

MIRALDA BUENO DE PAULA

EFICIÊNCIA DE EXTRATORES E NÍVEIS
CRÍTICOS DE BORO DISPONÍVEL EM
AMOSTRAS DE SOLOS ALUVIAIS E
HIDROMÓRFICOS SOB A CULTURA DO
ARROZ INUNDADO

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras-MG, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitorotecnica, para obtenção do título de "Doutor".

Orientador

Dr. AUGUSTO FERREIRA DE SOUZA

AS

LAIS - BRASIL

Paula, Miralda Bueno de

Eficiência de extratores e níveis críticos de boro disponível em amostras de solos aluviais e hidromórficos sob a cultura do arroz inundado/ Paula, Miralda Bueno de. -- Lavras : UFLA, 1995. 69 p. : il.

Orientador: Augusto Ferreira de Souza.
Tese (Doutorado) - UFLA.
Bibliografia.

1. Arroz inundado - Boro - Várzea. 2. Solo de várzea. 3. Solo aluvial. 4. Solo hidromórfico. 5. Fertilidade. 6. Extrator para boro. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

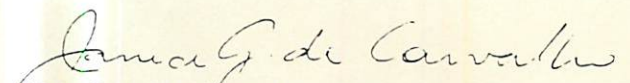
CDD-631.478151
-633.1887

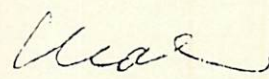
MIRALDA BUENO DE PAULA


EFICIÊNCIA DE EXTRATORES E NÍVEIS
CRÍTICOS DE BORO DISPONÍVEL EM
AMOSTRAS DE SOLOS ALUVIAIS E
HIDROMÓRFICOS SOB A CULTURA DO
ARROZ INUNDADO

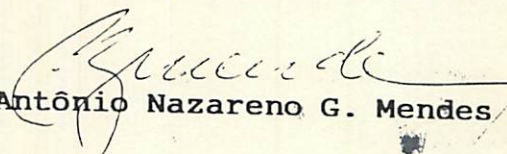
Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras-MG, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitossecnia, para obtenção do título de "Doutor".

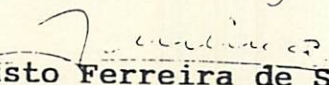
APROVADA:


Prof. Janice Guedes de Carvalho


Prof. Eurípedes Malavolta


Prof. Victor Gonçalves Bahia


Prof. Antônio Nazareno G. Mendes


Prof. Augusto Ferreira de Souza
Orientador

*Aos que se dedicam à Ciência
aplicada à Agropecuária e aos que
cultivam o solo para sobrevivência
de uma Nação*

DEDICO

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
SUMMARY	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Caracterização dos principais solos de várzea	4
2.2 Resposta a boro	8
2.3 Boro na planta	10
2.4 Boro no solo - Fontes de boro e boro total	11
2.5 Métodos de análise para micronutriente - Avaliação da disponibilidade de boro	12
2.5.1 Água quente	14
2.5.2 Soluções ácidas	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Unidades de solo	18
3.2 Coleta, preparo e correção dos materiais do solo	18
3.3 Análise mecânica	20
3.4 Análises químicas	20
3.4.1 Métodos de análise para boro	20
3.5 Instalação e condução do experimento	21
3.5.1 Análises químicas da matéria seca	23
3.6 Análise estatística dos dados	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Boro disponível no solo por diferentes extratores	25

4.2	Correlação entre boro disponível e características dos solos	30
4.3	Resposta da cultura do arroz à aplicação de boro	32
4.4	Nível crítico de boro no solo	35
4.5	Composição mineral e nível crítico de boro nas plantas	37
4.6	Conteúdo de boro na parte aérea das plantas	41
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
	APÊNDICE	64

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Características dos solos usados no experimento e municípios de coleta (solos originais)	19
2	Resultados analíticos das amostras dos oito solos estudados (solo original)	19
3	Doses, fontes e épocas de aplicação dos nutrientes	23
4	Teores médios de boro recuperado pelos extratores água quente e Mehlich 1	26
5	Equações de regressão ajustadas entre concentrações de boro nas amostras de solo em mg.dm^{-3} , extraído por Mehlich 1 e água quente, como variável (Y) de doses de boro aplicadas (X) em mg de B.dm^{-3} de solo	29
6	Coefficientes de correlação entre as concentrações de boro no solo original determinado pelos extratores (Mehlich 1 e água quente) e características do solo	31
7	Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz (g/vaso) em resposta às doses de boro aplicadas nos diversos solos	34

Tabela		Página
8	Equações de regressão ajustadas entre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz em g/vaso (Y), como variável dependente de doses de boro aplicadas (X) no solo, em mg B.dm^{-3} de solo	34
9	Níveis críticos de boro nas amostras de solo pelos extratores Mehlich 1 e água quente, para obtenção da produção máxima estimada de matéria seca da parte aérea da cultura do arroz	36
10	Concentração de boro na parte aérea das plantas de arroz em resposta às doses de boro aplicado nos diversos solos	38
11	Equações de regressão linear simples ajustadas entre concentração de boro (ppm) na parte aérea das plantas de arroz como variável dependente (Y) de doses de boro adicionado ao solo (X) em mg.dm^{-3}	39
12	Níveis críticos de boro na parte aérea das plantas de arroz para cada solo, para obtenção da produção máxima estimada de matéria seca da parte aérea	40
13	Teores médios de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn na parte aérea das plantas de arroz cultivadas em solos de várzeas	41
14	Concentração de N, P, Ca na parte aérea das plantas de arroz para cada solo	42

Tabela	Página
15	Quantidade de boro acumulada ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na parte aérea das plantas de arroz em resposta às doses de B ($\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) aplicadas nos diversos solos 43
16	Equações de regressão ajustadas entre a quantidade de boro absorvido pela parte aérea das plantas de arroz em $\mu\text{g}/\text{vaso}$ (Y), como variável dependente de doses de boro aplicadas (X) no solo em $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de solo pelos extratores Mehlich 1 e água quente. 44

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Disposição de solos Hidromórficos e Aluviais na paisagem	5
2	Concentração de boro nas amostras de solo extraído pelo Mehlich 1 e água quente em função do boro aplicado	27
3	Quantidade de boro acumulada na parte aérea das plantas de arroz em função do teor de boro no solo determinado pelos extratores Mehlich 1 e água quente	47

RESUMO

PAULA, Miralda Bueno de. Eficiência de Extratores e Níveis Críticos de Boro Disponível em Amostras de Solos Aluviais e Hidromórficos sob a Cultura do Arroz Inundado. Lavras: ESAL/UFLA, 1995. 69p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).

A área de plantio com arroz vem crescendo nas várzeas em substituição ao plantio de sequeiro, sendo a extensão de várzeas irrigáveis e plenamente viáveis para exploração agrícola em Minas Gerais estimada em cerca de 1,5 milhões de ha, daí a grande potencialidade do Estado para a expansão da cultura irrigada.

O cultivo do arroz inundado tem sido intensivo e o manejo da lavoura dirigido para obtenção de altas produtividades, supõe-se assim que deficiências de micronutrientes, inclusive boro possam vir a ocorrer. As informações sobre os métodos para avaliar o boro disponível em solos de várzeas para o arroz inundado são escassas e, visto a importância deste nutriente, estudos merecem ser feitos. O objetivo do trabalho foi determinar a curva de resposta à boro pela cultura do arroz inundado, determinar o nível crítico de boro

*Orientador: Augusto Ferreira de Souza. Membros da Banca: Janice Guedes de Carvalho, Eurípedes Malavolta, Victor Gonçalves Bahia, Antônio Nazareno G. Mendes.

no solo e na planta, testar um extrator químico (Mehlich 1) e água quente na predição da disponibilidade de boro no solo.

O experimento foi instalado em casa de vegetação, do Depto. de Ciência do Solo - ESAL-UFLA, em vasos com capacidade para 3 dm^3 , utilizando amostras de 8 solos de várzeas com características diferentes, coletadas na camada arável, provenientes de vários locais de Minas Gerais (Três Pontas, Piumhi, Ijaci, Cambuquira, Lambari, Leopoldina, Jacuí), abrangendo as diferentes classes de solos representativas do Estado (Aluvial, Glei Pouco Húmico, Glei Húmico e Orgânico).

Os tratamentos constaram de 5 doses de B: 0,0 - 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ de solo na forma de ácido bórico. Cerca de 15 dias após a emergência, foi efetuada a irrigação dos vasos até a inundação, e a colheita realizada no início do estágio de florescimento, cortando-se a parte aérea rente à superfície do solo. O delineamento adotado foi Inteiramente Casualizado, com 3 repetições efetuando-se semanalmente o rodízio dos vasos.

No solo, após aplicação do fertilizante, determinou-se o boro com os extratores água quente e Mehlich 1 (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N).

Para avaliação dos resultados, as características estudadas tiveram seus dados submetidos a análise de variância, sendo os resultados comparados através do ajuste de regressões até de 2º grau. Nos solos onde foi obtido ajuste significativo do modelo, foram estimadas as doses de boro necessárias à produção máxima. Os valores estimados foram substituídos nas equações lineares que relacionam boro aplicado e boro recuperado, obtendo-se

assim os níveis críticos de boro para cada solo e extrator. Para se determinar os níveis críticos de boro na parte aérea, as doses do nutriente que determinaram a produção máxima foram substituídas nas equações lineares que relacionam teor de boro na parte aérea das plantas e boro adicionado ao solo.

As doses de boro e os solos afetaram significativamente a quantidade de boro disponível. Nos solos originais o teor de boro variou de 0,17 a 0,63 mg.dm⁻³ de solo (Mehlich 1) e de 0,09 a 0,43 mg.dm⁻³ (água quente), evidenciando maior capacidade de recuperação pelo Mehlich 1. Esta maior recuperação pelo Mehlich 1 quando se considera a média dos resultados de todos os solos pode ser visualizada nas equações:

$$B - \text{Mehlich 1} - \text{mg.dm}^{-3} = 0,363667 + 0,3270833x \quad R^2 = 0,98^{**}$$

$$B - \text{Água quente} - \text{mg.dm}^{-3} = 0,203 + 0,24975x \quad R^2 = 0,99^{**}$$

Entre as características do solo, obteve-se correlação positiva significativa para matéria orgânica x boro no solo com ambos extratores, confirmando a literatura que relata ser a matéria orgânica a maior fonte de boro e, que o mesmo é mais fortemente adsorvido pelos colóides orgânicos do que pelas argilas.

O boro aplicado aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea das plantas em quase todos os solos. Não foram alterados os rendimentos obtidos nos solos de Ijaci (HG) e Lambari 2 (HO), que apresentaram os maiores teores de boro e matéria orgânica nos solos originais.

Foram estimados os níveis críticos de boro para cada solo que variaram de 0,40 a 0,86 (Mehlich 1) e de 0,3 a 0,53 (água

quente) e na parte aérea os níveis críticos estimados variaram de 17 a 35 ppm.

Ambas soluções extratoras mostraram-se igualmente eficientes na avaliação do B disponível. Houve contudo uma pequena superioridade do Mehlich 1 nos solos de Ijaci (HG), Cambuquira (A), Jacuí (A) que apresentaram os maiores valores em saturação em alumínio (40%) e, da água quente no solo Piumhi (HG), que apresentou o mais alto índice de saturação em bases (52%). Estes dados indicam a possibilidade de substituição do método da água quente que é moroso pelo Mehlich 1 na avaliação do boro disponível para condições de nossos solos, principalmente quando não é feita a correção, por tratar-se de um processamento simples servindo também para extração conjunta de outros nutrientes.

SUMMARY

EVALUATION OF EXTRACTANTS SOLUTIONS AND CRITICAL LEVELS OF BORON IN LOWLAND SOILS AND IN RICE PLANTS

Lowland areas found in agricultural regions, represent the best possibility for the expansion of rice production. Recent surveys indicated a total of 1.5 million hectares of lowland soils in Minas Gerais, that comprise mainly the classes Humic Clay (HG), Low Humic Gley (HGP), Alluvial (A) and Organic (HO). These soils present a considerable variation in physical and chemical properties, and during the period of waterlogging occur physicochemical, eletrochemical and biological transformations, which are very important for plant nutrition, mainly for rice which is the crop frequently cultivated in these soils. Even so, considering the importance of these areas to the Minas Gerais agriculture, research information of their fertility and "management" mainly for micronutrients in scarce.

Based upon these facts, materials of representative lowland soils (A, HGP, HGH, HO), from different localities of the agricultural importance of Minas Gerais were studied with the objctive of determining by two methods the levels of available boron for rice plants cultivated in waterlogged soils, the dry

matter production and critical level for B in soil and on the top of the plants.

