomis e Durst, 1992).

Como resultado de seu papel em tecidos em expansão e sua limitada mobilidade, o suprimento de B deve ser contínuo por toda a vida da planta, usualmente pela raiz.

A exigência em B é normalmente maior para a produção de sementes e grãos do que para o crescimento vegetativo das plantas devido à sua participação no processo de fertilização, estando envolvido na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico. Sua carência acarreta no baixo pegamento da florada, má formação de grãos em cereais (chochamento de grãos) e esterilidade masculina (Faquin, 1994).

A deficiência de B resulta em uma rápida inibição do crescimento da planta, conseqüência de seu papel estrutural específico nas paredes celulares, as quais são grandemente afetadas em nível macro e microscópico. O diâmetro da parede e a proporção entre parede celular e o total de matéria seca do tecido são maiores neste caso. A parede celular de células deficientes em B não é uniforme,

mas caracterizada por deposições irregulares de agregações vesiculares misturadas com materiais membranosos (Hu e Brown, 1994).

Há decréscimos no conteúdo e na taxa de síntese de DNA sob deficiência de B, o qual, acredita-se, que esteja envolvido na síntese da base nitrogenada uracila. Como esta é componente do RNA, a deficiência de B também afeta a síntese do ácido nucléico e, em consequência, a síntese de proteínas (Marschner, 1995).

Em pontas radiculares, a deficiência de B resulta na redução do alongamento celular associado com mudanças na divisão celular, passando da direção longitudinal para radial, gerando raízes com aparência grosseira e espessa. Aumenta também a divisão celular na direção radial com uma distinta proliferação de células do câmbio e uma debilitada diferenciação do xilema. Entretanto, esses não são efeitos diretos da deficiência de B. A inibição ou mesmo a carência de diferenciação do xilema está indiretamente relacionada à nutrição com B. Os primeiros sintomas são modificações na estrutura de parede celular primária e não diferenciação do xilema (Marschner, 1995).

Em plantas deficientes em B, os níveis de auxinas são freqüentemente maiores que o normal (Robertson e Loughman, 1974), similar ao que ocorre sob deficiência de cálcio e indicativo de uma integridade de membrana alterada. Altos níveis de AIA podem ocorrer somente naquelas espécies que, em resposta a deficiência de B, acumulam certos fenóis, como o ácido caféico, que é um efetivo inibidor da atividade da oxidase do AIA (Birnbaum et al., 1977).

Pode ser que interações entre B e AIA e diferenciação de tecidos sejam efeitos secundários causados pelo efeito primário do B no metabolismo de fenóis (Pilbeam e Kirkby, 1983). Certos fenóis não são somente inibidores efetivos do alongamento radicular, mas também simultaneamente aumentam a divisão celular radialmente, isto é, induzem mudanças que são similares àquelas causadas pelo AIA. A acumulação de fenóis parece estar relacionada com a

função do B na formação de complexos cis-diol com certos açúcares e fenóis. Sob deficiência de B, o fluxo de substrato é mudado em direção do ciclo da pentose fosfato, aumentando, assim, a biossíntese de fenóis.

Com a deficiência do micronutriente, os processos metabólicos são afetados a nível molecular e desencadeiam alterações metabólicas, produzindo um efeito cascata com alteração celular e modificações no tecido, que são os sintomas visuais da desordem. Segundo Oliveira, Araújo e Dutra (1996), os principais sintomas são: internódios superiores curtos e folhas jovens encopadas e malformadas no ápice; tecido internerval enrugado, quebradiço, rasgando-se facilmente; folhas novas encurvadas para baixo como se estivessem enroladas; número de ramos nem sempre alterado, mas com tamanho reduzido, conferindo à planta aspecto de uma pequena moita, tipo alface; produção reduzida de flores e vagens, plantas mortas antes da floração, em caso de deficiência severa; meristema morto e brotos marrons.

O B talvez seja o nutriente com menor consumo de luxo, apresentando uma faixa muito estreita entre os teores de deficiência e toxidez. Os sintomas de excesso coincidem com regiões das folhas onde há maior transpiração e, conseqüentemente, aumento local na concentração do micronutriente, sendo que, em geral, nas regiões da folha onde não aparecem anormalidades visíveis, a concentração de B não chega a  $100\text{mg kg}^{-1}$ ; variando de 100 a  $1500\text{mg kg}^{-1}$  nos sítios onde há clorose malhada e maior que  $1500\text{mg kg}^{-1}$  nas áreas necrosadas. São caracterizados por uma clorose nas margens das folhas, seguida de um enrugamento e necrose do tecido (Malavolta, 1980).

Alguns trabalhos relatam que o Ca exerce um efeito antagônico em relação ao B, ou seja, à medida que se aumenta a concentração do macronutriente, há decréscimo na concentração de B (Jones e Scarseth, 1944; Gupta, 1979). Assim, as plantas têm um comportamento diferente quanto a absorção do Ca e B, dependendo da disponibilidade no solo, e só terão um

desenvolvimento normal se existir um equilíbrio na absorção desses nutrientes. Dessa maneira, em solos ácidos onde normalmente há menor quantidade de Ca, as plantas terão uma maior tolerância à deficiência de B. Por outro lado, em solos onde há apreciáveis quantidades de Ca, as plantas passam a necessitar de uma maior quantidade do micronutriente, que pode ser administrado em maiores proporções, quando comparado aos solos ácidos, sem que haja problemas de toxidez nas plantas.

Reeve e Shive (1944) verificaram que o aumento na concentração de Ca no substrato proporcionou maior absorção desse macronutriente por plantas de tomate, acentuando os sintomas de deficiência de B. Por outro lado, a toxidez de B, em altos níveis do elemento, diminuía drasticamente com o aumento da concentração de Ca. Os autores relatam que o tecido foliar das plantas de tomate deficientes em B apresentaram uma relação extremamente alta de Ca/B, da ordem de 1000 a 2380, enquanto em relações entre 30 a 114, as plantas mostravam sintomas de toxidez de B.

Gupta (1979) relata que a relação Ca/B tem sido considerada como indicadora do estado nutricional do B, sendo que relação superior a 1370 em cevada e superior a 3300 em nabo pode ser considerado como problema de deficiência do micronutriente.

Segundo Marschner (1995), plantas equilibradas nutricionalmente apresentam maior resistência ao ataque de fungos e pragas, como resultado de barreiras bioquímicas ou morfológicas. Huber (1980), descrevendo as interações entre elementos minerais e a severidade de algumas doenças, e Malavolta et al. (1997) citando algumas deficiências que aumentam a incidência ou o dano causado por pragas e moléstias, referem-se ao B e K como os nutrientes mais relacionados à ocorrência de doenças e pragas em plantas e os que mais favorecem o decréscimo da severidade das doenças.

## **2.4 Avaliação da disponibilidade de B**

Os teores dos micronutrientes na solução do solo, representando o chamado fator intensidade, devem estar em equilíbrio com a fração de micronutrientes na fase sólida, representando o fator quantidade. Como os teores dos elementos na solução do solo são muito baixos e de difícil quantificação, a análise de solo procura, então, determinar aquela porção de cada micronutriente que, sendo mais ou menos lábil, venha ser considerada disponível para as plantas (Raij e Bataglia, 1988).

Os teores totais, em geral, não dão boa idéia da disponibilidade de micronutrientes para as plantas. As formas de micronutrientes que podem ser ou tornar-se disponíveis para as plantas são as solúveis em água, trocável, adsorvidas ou complexadas. Segundo Malavolta (1980), do B total do solo, menos de 5% estão em condições de serem absorvidos pelas plantas.

Assim, várias soluções extratoras são continuamente testadas, a fim de encontrar uma que seja mais eficiente em simular o poder absorvente dos micronutrientes pelas raízes. O método da água quente, originalmente proposto por Berger e Truog (1939), é, até hoje, o mais usado e é sempre um ponto de referência obrigatório para comparação com outros processos de extração de B. Vários trabalhos citam o método de extração com água quente, como o mais eficaz para avaliar-se a disponibilidade de B nos solos (Ribeiro e Tucunango Sarabia, 1984; Ruy, 1986; Bataglia e Raij, 1989; Corá, 1991).

O procedimento consiste na fervura, em chapa aquecida, da suspensão solo/água na relação 1:2 sob refluxo por 5 minutos, com filtragem da suspensão logo após o aquecimento e posterior determinação do B no extrato.

Embora a extração de B pela água quente, usando o sistema de refluxo, seja o mais apropriado para diagnosticar a sua disponibilidade em várias partes do mundo, incluindo o Brasil (Ribeiro & Tucunango Sarabia, 1984; Bataglia & Raij, 1990), o processo é moroso em condições de rotina, pouco reprodutível e

requer condições especiais de análise. Dentre as dificuldades associadas à extração com água quente sob sistema de refluxo, podem ser mencionadas as seguintes: (a) necessidade de vidraria isenta de B, de difícil obtenção e alto custo; (b) dificuldade de analisar um grande número de amostras por dia; (c) difícil controle preciso de temperatura nas etapas de aquecimento e resfriamento da suspensão de solo.

Algumas propostas de modificação na etapa de extração de B em solos, usando a água quente sob sistema de refluxo, têm sido sugeridas nos últimos anos para que essa análise torne-se mais atrativa e aplicável em condições de rotina. Ferreira e Cruz, citados por Cruz e Ferreira (1984), com o objetivo de eliminar a ebulição sob condensador de refluxo, propuseram o emprego de agitação da suspensão solo-água por 5 minutos em banho-maria, a aproximadamente 70<sup>o</sup> C. Os autores obtiveram correlação significativa entre o método convencional e a técnica modificada ( $r=0,75$ ) e entre o B extraído pelas plantas e através do método modificado ( $r=0,85$ ). Mahler et al. (1984) substituíram os vidros por plásticos e o aquecimento sob refluxo pelo aquecimento em béqueres com água, encontrando vantagens devido às facilidades de manipulação, menor trabalho, baixo investimento inicial de equipamento e melhor reprodutibilidade dos resultados. Abreu et al. (1994) usaram saquinhos de plástico no lugar de vidros e o forno de microondas caseiro como fonte de aquecimento. A correlação obtida entre B extraído usando o método convencional (sob refluxo) e o forno de microondas foi de 0,98. Além disso, a extração foi mais rápida, com maior sensibilidade e reprodutibilidade, sendo que o coeficiente de variação foi de 19,2% e 4,2% usando o sistema de refluxo e o forno de microondas, respectivamente.

Soluções diluídas de ácidos e sais são freqüentemente propostas e comparadas com água quente como índices de disponibilidade de B, com as vantagens de possibilitar o processamento simples e barato, além de servir para

extração conjunta de outros nutrientes do solo. Tedesco et al. (1985) propuseram a extração de B com uma solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  mediante aquecimento em blocos digestores, e afirmam terem conseguido boa correlação com o método de extração com água quente, além de um bom rendimento analítico. Testado por Bataglia e Raij (1990) em solos do Estado de São Paulo, o  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  a quente mostrou-se um método promissor, embora, como salientam os autores, apresente algumas desvantagens, como a necessidade de centrifugação e filtração para obtenção de extratos claros.

As soluções extratoras contendo ácidos ou bases fortes podem avaliar com melhor eficiência a disponibilidade de micronutrientes do solo para as plantas por liberar formas lábeis (Lindsay e Cox, 1985). O íon  $\text{H}^+$  proveniente do ácido atua deslocando os elementos para a solução do solo, por ser preferencialmente adsorvido pelo solo. O ânion acompanhante, dependendo de sua natureza e afinidade, se junta com os micronutrientes deslocados, impedindo que estes sejam reabsorvidos durante o processo de extração.

Pelo efeito solubilizante que esses ácidos apresentam, provavelmente serão extraídos teores solúveis em água, trocáveis e parte dos elementos complexados ou adsorvidos na superfície de óxidos de Fe e Al, que são característicos da maioria dos solos do Brasil.

Maiores quantidades de B extraído dos solos pelos ácidos diluídos foram encontradas por Bartz e Magalhães (1975). Os autores observaram que o extrator ácido utilizado (Mehlich I) mostrou-se tão eficiente quanto a água quente na avaliação do B disponível para as plantas. Dentre as soluções extratoras, a escolha deve conciliar os critérios de um bom extrator com a realidade agrônoma. Um bom extrator deve: (a) extrair toda ou parte proporcional das formas disponíveis; (b) ser reprodutível e rápido; (c) ser adaptável aos diferentes atributos do solo (Abreu et al., 1997).

Na seleção de métodos, a técnica mais comum consiste em cultivar uma planta em vaso contendo diferentes tipos de solo, com teores variados do elemento em estudo. Todas as parcelas recebem uma adubação básica contendo macro e micronutrientes, exceto aquele em estudo. A seleção dos extratores é feita pelos coeficientes de correlação obtidos entre os teores do micronutriente no solo e aqueles absorvidos pela planta (Hauser, 1973). Dessa forma, um extrator eficiente em prever a disponibilidade de um determinado nutriente deve extrair do solo quantidades ou formas que se correlacionem com a extração e produção das plantas (Corá, 1991).

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; RAIJ, B.van.; Análise de micronutrientes em solos brasileiros: situação atual e perspectiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. Rio de Janeiro. Anais... 1997. (CD-ROM).
- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.de; RAIJ, B.van.; BATAGLIA, O.C.; ANDRADE, J.C. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determinations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.25, n.19/20, p.3321-3333, DEC. 1994.
- ABREU, C.A.de. Identificação de deficiências de macronutrientes em três solos de várzea de Minas Gerais. Lavras: ESAL, 1985. 93p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ANDRADE, C.A.de B. Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1997. 107p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- BARTZ, H.R.; MAGALHÃES, A.F. Avaliação da disponibilidade de boro através de soluções extratoras em alguns solos do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v.11, n.1, p.89-96, mar. 1975.



BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B.van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.205-212, maio/ago. 1989.

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B.van. Eficiência de extratores na determinação de boro em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.25-31, jan./abr. 1990.

BERGER, K.C.; PRATT, P.F. Advances in secondary and micronutrient fertilization. In: MALCOM, H.M.; BRIDGER, G.L.; NELSON, L.B., (eds.) **Fertilizers technology and usage**. Madison: Soil Science Society of America, 1963. p.287-340.

BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. **Industrial and Engineering Chemistry**, Washington, v.11, p.540-545, 1939.

BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron deficiencies as revealed by plant and soil tests. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v.32, p.297-301, 1940.

BIRNBAUM, E.H.; DUGGER, W.M.; BEASLEY, B.C.A. Interaction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules cultured in vitro. **Plant Physiology**, Rockville, v.59, n.4, p.1034-1038, APR. 1977.

BRASIL SOBRINHO, M.O.C. **Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ, 1965. 135p. (Dissertação - Mestrado em Solos).

CORA, J.E. **Avaliação da disponibilidade de boro, cobre e zinco em solos de várzea do Estado de Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1991. 135p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

CRUZ, M.C.P.da; FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do boro disponível em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.12, p.1457-1464, dez. 1984.

CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Solos de várzea de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.3-10, mar. 1988. (Exploração Racional de Várzea - II).

- DANTAS, J.P. Boro. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988. Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: POTAFOS/CNPq, 1991. p.113-130.
- ELRASHIDI, M.A.; O'CONNOR, G.A. Boron sorption and desorption in soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.46, p.27-31, 1982.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, 1982. 526p. (Boletim de Pesquisa, 1).
- EVANS, C.M.; SPARKS, D.L. On the chemistry and mineralogy of boron in pure and mixed systems: a review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.14, n.19, p.827-846, 1983.
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 277p.
- FERREIRA, R.M.A. Crescimento de *Eucalyptus citriodora* cultivado em dois latossolos sob influência de níveis de boro e umidade. Lavras: ESAL, 1992. 133p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- GOLDBERG, S.; GLAUBIG, R.A. Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.49, n.6, p.1374-1379, NOV./DEC. 1985.
- GOLDBERG, S.; GLAUBIG, R.A. Boron adsorption on California soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, n.5, p.1173-1176, SEP./OCT. 1986.
- GUPTA, U.C. Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.32, n.1, p.45-48, JAN./FEB. 1968.
- GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. *Advances in Agronomy*, New York, v. 31, p. 273-307, 1979.
- GUPTA, U.C.; JAME, Y.W.; CAMPBELL, C.A.; LEYSHON, A.J.; NICHOLAICHUK, W. Boron toxicity and deficiency: a review. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.65, n.3, p.381-409, AUG. 1985.