The experiment was conducted at a greenhouse of the Soil Science Department of the Escola Superior de Agricultura de Lavras - Universidade Federal de Lavras ESAL/UFLA, Minas Gerais State. It were used eight soils samples collected from superficial layers of lowland soils.

Boron was supplied as H_2BO_3 and the doses (0,0 - 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 $mg.dm^{-3}$) were thoroughly mixed with the soil samples. Rice seeds were sown in pots containing 3 dm^3 of the fertilized soil and, after blooming stage the rice plants were harvested. The available boron was determined by hot water and Mehlich 1 solution to compare the efficiency of these procedures.

The results indicated that the boron rates affected the dry matter production except in soils from Ijaci (HG) and Lambari 2 (HO). These soils originally showed the highest level of available boron as well as the highest level of organic matter and being efficient in supplying boron for the plants. In the soil it was obtained a linear increase in the boron concentration with the element application, and the critical level varied according to the soil used and ranged from 0.40 to 0.86 $mg.dm^{-3}$ (Mehlich 1) and 0.30 to 0.53 $mg.dm^{-3}$ (hot water). The Mehlich 1 solution extracted higher quantities of boron than hot water. The results showed also a linear increase of this element's concentration on the plant after augmenting the rates of boron. Critical levels in the aerial part ranged from 17 to 35 ppm.

The correlation between boron contents extracted by different methods with boron accumulated in the aerial part of the plant was also calculated. The coefficient of determination of regression equation relating plant boron uptake and soil boron was high for both extractants solutions, i.e., both Mehlich 1 and hot water extractants showed a similar efficiency. Their extracting capacity however varied among soils and was correlated with organic matter content. It was observed also a better efficiency of hot water in a soil with the highest base saturation index, and Mehlich 1 extracting solution correlated better boron uptake and boron soil, in soil with the highest aluminum saturation.

1 INTRODUÇÃO

O déficit de produtos alimentares caminha para uma fase crítica, tornando-se necessário portanto a expansão da oferta de alimentos. A nível mundial, o arroz é o cereal mais importante que existe, já que mais da metade da humanidade o consome como alimento principal.

Em Minas Gerais, o arroz, uma das principais culturas, situa-se entre os cinco primeiros produtos agropecuários em valor bruto da produção, é de grande importância social e, a produção mineira é uma das mais significativas do País, sendo a área plantada de 172.616 ha de arroz de sequeiro, 159.210 ha de arroz de várzea úmida e 34.850 ha irrigado, com produtividade de 1,2-1,8 e 3,7 t/ha respectivamente (IBGE, 1994).

A exploração de novas áreas para produção de alimentos, tem se mostrado a cada dia mais limitante, uma vez que tais áreas encontram-se em fronteiras agrícolas distantes dos grandes centros consumidores e geralmente revelam baixo potencial de produção, fatores que acarretam uma significativa elevação nos custos do produto final.

O aumento da produtividade pode ser obtido com menor custo de produção e menores gastos com transporte de insumos e dos produtos, através da exploração de áreas inseridas nas regiões

agrícolas, porém ainda não exploradas. Neste contexto, a exploração das várzeas se apresenta como a melhor alternativa para expansão das fronteiras agrícolas. A área de plantio com arroz de sequeiro em terras altas vem decrescendo nos últimos anos agrícolas, tendo uma produtividade média muito baixa; perdas freqüentes de lavouras provocadas pela falta ou má distribuição de chuvas, têm contribuído decisivamente para redução desta área. Em contrapartida, o plantio do arroz vem crescendo nas várzeas, em substituição ao plantio de sequeiro, por apresentar maior estabilidade de produção e, de acordo com Moraes (1980), por ser o arroz uma planta hidrófila, é a que mais se adapta às condições encontradas nas várzeas no período das chuvas. A extensão de várzeas irrigáveis e plenamente viáveis para exploração agrícola em Minas Gerais é estimada em cerca de 1,5 milhões de ha (RURALMINAS, 1980), daí a grande potencialidade do Estado para a expansão da cultura irrigada.

Verifica-se nas várzeas, uma tendência no crescimento do uso de fertilizantes na cultura do arroz, tendo em vista que as cultivares utilizadas apresentam elevada capacidade de resposta às adubações e há necessidade em aumentar a produtividade para garantir a rentabilidade econômica.

Estudos envolvendo a avaliação das deficiências, respostas aos nutrientes e correção dos solos, são realizados em sua grande maioria em solos de terra alta. As pesquisas têm se restringido além da calagem, a trabalhos sobre macronutrientes, sendo reduzidos os trabalhos relativos a micronutrientes (Raij e Bataglia, 1988).

Em solos de várzeas de Minas Gerais o cultivo do arroz tem sido intensivo e, o manejo da lavoura dirigido para a obtenção de altas produtividades. Supõe-se assim que deficiências de micronutrientes entre eles o boro possam vir a ocorrer. A carência de boro está geralmente associada a solos arenosos e sujeitos a lixiviação, pobres em matéria orgânica ou quando a mineralização é prejudicada.

Segundo Berger e Truog (1940), apenas uma pequena fração de boro total do solo está na forma disponível para as plantas. Para avaliar a disponibilidade de boro nos solos, vários métodos têm sido utilizados na tentativa de se obter um método mais prático, que possa ser usado em análises de rotina. As informações sobre os métodos para avaliar o boro disponível em solos de várzeas para o arroz inundado são escassas e, estudos merecem ser feitos em vista da importância deste nutriente. O método da água quente, mais aceito e utilizado, é moroso havendo perda de boro na forma de vapor, portanto não adequado para análises de rotina. Supõe-se assim, que o Mehlich 1 de processamento mais simples possa ser adotado com vantagens.

O presente trabalho foi desenvolvido com os objetivos de:

- 1) Determinar a curva de resposta ao boro, pela cultura do arroz em solos inundados;
- 2) Determinar o nível crítico de boro no solo e na planta, para a cultura do arroz em solos inundados;
- 3) Testar um extrator químico (Mehlich 1) e água quente na predição da disponibilidade de boro em solos de várzeas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização dos principais solos de várzea

Solos de várzea são geralmente planos com boas condições topográficas, facilmente irrigáveis até por gravidade, inundados temporariamente ou não, apresentando muitas vezes umidade excessiva necessitando de drenagem.

De acordo com Curi et al. (1988), os solos de várzea se desenvolveram a partir de sedimentos originários de diversas fontes, cuja variabilidade horizontal e vertical influenciam as camadas dos solos resultantes. São áreas de baixada podendo estar encharcadas pela elevação do lençol freático. A presença de camadas de menor permeabilidade no subsolo associada ao relevo plano e inundações, ocasionam excesso de água nos solos tendo como resultado um ambiente redutor. Nas várzeas predominam solos Hidromórficos, Halomórficos e Aluviais. Dentro dos Hidromórficos encontramos as classes Glei Pouco Húmico, Glei Húmico, Orgânico, Laterita Hidromórfica, Planossolo, Hidromórfico Cinzento, Podzol Hidromórfico, Plintossolo, Areias Quartzosas Hidromórficas, Vertissolo e Brunizem Hidromórfico. Os Halomórficos aparecem com as classes Salinos, Solonetz, Solodi, Solonetz-solodizado (Curi e Andrade, 1986).

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - EMBRAPA/SNLCS (1982), os solos típicos de várzea em Minas Gerais podem ser enquadrados principalmente nas classes Aluvial (A), Glei Pouco Húmico (HGP), Glei Húmico (HG) e Orgânico (HO). Uma seqüência bastante comum de disposição de solos Aluviais e Hidromórficos na paisagem pode ser assim representada:

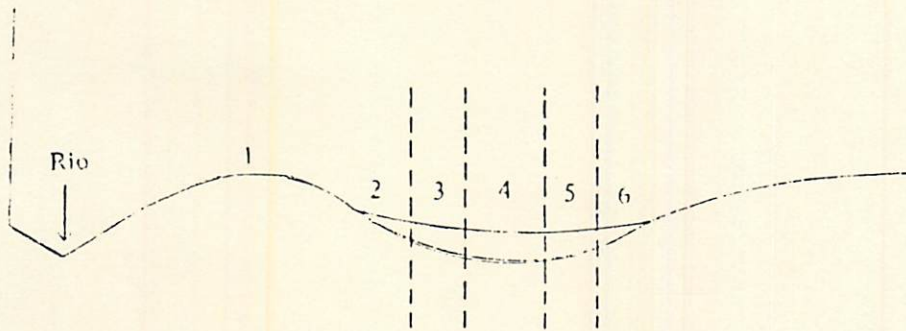


FIGURA 1 - Disposição de solos Aluviais e Hidromórficos na paisagem.

- 1 - Solos Aluviais
- 2 e 6 - Glei Pouco Húmico
- 3 e 5 - Glei Húmico
- 4 - Orgânicos

Fonte: (Curi et al., 1988).

Estes solos podem ser minerais até orgânicos, apresentando mesmo dentro de uma determinada classe, uma grande amplitude de variação no que diz respeito as características físico-químicas que serão descritas conforme Curi et al. (1988).

A classe Glei Húmico compreende solos minerais Hidromórficos, mal e muito mal drenados, cujas características refletem as condições de redução sob as quais foram formados. Ocorrem nas várzeas, onde o lençol freático se apresenta elevado ou mesmo à superfície do solo durante todo o ano ou em grande parte dele. Apresentam um horizonte A escuro e espesso, com altos teores de matéria orgânica e espessura maior que 25 cm, sobre horizonte de cor acinzentada (gleizada) devido a redução do ferro em condições anaeróbicas. Ocupam normalmente superfícies planas e suave onduladas. A textura é média (menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca) ou argilosa (35 a 60% de argila) a muito argilosa (> 60% argila) em todos os horizontes, apresentando ausência de gradiente textural, que os diferenciam dos Hidromórficos Cinzentos e Planossolos.

A classe Glei Pouco Húmico difere da classe Glei Húmico, por apresentar horizonte A com menos de 25 cm de espessura, melhor drenagem e menor acumulação superficial de matéria orgânica (Vieira e Vieira, 1981; Curi e Andrade, 1986). Se um solo parecido Aluvial (sucessão de camadas estratificadas) apresentar cores acinzentadas nos primeiros 60 cm de profundidade, ele é considerado um Hidromórfico.

Os solos Hidromórficos (Glei Húmico e Glei Pouco Húmico) apresentam fertilidade natural e capacidade de retenção de cátions muito variáveis. Por apresentarem, geralmente, teores médios a elevados de argila e estrutura maciça coerente na subsuperfície ("tabatinga"), tendem a ter condutividade hidráulica baixa, o que dificulta sua drenagem.

A classe dos solos Orgânicos diz respeito a solos Hidromórficos, pouco desenvolvidos, muito mal drenados e essencialmente orgânicos. São considerados orgânicos aqueles que, saturados com água ou artificialmente drenados, apresentem teor de carbono orgânico maior ou igual a $9 + 0,15 \times \text{argila } \%$ numa espessura mínima de 50% dos primeiros 80 cm. Nestes solos a drenagem deve ser feita com muito cuidado, para evitar a queima e a subsidência (rebaixamento da superfície). Esses solos são desenvolvidos a partir de acumulação recente de resíduos vegetais em áreas alagadiças, onde é lenta a mineralização da matéria orgânica devido às condições anaeróbicas presentes no meio. Sob estas condições desenvolve-se um solo cujo perfil é constituído por sucessivas camadas de resíduos orgânicos semi-decompostos, no topo do qual pode-se ou não desenvolver um horizonte A típico. Ocorrem nas partes mais úmidas das várzeas em relevo plano e suave ondulado. Esta classe abrange solos geralmente álicos e distróficos, forte e moderadamente ácidos e com elevada relação C/N. Tanto a espessura da camada de material orgânico e seu estágio de decomposição, como a composição química, mineralógica e a textura do substrato podem variar bastante. O grau de subsidência, armazenamento da água, densidade do solo e o espaço poroso, são muito afetados pelo teor de fibras do material. O manejo requer drenagem artificial, que não deve ser profunda, a fim de diminuir a taxa de subsidência, e a desidratação irreversível da camada superficial. Assim sendo, segundo Curi et al. (1988a), seria conveniente a irrigação por subsuperfície ou aspersão, observando os aspectos econômicos.