- HARDER, H.** Einbau von Bor in detritische Tonminerale Experimente zur Erklärung des Borgehaltes toniger Sedimente. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.21, p.284-294. 1961.
- HATCHER, J.T.; BOWER, C.A.; CLARCK, M.** Adsorption of boron by soils as influenced by hidroxialuminum and surface area. *Soil Science*, Baltimore, v.104, n.6, p.422-426, DEC. 1967.
- HAUSER, G.I.** The calibration of soil tests for fertilizer recomendations. Roma: FAO, 1973. 71p. (FAO Soils Bulletin, 18).
- HINGSTON, F.J.** Reaction between boron and clays. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.2, p.83-95, 1964.
- HU, H. and BROWN P.H.** Localisation of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. Evidence for a structural role of boron in the cell wall. *Plant Physiology*, Rockville, v. 105, n.2, p. 681-689, JUN. 1994.
- HUBER, D.M.** The role of mineral nutrition in defense. In: **HORSFALL, J.G.; COWLING, E.B.** (eds.) *Plant disease, an advanced treatise*. New York: Academic Press, 1980. Cap. 21, v. 5, p.381-406.
- JONES, H.E.; SCARSETH, G.D.** The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. *Soil Science*, Baltimore, v. 57, p. 15-24, JAN./JUN. 1944.
- KEREN, R.; BINGHAM, F.T.** Boron in water, soils, and plants. *Advances in Soil Science*, New York, v.1, p.229-276, 1985.
- KEREN, R.; GAST, R.G.** pH-dependent boron adsorption by montmorillonite hidroxi-aluminum complexes. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.47, n.6, p.1116-1121, NOV./DEC. 1983.
- KEREN, R.; MEZUMAN, U.** Boron adsorption by clay minerals using a phenomenological equation. *Clays and Clay Mineralogy*, New York, v.29, p.198-204, 1981.

- KLAMT, E. Solos de várzea do Rio Grande do Sul; características , distribuição e limitações ao uso. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DE UTILIZAÇÃO DAS VÁRZEAS DO RS, 1., 1984. Porto Alegre. Anais... Brasília: PROVARZEAS/PROFIR, 1986. p.111-118.
- LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L.; (eds.) **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.
- LINDSAY, W.L.; COX, F.R. Micronutrients soil testing for the tropics. In: VLEK, D.L.G. (ed.) **Micronutrients in tropical food crop production; Developments in Plant and Soil Sciences**. Dordrecht: Martinus Vighoff, 1985. v.14, p.169-200.
- LOOMIS, W.D.; DURST, R.W. Chemistry and biology of boron. **Biofactors**, v.3, p.229-239. 1992.
- MAHLER, R.L.; NAYLOR, D.V. & FREDRICKON, M.K. Hot water extraction of boron from soils using sealed plastic pouches. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.15, p.479-492, 1984.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 210p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 215p.
- MARCONI, A.; FREIRE, O.; ABRAHÃO, I.O.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.do. Boro nos minerais, rochas, solos e plantas. **Revista da Agricultura**, Piracicaba, v.55, n.1/2, p. 33-39, 1980.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MARZADORI, C.; VITTORI ANTISARI, L.; CIAVATTA, C.; SEQUI, P. Soil organic matter influence on adsorption and desorption of boron. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.55, p.1582-1585, 1991.

- MENGEL, K.; KIRKBY, A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute. 1987. 687p.
- MIDGLEY, A.R.; DUNKLEE, D.E. The effect of lime on the fixation of borates in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.4, p.302-307, 1939.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Agricultura. **Programa de aproveitamento de várzea - PROVARZEAS**, Belo Horizonte. 1975. 64p.
- MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Glei Pouco Húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.223-235, fev. 1992.
- NICHOLAICHUK, W.; LEYSHON, A.J.; JAME, Y.W.; CAMPBELL, C.A. Boron and salinity survey of irrigation projects and the boron adsorption characteristics of some Saskatchewan soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.68, n.1, p.77-90, FEB. 1988.
- OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (eds.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p.169-221.
- OLSON, R.V.; BERGER, K.C. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content, and other factors. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.11, p.216-220, 1946.
- PARKS, W.L.; WHITE, J.L. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.16, p.298-230, 1952.
- PAULA, M.B.de. **Eficiência de extratores e níveis críticos de boro disponível em amostras de solos aluviais e hidromórficos sob a cultura do arroz inundado**. Lavras: UFLA, 1995. 69p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- PAVAN, M.A.; CORREA, A.E. Reações de equilíbrio solo-boro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.3, p. 261-269, mar. 1988.

- PILBEAM, D.J.; KIRKBY, E.A. The physiological role of boron in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.6, p.563-582, 1983.
- RAIJ, B.van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B.van.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para micronutriente. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1.; 1988. Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: POTAFOS/CNPq, 1991. p.113-130.
- RAVEN, J.A. Short and long-distance transport of boric acid in plants. *New Phytologist*, Cambridge, v.84, p.231-249, 1980.
- REEVE, E.; SHIVE, J.W. Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. *Soil Science*, Baltimore, v.57, n.1, p.1-14, JAN./JUN. 1944.
- RIBEIRO, A.C.; TUCUNANGO SARAIBA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em Latossolos do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.8, n.1, p.85-89, jan./abr. 1984.
- ROBERTSON, G.A.; LOUGHMAN, B.C. Response to boron deficiency: A comparison with responses produced by chemical methods of retarding root elongation. *New Phytologist*, Cambridge, v.73, p.821-832, 1974.
- RUY, V.M. *Contribuição para o estudo de boro disponível em solos*. Piracicaba: ESALQ, 1986. 104p. (Dissertação – Mestrado em Solos).
- SIMS, J.R.; BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: II. sesquioxides. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.32, n.1, p.364-369, JAN./FEB. 1968a.
- SIMS, J.R.; BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: III. Iron and aluminum-coated layer silicates and soil materials. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.32, n.1, p.369-373, JAN./FEB. 1968b.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. *Biotechnologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1988. 266p.
- SU, C.; SUAREZ, D.L. Coordination of adsorbed boron: A FTIR spectroscopic study. *Environmental Science Technology*, v.29, p.302-311. 1995.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5).

THELLIER, M.; DURVAL, Y.; DEMARTY, M. Borate exchanges of *Lemna minor* L. as studied with the help of the enriched stable isotopes and of a ( $n, \infty$ ) nuclear reaction. *Plant Physiology*, Rockville, v.63, n.2, p.283-288. FEB. 1979.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. BEATON, J.D. *Soil Fertility and Fertilizers*. 4.ed. New York: MacMillan, 1985. 754p.

WEAR, J.I.; PATTERSON, R.M. Effect of soil pH and textura on the availability of water-soluble boron in the soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.26, p.344-346, 1962.

## CAPÍTULO 2

### RESPOSTA E NÍVEIS CRÍTICOS DE B EM FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS

#### RESUMO

MARIANO, Eduardo Dal'Ava. Resposta e níveis críticos de B em feijoeiro cultivado em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1998. 82p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, com o objetivo de avaliar a resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca-MG) à aplicação de doses de B em solos de várzea e estimar os níveis críticos inferior e superior de B nos solos e nas plantas. Foram utilizados quatro solos de várzea coletados no município de Lavras, MG: Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O), esse último artificialmente drenado. O experimento foi em DIC, em fatorial 4 x 7 com quatro repetições, sendo: 4 solos (GP, A, GH e O) e 7 doses de B (0, 0,25, 0,50, 1,50, 3,00, 6,00 e 10,00mg dm<sup>-3</sup>). Os solos receberam calcário dolomítico e uma adubação básica com macro e micronutrientes. Após incubação por 24 dias antes da semeadura, os solos foram amostrados e avaliados para B por quatro extratores, BaCl<sub>2</sub> 0,125%, Mehlich I, água quente e CaCl<sub>2</sub> 0,01mol L<sup>-1</sup>. Cada parcela foi constituída por um vaso com 3dm<sup>3</sup>, em que cultivaram-se três plantas, sendo uma colhida no florescimento, na qual avaliaram-se os teores foliares de Ca e B e as duas restantes, na maturação de grãos, avaliando-se a matéria seca de grãos e os teores de B na matéria seca da parte aérea. O feijoeiro respondeu em produção de grãos à aplicação de B, com uma distinta potencialidade dos solos na produção. Os níveis críticos inferiores de B nos solos (em mg dm<sup>-3</sup>) variaram de 0,81 a 1,50 no GP, de 0,68 a 1,12 no A, de 0,57 a 1,87 no GH e de 0,74 a 0,84 no O; e os superiores variaram de 2,87 a 4,65 no GP, de 2,52 a 4,50 no A, de 1,89 a 3,97 no GH e de 2,38 a 3,28 no O. Nas folhas, os níveis críticos inferiores variaram de 44,2 (GP) a 68,1mg kg<sup>-1</sup> (A) e os superiores de 143,6 (GP) a 199,1mg kg<sup>-1</sup> (O).

## ABSTRACT

MARIANO, Eduardo Dal'Ava. **Response and critical levels of B in bean plant cultivated in lowland soils from the south of Minas Gerais.** Lavras: UFLA, 1998. 82p. (Dissertation - Master Program in Agronomy)

This experiment was carried out in a greenhouse at the Soil Science Department of the Federal University of Lavras, with the objective of determining the response of bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) to B doses and critical levels for B in soil and at the top of the plants in lowland soils. The soils studied that comprise the classes Low Humic Gley (GP), Aluvial (A), Humic Gley (GH) and Bog Soil (O) were taken in the municipality of Lavras. The experimental design was completely randomized, in a factorial scheme, using four types of soils and seven B doses (0, 0.25, 0.50, 1.50, 3.0, 6.0 e 10.0 mg/kg of soil), with four replications. Lime, macro and micronutrients and B doses were thoroughly mixed with the soil samples and left to incubate during 24 days. Then the soil samples were submitted to B extraction by four extractor solutions,  $\text{BaCl}_2$  0,125%, Mehlich I, hot water and  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>. Bean seeds were sown in pots containing three dm<sup>3</sup> of treated soil. Grain dry matter yield and B contents of plant shoots at flowering period and at the end of the cycle were determined. The results indicated a great response of bean plant in the grain dry matter yield to application of B. In soils, the inferior critical levels (in mg/kg of soil) varied from 0.81 to 1.50 in GP, from 0.68 to 1.12 in A, from 0.57 to 1.87 in GH and from 0.74 to 0.84 in O, and the superior ones varied from 2.87 to 4.65 in GP, from 2.52 to 4.50 in A, from 1.89 to 3,97 in GH and from 2.38 to 3.28 in O. In plants, the inferior critical levels varied from 44.2 (GP) to 68.1 mg/kg (A) and the superior ones from 143.6 (GP) to 199,1 mg/kg (O).

## 1 INTRODUÇÃO

Juntamente com o Zn, o B é o micronutriente que mais tem causado problemas de deficiência no Brasil. Além disso, é bastante requerido pelas dicotiledôneas.

Comparada a outros nutrientes, a química do B é muito simples, pois ele não sofre reações de oxirredução e nem de volatilização e sua concentração na solução do solo é geralmente controlada pelas reações de adsorção. Dentre os atributos que afetam seu comportamento no solo, estão: CTC, teor e tipo de argila, óxidos de Fe e Al, matéria orgânica, superfície específica e pH (Elrashidi e O'Connor, 1982).

Na planta, exerce funções como metabolismo de carboidratos, transporte de açúcares através das membranas, síntese de ácidos nucleicos e parede celular, embora não atenda o critério direto de essencialidade, pois não foi identificada a sua presença em nenhum composto ou enzima específica. Segundo Malavolta (1980), talvez seja o nutriente com menor consumo de luxo na planta, apresentando uma faixa muito estreita entre os teores de deficiência e toxidez.

Vários autores têm encontrado resultados positivos na sua aplicação para o feijoeiro. Ruschel, Rocha e Penteado (1970), em um glei hidromórfico de Itaguaí (RJ), usando B e molibdênio no revestimento das sementes, isoladamente e combinados, verificaram que o B aumentou significativamente o nitrogênio total, o desenvolvimento das plantas na época da floração e a produção. Braga (1972) verificou resposta linear de produção do feijão "Rico 23" à aplicação de até 0,69kg de B ha<sup>-1</sup>. Oliveira e Kato (1983) relatam aumento de 20% da produção do feijoeiro "Rico 23" em um LV com a aplicação de 1,5kg de B ha<sup>-1</sup>. Os teores de B na planta variaram de 97 a 117mg kg<sup>-1</sup> correspondendo às suas concentrações no solo (extraído em água quente) de 0,36 a 1,0mg dm<sup>-3</sup>,

respectivamente. Os autores não verificaram nenhum efeito das doses de B sobre os teores de N, P e K nas folhas.

Andrade (1997) verificou que o B foi o nutriente mais limitante para a produção do feijoeiro quando cultivado nos mesmos solos de várzea do presente trabalho. O autor relata que a sua deficiência foi tão drástica que, além da redução do crescimento da parte aérea e dos sintomas típicos de deficiência observados nas plantas, não houve produção de grãos em nenhum dos solos. Entretanto, cita que bons índices de produção foram obtidos com a aplicação de 0,5mg de B  $\text{dm}^{-3}$ .

Segundo Lopes e Carvalho (1988), de modo geral, a faixa crítica para o B no solo está entre 0,4 a 0,6mg  $\text{dm}^{-3}$ , extraídos em água quente. Para Oliveira e Thung (1988), a faixa ótima deste micronutriente para o feijoeiro vai de 0,5 a 2,0mg  $\text{dm}^{-3}$  (água quente), sendo que teores de 2,0mg  $\text{dm}^{-3}$  já são considerados prejudiciais às plantas, enquanto teores inferiores a 0,15mg  $\text{dm}^{-3}$  no solo, extraídos por oxalato de amônio, são insuficientes para nutrição do feijoeiro.

A maioria das recomendações são feitas para solos onde já foi constatada deficiência, não levando em consideração o teor inicial do solo. Recomendações mais recentes no Estado de São Paulo (Raij et al., 1996) já levam este aspecto em consideração, sendo recomendada a aplicação de 1,0kg  $\text{ha}^{-1}$  de B, quando o teor no solo (extraído em água quente) for inferior a 0,21mg  $\text{dm}^{-3}$ , no caso do feijoeiro.

Os teores adequados de B na planta de feijoeiro no início do florescimento, segundo Wilcox e Fageria (1979), Rosolem e Marubayashi (1994) e Malavolta et al. (1997) variam de 30 a 60mg  $\text{kg}^{-1}$  e, conforme Raij et al. (1996) variam de 15 a 26mg  $\text{kg}^{-1}$ .

Contudo, a grande heterogeneidade dos solos de várzea tem mostrado que não se pode generalizar os problemas nutricionais e respostas ao fornecimento de B e outros micronutrientes nesses solos, pois eles foram muito

dependentes do tipo de solo e da cultura em questão, em uma coletânea de trabalhos analisados (Abreu et al., 1987; Galvão et al., 1984; Paula et al., 1990; Galvão, 1990).

Devido à existência de um limite estreito entre as concentrações adequadas e tóxicas de B nas plantas, um programa de fertilização com B requer planejamento cuidadoso. Necessita-se avaliar de modo eficiente o B existente no solo que está disponível às plantas, bem como determinar faixas de concentração adequada deste nutriente para o desenvolvimento de feijoeiro nos solos de várzea, uma vez que as condições de inundação constante e/ou intermitente alteram sensivelmente a disponibilidade de nutrientes e o potencial nutricional dos solos.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a resposta do feijoeiro à aplicação de doses de B em solos de várzea e determinar os níveis críticos inferior e superior de B na planta e nos solos, utilizando-se diferentes extratores.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em vasos plásticos com capacidade para 3dm<sup>3</sup>. Cultivou-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca-MG) no período de 6 de maio a 16 de agosto de 1997, em materiais de quatro solos de várzea não cultivados anteriormente: Aluvial (A), Gleí Pouco Húmico (GP), Gleí Húmico (GH) e Orgânico (O), esse último artificialmente drenado e apresentando menor teor de matéria orgânica.

Os materiais de solo, coletados na camada superficial (0-20cm) dos solos em uma várzea não sistematizada no município de Lavras, MG, foram destorroados, secos ao ar e passados em peneira com malha de 5mm de abertura. Ao mesmo tempo, foram tomadas sub-amostras e passadas em peneira de 2mm

de abertura, constituindo a TFSA para caracterização química, física e mineralógica.

A granulometria dos solos foi determinada pelo método da pipeta (Day, 1965) após queima da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio concentrado, empregando-se NaOH 1mol L<sup>-1</sup>, como dispersante químico e agitação rápida. Para a densidade do solo utilizou-se o método do anel volumétrico, segundo Blake (1965), e a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, com álcool etílico (EMBRAPA, 1979). A superfície específica foi determinada pelo método do etileno-glicol-monoetil-éter (EMEG) de Heilman et al. (1965), óxidos pelo ataque sulfúrico (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e pH em água, Ca, Mg, Al, P e K determinados conforme Vettori (1969) com modificações da EMBRAPA (1979), em que Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup> e P e K pelo Mehlich I (HCl 0,05mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025mol L<sup>-1</sup>). Também foram realizadas as determinações da acidez potencial (H+Al) e carbono orgânico conforme Raij et al. (1987). O micronutriente Zn foi extraído com DTPA e quantificado no extrato por espectrofotometria de absorção atômica.

Na fração argila foram quantificadas caulinita e gibbsita através de análise termo-diferencial (ATD) e óxidos de ferro livre totais (Fe<sub>d</sub>), usando o ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), estabelecidos sempre com base no volume de solo (Mehra e Jackson, 1960).

A correção da acidez dos solos e o fornecimento de Ca e Mg foram feitos com o uso de calcário dolomítico calcinado, com 35% de CaO, 14% de MgO e PRNT = 100%, nas doses 13,4; 4,6; 6,4 e 4,6 t/ha, para os solos GP, A, GH e O, respectivamente, para elevar a saturação por bases a aproximadamente 50%, conforme Andrade (1997).

O experimento foi arranjado num esquema fatorial 4 x 7, com quatro repetições, sendo os fatores: 4 solos (A, GP, GH e O) e 7 doses de B (0,0; 0,25;

0,5; 1,5; 3,0; 6,0 e 10,0mg dm<sup>-3</sup>) em delineamento inteiramente casualizado, com rodízio semanal da posição dos vasos na casa de vegetação. Estas doses foram baseadas nos trabalhos de Vanderlei (1984) e Ferreira (1992) e estabelecidas na expectativa de se abranger desde a deficiência até a fitotoxicidade do micronutriente nas plantas.

Os solos receberam como adubação básica de sementeira: 70mg de N; 300mg de P; 100mg de K; 40mg de S; 1,5mg de Cu e 5,0mg de Zn dm<sup>-3</sup> de solo e as respectivas doses de B, na forma de ácido bórico p.a. (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). As fontes utilizadas foram sais p.a.: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O; ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e KNO<sub>3</sub>.

Os solos foram incubados em porções de 4dm<sup>3</sup> em saquinhos plásticos com umidade correspondente a 70% do Volume Total de Poros (VTP) ocupado por água durante 24 dias. Após a incubação, foram transferidos 3dm<sup>3</sup> de solo para cada vaso, analisando-se, em amostras do restante, o teor de B disponível pelos extratores BaCl<sub>2</sub> 0,125% (Abreu et al., 1994), Mehlich I (Mehlich, 1978), água quente (Berger e Truog, 1939) e CaCl<sub>2</sub> 0,01mol L<sup>-1</sup> (Tedesco et al., 1985).

Foram semeadas seis sementes de feijoeiro por vaso, ficando, após o desbaste, três plantas por vaso. Dessas, a parte aérea de uma planta foi colhida no florescimento (estádio R6) e a parte aérea das outras duas plantas colhidas na maturação fisiológica dos grãos (estádio R9). Durante todo o período experimental, a umidade dos solos foi mantida em torno de 70% do VTP ocupado por água, por meio de pesagens diárias dos vasos e adição de água deionizada.

Foram realizadas adubações de cobertura com nitrogênio e potássio, diferenciadas em função do crescimento das plantas. Os tratamentos que proporcionaram em cada solo um crescimento normal das plantas, receberam 110mg de N e 70mg de K dm<sup>-3</sup>, parcelados em três aplicações. Os tratamentos cujas plantas apresentaram um menor crescimento receberam coberturas

proporcionalmente menores, evitando-se, assim, aplicações excessivas dos nutrientes.

A parte aérea das plantas colhidas no florescimento foi separada em folhas e ramos+hastes, enquanto que aquelas colhidas no final do ciclo foram separadas em grãos e caule+folhas+vagens. Todo material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65–70°C e pesado, obtendo-se, assim, o rendimento em matéria seca. Para as plantas colhidas no final do ciclo foram determinados o peso de matéria seca da parte aérea e de grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem. A seguir, todo o material vegetal foi moído em moinho tipo Willey e submetido à análise química para determinação dos teores de Ca através da digestão nitro-perclórica e determinação por espectrofotometria de absorção atômica e de B pela digestão via seca em forno de mufla a 500°C (incineração) e determinação colorimétrica com o uso de azometina-H (Malavolta et al., 1997).

A quantidade de nutrientes acumulados na parte aérea, bem como nos grãos do feijoeiro, foi calculada com base no teor dos mesmos nos tecidos e na produção de matéria seca de cada órgão.

As variáveis estudadas foram submetidas a análise de variância e estudos de regressão, cujas equações foram ajustadas às médias de produção de matéria seca de grãos (MSGR) em função das doses de B aplicadas. A partir das equações obtidas, estimaram-se as doses de B para a produção máxima, 90% da máxima e aquela acima da máxima suficiente para promover uma redução de 10% na MSGR, para cada solo. Substituindo-se essas doses nas equações de regressão que relacionam as doses de B aplicadas aos solos com seus teores disponíveis pelos extratores  $\text{BaCl}_2$  0,125%, Mehlich I, água quente e  $\text{CaCl}_2$  0,01mol L<sup>-1</sup>, estimaram-se os níveis críticos inferior (para 90% da MSGR máxima) e superior (para redução de 10% da MSGR máxima) de B em cada solo. Da mesma maneira, os níveis críticos inferior e superior de B nas folhas do

feijoeiro foram estimados, pela substituição das doses de B correspondentes nas equações de regressão que relacionam as doses de B aplicadas aos solos com seus teores nas folhas do feijoeiro na época do florescimento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Atributos dos solos usados no experimento

Observa-se, na Tabela 1 que os solos de várzea estudados são muito heterogêneos, apresentando grande variabilidade nos atributos físicos, químicos e mineralógicos. Dentre esses, matéria orgânica, CTC, textura, superfície específica, óxidos de Fe e Al e tipo de argila, são atributos que afetam a disponibilidade de B para as plantas.

São solos de baixa fertilidade natural, caracterizados por acidez média, teor e saturação por Al (m%) variando de baixo até muito alto, baixos teores de P e médio-altos de K. Com exceção dos solos A e O, que apresentam teores médio-altos de Ca e Mg, os outros dois apresentam baixos teores dessas bases, promovendo saturação por bases (V%) muito baixas, concordando com Fageria, Oliveira e Dutra (1996) de que os solos de várzea em sua grande maioria são ácidos e de baixa fertilidade. Os solos GH e O são solos com maior poder tampão, visto apresentarem teores mais elevados de matéria orgânica, principalmente o GH, e também acidez (H+Al) e CTC potenciais bastante elevadas.

A análise química dos solos após incubação com as doses de B aplicadas é apresentada na Tabela 2. Os teores de B disponível (água quente) variaram entre os solos, mostrando influência dos atributos destes em sua disponibilidade.

TABELA 1. Atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos naturais usados no experimento

| Solo | Químicos           |   |     |      |     |                       |     |     |      |     |         |      |    |    |
|------|--------------------|---|-----|------|-----|-----------------------|-----|-----|------|-----|---------|------|----|----|
|      | pH                 | P | K   | B    | Zn  | Ca                    | Mg  | Al  | H+Al | S   | t       | T    | m  | V  |
|      | mg/dm <sup>3</sup> |   |     |      |     | cmol./dm <sup>3</sup> |     |     |      |     | -- % -- |      |    |    |
| GP   | 5,3                | 3 | 36  | 0,18 | 1,2 | 0,6                   | 0,2 | 1,1 | 6,3  | 0,9 | 2,0     | 7,2  | 55 | 12 |
| A    | 5,2                | 3 | 103 | 0,23 | 2,4 | 2,7                   | 1,1 | 0,2 | 4,5  | 4,1 | 4,3     | 8,6  | 5  | 47 |
| GH   | 5,4                | 8 | 51  | 0,21 | 2,1 | 0,7                   | 0,2 | 1,6 | 13,7 | 1,0 | 2,6     | 14,7 | 61 | 7  |
| O    | 5,4                | 6 | 76  | 0,16 | 1,9 | 1,6                   | 1,2 | 0,9 | 9,8  | 3,0 | 3,9     | 12,8 | 23 | 23 |

| Solo | Físicos      |            |       |        |                  |                   |      |                       |
|------|--------------|------------|-------|--------|------------------|-------------------|------|-----------------------|
|      | Areia grossa | Areia fina | Silte | Argila | Matéria orgânica | Ds                | Dp   | Superfície específica |
|      | g/kg         |            |       |        |                  | g/cm <sup>3</sup> |      | m <sup>2</sup> /g     |
| GP   | 29           | 592        | 174   | 174    | 31               | 1,05              | 2,66 | 120,8                 |
| A    | 0            | 174        | 456   | 339    | 31               | 0,76              | 2,77 | 137,4                 |
| GH   | 8            | 177        | 300   | 285    | 230              | 0,40              | 1,81 | 334,6                 |
| O    | 0            | 115        | 545   | 296    | 44               | 0,64              | 2,15 | 180,7                 |

| Solo | Mineralógicos    |                                |                                |                  |                               |                 |           |          |
|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|-----------|----------|
|      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Fe <sub>d</sub> | Caulinita | Gibbsita |
|      | g/kg             |                                |                                |                  |                               |                 |           |          |
| GP   | 84,2             | 112,2                          | 13,0                           | 6,2              | 0,10                          | 3,2             | 64,9      | 19,0     |
| A    | 209,3            | 221,1                          | 74,5                           | 9,3              | 0,51                          | 41,8            | 145,1     | 49,2     |
| GH   | 126,1            | 175,5                          | 13,3                           | 5,5              | 1,52                          | 6,5             | 48,7      | 53,6     |
| O    | 243,4            | 247,1                          | 42,8                           | 7,3              | 0,48                          | 15,7            | 119,3     | 56,8     |

TABELA 2. Teores disponíveis (água quente) de B nos solos, após aplicação dos tratamentos e incubação, antes da semeadura do feijoeiro

| Solo | Doses de B (mg/dm <sup>3</sup> ) |      |      |      |      |      |       |
|------|----------------------------------|------|------|------|------|------|-------|
|      | 0                                | 0,25 | 0,50 | 1,50 | 3,00 | 6,00 | 10,00 |
|      | mg/dm <sup>3</sup>               |      |      |      |      |      |       |
| GP   | 0,39                             | 0,31 | 0,52 | 0,78 | 2,09 | 3,66 | 6,39  |
| A    | 0,29                             | 0,38 | 0,49 | 0,84 | 1,56 | 3,57 | 5,52  |
| GH   | 0,86                             | 1,06 | 0,92 | 1,44 | 2,11 | 4,25 | 6,05  |
| O    | 0,35                             | 0,42 | 0,50 | 0,94 | 1,91 | 3,94 | 6,33  |

### 3.2 Variáveis de produção

A análise de variância para matéria seca de grãos (MSGR), número de vagens por planta (VGPL) e número de grãos por vagem (GRVG) mostrou que os solos e as doses de B influenciaram significativamente ( $P < 0,01$ ) tais variáveis, a exceção dos solos para VGPL, enquanto que a interação doses X solos só não foi significativa para a variável GRVG (Anexo A). Os resultados refletem o efeito dos atributos dos solos estudados na dinâmica e disponibilidade de nutrientes e no desenvolvimento das plantas, mostrando variação na magnitude de resposta das plantas às doses de B.

A resposta encontrada nas variáveis estudadas, era esperada, uma vez que os solos utilizados no experimento, em condições de fertilidade natural, apresentam teores baixos e médios de B (exceção para o GH após incubação), conforme as classes de fertilidade para B extraído em água quente sugeridas por Raij et al. (1996). Os autores, generalizando para tipos de solos e culturas, citam como níveis baixos aqueles menores que 0,21, médios - de 0,21 a 0,6 e altos maiores que 0,6mg de B  $\text{dm}^{-3}$ . Os teores de B nos solos estudados também estão abaixo da faixa considerada crítica por Lopes e Carvalho (1988) (0,4 a 0,6mg  $\text{dm}^{-3}$ , em água quente) para o desenvolvimento de culturas em geral (exceção para o GH após incubação).

Para todos os solos estudados, as equações quadráticas base raiz quadrada foram as que melhor se ajustaram a produção de grãos (Figura 1). O modelo explica aumentos significativos na produção de grãos com a aplicação das doses iniciais de B. Após atingir um ponto máximo, a produção decresce em resposta às doses mais altas de B, indicando efeito tóxico do micronutriente. Portanto, as menores produções de MSGR observadas nas doses 0 (zero) e 10,0mg de B  $\text{dm}^{-3}$ , são justificadas pela severidade da deficiência e toxicidade de B, respectivamente, haja vista o aparecimento de sintomas típicos de carência e

excesso do micronutriente nas plantas. Este padrão de resposta sugere grande comprometimento na produção de grãos em solos com baixo teor de B disponível, bem como sob aplicação de altas doses do micronutriente.

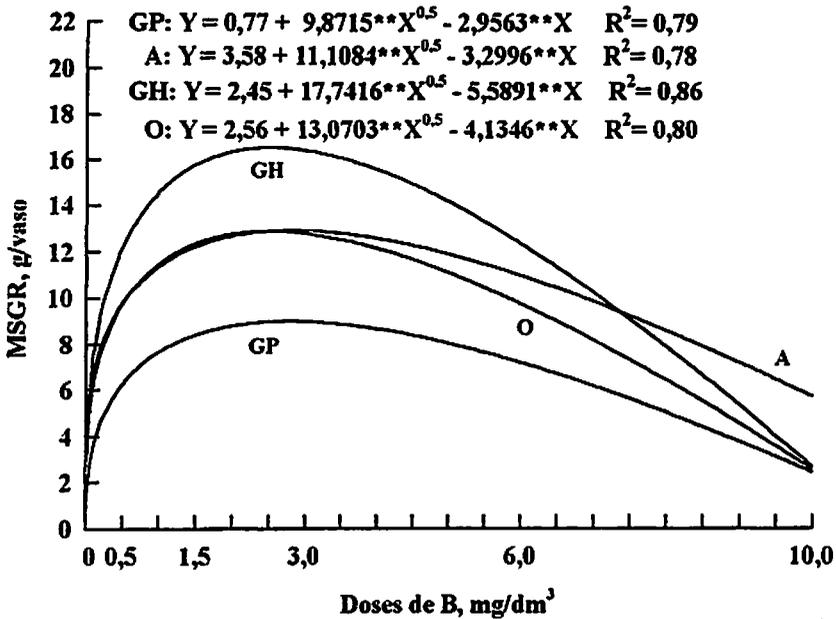


FIGURA 1. Produção de matéria seca de grãos (MSGR) pelo feijoeiro em função das doses de B aplicadas aos solos de várzea (\*\* significativo a 1%).