A classe Aluvial compreende solos minerais, pouco desenvolvidos, provenientes de deposições fluviais. Encontram-se em posição um pouco mais elevada (calha do rio), enquanto que os Hidromórficos tendem estar associados com depressões. São muito variáveis a pequenas distâncias, tanto na horizontal quanto na vertical. Apresentam disposição de camadas (depositadas durante as inundações) de textura arenosa e textura mais fina, que provavelmente influenciam o regime hídrico do solo. Considerando este aspecto, a melhor combinação ocorre quando a uma parte mais superficial, espessa, arenosa, seguem-se lâminas de textura mais fina. A água da chuva ou de irrigação infiltra-se com facilidade mas é impedida de deixar em grande parte, o sistema, pela baixa permeabilidade na camada inferior e baixa capilaridade na camada superior. Apresentam diferenciação do horizonte A seguido por camadas estratificadas (Horizonte C).

Os solos de várzea são muito diversificados devido a grande variabilidade de materiais que lhes deram origem, materiais estes que podem ou não ter o mesmo caráter litológico. Estes solos apresentam limitações ao uso agrícola, fundamentadas no excesso de água e/ou baixa fertilidade natural. Para uma utilização mais eficiente destes solos, torna-se necessário drenagem artificial e utilização de calagem previamente às adubações.

2.2 Resposta a boro

A incorporação de áreas menos férteis ao sistema produtivo, uso de cultivares mais exigentes, uso de adubos

concentrados e, a possibilidade de sucessivos cultivos no mesmo ano agrícola no caso das várzeas, vêm favorecendo o aparecimento de deficiências de micronutrientes (Lopes, 1984).

Nos escassos trabalhos com micronutrientes para solos de várzeas, tem se verificado que as respostas das culturas à adubação com eles são muito variáveis, provavelmente devido a heterogeneidade do material que lhes deram origem. Estes solos são formados a partir de sedimentos carregados de diversas fontes (Curi e Andrade, 1986).

A literatura relata os seguintes resultados positivos obtidos pela aplicação de boro aos solos: Galvão et al. (1984), obtiveram aumento do rendimento de matéria seca da soja; Silva e Andrade (1982), controlaram o chochamento do trigo e Mesquita Filho e Oliveira (1984), alcançaram maior produção de matéria seca de batata. Lima Filho (1991), verificou que o fornecimento de boro afetou a produção de matéria seca de todas as partes de mudas do cafeeiro, altura e diâmetro do caule, número de ramos e folhas, índice de colheita potencial, determinando como teores adequados de boro foliar valores entre 50 a 60 ppm. Em um solo Hidromórfico, Ruschel et al. (1970), verificaram que o boro não teve efeito direto na nodulação mas aumentou significativamente a produção de grãos de feijão. Paula et al. (1994), relatam que em trabalhos conduzidos nos solos das várzeas no sul de Minas, os teores foliares de boro na cultura do arroz inundado foram considerados deficientes de acordo com Chapman et al., citados por Barbosa Filho (1987), provocando uma queda no rendimento da cultura.

2.3 Boro na planta

O boro é o único elemento essencial que ainda não preencheu o critério direto. Sabe-se que é essencial pois, na ausência de boro a planta não completa o ciclo de vida, o elemento não pode ser substituído por nenhum outro e, tem efeito direto na vida da planta. O boro influencia a atividade de componentes específicos da membrana celular aumentando a capacidade da raiz para absorver P, Cl e K. O boro se combina com os carboidratos formando produto mais solúvel nas membranas, facilitando então o transporte dos carboidratos das folhas para outros órgãos e, exerce influência na estrutura e funcionamento dos vasos condutores que se desorganizam em casos de deficiência. O complexo formado pela combinação de boro com carboidratos controla a disposição de micelas de celulose, evitando o excessivo endurecimento da parede; quando há deficiência de boro ocorre uma rigidez da parede impedindo o aumento normal de volume da célula. Na ausência de boro há menor síntese de uracila, com menor síntese de RNA e conseqüentemente menor síntese de proteína. O boro se combina com o ácido 6-fosfoglicônico resultante da respiração e, em caso de deficiência deste nutriente, há acúmulo de compostos fenólicos que são tóxicos ao vegetal. Estas funções explicam alguns sintomas de deficiência como: menor germinação do grão de pólen, menor crescimento do tubo polínico, chochamento dos grãos, frutos e folhas menores, necrose de tecidos e eventualmente morte (Malavolta, 1980).

Apesar do efeito benéfico, o uso indiscriminado de boro deve ser evitado pois, o limite entre deficiência e toxicidez é

muito estreito. Quando em excesso as conseqüências são mais graves comparadas à deficiência.

2.4 Boro no solo - fontes de boro e boro total

Segundo Jackson (1970), a quantidade de boro total no solo varia de 4 a 98 ppm, outros autores Mortverdt e Cunningham (1971), relatam valores que vão de 20 a 300 ppm.

Devido a extrema insolubilidade dos minerais contendo boro, o teor total desse elemento não é considerado adequado para avaliação de sua disponibilidade para as plantas (Brasil Sobrinho, 1965). O autor verificou ainda que altos teores de boro total nem sempre correspondem a altos teores de boro solúvel, havendo assim grande variação na relação B total/B disponível. Berger e Truog (1940) concordam que menos de 5% do boro total se encontra disponível para as plantas.

Norrish (1975) relata que a fonte primária de boro é o mineral turmalina, borossilicato contendo 3 a 4% de boro, que se encontra em solos formados a partir de rochas ácidas e sedimentos metamórficos. O boro ocorre em coordenação tetraédrica substituindo o silício nos borossilicatos. Devido a grande diferença entre os raios iônicos B^{3+} (0,23 Å) e Si^{4+} (0,43 Å) esta substituição é parcial (Marconi et al., 1980).

Apesar da turmalina representar cerca de 95% da reserva de boro nos solos, Malavolta (1980) não a considera como a principal fonte deste elemento para as plantas, devido sua alta resistência ao intemperismo. Os sedimentos e folhelhos que contém

boro são de decomposição mais rápida. Entretanto, a fonte de boro mais importante para a planta é a matéria orgânica.

2.5 Métodos de análise para micronutriente - avaliação da disponibilidade de boro

A análise de solos tem como objetivo avaliar as quantidades dos elementos disponíveis para as plantas, fornecendo assim as informações necessárias ao cálculo da recomendação de adubação. Com o objetivo de simular a absorção do nutriente pelas plantas, as análises de solo consistem então, em agitar-se uma amostra do solo com uma solução extratora, por certo período de tempo. A suspensão é filtrada e a quantidade do nutriente contida na solução é medida, indicando assim sua disponibilidade (Lopes e Carvalho, 1988).

Os teores totais dos elementos no solo geralmente não dão uma idéia da disponibilidade dos mesmos, pois são incluídas formas como as contidas nas estruturas dos minerais primários ou secundários, que não estariam em condições de serem liberadas para as plantas (Raij e Bataglia, 1988).

Formas solúveis em água, trocáveis, complexadas ou adsorvidas podem ser ou tornar-se disponíveis. O boro é adsorvido às partículas do solo, com mais intensidade em óxidos hidratados de ferro e alumínio. Grande parte do boro disponível é fortemente retido pela matéria orgânica. Exceto o cloro, o boro é o mais móvel dos micronutrientes, podendo ser lixiviado principalmente em solos de textura leve.

Para avaliar a disponibilidade de boro nos solos, vários métodos têm sido utilizados na tentativa de se obter um método mais prático, que possa ser usado em rotina. Alguns laboratórios dão preferência a conveniência analítica, utilizando métodos mais simples e menos onerosos, em substituição a outros mais complexos. As informações sobre os métodos para avaliar o boro disponível em solos de várzeas para a cultura do arroz inundado são escassas, não havendo uma concordância quanto ao método a utilizar.

Uma técnica para selecionar métodos de análise de solo consiste em conduzir ensaios em vasos com amostras de diversos solos provenientes da região e com teores variados do nutriente em estudo. Uma planta é cultivada determinando-se a quantidade absorvida do nutriente. Determina-se o nutriente em amostras dos mesmos solos, separadas antes do ensaio, por vários métodos. Estudo de correlação entre teores de nutrientes nos solos, determinados pelos diversos métodos, e as quantidades absorvidas pelas plantas indicarão os melhores métodos (Raij, 1981). O autor considera ainda que outros critérios como facilidade de execução analítica, custo e uniformidade entre os laboratórios têm influência na escolha do método.

Segundo Hauser (1973), para escolha do melhor método é feito o cálculo de correlação simples (r) entre a matéria seca produzida, o teor do elemento na planta e, a quantidade absorvida, com os teores do solo extraídos por diferentes métodos. O autor também admite ser este último parâmetro o mais adequado, uma vez que a extração feita pela planta consiste no melhor indicador da disponibilidade do nutriente no solo.

Serão descritos a seguir vários métodos utilizados para determinação do boro disponível no solo.

2.5.1 Água quente

O extrator mais freqüentemente aceito e utilizado na avaliação da disponibilidade de boro é a água quente. Vários trabalhos citam ser o método de extração com água quente o mais eficaz para avaliar-se a disponibilidade de boro nos solos (Berger e Truog, 1940; Cox e Kamprath, 1972; Gestring e Soltanpour, 1984; Ribeiro e Sarabia, 1984; Ruy, 1986; Bataglia e Raij, 1989). Martens (1968), relata que o boro extraído pelo método da água quente é o que correlaciona significativamente com o crescimento vegetativo, valores de pH, teores de matéria orgânica e argila.

O procedimento consiste na extração do boro do solo com água, na relação 1:2 e filtragem imediata após fervura por 5 minutos sob refluxo, para evitar perda de água.

Gupta e Stewart (1975), verificaram que a água quente extraiu menor quantidade de boro que o acetato de amônio 1,0 N, pH 4,8. Os autores explicam o fato considerando que o método de água quente utiliza temperaturas ao redor de 100°C, ao passo que a extração com acetato de amônio se realiza à temperatura ambiente; a 103°C a pressão de vapor do ácido bórico aproxima-se da pressão atmosférica, sendo que a presença de grandes quantidades de sais pode aumentar o ponto de fusão da água, pelo que se deduz que durante a extração pela água há uma grande tendência do ácido bórico escapar para atmosfera na forma de vapor. Russel (1957)

também cita a ocorrência de perdas de boro na forma de vapor durante a extração por meio da água quente.

Okazaki e Chao (1968), estudando a adsorção e dessorção do boro por solos do Havai, concluíram que o boro, provavelmente, forme durante o processo de adsorção mais de um produto de reação, isto porque a liberação do boro adsorvido mostrou a não reversibilidade total do processo de adsorção. A dessorção do boro foi influenciada pelo período de aquecimento da suspensão, pela relação solo-água e pelo número de extrações. Segundo os autores, períodos de aquecimento, elevadas relações solo-água e maior número de extrações tendem a aumentar a recuperação do boro nativo ou do boro adicionado. Assim sendo, considera-se que a quantidade de boro extraída uma única vez com água quente, não deve ser considerada a disponível para a planta, isto é, esta extração libera apenas uma porção do boro que pode não ser proporcional à quantidade total disponível presente na solução do solo, sendo então mais significativo considerar a quantidade de boro retirada em uma única extração com água quente como indicadora do fator intensidade e o boro total disponível liberado por repetidas extrações, como indicador do fator capacidade. Catani et al. (1970) comparando o efeito da relação solo:água na extração de boro pela água quente, verificaram que o teor de boro extraído cresceu com o aumento da quantidade de água utilizada.

Jackson (1970), cita que o teor de boro solúvel determinado pelo método da água quente varia de 0,2 a 1,5 ppm, sendo considerado como imediatamente disponível para as plantas.

Segundo Raij e Bataglia (1988), o método da água quente

constitui-se num ponto de referência obrigatório para comparação com outros processos de extração. Apesar de ser o mais difundido, este método apresenta limitações e é moroso. Visando facilitar a determinação do boro em condições de rotina, Abreu et al. (1994), compararam o método do refluxo em água quente e subsequente determinação colorimétrica com azometina - H com a extração usando solução de BaCl_2 na relação solo:solução de 1:2, aquecida em forno de microondas, sendo a determinação do boro no extrato feita com a azometina-H e espectrometria de plasma. Foram obtidas altas correlações entre o sistema de refluxo e forno de microondas independente da técnica utilizada, concluindo os autores que a extração do boro em amostras de solo usando solução de BaCl_2 aquecida em forno microondas constitui-se num processo recomendado para condições de rotina.

2.5.2 Soluções ácidas

Soluções de ácidos são freqüentemente propostas e comparadas com água quente como índice de disponibilidade do boro.