Quanto aos efeitos da aplicação de B no crescimento e produção do feijoeiro, Andrade (1997) verificou que ele foi o nutriente mais limitante para a produção dessa leguminosa cultivada nos mesmos solos de várzea do presente trabalho, quando em condições naturais. O autor relata que a deficiência de B foi tão drástica que, além da redução do crescimento da parte aérea e dos sintomas típicos de deficiência observados nas plantas, não houve produção de grãos em

nenhum dos solos. Entretanto, cita que bons índices de produção foram obtidos com a aplicação de 0,5mg de B  $\text{dm}^{-3}$ .

A partir das equações da Figura 1, estimaram-se as produções de MSGR e as doses de B correspondentes à produção máxima, 90% da máxima (zona de deficiência) e redução de 10% da máxima (zona de toxidez) (Tabela 3). No índice de 90% da produção máxima, estima-se representar a máxima eficiência econômica (Alvarez V. et al., 1988).

As doses de B que permitiram máxima produção de grãos de MSGR não apresentaram grandes variações entre os solos, oscilando entre 2,50 e 2,83mg  $\text{dm}^{-3}$ . Da mesma forma, as doses necessárias para atingir 90% da produção máxima de MSGR, tanto na zona de deficiência quanto na zona de toxidez, tiveram pequena variação entre os solos (Tabela 3), já que todos apresentaram o mesmo comportamento quadrático que caracterizou a produção de MSGR (Figura 1).

TABELA 3. Produção estimada de matéria seca de grãos (MSGR) correspondente à produção máxima e 90% da máxima e as doses de B estimadas para promover essas produções e redução de 10% da máxima

| Solo | MSGR (g/vaso) |        | Dose de B (mg/ $\text{dm}^3$ ) |        |       |
|------|---------------|--------|--------------------------------|--------|-------|
|      | 90%           | máxima | 90%                            | máxima | - 10% |
| GP   | 8,11          | 9,01   | 1,25                           | 2,79   | 4,94  |
| A    | 11,64         | 12,93  | 1,12                           | 2,83   | 5,33  |
| GH   | 14,88         | 16,53  | 1,09                           | 2,52   | 4,54  |
| O    | 11,61         | 12,90  | 1,04                           | 2,50   | 4,58  |

As doses de B correspondentes a 90% da máxima MSGR (zona de deficiência) indicam uma redução média de 58% das doses necessárias para se atingir a produção máxima nos solos. Essa grande redução na dose do nutriente é acompanhada de uma redução de apenas 10% da produção, representando,

assim, uma considerável economia com a adubação e diminuição da relação custo/benefício. Por outro lado, as doses de B necessárias para reduzir em 10% a produção máxima de MSGR (zona de toxidez) pelo efeito tóxico do micronutriente, foram, em média, 82% superiores às doses estimadas para alcançar a produção máxima. Estes valores médios representam bem a variação das doses estimadas, uma vez que elas foram semelhantes entre os solos, nos três pontos estudados da curva de produção (Tabela 3).

Os dados (Figura 1 e Tabela 3) mostram a distinta potencialidade dos solos para produção de grãos. Apesar de as respostas das plantas às doses de B seguirem a mesma tendência, a magnitude delas foi diferente entre os solos. O solo GH foi o que proporcionou maior produção máxima de MSGR, seguido pelos solo A e O, que tiveram produções máximas semelhantes, e pelo GP que apresentou a menor produção de grãos. Esta potencialidade diferenciada apresentada pelos solos, certamente, é função dos atributos físicos, químicos e mineralógicos e suas interações em cada solo, proporcionando condições particulares para o crescimento e produção das plantas.

Durante o cultivo, nos solos A e O e menos intensamente no GP, ocorreu a formação de uma camada endurecida na superfície dos solos, pelo arrançamento das partículas de solo ao longo das irrigações efetuadas. Essa camada dificultava a infiltração de água e o arejamento do solo. Além disso, no solo A, ocorria a formação de rachaduras e o endurecimento de torrões quando o solo iniciava secamento. Essa movimentação do solo aliada ao seu endurecimento pode ter provocado estresse e rompimento das raízes das plantas, o que certamente refletiria no potencial produtivo da espécie.

Possivelmente, o maior teor de matéria orgânica, pelo seu papel como condicionador de solo, tenha propiciado melhores condições para o desenvolvimento de raízes no GH, o que conferiu-lhe maior potencial de produção (Figura 1).

Assim, comparando os solos quanto ao potencial para produção de grãos em casa de vegetação, pode-se estabelecer a seguinte ordem decrescente  $GH > A = O > GP$ . Estes resultados não concordam com os de Andrade (1997), que são:  $O > GH > GP > A$ . Embora o autor estivesse estudando as limitações de fertilidade que cada solo apresenta em condições naturais, verificou que o solo O, quando corrigido e adubado, apresentou o melhor potencial para produção de feijão.

Sabe-se que a nutrição da planta está estreitamente relacionada com o seu potencial produtivo, principalmente a nutrição com B, devido a sua participação no processo de fertilização (Faquin, 1994). Apesar do número de vagens por planta e grãos por vagem serem características controladas geneticamente na planta, houve respostas significativas dessas variáveis às doses de B nos solos estudados (Anexo A). O número de vagens por planta, por estar diretamente relacionado com a produção (Santa Cecília, Ramalho e Silva, 1974), apresentou comportamento muito semelhante (Figura 2) ao observado para a produção de MSGR. As doses de B estimadas correspondentes ao máximo número de vagens por planta foram de 2,67, 2,70, 2,64 e 2,54mg de B  $dm^{-3}$  para os solos GP, A, GH e O, respectivamente. O número de grãos por vagem atingiu as maiores médias nos solos GH e A (Tabela 4), confirmando o maior potencial desses solos para produção de feijão.

TABELA 4. Número de grãos por vagem (GRVG) do feijoeiro cultivado nos solos de várzea estudados

| Solo | GRVG   |
|------|--------|
| GH   | 4.58 a |
| A    | 4.28 a |
| O    | 3.62 b |
| GP   | 3.29 b |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%)

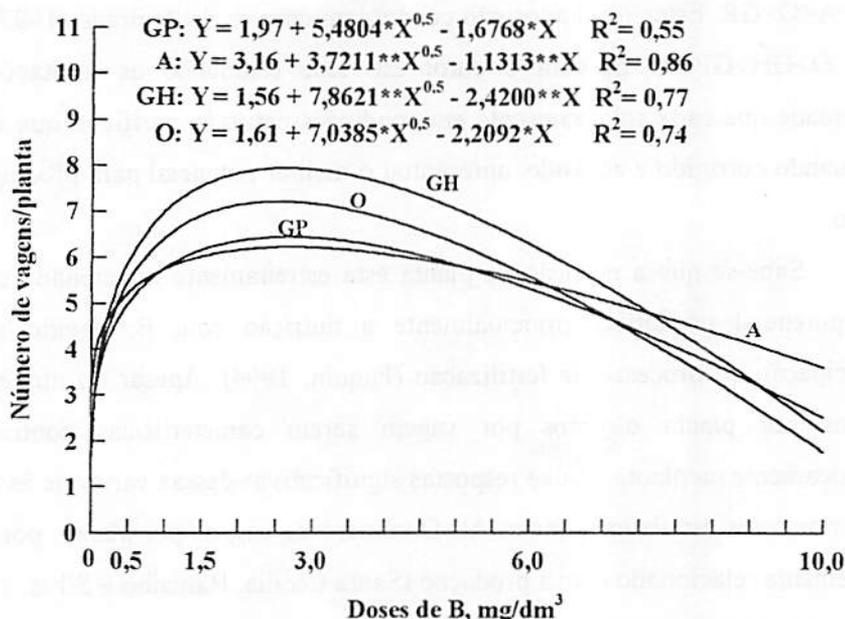


FIGURA 2. Número de vagens por planta de feijoeiro em função das doses de B aplicadas aos solos de várzea (\*\* significativo a 1%).

### 3.3 Níveis críticos inferior e superior de B nos solos

As equações que relacionam o B disponível pelos extratores e as doses do micronutriente aplicadas em cada solo são apresentadas na Tabela 5. A variação dos valores de declividade das equações entre os solos para um mesmo extrator, é reflexo da influência dos atributos dos solos na capacidade de recuperação do elemento pelo extrator. Dentre os atributos do solo, os que exercem maior influência na retenção de B são a textura (Keren e Mezuman, 1981), os óxidos de Fe e Al (Gupta et al., 1985), o pH da solução do solo (Goldberg e Glaubig, 1986) e o teor de matéria orgânica (Gupta, 1968). A

matéria orgânica talvez seja o constituinte dos solos que mais afeta a disponibilidade do micronutriente, principalmente por adsorver mais B com base em peso do que os constituintes minerais (Casagrande, 1978).

Como os vários atributos do solo que afetam a adsorção de B nos solos apresentam-se em valores bem distintos nos solos estudados (Tabela 1), é natural que a disponibilidade do nutriente para as plantas e a quantidade extraída por cada extrator seja diferente. Variações semelhantes foram encontradas para zinco, por Couto et al. (1992), que mostraram ser os atributos do solo, que refletem o fator capacidade do nutriente em questão, responsáveis por essas variações.

TABELA 5. Equações de regressão para o B disponível pelos extratores ( $Y = \text{mg dm}^{-3}$ ), como variável dependente das doses de B aplicadas ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) aos solos de várzea

| Solo | Extrator          | Equação                      | R <sup>2</sup> |
|------|-------------------|------------------------------|----------------|
| GP   | BaCl <sub>2</sub> | $Y = 0,1101 + 0,5581^{**} X$ | 0,99           |
|      | Mehlich I         | $Y = 0,3455 + 0,5580^{**} X$ | 0,99           |
|      | Água quente       | $Y = 0,1630 + 0,6113^{**} X$ | 0,99           |
|      | CaCl <sub>2</sub> | $Y = 0,4359 + 0,8537^{**} X$ | 0,99           |
| A    | BaCl <sub>2</sub> | $Y = 0,0413 + 0,5700^{**} X$ | 0,99           |
|      | Mehlich I         | $Y = 0,3329 + 0,4106^{**} X$ | 0,99           |
|      | Água quente       | $Y = 0,1797 + 0,5355^{**} X$ | 0,99           |
|      | CaCl <sub>2</sub> | $Y = 0,2214 + 0,8024^{**} X$ | 0,99           |
| GH   | BaCl <sub>2</sub> | $Y = 0,3033 + 0,6164^{**} X$ | 0,99           |
|      | Mehlich I         | $Y = 0,1508 + 0,3825^{**} X$ | 0,99           |
|      | Água quente       | $Y = 0,7564 + 0,5362^{**} X$ | 0,99           |
|      | CaCl <sub>2</sub> | $Y = 1,2121 + 0,6081^{**} X$ | 0,98           |
| O    | BaCl <sub>2</sub> | $Y = 0,0409 + 0,6836^{**} X$ | 0,99           |
|      | Mehlich I         | $Y = 0,2529 + 0,4637^{**} X$ | 0,99           |
|      | Água quente       | $Y = 0,2009 + 0,6110^{**} X$ | 0,99           |
|      | CaCl <sub>2</sub> | $Y = 0,0892 + 0,6961^{**} X$ | 0,99           |

\*\* significativo a 1%

Há também diferença dos valores de declividade das equações entre os extratores devido a diferenças no princípio de extração entre eles. Essas diferenças na capacidade de recuperação dos extratores serão discutidas no capítulo 3 desse trabalho.

Substituindo-se nas equações da Tabela 5, para cada solo e cada extrator, as doses de B correspondentes a 90% da MSGR máxima e aquelas que promoveram uma redução de 10% da máxima (Tabela 3), estimaram-se os níveis críticos inferior e superior de B, respectivamente (Tabela 6).

TABELA 6. Níveis críticos de B estimados nos solos de várzea para o feijoeiro, correspondentes a 90% da produção máxima (inferior) e redução de 10% da máxima (superior), pelos extratores BaCl<sub>2</sub>, Mehlich I, água quente e CaCl<sub>2</sub>

| Solo | Extratores         |          |           |          |             |          |                   |          |
|------|--------------------|----------|-----------|----------|-------------|----------|-------------------|----------|
|      | BaCl <sub>2</sub>  |          | Mehlich I |          | Água quente |          | CaCl <sub>2</sub> |          |
|      | inferior           | superior | inferior  | superior | inferior    | superior | inferior          | superior |
|      | mg/dm <sup>3</sup> |          |           |          |             |          |                   |          |
| GP   | 0,81               | 2,87     | 1,04      | 3,10     | 0,93        | 3,18     | 1,50              | 4,65     |
| A    | 0,68               | 3,08     | 0,79      | 2,52     | 0,78        | 3,03     | 1,12              | 4,50     |
| GH   | 0,98               | 3,10     | 0,57      | 1,89     | 1,34        | 3,19     | 1,87              | 3,97     |
| O    | 0,75               | 3,17     | 0,74      | 2,38     | 0,84        | 3,00     | 0,81              | 3,28     |

Observou-se ampla variação dos níveis críticos inferiores e superiores em cada solo, determinados pelos diferentes extratores (Tabela 6). Na média dos extratores, os níveis críticos inferiores de B nos solos A e O situaram-se em torno de 0,81mg dm<sup>-3</sup>, sendo que, no solo A, os valores estimados com os diferentes extratores tiveram maior variação (0,68 (BaCl<sub>2</sub>) a 1,12 (CaCl<sub>2</sub>) mg dm<sup>-3</sup>). No solo O, o teor de B disponível pelos extratores, correspondente a 90% da produção máxima (inferior), situou-se entre 0,74 (Mehlich I) e 0,84 (água

quente)  $\text{mg dm}^{-3}$ . Os níveis críticos inferiores determinados para os solos GP e GH foram mais altos, com valores médios de  $1,13 \text{mg dm}^{-3}$ .

No GP, os maiores níveis críticos inferiores estabelecidos são decorrentes do baixo poder tampão do solo, caracterizado pela textura mais arenosa e pelo menor teor de matéria orgânica (Tabela 1). Os valores evidenciam que maior teor de B deve ser mantido na solução do solo disponível às plantas para garantir um fornecimento adequado às raízes, já que nesse solo ocorre um esgotamento mais rápido do micronutriente em solução devido ao menor poder de reposição pela fase sólida.

Conforme as classes de fertilidade sugeridas por Raij et al. (1996), teores de B disponível em água quente maiores que  $0,6 \text{mg dm}^{-3}$  são tidos como teores altos no solo. Entretanto, os autores recomendam aplicação de B no solo para cultivo com feijoeiro, somente quando seu teor (água quente) for inferior a  $0,21 \text{mg dm}^{-3}$ . Para o girassol, uma espécie exigente em B, é recomendável a aplicação de B quando o teor no solo estiver entre  $0,21$  e  $0,60 \text{mg dm}^{-3}$ .