Maiores quantidades de boro são extraídas com métodos baseados em ácidos diluídos, que liberam formas lábeis (Lindsay e Cox, 1985). Espera-se assim, extrair os teores solúveis em água e trocáveis, além de parte dos elementos complexados ou adsorvidos na superfície de óxidos de ferro e alumínio. Para o boro podem ser usadas as soluções HCl 0,05 N; HCl 0,1 N e a solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N) (Raij e Bataglia, 1988). O íon H^+ por ser preferencialmente adsorvido pelos colóides, desloca os

elementos para a solução do solo e, o ânion acompanhante se liga ao micronutriente deslocado impedindo que o mesmo seja readsorvido durante o processo de extração. Maiores quantidades de boro extraído dos solos pelos ácidos diluídos, foi encontrada por Bartz e Magalhães (1975). Os autores observaram que o extrator ácido utilizado (Mehlich 1: HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N) mostrou-se tão eficiente quanto a água quente na avaliação do boro disponível para as plantas. Segundo Rogers (1947) as correlações obtidas entre o boro absorvido pelas plantas e o boro determinado no solo por extratores ácidos, não foram superiores às obtidas com o método da água quente. Ponnampereuma et al. (1981), encontraram correlação positiva entre o boro extraído pelo HCl 0,05 N e o boro absorvido pelo arroz. Catani et al. (1970), comparando o método da água quente com os métodos ácidos de extração (CH₃COOH 0,05 N e H₂SO₄ 0,05 N) observaram que o boro extraído com ácido acético apresentou bons resultados.

Dos extratores para o boro disponível, o método da água quente é o mais recomendado, apesar de apresentar uma série de limitações e ser moroso para ser utilizado na rotina. Espera-se portanto que o extrator ácido (Mehlich 1), com vantagens de processamento mais simples e menos oneroso, possa ser adotado em substituição ao método da água quente, partindo-se do princípio de que sua eficiência depende das características do solo e manejo da cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Unidades de solo

Foram utilizadas amostras de 8 solos de várzea com diferentes características, provenientes de Três Pontas, Piumhi, Ijaci, Cambuquira, Lambari, Leopoldina, Jacuí (Minas Gerais), abrangendo as diferentes classes de solos de várzea representativas do Estado. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados de análises efetuadas e os municípios de coleta.

Foram utilizados solos que não haviam sido cultivados, ou aqueles que já haviam sido cultivados, porém, sem resíduos do último cultivo, a fim de diminuir interferências no trabalho.

3.2 Coleta, preparo e correção dos materiais do solo

O material de solo foi coletado na camada superficial (0-20 cm), tomando-se o cuidado de remover a vegetação da superfície. As amostras coletadas foram secas ao ar, passadas em peneira com malha de 5 mm de abertura e foram retiradas sub-amostras dos diferentes materiais de solo, que foram passadas em peneira de 2 mm de abertura, (TFSA), para caracterização física e química.

TABELA 1 - Características dos solos usados no experimento e municípios de coleta (solos originais), 0-20 cm.

Solo	pH	M.O.	----- % -----			Municípios
			Argila	Silte	Areia	
1 - A	5,0	3,9	37	43	20	Três Pontas
2 - HG	5,8	9,8	34	51	15	Piumhi
3 - HG	4,3	11,3	41	38	21	Ijaci
4 - A	4,9	5,7	38	30	32	Cambuquira
5 - HGP	5,3	4,9	36	29	35	Lambari 1
6 - HO	4,4	22,0	30	37	33	Lambari 2
7 - HG	4,5	10,8	40	31	29	Leopoldina
8 - A	5,1	3,0	39	13	48	Jacuí

TABELA 2 - Resultados analíticos das amostras dos oito solos estudados (solo original) 0-20 cm.

Solo	P K		Ca	Mg	Al	H+Al	S*	t*	T*	m*	V*
	mg.dm ⁻³										
1 - A	18	50	14	9	5	78	24	29	102	17,0	23,5
2 - HG	18	36	38	16	1	47	55	56	102	1,7	54,0
3 - HG	34	75	16	5	15	70	23	37	93	40,5	25,0
4 - A	31	87	12	5	13	81	19	32	100	40,6	19,0
5 - HGP	24	88	20	8	11	50	30	41	80	26,8	37,5
6 - HO	13	45	15	8	12	110	24	36	134	33,3	18,0
7 - HG	16	51	26	5	11	88	32	43	120	25,5	26,6
8 - A	47	99	14	6	16	60	22	38	82	42,1	26,8

*S = Soma de bases

t = CTC efetiva

T = CTC a pH 7,0

m = saturação por alumínio

V = saturação por bases

3.3 Análise mecânica

Na dispersão das amostras foram usados métodos químicos (NaOH 0,1N) e físicos (agitação com alta rotação). A fração areia (ϕ - 0,053 mm), foi obtida através de tamisagem. As frações silte (ϕ . 0,053 - 0,002 mm) e argila (ϕ < 0,002 mm), foram determinadas segundo o método da pipeta, proposto por Day (1965).

3.4 Análises químicas

Na caracterização química foram determinados: pH em H₂O, Ca, Mg, Al, P e K conforme Vettori (1969) modificado EMBRAPA (1979), onde Ca, Mg e Al foram extraídos pelo KCl 1N, P e K pelo HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N (extrator Mehlich 1). A acidez potencial (H + Al) extraída com solução de acetato de cálcio 1N a pH 7,0 e carbono orgânico conforme Raij et al. (1987).

A análise do boro foi feita através de um extrator ácido (Mehlich 1) e da água quente após a aplicação do boro, para posterior estudo de correlação.

3.4.1 Métodos de análise para boro

a) Boro solúvel em água quente

Determinado de acordo com o método simplificado da curcumina de Dible et al., descrito por Jackson (1970). Colocou-se 10 cm³ de solo e 20 ml de água destilada (relação 1:2), em

recipientes de vidro. A suspensão foi aquecida em chapa, a uma temperatura de mais ou menos 200°C por 5 minutos. Aos recipientes de vidro foram acoplados condensadores de refluxo, para evitar perdas de vapor. Após a fervura o material ficou em repouso durante uma noite, para decantação. Obteve-se assim um sobrenadante límpido que constituiu o extrato.

b) Boro solúvel em HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N (Solução de Mehlich 1)

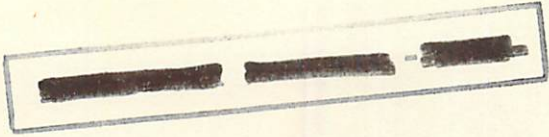
A extração foi feita por agitação (15 minutos) de 10 cm³ de solo e 20 ml de solução extratora (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N), na relação solo:solução de 1:2. Em seguida, obteve-se o extrato por meio de filtração do material, através de papel de filtro de filtragem lenta.

Para todos os métodos a quantificação foi feita com curcumina, tomando-se 1 ml de extrato seguindo a metodologia proposta por Dible et al. (1954).

3.5 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESAL/UFLA (MG). Foi realizado um cultivo, sendo a semeadura em 15/12/93, em vasos de plástico, com capacidade para 3 dm³, utilizando a variedade de arroz MG 1.

Os tratamentos constaram de 5 doses de boro: 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; e 2,0 mg B.dm⁻³ de solo na forma de ácido bórico (H₃BO₃), sendo a dose de 0,5 mg.dm⁻³ considerada como adequada, para trabalho



em casa de vegetação segundo Malavolta (1980). Antes do plantio foram realizadas as aplicações de boro, o solo foi incubado e amostras (50 g/vaso) foram coletadas, para determinação do boro.

Na semeadura do arroz distribuiu-se uniformemente 10 sementes por vaso, sete dias após a emergência das plântulas fêz-se o desbaste, deixando cinco plantas mais vigorosas e uniformes. Cerca de 15 dias após a emergência, foi efetuada a irrigação dos vasos até a inundação, mantendo-se uma lâmina de água de 5 cm que foi retirada cinco dias antes da colheita. Durante a condução do experimento, foram realizadas adubações de plantio e cobertura conforme Tabela 3, segundo Malavolta (1980).

A colheita das plantas foi realizada no início do estágio de florescimento, cortando-se a parte aérea rente à superfície do solo de cada vaso. As plantas foram lavadas com água corrente, água destilada e água deionizada, obedecendo esta ordem, tendo sido a seguir o material vegetal acondicionado em sacos de papel e, levados a secar em estufa de circulação de ar forçada, na temperatura de 65°C.

TABELA 3 - Doses, fontes e épocas de aplicação dos nutrientes.

Nutriente	Dose mg.dm ⁻³	Época		Fonte
		Plantio	Cobertura	
N	55,5	x		CO(NH ₂) ₂
	75,5		1ª	CO(NH ₂) ₂
	75,5		2ª	CO(NH ₂) ₂
P	200	x		Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O
K	75	x		KCl
	75		2ª	KCl
Zn	5	x		ZnSO ₄ .7H ₂ O
Mo	0,1	x		(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O

* 1ª cobertura: 15 dias após a emergência

2ª cobertura: 50 dias após a emergência

3.5.1 Análises químicas da matéria seca

As amostras da parte aérea foram submetidas a digestão nítrico-perclórica em bloco digestor. No extrato resultante, determinaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn. Os teores de Ca, Mg, Cu e Zn determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o K por fotometria de chama, o P por colorimetria e o N pelo método microkjeldahl, conforme Malavolta et al. (1989). Para determinação do boro, as amostras foram submetidas à digestão por via seca em forno de mufla a 500°C (incineração), quantificando-se posteriormente o seu conteúdo através da técnica da curcumina segundo Malavolta et al. (1989).

3.6 Análise estatística dos dados

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com 3 repetições, sendo que cada vaso constituiu uma parcela e, durante todo o período experimental efetuou-se semanalmente rodízio dos vasos. Foram utilizados 8 solos e 5 níveis de boro.

As características estudadas tiveram seus dados submetidos a análise de variância. Os resultados após análise de variância, foram comparados através do ajuste de regressões até de 2º grau. Nos solos onde foi obtido ajuste significativo do modelo, foram estimadas as doses de boro necessárias à produção máxima. Os valores estimados foram substituídos nas equações que relacionam boro aplicado e boro recuperado, obtendo-se assim os níveis críticos de boro para cada solo e extrator. Para se determinar os teores críticos de boro na parte aérea, as doses do nutriente que determinaram a produção máxima foram substituídas nas equações que relacionam teor de boro na parte aérea das plantas e boro adicionado no solo, segundo procedimento adotado por Couto et al. (1992).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Boro disponível no solo extraído por diferentes extratores

Os resultados da análise de variância podem ser observados na Tabela 1 do apêndice. As doses de boro, os solos e os extratores influenciaram significativamente a quantidade de boro disponível. A concentração de boro variou de 0,17 a 0,63 mg.dm⁻³ para o extrator Mehlich 1 e de 0,09 a 0,43 mg.dm⁻³ para o extrator água quente, nas amostras no solo original (Tabela 4). Verifica-se que o solo de Lambari 2 - HO (solo 6), apresentou o maior teor de boro disponível, provavelmente devido ao maior teor de matéria orgânica com maior retenção deste micronutriente pelos componentes do solo. O solo de Jacuí - A (solo 8), apresentou o menor teor possivelmente devido ao menor teor de matéria orgânica.

A capacidade de recuperação do boro aplicado foi maior pelo extrator Mehlich 1 do que pelo método da água quente (Tabela 4). Esta maior recuperação pelo Mehlich 1, quando se considera a média dos resultados de todos os solos, pode ser visualizada na Figura 2.

TABELA 4 - Teores médios de boro recuperado pelos extratores água quente e Mehlich 1.