Para soja, cultivada em um LE, Buzetti et al. (1990a) obtiveram valores entre  $0,19$  e  $0,23 \text{mg dm}^{-3}$  extraído com água quente, como críticos para atingir 90% da produção máxima estimada de grãos. Essa comparação, apesar de interessante por se tratar de uma leguminosa, é limitada, uma vez que os níveis críticos foram determinados de maneira diferente.

Paula (1995), em solos aluviais e hidromórficos sob a cultura do arroz inundado, obteve como nível crítico de B para produção máxima de matéria seca no florescimento, valores entre  $0,40$  e  $0,86$ , com o extrator Mehlich I e entre  $0,30$  e  $0,53 \text{mg dm}^{-3}$  extraídos com água quente, justificando que as variações indicam efeitos dos atributos dos solos. Ferreira (1992), usando água quente como extrator de B, determinou valores entre  $0,08$  e  $0,26 \text{mg dm}^{-3}$ , necessários para atingir 90 e 95% da produção máxima de matéria seca da parte aérea de *E. citriodora* aos 140 dias de idade, em dois latossolos.

Essas variações encontradas nos níveis críticos em diversos trabalhos, mostram que, assim como a disponibilidade dos nutrientes está relacionada com atributos do solo e condições climáticas, a capacidade das plantas em absorvê-los em uma dada concentração na solução do solo varia também com a espécie vegetal, vindo a confirmar um fato muito discutido de que a fixação do nível crítico de B em  $0,5\text{mg dm}^{-3}$  em água quente, não pode ser generalizado para todas espécies e classes de solos.

Os níveis críticos superiores, ou níveis críticos de toxidez, estimados pelos extratores para cada solo, são apresentados na Tabela 6. Observa-se que dentro de cada extrator, houve pequena diferença entre os solos para esses níveis, a exceção do Mehlich I no solo GH e do  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  no solo O, que apresentaram valores mais baixos que os demais. Na média dos solos, o  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  foi o extrator que apresentou os maiores valores para os níveis tóxicos de B, enquanto que os demais, apresentaram valores semelhantes. Para Oliveira e Thung (1988) a faixa ótima de B no solo para o feijoeiro vai de  $0,5$  a  $2,0\text{mg dm}^{-3}$  (água quente), sendo que teores no nível superior citado, já são considerados prejudiciais às plantas. Lindsay e Cox (1985) citam como níveis tóxicos aqueles acima de  $3,0\text{mg de B dm}^{-3}$ . Certamente, as diferenças entre os valores observados para os níveis tóxicos (Tabela 6), bem como àqueles citados na literatura, se devem aos tipos de solos, culturas, extratores utilizados e, aos critérios adotados para o estabelecimento dos valores tóxicos.

As informações a respeito de níveis tóxicos de B no solo são escassas, mesmo porque os teores de B disponível encontrados naturalmente nos solos brasileiros são baixos. A toxicidade é mais comum em regiões áridas ou semi-áridas, ou ainda naquelas relacionadas com água de irrigação com altos teores de B (Marschner, 1995).

### 3.4 Níveis críticos inferior e superior de B na planta

Como era esperado, as concentrações de B no tecido foliar do feijoeiro, na época do florescimento, aumentaram com as doses aplicadas, com um ajuste linear entre as variáveis (Tabela 7). Os coeficientes lineares das equações, que indicam o teor foliar de B na dose 0, mostram uma capacidade bastante diferenciada dos solos em fornecer este micronutriente às plantas sob condições naturais. Os solos GP e O foram aqueles que proporcionaram os menores teores de B no tecido foliar, confirmando mais uma vez a sua baixa disponibilidade nesses solos em condição natural, resultando em baixa produção de grãos (dose 0), como mostrado na Figura 1. Os acréscimos estimados nos teores de B para cada unidade aplicada, mostrados pelos coeficientes angulares das equações, evidenciam magnitude semelhante nesses aumentos para os solos GP, A e GH, e magnitude superior aos demais para o solo O.

Substituindo-se nas equações da Tabela 7, para cada solo, as doses de B correspondentes a 90% da MSGR máxima, e aquelas que promoveram uma redução de 10% da MSGR máxima (Tabela 3), estimaram-se os níveis críticos foliares de B, inferior e superior, respectivamente (Tabela 7).

TABELA 7. Equações de regressão ajustadas para os teores foliares de B ( $Y = \text{mg kg}^{-1}$ ) na época do florescimento, como variável dependente das doses de B aplicadas ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) e níveis críticos inferior (para 90% da MSGR máxima) e superior (para redução de 10% da MSGR máxima)

| Solo | Equação                        | R <sup>2</sup> | Níveis críticos (mg/kg) |          |
|------|--------------------------------|----------------|-------------------------|----------|
|      |                                |                | inferior                | superior |
| GP   | $Y = 10,4927 + 26,9473^{**} X$ | 0,99           | 44,2                    | 143,6    |
| A    | $Y = 36,4777 + 28,2212^{**} X$ | 0,99           | 68,1                    | 186,9    |
| GH   | $Y = 20,5581 + 27,1616^{**} X$ | 0,99           | 50,2                    | 143,9    |
| O    | $Y = 10,7893 + 41,1232^{**} X$ | 0,98           | 53,6                    | 199,1    |

\*\* significativo a 1%

Verifica-se que tais valores variaram entre os solos de várzea estudados, mostrando-se dependentes de alguns de seus atributos que influenciaram, além da disponibilidade de B, também o crescimento das plantas. Na Tabela 3 foi mostrado que a produção de MSGR estimada para 90%, ou redução de 10% da máxima, também foi diferente entre os solos. Pode-se inferir, portanto, que os atributos dos solos que influenciam o crescimento das plantas, afetam também o coeficiente de utilização do micronutriente, conferindo diferentes valores de níveis críticos na planta.

Um fato que comprova claramente essa afirmação pode ser observado para os solos A e O que, de acordo com a Figura 1, apresentaram a mesma produção de MSGR, até aproximadamente a dose de  $5,0\text{mg de B dm}^{-3}$ , com níveis críticos inferiores e superiores bastante diferentes (Tabela 7). Pelos coeficientes das equações da Tabela 7 nota-se que a absorção de B pelas plantas teve comportamento diferenciado entre os solos. No solo A as plantas absorveram mais B relativamente ao solo O até a dose de  $1,99\text{mg de B dm}^{-3}$  (dose correspondente à interseção das retas). Acima dessa dose, as plantas do solo O apresentaram maior absorção do micronutriente. Como as doses estimadas para 90% e redução de 10% da máxima nos dois solos ocorreram antes e depois da dose  $1,99\text{mg de B dm}^{-3}$ , respectivamente, a faixa de concentração entre os níveis críticos inferior e superior foi mais ampla no solo O.

Um outro exemplo pode ser observado para o solo GP, que apresentou as menores produções de MSGR (correspondentes a 90% e redução de 10% da máxima) e exigiu as maiores doses de B para atingir essas produções (Tabela 3). Em contrapartida, nesse solo, as plantas apresentaram o menor nível crítico inferior e, juntamente com o GH, o menor nível crítico superior de B foliar, entre os solos estudados (Tabela 7).

Esta dependência dos níveis críticos do nutriente na planta em relação aos atributos do solo que controlam a sua disponibilidade, também foram encontradas para outros nutrientes como o P (Fonseca et al., 1997), o Zn (Couto et al., 1992) e o próprio B (Ferreira, 1992).

Quanto aos níveis críticos inferiores, Paula (1995) encontrou valores entre 17 e 35mg de B kg<sup>-1</sup> na parte aérea do arroz durante o florescimento, cultivado em solos de várzea sob inundação. A autora menciona que o nível de toxicidade deve estar acima de 51mg de B kg<sup>-1</sup>, a maior concentração de B no tecido foliar com a aplicação de 2,0mg de B dm<sup>-3</sup>, sem a observação de sintomas de toxidez, embora a produção de matéria seca tenha sofrido redução com esta dose. Buzetti et al. (1990b) determinaram valores na faixa de 42 a 56mg de B kg<sup>-1</sup> na parte aérea da soja “Paraná” como críticos para obtenção de 90% do máximo produzido.

Nos mesmos solos de várzea do presente estudo, Andrade (1997) encontrou teores de B no tecido foliar das plantas de feijoeiro no florescimento, variando de 31,3 a 81,0mg kg<sup>-1</sup> nos tratamentos com fornecimento adequado de B e nutrientes, sendo os solos A e GH aqueles que proporcionaram maior absorção do micronutriente.

Ferreira (1992) determinou valores entre 19 e 29mg de B kg<sup>-1</sup> em folhas medianas de *E. citriodora* para obtenção de 90 e 95% da máxima matéria seca aos 140 dias de idade e, usando-se o mesmo critério desse trabalho, os valores estiveram entre 64 e 120mg de B kg<sup>-1</sup> para redução de 5 e 10% da máxima, respectivamente.

Marschner (1995) menciona que as espécies de plantas diferem caracteristicamente quanto ao requerimento de B para o crescimento e cita, como exemplo, que a faixa crítica de deficiência varia de 5–10mg kg<sup>-1</sup> em gramíneas, 20–70mg kg<sup>-1</sup> na maioria das dicotiledôneas e 80–100mg kg<sup>-1</sup> em espécies mais exigentes como a papoula. A distinta diferença na demanda de B

entre gramíneas e dicotiledôneas está relacionada com diferenças na composição da parede celular, com maiores proporções de compostos cis-diol na parede celular do segundo grupo (Loomis e Durst, 1992). Esta diferença torna-se mais clara ao observarmos que os níveis críticos para o feijoeiro no presente trabalho variaram na faixa de 44,2 a 68,0mg de B kg<sup>-1</sup>, enquanto que, para a cultura do arroz também em solos de várzea, os valores ficaram entre 17 e 35mg de B kg<sup>-1</sup> (Paula, 1995).

Assim como as espécies diferem no requerimento pelo B, elas o fazem na tolerância ao elemento e algumas faixas de teores críticos tóxicos no tecido foliar são citadas em mg de B kg<sup>-1</sup>: milho, 100; pepino, 400; abóbora, 1000; trigo, 100-270; snap bean, 100 e cowpea > 330 (Marschner, 1995).

Wilcox e Fageria (1979), Rosolem e Marubayashi (1994) e Malavolta et al. (1997) citam teores foliares adequados para o feijoeiro, no início do florescimento, variando na faixa de 30 a 60mg de B kg<sup>-1</sup>, enquanto que Raij et al. (1996), estabelecem para todas as folhas amostradas no florescimento, a faixa de 15 a 26mg de B kg<sup>-1</sup>.

A diferença entre as faixas críticas observadas e as encontradas na literatura é devida, possivelmente, a diversos fatores como época de cultivo, método utilizado, doses dos outros nutrientes aplicados, idade da planta ou do órgão amostrado, época de amostragem, condições de cultivo – campo ou controlada, entre outros (Faquin et al., 1995).

### 3.5 Relação Ca/B

A análise de variância (Anexo A) mostra que houve efeito significativo de solos, doses de B e da interação solos X doses na relação Ca/B da matéria seca foliar colhida no florescimento. O efeito das doses de B nessa relação em cada solo estudado segue o modelo quadrático base raiz quadrada decrescente, que descreve um decréscimo acentuado na relação Ca/B com o

aumento das doses de B e posterior estabilização nas doses mais altas. As equações ajustadas são apresentadas na Tabela 8, juntamente com os valores de relação Ca/B estimados pelas equações para as doses correspondentes a 90% e redução de 10% da produção máxima de MSGR.

A variação observada nos valores da relação Ca/B na dose referente a 90% da produção máxima de MSGR deve-se, provavelmente, às diferenças na disponibilidade de B nos solos estudados (Tabela 2). Jones e Scarseth (1944) relataram que as plantas têm um comportamento diferenciado quanto à absorção de Ca e B, dependendo da disponibilidade no solo, e que as plantas terão um desenvolvimento normal se existir equilíbrio na absorção desses elementos.

TABELA 8. Equações de regressão ajustadas para a relação Ca/B (Y) no tecido foliar do feijoeiro na época do florescimento, como variável dependente de doses de B aplicadas no solo ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) e relação Ca/B estimada nas doses correspondentes a 90% da MSGR máxima e redução de 10% da máxima

| Solo | Equação  | R <sup>2</sup> | Relação Ca/B |           |
|------|--|----------------|--------------|-----------|
|      |  |                | 90% máx.     | -10% máx. |
| GP   | $Y = 2187.01 - 1868.57^{**} X^{0.5} + 393.19^{**} X$ | 0,95           | 589,4        | -         |
| A    | $Y = 723.84 - 504.46^{**} X^{0.5} + 97.14^{*} X$     | 0,92           | 298,8        | 77,0      |
| GH   | $Y = 774.91 - 441.84^{**} X^{0.5} + 65.67^{**} X$    | 0,99           | 385,2        | 131,6     |
| O    | $Y = 819.37 - 427.37^{**} X^{0.5} + 55.42^{*} X$     | 0,97           | 441,2        | 158,6     |

\*\* . \* significativo a 1 e 5%, respectivamente

Observa-se, pelos coeficientes lineares das equações, que quando não houve aplicação de B ao solo (dose 0), as plantas atingiram os maiores valores da relação Ca/B: 2187, 724, 775 e 819, respectivamente para os solos GP, A, GH e O. Nesses valores, as plantas apresentaram sintomas típicos de deficiência de B e baixa produção de MSGR. Também Reeve e Shive (1944) relatam uma relação Ca/B extremamente alta, da ordem de 1000 a 2380, no tecido foliar das plantas de tomate deficientes em B.

Nas doses que causaram redução de 10% da máxima MSGR, foram observadas relações Ca/B bem menores, mostrando que, com o aumento da disponibilidade de B, as plantas o absorveram mais em relação ao Ca. A variação da disponibilidade de B nos solos, pela própria diferença nas doses referentes a redução de 10% (Tabela 3), refletiu nos valores da relação Ca/B entre os solos (Tabela 8).

Relações Ca/B de 130, 142, 207 e 245, respectivamente para os solos GP, A, GH e O (dose 3,0mg de B dm<sup>-3</sup>) foram relacionadas ao aparecimento de sintomas de toxidez de B no feijoeiro. Gupta (1972) cita o valor de 45 como indicativo de toxidez de B em cevada e Ferreira (1992) encontrou a relação igual a 48 quando aplicou 6,25mg de B dm<sup>-3</sup> em eucalipto, verificando somente suspeita de sintomas de toxidez.

### **3.6 Sintomas de deficiência e toxidez de B**

Os sintomas de deficiência de B nas plantas de feijoeiro ocorreram somente nos tratamentos em que o nutriente não foi aplicado (dose 0), e de forma variada entre os solos. Nos solos GP e GH, o crescimento das plantas foi muito limitado, com pequena produção de matéria seca da parte aérea e nenhuma produção de grãos. Nesses solos, os sintomas de deficiência se manifestaram já nas folhas cotiledonares, que apresentaram um amarelecimento internerval iniciado nos bordos e progredindo para o centro da folha, resultando em um mosqueado verde-amarelo. No lançamento do primeiro folíolo no solo GH, foi verificada redução no crescimento, pois o mesmo se apresentava com tamanho bem menor e crescimento mais lento do que as plantas sadias. As folhas novas, de tamanho reduzido, apresentaram-se retorcidas, com as pontas enroladas para baixo, espessas e coreáceas; o sintoma evoluiu com o aparecimento de clorose internerval que progredia dos bordos para o centro da folha, com posterior formação de pontos necróticos, secamento das folhas e dos

pontos de crescimento. Nesta fase verificou-se a emissão de brotações laterais que, na maior parte, não se desenvolviam, apenas formando um pequeno tufo e afetando o desenvolvimento da planta. As plantas ficaram pequenas, com tufos em forma de vassoura e com caule engrossado com pequenas rachaduras.

No solo GP, a deficiência de B causou efeitos ainda mais drásticos. Logo após o lançamento das folhas cotiledonares, houve secamento da gema apical e paralisação total do crescimento. Neste solo não houve emissão de brotações e não houve avanço do estágio de plântula.

Nos solos A e O, com dose zero de B, as plantas apresentaram um crescimento vegetativo maior do que naqueles tratamentos que receberam doses iniciais de B, mostrando um aspecto de crescimento desordenado e anormal. Nesses solos, a produção de grãos ficou limitada a poucas vagens somente no solo A (Figura 1). Da germinação até 40 dias de idade, as plantas não apresentaram sintomas de deficiência do nutriente; comparadas com plantas de outros tratamentos, as mesmas apresentavam desenvolvimento normal. Depois do florescimento, as plantas sofreram mudanças em sua arquitetura, apresentando um crescimento acima do normal com superbrotas das gemas axilares que cresciam alcançando a mesma altura, dando um aspecto de vassoura; as folhas, duras e retorcidas, apresentaram um amarelecimento que caminhava dos bordos para o centro, continuando verde as nervuras, e somente as folhas mais velhas é que ficavam totalmente amareladas.

Nos solos A, GH e O, na dose zero de B, as plantas foram muito atacadas por oídio (*Erysiphe polygoni* DC) durante todo o ciclo de vida. As duas pulverizações feitas em todo o experimento para controle da doença não foram suficientes para controlar o fungo nessas plantas, e naquelas que tiveram um crescimento acima do normal (solos A e O) o ataque foi ainda maior.

Essa observação concorda com Malavolta et al. (1997), que relatam a incidência de dois fungos do gênero *Erysiphe* sobre cevada e girassol deficientes

em B. Os autores também citam o ataque de outros patógenos sobre plantas deficientes em B, dentre elas beterraba, couve-flor e trigo. Também Huber (1980), em seu quadro de interações entre os elementos minerais e a severidade de algumas doenças de plantas, descreve que a presença de B decresce a severidade de doenças causadas por *Erysiphe graminis* em alguns cereais.

Os sintomas de toxidez manifestaram-se com bastante intensidade e de maneira generalizada a partir da dose 3,0mg de B dm<sup>-3</sup> nos solos estudados e foram suficientes para reduzir a produção de MSGR (Figura 1). Nas folhas cotiledonares e com maior intensidade a partir do primeiro trifólio, os sintomas de toxidez se manifestaram através de um amarelecimento nos bordos das folhas e aparecimento de pequenos pontos necróticos nessa faixa, com enrugamento e posterior morte do tecido. Segundo Malavolta (1980), os sintomas de excesso são caracterizados por queima das margens foliares, que coincidem com as zonas de acumulação de B. Verificou-se redução em produção com maior intensidade nas doses mais altas (6,0 e 10,0mg de B dm<sup>-3</sup>), mas também afetado na dose 3,0mg de B dm<sup>-3</sup>, inclusive com o aparecimento dos sintomas de toxidez. As folhas ficaram com tamanho reduzido, assim como toda a planta, e, em consequência, com menor produção de grãos.

#### 4 CONCLUSÕES

O feijoeiro respondeu em produção de MSGR à aplicação de B, devido aos baixos teores disponíveis do micronutriente em todos os solos de várzea estudados.

Os níveis críticos de B nos solos para 90% da produção máxima (inferior) e redução de 10% da máxima (superior) variaram entre os solos quando determinados pelo mesmo extrator e entre os extratores para um mesmo solo.

Os níveis críticos de B foliar para 90% da produção máxima (inferior) e redução de 10% da máxima (superior) variaram entre os solos de várzea estudados, indicando que as diferenças entre os seus atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, afetam o coeficiente de utilização e, conseqüentemente, os níveis críticos internos do micronutriente.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; ANDRADE, D.de S. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região de cerrados de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.22, n.8, p.833-841, ago. 1987.
- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.de; RAIJ, B.van.; BATAGLIA, O.C.; ANDRADE, J.C. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determinations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.25, n.19/20, p. 3321-3333, DEC. 1994.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.de; BRAGA, J.M.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C.; DEFELIPO, B.V. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1., 1988. Viçosa. *Resumos...* Viçosa: UFV, 1988. p. 68-69.
- ANDRADE, C.A. de B. Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1997. 107p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants., *Industrial and Engineering Chemistry*, Washington, v. 11, p. 540-545, 1939.
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap.30, p.374-390.
- BRAGA, J.M. Resposta do feijoeiro "Rico 23" à aplicação de enxofre, boro e molibdênio. *Revista Ceres*, Viçosa, v.19, n.103, p.222-226, maio/jun. 1972.

- BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; SÁ, M.E.de.** Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: I. Produção de matéria seca e de grãos e nível crítico no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.2, p.157-161, maio/ago. 1990a.
- BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; SÁ, M.E.de.** Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: II. Níveis críticos na planta e nos grãos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.2, p.163-166, maio/ago. 1990b.
- CASAGRANDE, J.C.** O boro em solos do município de Piracicaba. Piracicaba: ESALQ, 1978. 122p. (Dissertação – Mestrado em Solos).
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.** Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.1, p.79-88, jan./abr. 1992.
- DAY, P.R.** Particle fractionation and particle-size analysis. In: **BLACK, C.A.** (ed.) *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap.13, p. 545-566.
- ELRASHIDI, M.A.; O'CONNOR, G.A.** Boron sorption and desorption in soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.46, p.27-31, 1982.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos e análises de solos*, Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P.de; DUTRA, L.G.** Limitações químicas dos solos de cerrado e de várzea. In: **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** *Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções*. Goiânia, 1996. p.8-11. (EMBRAPA-CNPAF. Documento, 65).
- FAQUIN, V.** *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 277p.

- FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R.; GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, n.1, p.87-94, jan./abr. 1995
- FERREIRA, R.M.A. Crescimento de *Eucalyptus citriodora* cultivado em dois latossolos sob influência de níveis de boro e umidade. Lavras: ESAL, 1992. 133p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FONSECA, D.M.da; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ V.V.H.; NOVAIS, R.F.de. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras: I. casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, n.1, p.27-34, jan./mar. 1997.
- GALRÃO, E.Z.; SOUSA, D.M.G.; PERES, J.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzeas da região dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.19, n.9, p.1091-1101, set. 1984.
- GALRÃO, E.Z. Aplicação de micronutrientes e calcário no rendimento da soja em solo de várzea. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.3, p.381-384, set./dez. 1990.
- GOLDBERG, S.; GLAUBIG, R.A. Boron adsorption on California soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, n.5, p.1173-1176, SEP/OCT. 1986.
- GUPTA, U.C.; JAME, Y.W.; CAMPBELL, C.A.; LEYSHON, A.J.; NICHOLAICHUK, W. Boron toxicity and deficiency: a review. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.65, n.3, p.381-409, AUG. 1985.
- GUPTA, U.C. Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.32, n.1, p.45-48, JAN./FEB. 1968.
- GUPTA, U.C. Interaction effects of boron and lime on barley. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.36, n.2, p.322-324, MAR./APR. 1972.
- HEILMAN, M.D.; CARTER, D.L.; GONZALES, C.L. The ethylene glycol monoethyl ether (EMEG) technique for determining soil surface area. *Soil Science*, Baltimore, v.100, p.409-413, 1965.

- HUBER, D.M. The role of mineral nutrition in defense. In: HORSFALL, J.G.; COWLING, E.B. (eds.) **Plant disease, an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1980. Cap. 21, v. 5, p.381-406.
- JONES, H.E.; SCARSETH, G.D. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. **Soil Science**, Baltimore, v. 57, p. 15-24, JAN./JUN. 1944.
- KEREN, R.; MEZUMAN, U. Boron adsorption by clay minerals using a phenomenological equation. **Clays and Clay Mineralogy**, New York, v.29, p.198-204, 1981.
- LINDSAY, W.L.; COX, F.R. Micronutrients soil testing for the tropics. In: VLEK, D.L.G. (eds.) **Micronutrients in tropical food crop production; Developments in Plant and Soil Sciences**. Dordrecht: Martinus Vighoff, 1985. v.14, p.169-200.
- LOOMIS, W.D.; DURST, R.W. Chemistry and biology of boron. **Biofactors**, v.3, p.229-239, 1992.
- LOPES, A.S.; CARVALHO, J.G.de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKER, C.M.; LATMANN, A. (eds.) **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.133-178.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 215p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 210p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MEHLICH, A. New extractant for soil tes evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.9, p.477-492, 1978.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clys by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v.3, p.317-327, 1960.

- ODOM, J.W. Kinetics of water soluble boron soil test. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.11, p. 759-765, 1980.
- OLIVEIRA, S.A.de; KATO, E. Influência do boro sobre a produção e nutrição mineral do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.18, n.12, p.1373-1375, dez. 1983.
- OLIVEIRA, S.A.de; THUNG, M.R.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (eds.) *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.175-212.
- PAULA, M.B.de; CARVALHO, J.G.de; SOARES, A.A.; NOGUEIRA, F.D. Avaliação da fertilidade de um solo de várzea (Glei Húmico) para a cultura do arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.4, p.571-577, abr. 1990.
- PAULA, M.B.de. *Eficiência de extratores e níveis críticos de boro disponível em amostras de solos aluviais e hidromórficos sob a cultura do arroz inundado*. Lavras: UFLA, 1995. 69p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.N.C. (eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B.van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170p.
- REEVE, E.; SHIVE, J.W. Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. *Soil Science*, Baltimore, v.57, n.1, p.1-14, JAN./JUN. 1944.
- ROSOLEM, C.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.68, p.1-16, dez. 1994.
- RUSCHEL, A.P.; ROCHA, A.C. de M.; PENTEADO, A. de F. Efeito do boro e do molibdênio aplicados a diferentes revestimentos da semente de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.5, n.1, p.49-52, jan. 1970.

**SANTA CECÍLIA, F.C.; RAMALHO, M.A.P.; SILVA, C.C.** Efeitos da adubação NPK na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na zona sul de Minas Gerais. *Agros*, Lavras, v.4, n.2, p.3-10, jul./dez. 1974.

**TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H.** Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5).

**VETTORI, L.** Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).

**WILCOX, G.E.; FAGERIA, N.K.** Deficiência nutricional do feijoeiro, sua identificação e correção. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1979. 21p. (Boletim Técnico, 5).

### CAPÍTULO 3

## EFICIÊNCIA DE EXTRATORES NA AVALIAÇÃO DE B DISPONÍVEL EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS

### RESUMO

MARIANO, Eduardo Dal'Ava. Eficiência de extratores na avaliação de B disponível em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1998. 82p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)

A avaliação do B disponível nos solos às plantas pelo método da água quente é praticamente universal. Entretanto, é moroso e necessita de vidraria isenta de B, de alto custo. Neste trabalho, comparou-se a eficiência de outros extratores e procedimentos mais simples em relação a água quente. Conduziu-se um experimento em vasos em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, cultivando-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca-MG) em quatro solos de várzea coletados (0-20cm) no município de Lavras, MG: Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O), esse último artificialmente drenado. O experimento foi em DIC, em fatorial 4 x 7 x 4 com quatro repetições, sendo: 4 solos (GP, A, GH e O), 7 doses de B (0, 0,25, 0,50, 1,50, 3,00, 6,00 e 10,00mg dm<sup>-3</sup>) e 4 soluções extratoras (BaCl<sub>2</sub> 0,125%, Mehlich I, água quente e CaCl<sub>2</sub> 0,01mol L<sup>-1</sup>). Os solos receberam calcário dolomítico e uma adubação básica com macro e micronutrientes. Após incubação por 24 dias antes da semeadura, os solos foram amostrados e analisados para B pelos extratores testados. Nas plantas, determinaram-se as concentrações de B e o peso da matéria seca da parte aérea na maturação fisiológica dos grãos. Os estudos de correlação entre o B acumulado pelas plantas e o extraído pelos extratores evidenciaram que os quatro extratores se prestam bem para a determinação de B disponível nos solos de várzea estudados.

## ABSTRACT

MARIANO, Eduardo Dal'Ava. Efficiency of soil extractor solutions to evaluate soil B availability in lowland soils from the south of Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1998. 82p. (Dissertation - Master Program in Agronomy)

Boiling water is widely used as an extractor for soil B evaluation. However the method is tedious and requires expensive B free glassware. The efficiency of this procedure was compared with other extractor solutions. A pot experiment was carried out under greenhouse conditions at the Soil Science Department of the Federal University of Lavras, growing bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) in four lowland soils, Low Humic Gley (GP), Aluvial (A), Humic Gley (GH) and Bog Soil (O), taken in the municipality of Lavras. The experimental design was completely randomized, in a factorial scheme, using four types of soils (GP, A, GH and O), seven B doses (0, 0.25, 0.50, 1.50, 3.00, 6.00 and 10.00 mg/kg of soil) and four extractor solutions (BaCl<sub>2</sub> 0,125%, Mehlich I, hot water and CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>) with four replications. Lime, macro and micronutrients and B doses were thoroughly mixed with the soil samples and left to incubate during 24 days. Then the soil samples were submitted to B extraction by the extractor solutions. Dry matter yield and B content of plant shoots at the end of the cycle were determined. The four extractor solutions showed high correlation coefficients between soil B and plant uptake. They had also a similar behaviour for the evaluation of B.

## 1 INTRODUÇÃO

A avaliação da disponibilidade de B no solo é realizada com sucesso utilizando-se o método da água quente, originalmente proposto por Berger e Truog (1939). É, até hoje, o método mais usado, mais eficaz e ocupa a posição de índice padrão de disponibilidade de B (Vanderlei, 1984; Bataglia e Raij, 1990; Abreu et al. 1994;). O período de fervura é um dos aspectos importantes a serem considerados nesse método, pois, com o aumento desse período de 5 para 10 minutos tem-se maior quantidade extraída de B (Odom, 1980). Esse fato constitui problema à medida que leva a uma baixa reprodutividade dos resultados. Além disso, o fato de se tratar de um procedimento moroso e de alto custo tem levado pesquisadores a testar processos mais simples e mais precisos de extração.

Abreu et al. (1994), usando saquinhos de plástico no lugar de vidros e o forno de microondas caseiro como fonte de aquecimento, encontraram alta correlação (0,98\*\*) com o B extraído usando o método convencional, com as vantagens de ser mais rápido, com maior sensibilidade e reprodutibilidade. No procedimento convencional (sob refluxo), as dificuldades em identificar com precisão o início do tempo de refluxo, feita visualmente, tem levado a erros, uma vez que a extração de B é muito afetada pelo tempo de aquecimento (Odom, 1980).

Pesquisando procedimento mais simples, Ponnampuruma et al. (1981) compararam a extração em água quente com uma solução de HCl 0,05mol L<sup>-1</sup> e encontraram melhor correlação (0,91\*\*) do B extraído pela planta com o segundo método. Outras vantagens da extração com HCl 0,05mol L<sup>-1</sup> citadas pelos autores foram a simplicidade, rapidez, baixo custo e eliminação do equipamento de refluxo, podendo-se, ainda, a partir do mesmo extrato, efetuar determinações de cobre e zinco. Tedesco et al. (1985) propuseram a extração de



B com uma solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  mediante aquecimento em blocos digestores, conseguindo maior rendimento analítico.

Em solos de várzea de Minas Gerais, Corá (1991) constatou uma ligeira vantagem do extrator Mehlich I sobre a água quente e o  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$ , tendo apresentado a melhor correlação com a concentração do elemento na planta e o acumulado na parte aérea. O autor argumenta que, por ser um extrator ácido, ocorreu uma diminuição do pH do meio durante a extração, proporcionando a “quebra” de estruturas orgânicas de difícil decomposição, possibilitando a liberação do B associado à matéria orgânica, não extraído pelas outras duas soluções.