Solo	Doses de B $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
	----- $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ -----				
	Mehlich				
1 - A	0,19	0,31	0,46	0,62	0,78
2 - HG	0,35	0,45	0,67	0,86	1,13
3 - HG	0,49	0,62	0,88	1,04	1,13
4 - A	0,28	0,34	0,54	0,74	0,90
5 - HGP	0,33	0,54	0,69	0,83	0,94
6 - HO	0,63	0,87	1,04	1,16	1,37
7 - HG	0,48	0,66	0,83	0,95	1,15
8 - A	0,17	0,31	0,47	0,63	0,70
	Água quente				
1 - A	0,10	0,22	0,34	0,53	0,65
2 - HG	0,21	0,30	0,43	0,54	0,76
3 - HG	0,29	0,36	0,45	0,64	0,83
4 - A	0,16	0,22	0,29	0,54	0,60
5 - HGP	0,18	0,28	0,39	0,55	0,70
6 - HO	0,43	0,60	0,70	0,84	0,96
7 - HG	0,27	0,31	0,43	0,60	0,76
8 - A	0,09	0,19	0,33	0,40	0,42

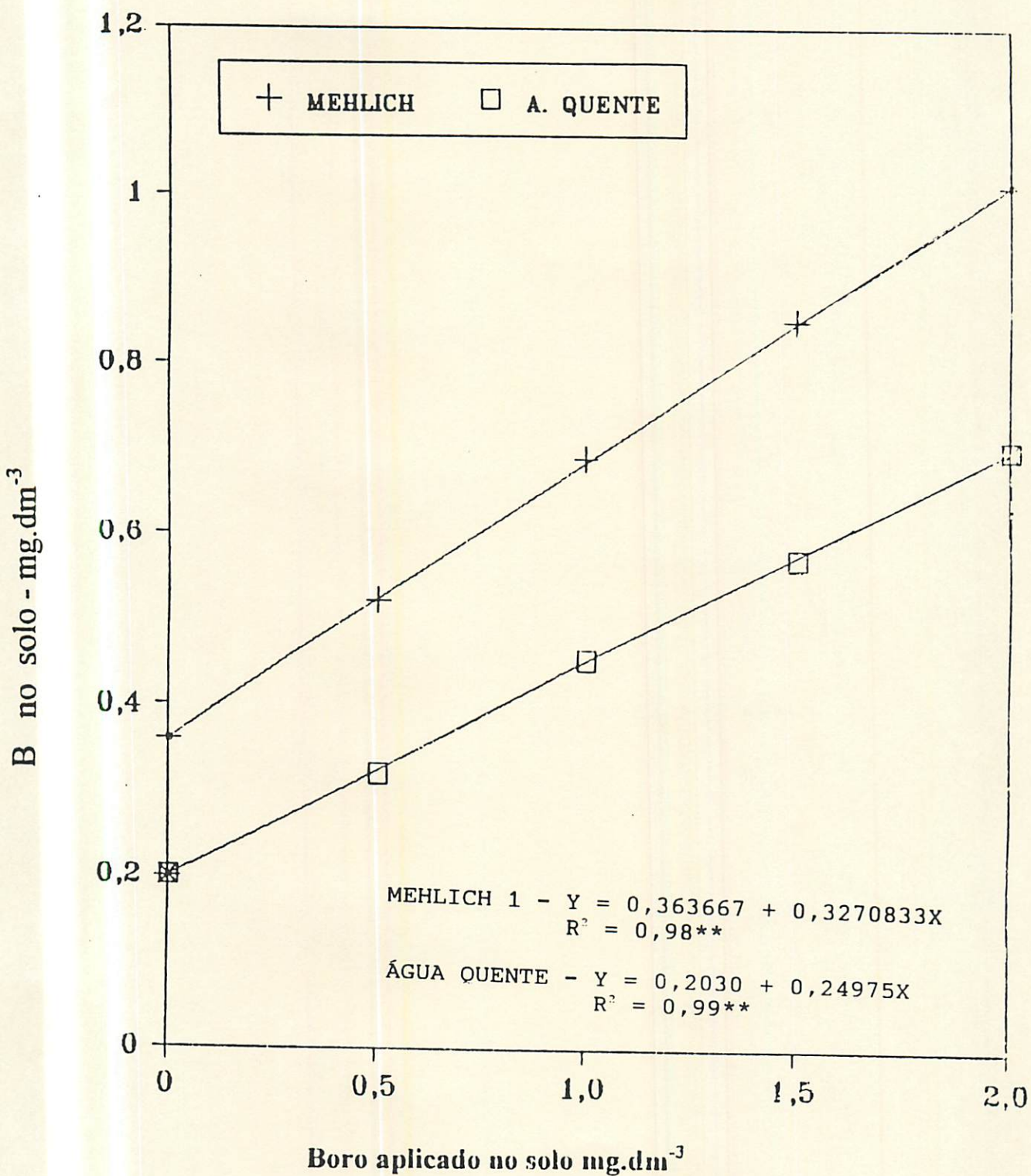


FIGURA 2 - Concentração de boro nas amostras de solo extraído pelo Mehlich 1 e água quente em função do boro aplicado.

Os coeficientes lineares das equações indicam percentuais médios de recuperação do boro aplicado de 32,7 e 24,9% para os extratores Mehlich 1 e água quente respectivamente. Por meio dessas equações, pode-se inferir que o extrator Mehlich 1 solubilizou quantidades maiores de boro do que as solubilizadas pela água quente. Outros pesquisadores (Berger e Truog, 1940; Bartz e Magalhães, 1975; Ribeiro e Sarabia, 1984; Corá, 1991), também encontraram resultados semelhantes. O meio ácido provavelmente liberou o boro pelo rompimento de estruturas de difícil decomposição associadas à matéria orgânica. Segundo Martens et al. (1966), por reduzir o pH do extrato em torno de 2,5 os extratores ácidos possivelmente solubilizem compostos não dissolvidos pela água quente. Ribeiro e Sarabia (1984), verificaram um aumento de 0,5 ppm de boro a cada ppm aplicado. No presente trabalho a menor recuperação do boro (0,32 e 0,25 mg/dm³ para cada mg.dm⁻³ aplicado pelo Mehlich 1 e água quente respectivamente) provavelmente se deva ao maior teor de matéria orgânica. Também a textura exerce efeito na fixação do boro (Olson e Berger, 1946; Wear e Patterson, 1962) e, tem-se a considerar ainda a mineralogia do solo que atua fortemente na retenção do elemento (Hatcher et al., 1967; Sims e Bingham, 1968; Rhoades et al., 1970). Sugere-se assim que um ou mais desses fatores estejam participando ativamente do processo de maior fixação do boro no solo em que foi desenvolvido o presente trabalho, quando comparado àquele estudado por Ribeiro e Sarabia (1984).

Observa-se pela Tabela 4, que a água quente e o Mehlich 1 extraíram quantidades crescentes de boro, à medida que as doses do nutriente aplicado aumentaram. Os teores do elemento nos solos originais, na grande maioria estavam abaixo da faixa crítica

sugerida por Lopes e Carvalho (1988) de 0,4 a 0,6 ppm (extração em água quente).

Pela Tabela 5, verifica-se a eficiência dos extratores em recuperar o boro aplicado em cada solo, e observa-se uma variação dos coeficientes lineares (Δ B recuperado / Δ B aplicado), indicando portanto influência dos solos na adsorção do boro e extratores na recuperação do boro adicionado.

TABELA 5 - Equações de regressão ajustadas entre concentrações de boro nas amostras de solo em mg.dm^{-3} , extraído por Mehlich 1 e água quente como variável (Y) de doses de boro aplicadas (X) em mg de B.dm^{-3} de solo.

Solo	Extrator	Equação	R ²
1 - A	Mehlich 1	$y = 0,1780 + 0,2986667x$	0,99**
	Água quente	$y = 0,088667 + 0,2833333x$	0,99**
2 - HG	Mehlich 1	$y = 0,3020 + 0,3920x$	0,97**
	Água quente	$y = 0,188667 + 0,2660x$	0,97**
3 - HG	Mehlich 1	$y = 0,4940 + 0,3386667x$	0,97**
	Água quente	$y = 0,247333 + 0,2706667x$	0,98**
4 - A	Mehlich 1	$y = 0,2320 + 0,3286667x$	0,97**
	Água quente	$y = 0,124667 + 0,2406667x$	0,96**
5 - HGP	Mehlich 1	$y = 0,3640 + 0,3040x$	0,98**
	Água quente	$y = 0,160 + 0,2620x$	0,98**
6 - HO	Mehlich 1	$y = 0,662667 + 0,3553333x$	0,99**
	Água quente	$y = 0,45133 + 0,2586667x$	0,97**
7 - HG	Mehlich 1	$y = 0,492667 + 0,3240x$	0,99**
	Água quente	$y = 0,248667 + 0,24333x$	0,96**
8 - A	Mehlich 1	$y = 0,1840 + 0,275333x$	0,98**
	Água quente	$y = 0,114667 + 0,17333x$	0,97**

** Significativo ao nível de 1%.

4.2 Correlação entre boro disponível e características dos solos

Quando se analisou a eficiência dos extratores em cada solo, nas amostras originais, observou-se uma ampla variação nos teores de boro (Tabela 4), o que reflete a influência das características dos solos na disponibilidade do nutriente extraído por cada extrator.

Para avaliação dessa influência, foram obtidos os coeficientes de correlação linear simples entre estes teores e valores das características dos solos em estudo (pH, teor de areia, CTC, matéria orgânica, teor de argila). Obteve-se correlação positiva significativa para matéria orgânica com os extratores Mehlich 1 e água quente (Tabela 6).

O solo Lambari 2 - HO (solo 6), apresentou as maiores quantidades de boro extraído. Essa maior disponibilidade verificada nos solos Lambari 2 - HO (solo 6), Ijaci - HG (solo 3), Leopoldina - HG (solo 7), Piumhi - HG (solo 2), provavelmente se deve ao alto teor de matéria orgânica, a qual através da mineralização, liberou-o para a solução do solo. *refletindo na p.*

Segundo Vale et al. (s.d.) o boro é mais fortemente retido pelos colóides orgânicos do que pelas argilas e segundo Berger e Truog (1940), o boro disponível no solo, se encontra associado principalmente à matéria orgânica.

O boro ocorre na solução do solo na forma de ácido bórico não dissociado (H_3BO_3), sendo o único nutriente que ocorre na solução do solo na forma neutra. Apesar de estar presente no solo na forma neutra, o boro, pode ser adsorvido pela matéria orgânica.

Possivelmente ocorram compostos do tipo diol, através da ligação a grupos carboxílicos e/ou fenólicos (Vale et al., s.d.).

TABELA 6 - Coeficiente de correlação entre as concentrações de boro no solo original determinado pelos extratores (Mehlich 1 e água quente) e características dos solos.

Características dos solos	Extrator	
	Mehlich 1	Água quente
Matéria orgânica %	0,92**	0,91**
Areia %	0,22 ns	0,31 ns
Argila %	0,038 ns	0,042 ns
pH (H ₂ O)	0,078 ns	0,13 ns
CTC	0,46	0,50

** Significativo ao nível de 1%.

Segundo vários pesquisadores (Berger e Truog, 1940; Brasil Sobrinho, 1965; Martens, 1968; Casagrande, 1978), há uma correlação positiva entre matéria orgânica e boro disponível.

Não foram encontradas correlações entre boro x teor de argila, boro x teor de areia, boro x pH. Quanto a correlação entre boro x CTC, esta não foi considerada, devido ao coeficiente de determinação muito baixo.

Conforme descrito por Brasil Sobrinho (1965), Gupta (1968) e Casagrande (1978), maior teor de argila favoreceria maior teor de boro disponível. Segundo Biggar e Fireman (1960) e Sing (1964), a capacidade de retenção do boro, aumenta dos solos de

textura grosseira para os de textura fina. Casagrande (1978), encontrou correlação positiva e significativa entre argila e boro disponível mas com baixo coeficiente de correlação.

Quanto aos efeitos dos valores de pH na disponibilidade de boro diversos autores (Wolf, 1940; Gupta, 1972; Gupta e Cutcliffe, 1972), obtiveram correlações negativas. De acordo com Cook e Millar (1939), esta relação não é consistente pois já foi observada deficiência de boro em solos ácidos, e disponibilidade adequada em solos alcalinos.

4.3 Resposta da cultura do arroz à aplicação de boro

A análise de variância para produção de matéria seca é apresentada na Tabela 2 do apêndice. A produção de matéria seca da parte aérea das plantas aumentou de modo geral com aplicação das doses de boro (Tabela 7), o que justifica considerando-se os teores abaixo do nível crítico considerado por Lopes e Carvalho (1988). Apesar das gramíneas serem menos exigentes em boro comparadas às dicotiledôneas, esta resposta pode ocorrer, pois em solos inundados, o pH atinge valores em torno de 7,0, propiciando uma maior adsorção de boro pelo $Al(OH)_3$, formando um complexo borato-diol; a valores de pH mais altos, a adsorção se dá preferencialmente com óxidos hidratados de ferro (Vale et al., s.d.). Supõe-se assim, que estes fatores tenham contribuído para resposta à boro pelo arroz inundado. As equações de regressão foram ajustadas para todos os solos e são apresentadas na Tabela 8. Em cada solo as produções máximas estimadas foram obtidas com 0,75

- 0,96 - 0,86 - 1,3 - 1,17 - 1,0 mg B.dm⁻³ solo, nos solos 1 - A, 2 - HG, 4 - A, 5 - HGP, 7 - HG e 8 - A respectivamente. As maiores produções, foram obtidas nos solos de Cambuquira - A (solo 4), Jacuí - A (solo 8) e Ijaci - HG (solo 3). Mesmo apresentando os maiores valores em saturação de alumínio as produções de matéria seca nos solos (3 - HG, 4 - A e 8 - A) podem ter sido favorecidas pela inundação que elevou o pH neutralizando o alumínio tóxico. As produções de matéria seca nos solos de Ijaci - HG (solo 3) e Lambari 2 - HO (solo 6) não foram alteradas pela aplicação de boro, sendo que no solo de Ijaci - HG (solo 3) os teores de boro 0,29 mg.dm⁻³ (água quente), estavam abaixo do nível crítico considerado por Lopes e Carvalho (1988). Os solos de Lambari 2 - HO e Ijaci - HG apresentaram os maiores teores de matéria orgânica e se mostraram portanto autosuficientes em fornecer boro às plantas durante seu cultivo. Em solos inundados, a mineralização da matéria orgânica é mais lenta que em solos aeróbicos mas, em contrapartida pode efetuar-se com relações C:N mais altas (DeDatta e Magnaye, 1969). A palha de arroz com alta relação C:N (30:1), que não se mineraliza sob condições aeróbicas pode mineralizar-se em solos inundados. Provavelmente esta mineralização da matéria orgânica favoreceu a liberação de boro. Johnston (1961) encontrou maior utilização de boro na presença de ácido húmico por *Nostoc moscorum*.

TABELA 7 - Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz (g/vaso) em resposta às doses de boro aplicadas nos diversos solos.

Solo	Doses de boro mg.dm ⁻³				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
1 - A	42,43	45,26	47,06	46,13	46,0
2 - HG	41,69	45,46	44,13	43,26	43,16
3 - HG	50,73	49,33	51,0	49,9	50,6
4 - A	52,46	54,26	56,19	55,7	53,9
5 - HGP	49,23	53,4	51,2	48,6	48,8
6 - HO	39,13	40,8	40,2	40,0	39,8
7 - HG	42,4	46,7	45,9	42,3	42,0
8 - A	53,8	54,8	56,9	54,2	52,8

TABELA 8 - Equações de regressão ajustadas entre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz em g/vaso (Y), como variável dependente de doses de boro aplicadas (X) no solo, em mg B.dm⁻³ de solo.

Solo	Equações	R ²
1 - A	$y = 42,541905 + 6,5523810x - 2,47619048x^2$	0,94**
2 - HG	$y = 42,361904 + 4,2990471x - 2,0761904x^2$	0,81**
3 - HG	ns	
4 - A	$y = 52,273333 + 6,3400018x - 2,7333413x^2$	0,95**
5 - HGP	$y = 50,194286 + 3,7428554x - 2,43809437x^2$	0,91**
6 - HO	ns	
7 - HG	$y = 43,187619 + 5,8561895x - 3,43809473x^2$	0,93**
8 - A	$y = 53,680952 + 5,0428559x - 2,77142806x^2$	0,96**

** Significativo ao nível de 1%.

4.4 Nível crítico de boro no solo

Para todos os solos em que foram obtidos ajustamentos significativos, estimaram-se as doses de boro responsáveis pela produção máxima de matéria seca. Essas doses foram substituídas nas equações lineares que permitem avaliar o teor de boro recuperado pelos dois extratores, para as diferentes doses aplicadas (Tabela 5), estimando-se assim, os níveis críticos de boro em cada um dos solos (Tabela 9), procedimento este adotado por Prezotti et al. (1988) e Couto et al. (1992).

Foi encontrada uma variação dos níveis críticos entre os diversos solos estudados numa amplitude de 0,40 a 0,86 mg.dm⁻³ para o Mehlich 1 e de 0,30 a 0,53 mg.dm⁻³ para água quente sendo que estas variações indicam efeitos das características dos solos.

Bataglia e Raij (1990), verificaram que acima de 0,25 mg.dm⁻³ de boro, as plantas de girassol não apresentaram sintomas de deficiência quando o extrator foi água quente, para o Mehlich 1 este valor foi 0,4 mg.dm⁻³. Os autores utilizando o critério de Cate e Nelson (1965), determinaram como nível crítico valores próximos a 0,2 mg.dm⁻³ para o extrator água quente e 0,3 mg.dm⁻³ para Mehlich 1. Ruy (1986), também com a cultura do girassol, estabeleceu classes de fertilidade para o boro disponível do solo; com relação a produção relativa de matéria seca considerou como baixos teores menores ou iguais a 0,26 ppm, entre 0,26 a 0,41 ppm médios e acima de 0,41 ppm altos quando o extrator foi a água quente. Para soja, Buzetti et al. (1990), obtiveram como nível crítico de boro (extrator água quente) valores entre 0,11 e 0,18 mg.dm⁻³ de boro para a produção de matéria seca da parte aérea, e

0,19 e 0,23 mg.dm⁻³ de boro para produção de grãos. Cartwright et al. (1983), determinaram como nível crítico de boro para a cultura de trigo 0,7 ppm. Lima Filho (1991), determinou como níveis críticos para o cafeeiro 0,2 ppm (pasta de saturação); 0,9 ppm (água quente); 1,2 ppm (fosfato monocálcico em ácido acético); 1,3 ppm (Mehlich 1); 2,4 ppm (HCl 0,05 N); 2,4 ppm (HCl 0,1 N). Estes resultados confirmam que a fixação do nível crítico em 0,5 ppm boro no solo (água quente), não é válida para todos os solos e culturas.

TABELA 9 - Níveis críticos de boro nas amostras de solo pelos extratores Mehlich 1 e água quente, para obtenção da produção máxima estimada de matéria seca da parte aérea da cultura do arroz.

Solo	Extrator	
	Mehlich 1	Água quente
	mg.dm ⁻³	
1 - A	0,40	0,30
2 - HG	0,67	0,44
3 - HG	ns	ns
4 - A	0,51	0,33
5 - HGP	0,75	0,50
6 - HO	ns	ns
7 - HG	0,86	0,53
8 - A	0,47	0,30

Apesar da aplicação de boro ter aumentado o rendimento de matéria seca, mesmo no nível zero, as plantas não apresentaram sintomas de deficiência de boro em nenhum dos solos e, nas doses

mais altas não foram observados sintomas de toxidez, indicando um consumo além das necessidades da planta. Os teores dos elementos nos solos originais determinados pelo Mehlich 1 e água quente (Tabela 4) na grande maioria estavam abaixo da faixa crítica sugerida por Lopes e Carvalho (1988), ou seja, 0,4-0,6 ppm (água quente).

Conforme verificou-se, as características do solo influenciaram no potencial de extração dos métodos testados. Assim como a disponibilidade dos nutrientes está relacionada com as características do solo, condições climáticas, a capacidade das plantas em absorver nutrientes em uma dada concentração na solução do solo, varia também com a espécie vegetal (Lombin e Bates, 1982), sendo o nível crítico determinado, inerente à cada espécie.

4.5 Composição mineral e nível crítico de boro nas plantas

Os resumos das análises de variância para concentração de boro, cobre, zinco e nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea das plantas são apresnetados nas Tabelas 3 e 4 do apêndice respectivamente.

Observa-se que apenas a concentração de boro aumentou com as doses aplicadas (Tabela 10). A relação entre essas duas variáveis (boro aplicado x boro na parte aérea) foi linear para cada solo utilizado (Tabela 11). O valor elevado da relação entre boro na planta e boro aplicado, indica que os extratores utilizados são eficientes para avaliar a disponibilidade de boro do solo para a cultura do arroz. Nas plantas cultivadas nos solos estudados, o

nível de toxicidade deve estar acima de 51 ppm a maior concentração encontrada no presente trabalho (Tabela 10).

A partir das equações lineares que relacionam a concentração de boro na planta com as doses aplicadas (Tabela 11) e substituindo nessas equações as respectivas doses de boro responsáveis pela produção máxima (obtidas a partir das equações da Tabela 8), foram calculados os níveis críticos de boro na planta, para cada solo (Tabela 12).

TABELA 10 - Concentração de boro na parte aérea das plantas de arroz em resposta às doses de boro aplicado nos diversos solos.

Solo	Doses de boro $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
	----- ppm -----				
1 - A	9,2	14,7	20,6	23,1	28,4
2 - HG	16,4	25,1	28,7	30,5	38,5
3 - HG	21,0	22,9	32,9	43,1	43,9
4 - A	11,0	14,63	21,8	26,9	33,6
5 - HGP	15,3	21,3	28,5	36,1	42,8
6 - HO	14,8	22,7	28,3	36,3	46,4
7 - HG	18,3	24,0	30,5	38,4	50,3
8 - A	11,5	15,2	27,5	36,2	51,1

TABELA 11 - Equações de regressão linear simples ajustadas entre concentração de boro (ppm) na parte aérea das plantas de arroz como variável dependente (Y) de doses de boro adicionado ao solo (X) em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Solo	Equações	R ²
1 - A	$y = 9,893333 + 9,346667x$	0,98**
2 - HG	$y = 17,93333 + 9,9200007x$	0,95**
3 - HG	$y = 19,580 + 13,1999990x$	0,95**
4 - A	$y = 10,100001 + 11,4999999x$	0,99**
5 - HGP	$y = 14,88 + 13,95x$	0,94**
6 - HO	$y = 14,340 + 15,3800003x$	0,99**
7 - HG	$y = 16,6599999 + 15,6800008x$	0,97**
8 - A	$y = 8,246666 + 20,0800003x$	0,96**

** Significativo ao nível de 1%.

Pela Tabela 12, observa-se que os níveis críticos variaram entre solos tendo uma amplitude de 17 a 35 ppm, isto se explica tendo em vista que, as plantas extraem nutrientes do solo de acordo com sua disponibilidade. Para Jones e Scarseth (1944) a planta terá um desenvolvimento adequado existindo um equilíbrio na absorção de cálcio e boro. Em solos com baixo teor de cálcio, a planta terá maior tolerância a deficiência de boro, sendo que a aplicação de boro em solos ácidos pode causar fitotoxidez. Por outro lado deficiência de boro ocorre em solos com alto teor de cálcio devido a fixação e insolubilização tendo como consequência aumento da relação Ca/B, isto é, quanto mais cálcio maior exigência em boro para haver equilíbrio na relação Ca/B.

TABELA 12 - Níveis críticos de boro na parte aérea das plantas de arroz para cada solo, para obtenção da produção máxima estimada de matéria seca da parte aérea.

Solo	Nível crítico ppm
1 - A	17,0
2 - HG	27,5
3 - HG	ns
4 - A	20,0
5 - HGP	33,0
6 - HO	ns
7 - HG	35,0
8 - A	30,0

Os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn na parte aérea das plantas não foram alterados pela aplicação de boro, e os valores médios são apresentados na Tabela 13. Os dados são coincidentes com os obtidos por Elliot e Nelson (1981), que não constataram em plantas de begônia efeito de doses crescentes de boro sobre os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn. Ruy (1986), verificou no girassol que os teores de P, Mg e S, diminuíram com o aumento das doses de boro nos solos com baixos teores deste micronutriente. Baker e Cook (1956), observaram nas porções apicais de plantas de alfafa deficientes em boro menores teores de B, K, Ca e Mg do que nas partes mais velhas das plantas. O efeito das doses de boro aplicadas ao solo, sobre os teores de outros nutrientes nas plantas parece variar com a espécie vegetal.

TABELA 13 - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn na parte aérea das plantas de arroz cultivadas em solos de várzeas.

Solo	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
	----- % -----					----- ppm -----	
1 - A	3,1	0,14	2,2	0,33	0,22	30	15
2 - HG	3,3	0,14	2,4	0,35	0,24	32	14
3 - HG	3,3	0,13	2,5	0,4	0,19	36	17
4 - A	3,4	0,14	2,5	0,4	0,20	36	16
5 - HGP	3,2	0,12	2,6	0,38	0,21	30	14
6 - HO	3,0	0,13	2,2	0,35	0,22	30	14
7 - HG	3,0	0,12	2,3	0,38	0,20	30	16
8 - A	3,4	0,14	2,6	0,35	0,22	33	15

Na parte aérea das plantas apenas os teores de N, P e Ca variaram com os solos (Tabela 14).