Em um estudo de correlação de análise química de solos, os novos métodos propostos devem ser comparados ao método padrão, tido como o que mais se aproxima da planta com seu sistema radicular extraindo formas disponíveis de um nutriente. Na fase de calibração do método de análise de solo, as soluções extratoras têm que se mostrar eficientes na identificação de possíveis respostas ao nutriente em condições de campo.

Como parte de um programa de avaliação da fertilidade dos solos de várzea, o presente trabalho teve por objetivo comparar a eficiência de diferentes extratores na avaliação da disponibilidade de B, usando o feijoeiro como planta indicadora.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os solos de várzea estudados no capítulo 2 desse trabalho foram utilizados nesse estudo. Após incubação dos materiais de solo com calcário, adubação básica de semeadura e doses de B, cujos detalhes encontram-se no capítulo 2, foram tomadas amostras para determinação dos teores de B disponíveis pelos extratores.

O delineamento experimental inteiramente ao acaso constituiu-se de um fatorial  $4 \times 7 \times 4$ , com quatro repetições, sendo os fatores: 4 solos (GP, A, GH e O), 7 doses de B (0,0; 0,25; 0,5; 1,5; 3,0; 6,0 e 10,0mg dm<sup>-3</sup>), e 4 soluções extratoras (BaCl<sub>2</sub> 0,125%, Mehlich I, água quente e CaCl<sub>2</sub> 0,01mol L<sup>-1</sup>).

Os métodos usados para extração do B disponível nos solos são descritos a seguir:

a) solução de BaCl<sub>2</sub> 0,125% (Abreu et al., 1994): a extração foi feita em forno de microondas de uso doméstico, utilizando-se uma solução de cloreto de bário (BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) 0,125% em substituição à água quente. Em saquinhos de polipropileno (15,5cm x 25cm) foram colocados 10cm<sup>3</sup> de solo, 20ml de solução de BaCl<sub>2</sub> 0,125% e 0,5cm<sup>3</sup> de carvão ativado. Os saquinhos foram fechados em seladora e tiveram a parte superior perfurada por um clipe, pelo qual foram pendurados de maneira uniforme e em círculo no sentido do raio em uma estante de plástico. A perfuração no saquinho destina-se a diminuir a pressão criada no seu interior durante o aquecimento. A estante, sempre contendo 14 saquinhos, foi levada ao forno de microondas para aquecimento. As amostras foram aquecidas por um período de 4 minutos sob a potência de 700W e, logo após, por um período de 5 minutos sob a potência de 490W. Após o aquecimento, o material ficou em repouso por 30 minutos e, logo em seguida, foi filtrado em papel de filtro Whatman n° 42;

b) solução de Mehlich I (Mehlich, 1978): procedeu-se a extração, por agitação, de 10cm<sup>3</sup> de solo e 20ml de solução extratora (HCl 0,05mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025mol L<sup>-1</sup>), durante 15 minutos. Logo após, o material foi filtrado em papel de filtro Whatman n° 42, obtendo-se o extrato;

c) água quente (Berger e Truog, 1939): colocou-se 10cm<sup>3</sup> de solo, 20ml de água destilada (relação 1:2) e 0,5cm<sup>3</sup> de carvão ativado em recipientes de vidro isentos de B. A suspensão foi aquecida em chapa, a uma temperatura média de 200°C por 5 minutos. Após fervura, o material ficou em repouso

durante 30 minutos e, logo em seguida, foi filtrado em papel de filtro Whatman nº 42, obtendo-se o extrato;

d) solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  (Tedesco et al., 1985): a extração foi feita em tubos de vidro contendo  $5\text{cm}^3$  de solo,  $10\text{ml}$  de solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  e  $0,5\text{cm}^3$  de carvão ativado, levados ao bloco digestor a uma temperatura de  $140^\circ\text{C}$  e deixados durante 7 minutos, colocando-se um funil na parte superior para evitar perda de vapor. Em seguida, procedeu-se à filtração do material com papel de filtro Whatman nº 42.

Para todos os extratores, a determinação de B foi feita com azometina H, usando-se  $4\text{ml}$  de extrato,  $1\text{ml}$  de uma solução tampão ( $250\text{g}$  de acetato de amônio,  $15\text{g}$  de  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ,  $400\text{ml}$  de água e  $125\text{ml}$  de ácido acético) e  $1\text{ml}$  de solução de azometina H a  $0,9\%$  em ácido ascórbico  $2\%$  (Malavolta et al., 1997).

Nas duas plantas de feijoeiro conduzidas por vaso de  $3\text{dm}^3$  (detalhes no capítulo 2) colhidas na época da maturação de grãos, foram avaliados os teores de B na matéria seca da parte aérea (folhas+caule+vagens) e grãos e, relacionando-se com o peso seco, determinou-se o B acumulado pelas plantas.

Os teores de B extraídos foram submetidos a análise de variância. A eficiência dos extratores em prever a disponibilidade de B para as plantas de feijoeiro foi estimada em correlações simples ( $r$ ), entre a quantidade de B acumulada na parte aérea das plantas na maturação fisiológica dos grãos e o extraído do solo pelos diferentes métodos, uma vez que a extração feita pela planta é o melhor índice de disponibilidade do nutriente no solo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 B disponível no solo por diferentes extratores

As doses de B, os solos e os extratores influenciaram significativamente o B recuperado do solo, havendo interação entre os fatores (Anexo A). Desdobrou-se a interação tripla solos X doses X extratores, estudando-se a eficiência e o comportamento dos extratores em função das doses de B em cada solo. Os teores de B disponível nos solos, determinados pelos extratores, são apresentados na Tabela 1.

Observa-se que os quatro extratores estudados extraíram quantidades crescentes de B, acompanhando o aumento das doses aplicadas nos solos de várzea. O extrator que apresentou maior capacidade de recuperação do B aplicado nos quatro solos foi, sem dúvida, o  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$ , ao passo que a solução Mehlich I parece ter extraído menores quantidades, se comparada aos outros métodos, principalmente nas doses mais altas (Tabela 1). Essa capacidade de extração de B diferenciada entre os extratores em cada solo pode ser melhor visualizada pelos coeficientes das equações de regressão entre o B extraído e o B aplicado, apresentadas na Tabela 2.

De maneira geral, os coeficientes angulares das equações, que indicam a capacidade de recuperação do B aplicado pelos extratores, foram maiores com a solução extratora de  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$ . Os coeficientes angulares das equações indicam percentuais médios de recuperação do B aplicado de 60,7, 45,4, 57,4 e 74,0%, respectivamente, para as soluções extradoras  $\text{BaCl}_2$  0,125%, Mehlich I, água quente e  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  nos quatro solos de várzea. Estes resultados diferem dos de Paula (1995), que encontrou percentuais médios de recuperação do B aplicado de 32,7 e 24,9% para os extratores Mehlich I e água quente, respectivamente. A solubilização de maiores quantidades pelo Mehlich I do que as solubilizadas pela água quente também foi detectada por Corá (1991) e

Ribeiro e Tucunango Sarabia (1984). Estes autores acreditam que o meio ácido provocado pelo Mehlich I provavelmente liberou o B pelo rompimento de estruturas de difícil decomposição associadas à matéria orgânica. Segundo Martens (1966), por reduzir o pH do extrato em torno de 2,5, os extratores ácidos possivelmente solubilizam compostos não dissolvidos pela água quente. Vanderlei (1984), em seu trabalho com os solos LV, LR e PV, relata que a capacidade de extração da água quente comparada com ácidos diluídos (HCl 0,05mol L<sup>-1</sup> e ácido acético 0,05mol L<sup>-1</sup>) foi superior no LV e LR.

TABELA 1. Teores disponíveis de B nos solos pelos diferentes extratores, após aplicação dos tratamentos e incubação

| Solo | Doses de B (mg/dm <sup>3</sup> )          |      |      |      |      |      |       |
|------|---|------|------|------|------|------|-------|
|      | 0   | 0,25 | 0,50 | 1,50 | 3,00 | 6,00 | 10,00 |
|      | ----- mg/dm <sup>3</sup> -----            |      |      |      |      |      |       |
|      | BaCl <sub>2</sub> 0,125%                  |      |      |      |      |      |       |
| GP   | 0,23                                      | 0,33 | 0,43 | 0,73 | 1,75 | 3,40 | 5,77  |
| A    | 0,15                                      | 0,25 | 0,34 | 0,88 | 1,60 | 3,32 | 5,88  |
| GH   | 0,33                                      | 0,40 | 0,67 | 1,06 | 2,20 | 4,21 | 6,35  |
| O    | 0,19                                      | 0,31 | 0,35 | 0,88 | 1,98 | 4,20 | 6,91  |
|      | Mehlich I                                 |      |      |      |      |      |       |
| GP   | 0,44                                      | 0,49 | 0,63 | 1,15 | 1,94 | 3,63 | 5,99  |
| A    | 0,46                                      | 0,49 | 0,56 | 0,81 | 1,48 | 2,74 | 4,52  |
| GH   | 0,18                                      | 0,26 | 0,38 | 0,75 | 1,27 | 2,26 | 4,09  |
| O    | 0,37                                      | 0,42 | 0,48 | 0,88 | 1,49 | 3,06 | 4,93  |
|      | Água quente                               |      |      |      |      |      |       |
| GP   | 0,39                                      | 0,31 | 0,52 | 0,78 | 2,09 | 3,66 | 6,39  |
| A    | 0,29                                      | 0,38 | 0,49 | 0,84 | 1,56 | 3,57 | 5,52  |
| GH   | 0,86                                      | 1,06 | 0,92 | 1,44 | 2,11 | 4,25 | 6,05  |
| O    | 0,35                                      | 0,42 | 0,50 | 0,94 | 1,91 | 3,94 | 6,33  |
|      | CaCl <sub>2</sub> 0,01mol L <sup>-1</sup> |      |      |      |      |      |       |
| GP   | 0,68                                      | 0,83 | 0,97 | 1,36 | 2,80 | 5,36 | 9,20  |
| A    | 0,44                                      | 0,57 | 0,73 | 1,13 | 2,51 | 4,72 | 8,51  |
| GH   | 0,59                                      | 1,43 | 1,76 | 1,98 | 3,89 | 4,51 | 7,26  |
| O    | 0,19                                      | 0,29 | 0,64 | 1,07 | 1,98 | 3,96 | 7,29  |

TABELA 2. Equações de regressão para o B disponível pelos extratores ( $Y = \text{mg dm}^{-3}$ ), como variável dependente das doses de B aplicadas ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) aos solos de várzea

| Solo | Extrator          | Equação                      | R <sup>2</sup> |
|------|-------------------|------------------------------|----------------|
| GP   | BaCl <sub>2</sub> | $Y = 0.1101 + 0.5581^{**} X$ | 0,99           |
|      | Mehlich I         | $Y = 0.3455 + 0.5580^{**} X$ | 0,99           |
|      | Água quente       | $Y = 0.1630 + 0.6113^{**} X$ | 0,99           |
|      | CaCl <sub>2</sub> | $Y = 0.4359 + 0.8537^{**} X$ | 0,99           |
| A    | BaCl <sub>2</sub> | $Y = 0.0413 + 0.5700^{**} X$ | 0,99           |
|      | Mehlich I         | $Y = 0.3329 + 0.4106^{**} X$ | 0,99           |
|      | Água quente       | $Y = 0.1797 + 0.5355^{**} X$ | 0,99           |
|      | CaCl <sub>2</sub> | $Y = 0.2214 + 0.8024^{**} X$ | 0,99           |
| GH   | BaCl <sub>2</sub> | $Y = 0.3033 + 0.6164^{**} X$ | 0,99           |
|      | Mehlich I         | $Y = 0.1508 + 0.3825^{**} X$ | 0,99           |
|      | Água quente       | $Y = 0.7564 + 0.5362^{**} X$ | 0,99           |
|      | CaCl <sub>2</sub> | $Y = 1.2121 + 0.6081^{**} X$ | 0,98           |
| O    | BaCl <sub>2</sub> | $Y = 0.0409 + 0.6836^{**} X$ | 0,99           |
|      | Mehlich I         | $Y = 0.2529 + 0.4637^{**} X$ | 0,99           |
|      | Água quente       | $Y = 0.2009 + 0.6110^{**} X$ | 0,99           |
|      | CaCl <sub>2</sub> | $Y = 0.0892 + 0.6961^{**} X$ | 0,99           |

\*\* significativo a 1%

Entretanto, acredita-se que a menor capacidade de recuperação da solução Mehlich I no presente estudo, ocorreu porque os solos receberam calcário e, possivelmente, seu efeito residual tenha atenuado, através da neutralização, o efeito dos ácidos presentes na solução Mehlich I, diminuindo seu poder de extração. Torna-se importante esclarecer que nos estudos de Corá (1991) e Paula (1995), com solos de várzea, a maior capacidade do Mehlich I em extrair B foi verificada em condições de solo sem calagem.

As soluções extratoras BaCl<sub>2</sub> 0,125% e água quente apresentaram capacidade semelhante na extração de B dos solos (Tabelas 1 e 2). Resultados semelhantes quanto a capacidade de extração dos dois extratores eram

esperados, uma vez que o método que utiliza a solução de  $\text{BaCl}_2$  0,125% e aquecimento em forno de microondas foi proposto em substituição ao método tradicional da água quente, já que, em estudo de comparação entre os dois métodos, Abreu et al. (1994) verificaram que o B extraído com  $\text{BaCl}_2$  0,125% foi altamente correlacionado (0,98\*\*) com o método da água quente, com as vantagens de ser mais rápido, com maior sensibilidade e reprodutibilidade. Os resultados também indicaram que o forno de microondas pode ser usado como fonte de aquecimento para extração com água quente.

Sendo a planta o extrator ideal de nutrientes, refletindo com maior precisão sua disponibilidade, um bom extrator, para uma situação específica, deve simular seu comportamento (Cruz e Ferreira, 1990). Segundo os autores, os coeficientes de correlação ( $r$ ) podem ser utilizados como ferramentas na seleção de métodos de análise, indicando sua eficácia para uma situação específica. Admite-se que a quantidade absorvida seja o parâmetro mais adequado para se avaliar a disponibilidade de nutrientes do solo para as plantas (Hauser, 1973), sendo consenso entre pesquisadores que seu uso seja preferencial ao do teor do elemento na planta ou da quantidade de matéria seca produzida. Quanto melhor a correlação entre a quantidade do elemento extraída do solo e aquela absorvida pela planta, melhor o extrator em simular a extração pela planta (Raij e Bataglia, 1988).

Assim, procedeu-se ao cálculo dos coeficientes de correlação simples ( $r$ ) entre os teores de B nos solos, determinados pelos extratores, e o acúmulo do elemento na parte aérea das plantas de feijoeiro (Tabela 3).

Os coeficientes de correlação obtidos entre as variáveis com os quatro extratores testados foram altamente significativos nos solos GP, A e O e significativos no solo GH. Além da significância, observa-se que os valores dos coeficientes foram altos. Estes resultados indicam que os quatro extratores estudados, na condição específica de solos e cultura, simularam com precisão o

comportamento das plantas na extração do B disponível dos solos. No solo GH, os coeficientes de correlação mais baixos e com significância de 5% de probabilidade, provavelmente são consequência da produção de matéria seca da parte aérea, em função das doses de B terem se ajustado a um modelo quadrático base raiz quadrada e da menor linearidade da concentração de B na parte aérea, em função das doses aplicadas nesse solo (dados não apresentados). Como a quantidade de um nutriente acumulada em um órgão vegetal depende de sua concentração no órgão e da quantidade de matéria seca que produz, ambas as variáveis contribuíram para uma menor linearidade do acúmulo de B em função das doses aplicadas e menor aproximação dos teores extraídos pelos extratores.