4.6 Conteúdo de boro na parte aérea das plantas

A seleção do método mais adequado para predizer a disponibilidade de boro no solo para as plantas, foi baseada em correlações e regressões simples entre as concentrações de boro no solo, determinadas por meio dos diferentes extratores e a quantidade acumulada na parte aérea das plantas. Os parâmetros "rendimentos em matéria seca" e "concentração de boro na parte aérea" não são os mais adequados. A produção de matéria seca é resultado não apenas do nutriente em estudo, dependendo também de outros fatores do solo e meio ambiente. Corá (1991) verificou que a quantidade de matéria seca produzida não foi adequada para

avaliar a disponibilidade de boro para as plantas. Quanto a concentração do elemento, uma maior disponibilidade no solo, pode ocasionar maior rendimento provocando menor concentração do mesmo na matéria seca produzida, ocorrendo o que é conhecido como "efeito de diluição". Sendo assim, é consenso e, segundo Hauser (1973), a quantidade absorvida se constitui no parâmetro mais adequado para avaliar disponibilidade de nutrientes do solo para as plantas.

TABELA 14 - Concentração de N, P, Ca na parte aérea das plantas de arroz para cada solo.

Solo	N	P	Ca
	-----	% -----	-----
1 - A	3,4 A	0,145 A	0,334 D
2 - HG	3,3 AB	0,144 AB	0,351 BCD
3 - HG	3,3 AB	0,134 AB	0,406 A
4 - A	3,3 AB	0,144 AB	0,404 AB
5 - HGP	3,2 AB	0,123 AB	0,380 ABCD
6 - HO	3,0 B	0,132 AB	0,348 CD
7 - HG	3,0 B	0,122 B	0,388 ABC
8 - A	3,4 A	0,144 AB	0,354 ABCD
DMS	0,326	0,022	0,053

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Um extrator eficiente em avaliar a disponibilidade de um determinado nutriente, deve extrair quantidades que se correlacionam com as disponíveis para as plantas e, que possam ser determinadas com precisão pelos métodos em uso. Segundo Raij e

Bataglia (1988), quanto melhor a correlação entre a quantidade do elemento extraída do solo e absorvida pela planta, maior a eficiência do método.

Pela Tabela 15, observa-se que a parte aérea das plantas acumulou quantidades crescentes de boro, em função das doses aplicadas em todos os solos estudados. O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 5 do apêndice. As plantas cultivadas no solo de Três Pontas - A (solo 1) absorveram as menores quantidades e, as cultivadas nos solos de Jacui - A (solo 8) e Lambari 1 - HGP (solo 5) as maiores.

TABELA 15 - Quantidade de boro acumulada ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) na parte aérea das plantas de arroz em resposta às doses de B ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) aplicadas nos diversos solos.

Solo	Doses de boro $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
	----- $\mu\text{g}/\text{vaso}$ -----				
1 - A	0,38	0,65	0,97	1,06	1,3
2 - HG	0,68	1,14	1,26	1,31	1,65
3 - HG	1,06	1,12	1,67	2,14	2,21
4 - A	0,57	0,79	1,22	1,50	1,80
5 - HGP	0,75	1,45	1,83	2,17	2,69
6 - HO	0,57	0,92	1,13	1,45	1,84
7 - HG	0,77	1,11	1,39	1,62	2,11
8 - A	0,61	0,83	1,56	1,96	2,7

As quantidades de boro absorvidas e acumuladas na parte aérea das plantas foram relacionadas com os teores de boro

disponíveis no solo avaliados pelos extratores Mehlich 1 e água quente (Tabela 16). Vários pesquisadores têm obtido resultados com estudos de seleção de métodos para avaliação da disponibilidade de boro e, de acordo com Ribeiro e Sarabia (1984) os melhores resultados de correlações estão freqüentemente associados à presença de níveis de adubação boratada.

TABELA 16 - Equações de regressão ajustadas entre a quantidade de boro absorvido pela parte aérea das plantas de arroz em $\mu\text{g}/\text{vaso}$ (Y), como variável dependente de doses de boro aplicadas (X) no solo em $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$ de solo pelos extratores Mehlich e água quente.

Solo	Extrator	Equação	R ²
1 - A	Mehlich 1	$y = 0,167916 + 1,48549x$	0,96**
	Água quente	$y = -0,30872 + 1,540666x$	0,93**
2 - HG	Mehlich 1	$y = 0,491318 + 1,037486x$	0,84**
	Água quente	$y = 0,496053 + 1,573197x$	0,89**
3 - HG	Mehlich 1	$y = -0,00807 + 1,985677x$	0,97**
	Água quente	$y = 0,440157 + 2,326596x$	0,87**
4 - A	Mehlich 1	$y = 0,113204 + 1,901539x$	0,98**
	Água quente	$y = 0,280869 + 2,4593x$	0,92**
5 - HGP	Mehlich 1	$y = -0,23101 + 3,012495x$	0,98**
	Água quente	$y = 0,326513 + 3,447441x$	0,95**
6 - HO	Mehlich 1	$y = -0,55464 + 1,709206x$	0,98**
	Água quente	$y = -0,4833 + 2,350184x$	0,98**
7 - HG	Mehlich 1	$y = -0,20163 + 1,965256x$	0,99**
	Água quente	$y = 0,146889 + 2,553749$	0,97**
8 - A	Mehlich 1	$y = -0,2045 + 3,786291x$	0,95**
	Água quente	$y = -0,0905 + 5,642936x$	0,88**

** Significativo ao nível de 1%.

Para selecionar o método mais adequado na determinação do elemento, levou-se em consideração os coeficientes das equações de regressão entre a quantidade de boro acumulada pela parte aérea e o extraído do solo pelos diferentes extratores, o que possibilita maior precisão no processo de avaliação. Ambas as soluções extratoras, obtiveram resultados significativos nos valores de coeficientes de eficácia R^2 das regressões efetuadas (Tabela 16), i.e., mostraram-se igualmente eficientes na avaliação de boro disponível. Contudo, nota-se uma ligeira superioridade do Mehlich 1 no solo de Ijaci - HG (solo 3), Cambuquira - A (solo 4), Jacuí - A (solo 8) e do método da água quente no solo de Piumhi - HG (solo 2). Quando se considera a média dos resultados de todos os solos, verifica-se uma absorção do boro disponível conforme Figura 3, onde ambos os métodos mostraram-se eficientes.

Ribeiro e Sarabia (1984), Bataglia e Raij (1989) e Bataglia e Raij (1990), encontraram superioridade do extrator água quente. Ruy (1986), verificou que a extração com água quente forneceu a melhor indicação do boro disponível no solo, quando comparado com extratores ácidos, para a cultura do girassol mas, nestes casos, em todos os trabalhos o solo havia recebido calcário para elevar o pH a 6,0-6,5 o que pode ter interferido na eficiência do método. Corá (1991), trabalhando com a cultura do arroz, observou maior eficiência do Mehlich 1 no solo original e melhor comportamento da água quente, após fazer a correção do solo. Bartz e Magalhães (1975), observaram que os métodos Mehlich 1 e água quente, mostraram-se igualmente eficientes na avaliação do boro disponível. Ponnampetuma et al. (1981), trabalhando com arroz

verificaram vantagens dos métodos baseados em ácidos diluídos para predizer a disponibilidade de boro no solo em relação ao método da água quente.

Segundo Lindsay e Cox (1985), os níveis de micronutrientes na solução do solo e nos pontos de troca são muito baixos, por isso, soluções extratoras contendo ácidos que liberam formas lábeis, avaliam com melhor eficiência a disponibilidade de micronutrientes no solo quando comparadas às soluções que apenas tratam da troca de íons.

No presente trabalho o solo Piumhi - HG (solo 2), apresentou o maior índice de saturação em bases 54%. Provavelmente este solo tenha recebido calcário e tenha sido cultivado em período anterior, o que justifica a maior eficiência da água quente na extração de boro neste solo. Os solos Ijaci - HG (solo 3), Cambuquira - A (solo 4), Jacuí - A (solo 8), apresentaram os mais altos valores em saturação em Al (40%). Para condições de solos ácidos presume-se que o extrator Mehlich 1 seja mais eficiente para determinar o boro disponível, enquanto que a água quente revela certa superioridade quando se faz a correção do solo.

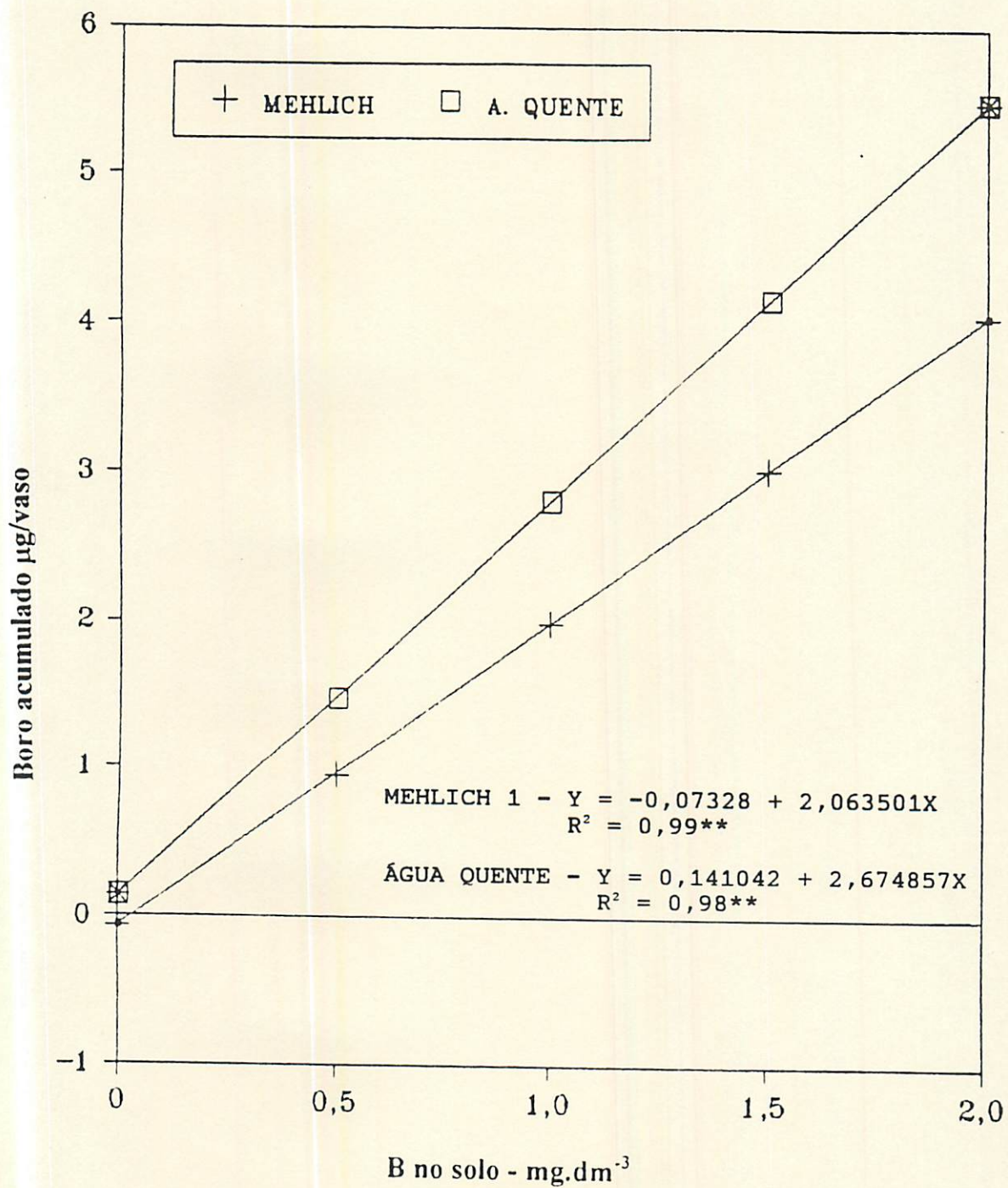


FIGURA 3 - Quantidade de boro acumulada na parte aérea das plantas de arroz em função do teor de B no solo determinado pelos extratores Mehlich 1 e água quente.

Estes resultados indicam a possibilidade de substituição do método da água quente na avaliação do boro disponível, para cultura do arroz sob inundação, visto tratar-se de um método moroso e com possibilidade de perda de H_3BO_3 na forma de vapor durante a fervura, apesar de ser o método mais aceito. O método da água quente apresenta sérios inconvenientes para análise de rotina nos laboratórios e, refinamentos vêm sendo feitos a fim de adequá-lo melhor. Por outro lado, as soluções diluídas de ácidos apresentam a vantagem de processamento simples, menor custo, além de servir para extração conjunta de outros nutrientes do solo (Cu, Fe, Mn, Zn, K, P).