TABELA 3. Coeficientes de correlação entre as concentrações de B no solo determinadas por diferentes extratores e a quantidade de B acumulada na parte aérea das plantas de feijão cultivadas em quatro solos de várzea

| Extrator          | Solos   |         |        |         | Todos   |
|-------------------|---------|---------|--------|---------|---------|
|                   | GP      | A       | GH     | O       |         |
| BaCl <sub>2</sub> | 0,981** | 0,979** | 0,789* | 0,968** | 0,893** |
| Mehlich I         | 0,984** | 0,980** | 0,755* | 0,966** | 0,830** |
| A. quente         | 0,980** | 0,989** | 0,783* | 0,969** | 0,875** |
| CaCl <sub>2</sub> | 0,978** | 0,974** | 0,766* | 0,950** | 0,805** |

\*\* , \* significativo a 1 e 5% respectivamente

Após todos os solos serem agrupados, os coeficientes obtidos com o teor de B no solo, extraído pelo BaCl<sub>2</sub> 0,125% e água quente, foram ligeiramente superiores aos obtidos com o Mehlich I e o CaCl<sub>2</sub> 0,01mol L<sup>-1</sup>. Estes resultados conferem ao BaCl<sub>2</sub> 0,125% e a água quente pequena superioridade na capacidade preditiva da disponibilidade de B para o feijoeiro nos solos de várzea estudados.

Em 21 solos de várzea de Minas Gerais, Corá (1991) verificou superioridade no coeficiente de correlação entre o B acumulado na parte aérea de plantas de arroz e o extraído do solo com água quente, comparado ao extraído com Mehlich I quando foi efetuada calagem nos solos. O autor argumenta que o corretivo presente no solo contribui para neutralizar os ácidos do extrator de Mehlich, diminuindo seu poder de extração.

Bataglia e Raij (1990), em estudo de comparação de extratores de B, em solo de terras altas do estado de São Paulo e, usando como planta-teste o girassol, obtiveram com o  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  resultados semelhantes aos encontrados com água quente, que, em seu estudo, foi considerado o melhor extrator. Resultados semelhantes entre os extratores água quente,  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  e  $\text{BaCl}_2$   $0,125\%$  são esperados, uma vez que o princípio da extração é o mesmo, diferindo apenas no processo operacional. O método original de extração de B com água quente proposto por Berger e Truog (1939) prevê a adição de algumas gotas de cloreto de cálcio, para flocular partículas coloidais em suspensão e permitir a obtenção de extratos límpidos. Assim, a extração com  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  equivale à extração com água, já que a presença do sal não parece afetar a extração de B (Raij e Bataglia, 1988). Realmente, tal semelhança foi verificada no presente trabalho.

Entretanto, há que se levar em consideração que a adequação de um extrator a uma dada situação não implica que será obtido sucesso com seu emprego em outras situações, necessitando que os estudos sejam realizados em diferentes regiões pedoclimáticas (Cruz e Ferreira, 1990). Portanto, a falta de um consenso sobre a validade ou não das análises pelos extratores sugere a necessidade de um conhecimento integrado dos fatores que afetam a disponibilidade de B, extratores, correlação e calibração para essa situação específica de solos.

Tendo em vista a grande heterogeneidade das amostras de solos, a precisão dos extratores é uma característica muito importante a ser levada em consideração, principalmente para uso do mesmo em análise de solo de rotina. O coeficiente de variação (CV) de cada método de extração, calculado com os teores de B extraídos dos quatro solos, foi de 13,9, 12,1, 16,4 e 18,2% para  $\text{BaCl}_2$  0,125%, Mehlich I, água quente e  $\text{CaCl}_2$  0,01mol L<sup>-1</sup>, respectivamente.

A extração com  $\text{BaCl}_2$  0,125% apresentou o menor CV dentre os métodos que utilizam aquecimento da suspensão de solo para extração de B. Com respeito ao sistema de aquecimento, o maior valor do CV para o método da água quente pode ser explicado pela dificuldade de identificar com precisão o início do tempo de refluxo. Normalmente, a identificação é feita visualmente, considerando o movimento das bolhas de ar na suspensão como início do tempo de refluxo. Uma vez que a extração de B é muito afetada pelo tempo de aquecimento (Odom, 1980), tal procedimento é mais sujeito a erros.

Outra fonte de erro apresentada pelos extratores água quente e  $\text{CaCl}_2$  0,01mol L<sup>-1</sup> é a desuniformidade de distribuição de calor na chapa de aquecimento (água quente) e no bloco digestor ( $\text{CaCl}_2$ ). Com isso, as suspensões de solo de uma bateria de amostras estão sujeitas a sofrer aquecimento diferenciado, com variação do tempo de refluxo e, conseqüentemente, na quantidade de B extraído. O forno de microondas, por oferecer melhores condições de aquecimento, com controle preciso de tempo e uniforme distribuição de calor nas amostras, confere ao método maior repetibilidade, com menor variação entre as amostras. Interessante observar que a extração com Mehlich I, que não utiliza aquecimento da solução de solo, foi a que apresentou menor CV (12,1%) para os teores de B extraído.

### 3.2 Correlação entre B disponível e atributos dos solos

De forma a verificar-se a influência dos atributos do solo que mais afetam a disponibilidade de B, procedeu-se a estudos de correlação linear simples entre seus teores nas amostras de solo que receberam calagem e fertilização, mas não receberam B (dose 0), e os valores dos atributos dos solos em estudo. Foram escolhidos aqueles atributos mais relacionados com a adsorção de B no solo, com reflexos diretos em sua disponibilidade. Os coeficientes obtidos entre o B extraído pelos diferentes extratores e os atributos dos solos encontram-se descritos na tabela 4.

TABELA 4. Coeficientes de correlação obtidos entre os teores de B no solo, determinados pelos extratores e os atributos dos solos

| Atributo                              | Extrator          |           |             |                   |
|---------------------------------------|-------------------|-----------|-------------|-------------------|
|                                       | BaCl <sub>2</sub> | Mehlich I | Água quente | CaCl <sub>2</sub> |
| pH                                    | 0,3534ns          | 0,1118ns  | 0,1015ns    | 0,7555ns          |
| CTC                                   | 0,4212ns          | -0,7469ns | 0,6507ns    | -0,1954ns         |
| Argila (g/kg)                         | -0,3060ns         | -0,1310ns | -0,0383ns   | -0,6165ns         |
| Areia (g/kg)                          | 0,1016ns          | 0,3723ns  | -0,1415ns   | 0,7351ns          |
| M. orgânica (g/kg)                    | 0,9047 *          | -0,9671 * | 0,9865**    | 0,2972ns          |
| S. Especifica                         | 0,8457 °          | -0,9902** | 0,9492 *    | 0,1015ns          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg) | -0,4569 ns        | -0,0111ns | -0,2515ns   | -0,9215 *         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg) | -0,8280 °         | 0,5418ns  | -0,6456ns   | -0,5591ns         |
| Fe <sub>d</sub> (g/kg)                | -0,7356ns         | 0,4804ns  | -0,5375ns   | -0,3992ns         |
| Caulinita (g/kg)                      | -0,9170 *         | 0,6354ns  | -0,7770ns   | -0,6880ns         |
| Gibbsita (g/kg)                       | 0,0102ns          | -0,4757ns | 0,2431ns    | -0,7079ns         |

\*\* , \* , ° , ns significativo a 1, 5, 10% e não significativo, respectivamente

Foram poucos os atributos, dentre os 11 descritos, que apresentaram correlação significativa com o B disponível no solo pelos extratores testados. Matéria orgânica e superfície específica foram os que mostraram maior

correlação com o B disponível nos solos de várzea quando avaliados pelos extratores  $\text{BaCl}_2$  0,125%, Mehlich I e água quente, ao passo que o B extraído pelo  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  não apresentou correlações significativas com esses atributos.

Os coeficientes de correlação positivos obtidos entre matéria orgânica e  $\text{BaCl}_2$  0,125% e água quente, além de evidenciar a semelhança entre os extratores, também concordam com diversos autores (Brasil Sobrinho, 1965; Casagrande, 1978; Paula, 1995) em que há uma correlação positiva entre matéria orgânica e B disponível no solo. Apesar de estar presente no solo na forma neutra, o B pode ser adsorvido pela matéria orgânica, ocorrendo, possivelmente, compostos do tipo diol, através da ligação a grupos carboxílicos e/ou fenólicos (Vale et al., 1993).

Não encontrou-se suporte para explicar a correlação negativa entre matéria orgânica e Mehlich I. Este resultado não concorda com a inexistência de correlação entre matéria orgânica e Mehlich I encontrada por Corá (1991) em 21 solos de várzea de Minas Gerais e muito menos com a correlação significativa e positiva entre essa duas variáveis, também em solos de várzea de Minas Gerais, avaliada por Paula (1995).

A superfície específica dos solos, de grandeza diretamente proporcional ao teor de matéria orgânica, apresentou coeficientes de correlação com a mesma tendência observada para matéria orgânica; ambas influíram positivamente na extração de B pelo  $\text{BaCl}_2$  0,125% e água quente. Tais influências são facilmente compreensíveis, considerada a importância desses constituintes na adsorção de B e da matéria orgânica como fonte do nutriente.

Quanto aos demais atributos, observa-se que as correlações significativas foram variáveis com os extratores, destacando-se teor de caulinita e de óxidos de Fe ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) com o B extraído pelo  $\text{BaCl}_2$  0,125% e óxidos de Al ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) com o B extraído pelo  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$ . É interessante observar que,

embora na maioria sejam não significativos e com valores mais baixos, os coeficientes de correlação obtidos entre os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_d$  e caulinita e o B extraído pelos extratores, seguiram a mesma tendência, ou seja, valores negativos com os extratores  $\text{BaCl}_2$  0,125%, água quente e  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  e positivos com Mehlich I (exceção para teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e Mehlich I). Estes valores parecem mostrar que o aumento das concentrações de óxidos de Fe e Al e caulinita nos solos, por aumentar a adsorção de B, diminuem a quantidade de B extraída pelos extratores  $\text{BaCl}_2$  0,125%, água quente e  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$ , e aumentam a quantidade de B extraído com Mehlich I (exceção para  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Tabela 4).

Talvez, no presente estudo, o uso de maior número de solos de várzea e conseqüente maior número de dados para os estudos de correlação, pudessem resultar em coeficientes que revelassem melhor os atributos desses solos que mais exercem influência na disponibilidade de B, embora não sejam raras as ocorrências de baixas correlações do B extraído por diferentes extratores com atributos de solos de várzea (Corá, 1991; Paula, 1995).

#### 4 CONCLUSÕES

Todos os extratores estudados apresentaram boa capacidade preditiva da disponibilidade de B para o feijoeiro nos solos de várzea estudados.

A matéria orgânica dos solos foi o atributo que melhor se correlacionou com a disponibilidade de B, para os extratores  $\text{BaCl}_2$  0,125% e água quente.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.de; RAIJ, B.van.; BATAGLIA, O.C.; ANDRADE, J.C. Extraction of Bn from soil by microwave heating for ICP-AES determinations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.25, n.19/20, p. 3321-3333, DEC. 1994.
- BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B.van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, n.2, p.205-212, maio/ago. 1989.
- BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B.van. Eficiência de extratores na determinação de B em solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.1, p.25-31, jan./abr. 1990.
- BERGER, K.C.; TRUOG, E. Bn deficiencies as revealed by plants and soil tests. *Journal of the American Society of Agronomy*, Geneva, v.32, p.297-301, 1940.
- BERGER, K.C.; TRUOG, E. Bn determination in soils and plants. *Industrial and Engineering Chemistry*, Washington, v. 11, p.540-545, 1939.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Levantamento do teor de B em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ, 1965. 135p. (Dissertação – Mestrado em Solos).
- CASAGRANDE, J.C. O B em solos do município de Piracicaba. Piracicaba: ESALQ. 1978. 122p. (Dissertação – Mestrado em Solos).
- CORA, J.E. Avaliação da disponibilidade de B, cobre e zinco em solos de várzea do Estado de Minas Gerais. Lavras: ESAL, 1991. 135p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do cobre disponível nos solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 25, n.4, p. 647-659, abr. 1990.
- GUPTA, U.C. Relationship of total and hot-water soluble Bn, and fixation of added Bn, to properties of podzol soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.32, n.1, p.45-48, JAN./FEB. 1968.

- HAUSER, G.I. **The calibration of soil tests for fertilizer recommendations.** Roma: FAO, 1973. 71p. (FAO Soils Bulletin, 18).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 210p.
- MEHLICH, A. **New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.9, p.477-492, 1978.
- ODOM, J.W. **Kinetics of water soluble B soil test.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.11, p. 759-765, 1980.
- PAULA, M.B.de. **Eficiência de extratores e níveis críticos de B disponível em amostras de solos aluviais e hidromórficos sob a cultura do arroz inundado.** Lavras: UFLA, 1995. 69p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- PONNAMPERUMA, F.N.; CAYTON, M.T.; LANTINI, R.S. **Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and B in rice soils.** *Plant and Soil*, Netherlands, v.61, n.2, p.297-310, 1981.
- RAIJ, B.van.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para micronutriente.** In: **SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA**, 1., 1988. Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: POTAFOS/CNPq, 1991. p.113-130.
- RIBEIRO, A.C.; TUCUNANGO SARAIBA, W.A.T. **Avaliação de extratores para zinco e B disponíveis em Latossolos do Triângulo Mineiro.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.8, n.1, p.85-89, jan./abr. 1984.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5).
- VALE, F.R.do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.de A. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 171p.
- VANDERLEI, J.C. **B em materiais de três solos do município de Lavras, estado de Minas Gerais.** Lavras: ESAL, 1984. 96p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

## ANEXOS

### ANEXO A

### Página

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| TABELA 1A | Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da produção de matéria seca de grãos (MSGR), número de vagens por planta (VGPL), número de grãos por vagem (GRVG) e relação Ca/B no tecido foliar das plantas no florescimento em função das doses de B e solos estudados ..... | 82 |
| TABELA 2A | Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) do B extraído dos solos, em função das doses de B, solos e extratores estudados .....   | 82 |

TABELA 1A. Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da produção de matéria seca de grãos (MSGR), número de vagens por planta (VGPL), número de grãos por vagem (GRVG) e relação Ca/B no tecido foliar das plantas no florescimento em função das doses de B e solos estudados

| Causas de variação | G.L.       | Quadrado Médio |          |          |            |
|--------------------|------------|----------------|----------|----------|------------|
|                    |            | MSGR           | VGPL     | GRVG     | Ca/B       |
| Dose de B          | 6          | 308,463**      | 77,231** | 44,900** | 2566168**  |
| Solo               | 3          | 110,443**      | 2,229 ns | 9,773**  | 1244897**  |
| Dose X solo        | 18         | 13,064**       | 3,318**  | 0,767 ns | 352529,5** |
| Resíduo            | 84         | 1,677**        | 1,132**  | 0,641**  | 80126,20** |
| <b>TOTAL</b>       | <b>111</b> |                |          |          |            |
| C.V. (%)           |            | 15.6           | 21.9     | 20.3     | 61.8       |

\*\* ns significativo a 1% e não significativo, respectivamente

TABELA 2A. Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) do B extraído dos solos, em função das doses de B, solos e extratores estudados.

| Causas de variação     | G.L.       | Quadrado médio |
|------------------------|------------|----------------|
| Dose de B              | 6          | 305,691**      |
| Solo                   | 3          | 1,173**        |
| Extrator               | 3          | 14,261**       |
| Dose X solo            | 18         | 0,531**        |
| Dose X extrator        | 18         | 2,513**        |
| Solo X extrator        | 9          | 1,516**        |
| Dose X solo X extrator | 54         | 0,238**        |
| Resíduo                | 336        | 0,069**        |
| <b>Total</b>           | <b>447</b> |                |
| C.V. (%)               |            | 13.0           |

\*\* Significativo a 1%.