5 CONCLUSÕES

a) As doses de boro e os solos estudados influenciaram significativamente na quantidade de boro disponível. Foram crescentes as quantidades extraídas à medida que as doses do nutriente aplicado aumentaram. Os maiores teores obtidos com aplicação da dose máxima foram de 1,37 (Mehlich 1) e 0,96 (água quente), indicando maior capacidade de recuperação pelo Mehlich 1.

b) Obteve-se correlação positiva significativa entre concentração de boro no solo original determinado pelos extratores Mehlich 1 e água quente e teor de matéria orgânica, evidenciando o efeito desta característica do solo na disponibilidade do nutriente, independente do extrator utilizado.

c) A aplicação do boro aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea da cultura do arroz em alguns solos, com exceção dos solos de Lambari 2 - HO e Ijaci - HG que apresentaram os maiores teores deste nutriente e os maiores teores de matéria orgânica no solo original.

d) A aplicação de boro aumentou a concentração deste nutriente na parte aérea do arroz, sendo a concentração máxima de 51 ppm.

e) Os níveis críticos estimados variaram conforme o solo tendo valores de 0,40 a 0,86 mg.dm⁻³ para o Mehlich 1 e de 0,30 a

0,53 mg.dm⁻³ para água quente. Na planta os níveis críticos estiamdos tiveram uma amplitude de 17 a 35 ppm, conforme o solo em que foram cultivadas.

f) As soluções extratoras Mehlich 1 e água quente, mostraram-se igualmente eficientes na avaliação do boro disponível. Houve uma pequena superioridade do Mehlich 1, nos solos que apresentaram os mais altos valores em saturação em alumínio e, da água quente no solo de Piumhi 2 - HG que apresentou o maior índice de saturação em bases.

g) Os dados evidenciam a possibilidade de substituição do método da água quente pelo Mehlich 1 na avaliação do boro disponível, para condições de solos ácidos, principalmente quando não é feita a correção, pelo fato de tratar-se de um processamento simples, menos oneroso, servindo para extração conjunta de outros nutrientes do solo (Cu, Fe, Mn, Zn, K e P).

BIBLIOGRAFIA

- ABREU, C.A. de; RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. *Commun. Soil Science and Plant analysis*, v.25, n.19/20, p.3321-3333, 1994.
- BAKER, A.S.; COOK, R.L. Need of boron fertilization for alfafa in Michigan and methods for determining this need. *Agronomy Journal*, Madison, v.48, n.12, p.564-568, Dec. 1956.
- BARBOSA FILHO, M.P. *Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).
- 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 solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.1, p.25-31, jan./abr. 1990.
- 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.
- BIGGAR, J.W.; FIREMAN, M. Boron adsorption and release by soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.24, n.2, p.115-120, 1960.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1965. 135p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; S, 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. 1990.
- CARTWRIGHT, B.; TILLER, K.G.; ZARCINAS, B.A.; SPOUNCER, L.R. The chemical assesment of the boron status of soils. *Australian Journal Soil Research*, Victoria, v.21, p.321-332, 1983.

- CASAGRANDE, J.C. O boro em alguns solos do município de Piracicaba. Piracicaba: ESALQ/USP, 1978. 122p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C.; KROLL, F.M. Extração e determinação do boro solúvel dos solos. *Anais da ESALQ, Piracicaba*, v.27, p.287-294, 1970.
- CATE, J.R.; NELSON, L.H. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *North Carolina Agric. Sta.*, 1965. 16p. (International Soil Testing Series - Technical Bulletin, 1).
- COOK, R.L.; MILLAR, C.E. Some soil factors affecting boron availability. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, v.4, n.3, p.297-301, 1939.
- CORÁ, 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).
- 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.

COX, F.R.; KAMPRATH, E.J. Micronutrients soil tests. In: DINAUER, R.C. **Micronutrient in Agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.289-317.

CURI, N.; ANDRADE, H. **Solos de várzea, classificação e levantamento de solos**. Lavras, 1986. 48p. (Mimeografado).

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.

CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. **Terras para irrigação**. Brasília: PRONI/ABEAS, 1988a. 107p.

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. pt.1, cap.13, p.545-566.

DEDATTA, S.K.; MAGNAYE, C.P. A survey of forms and sources of fertilizer nitrogen for flooded rice. **Soils and Fertilizers**, Bucks, v.32, p.103-109, 1969.

DIBLE, W.; TRUOG, E.; BERGER, K.C. Boron determination in soils and plants - simplified curcum inprocedure. **Analytical Chemistry**, Washington, v.26, n.2, p.418-421, Feb. 1954.

ELLIOTT, G.C.; NELSON, P.V. Acute boron toxicity in *Begonia hiemalis*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.12, p.775-783, 1981.

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.

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). *

GALRÃO, E.Z.; SOUZA, D.M.G.; PERES, J.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzea da região dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.19, n.9, p.1091-1011, set. 1984.

GESTRING, W.D.; SOLTAMPOUR, P.N. Evaluation of the ammonium tri-carbonate - DTPA soil test for assessing boron availability to alfalfa. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.48, n.1, p.96-100, 1989.

- GUPTA, V.C. Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of added boron to properties of podzoll soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.32, n.1, p.45-48, 1968.
- GUPTA, V.C. Interaction effects of boron and lime on barley. *Proceedings Soil Science Society of America*, Madison, v.36, n.2, p.332-334, 1972.
- GUPTA, V.C.; CUTCLIFFE, J.A. Effects of lime and boron on Brownheart, leaf tissue calcium/boron ratios and boron concentrations of rutabaga. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.36, n.6, p.936-939, 1972.
- GUPTA, S.K.; STEWART, J.W.B. The extraction and determination of plant available boron in soils. *Schweizerische landwirtschaftliche Forschung*, Saskatoon, v.14, p.156-169, 1975.
- HATCHER, J.T.; BOWER, C.A.; CLARK, M. Adsorption of boron by hydroxy aluminum and surface area. *Soil Science*, Baltimore, v.104, n.6, p.422-426, June 1967.
- HAUSER, G.I. *The calibration of soil tests for fertilizer recommendations*. Roma: FAO, 1973. 71p. (FAO Soils Bulletin, 18).

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola de Minas Gerais, dados oficiais da safra de 1994. Belo Horizonte, 1994. n.p. (Levantamento de outubro).
- JACKSON, M.L. Análise químico de suelos. 2.ed. Barcelona: Omega, 1970. 662p.
- JOHNSTON, H.H. Soil organic matter. II. Studies of the origin and chemical structure of soil humic acid. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.25, p.32-35, 1961.
- JONES, H.E.; SCARSETH, G.D. The calcium-boro balance in plants as related to boron needs. Soil Science, Baltimore, v.57, n.1, p.15-24, Jan. 1944.
- LIMA FILHO, O.F. de. Calibração de boro e zinco para o cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Amarelo). Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1991. 100p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- LINDSAY, W.L.; COX, F.R. Micronutrient soil testing for the tropics. In: VLEK, D.L.G. Micronutrients in tropical food crop production; Developments in plant and Soil Sciences. Dordrecht, Martinus Vighoff, 1985. v.14, p.169-200.

LOMBIN, G.; BATES, T.E. Comparative responses of peanuts, alfalfa and soybean to varying rates of boron and manganese on two calcareous Ontario Soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.69, n.1, p.1-9, Jan. 1982.

LOPES, A.S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA. Brasília, 1984. *Anais...* Brasília: EMBRAPA-DEP, 1984. (EMBRAPA-DEP. Documentos, 14).

LOPES, A.S.; CARVALHO, J.G. de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solos e plantas, correção de deficiências e excessos. In: SIMPÓSIO DE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1, Londrina. *Anais...* Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR, SBCS. p.133-178. 1988.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITFI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1989. 210p.

MARCONI, A.; FREIRE, O.; ABRAHÃO, I.O.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Boro nos minerais, rochas, solos e plantas. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v.55, n.1/2, p.33-39, maio 1980.

- MARTENS, D.C. Plant availability of extractable boron, copper and zinc as related to selected soil properties. *Soil Science*, Baltimore, v.106, n.1, p.23-28, Jan. 1968.
- MARTENS, D.C.; CHESTERS, G.; PETERSON, L.H. Factors controlling the extractability of soil/zinc. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, v.30, p.67-69, 1966.
- MESQUITA FILHO, M.V.; OLIVEIRA, S.A. Influência do boro na produção de matéria seca da batata. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.2, n.2, p.9-11, nov. 1984.
- MORAIS, O.P. Algumas opções para várzeas - Arroz. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.6, n.65, p.47-48, maio 1980.
- MORTVEDT, J.J.; CUNNINGHAM, H.C. Production, marketing, and use of other secondary and micronutrient fertilizers. In: OLSON, R.A. *Fertilizer technology & use*. Madison: Soil Science Society of America, 1971. p.413-454.
- NORRISH, K. Geochemistry and mineralogy of trace elements. In: NICHOLAS, D.J.O.; EGAN, A.R. *Trace elements in soil-plant-animal systems*. New York: Academic Press, 1975. p.55-81.
- OKAZAKI, E.; CHAO, T.T. Boron, adsorption and desorption by some hawaiian soils. *Soil Science*, New Brunswick, v.105, p.225-257, 1968.

- OLSON, R.V.; BERGER, K.C. Boron fixation as influenced by pH organic matter content and other factors. Madison, Soil Science Society of American Proceedings, v.11, p.216-220, 1946.
- PAULA, M.B. de; CARVALHO, J.G.; GALRÃO, E.Z. Efeitos da calagem enxofre e micronutrientes no rendimento de grãos de arroz em solos de várzeas. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO ARROZ, 5, Goiânia, 1994. Resumos... Goiânia: EMBRAPA, 1994. 131p. *
- PONNAMPERUMA, F.N.; CAYTON, M.T.; LANTINI, R.S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soils. Plant and Soil, Netherlands, v.61, n.2, p.297-310, 1981.
- PREZOTTI, L.C.; DEFELIPO, B.V.; VENEGAS, V.H.A.; de BARROS, N.F. Nível crítico de potássio no solo para produção de mudas de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.12, n.1, p.65-70, jan./abr. 1988.
- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Instituto da Potassa (EUA-Suíça). 142p. 1981.
- RAIJ, B. van.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA. Jaboticabal, 1988. Anais... Jaboticabal, 1988. p.537-562. (versão preliminar).

- 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 Cargill, 1987. 170p.
- RIBEIRO, A.C.; SARABIA, W.A.T. 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.
- RHOADES, J.D.; INGVALSON, R.D.; HATCHER, J.T. Adsorption of Boron by ferromagnesian minerals and magnesium hydroxide. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.34, n.6, p.938-941, 1970.
- ROGERS, H.T. Water soluble boron on coarse textural soils in relation to need of boron fertilization for legumes. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v.39, p.914-928, 1947.
- RURALMINAS - COORDENADORIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Programa de Aproveitamento de várzeas do Estado de Minas Gerais - PROVARZEAS-MG. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.6, n.65, p.8-13, maio 1980.

- RUSCHEL, A.P.; MESQUITA ROCHA, A.C. de; PENTEADO, A. de F. Efeito do boro e molibdênio aplicados a diferentes revestimentos da semente de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.5, p.49-52, 1970.
- RUSSEL, D.A. Boron and soil fertility. In: STTEFERUD, A. (ed.). *The Yearbook of Agriculture*. Washington: The United States Department of Agriculture, p.121-128. 1957.
- RUY, V. de M. *Contribuição para o estudo do boro disponível em solos*. Piracicaba: CENA, 1986. 104p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SILVA, A.R.; ANDRADE, J.M.V. de. A esterilidade masculina do trigo (chochamento) e o seu controle pela aplicação de micronutrientes no solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. *Trabalhos com trigo, cevada e triticales no CPAC em 1981*. Planaltina, 1982. v.2, p.1-9.
- SIMS, J.R.; BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer splicates, sesquioxides and soil materials. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.32, n.3, p.364-369, 1968.
- SINGH, S.S. Boron adsorption equilibrium in soil. *Soil Science*, Baltimore, v.98, p.383-390, 1964.

- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A. Fertilidade do Solo: Dinâmica e Disponibilidade de Nutrientes. Lavras: ESALFAEPE, s.d. 171p.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- VIEIRA, L.S.; VIEIRA, M. de N. Manual de morfologia e classificação de solos. Belém: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1981. 580p.
- WEAR, J.I.; PATTERSON, R.M. Effect of soil pH and textures on the availability of water. Soluble boron in the soil. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.26, n.4, p.344-346, 1962.
- WOLF, B. Factors influencing availability of boron in soil and its distribution in plants. Soil Science, Baltimore, v.50, p.209-220, 1940.

APÊNDICE

TABELA 1 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) de boro extraído do solo, em função das doses de boro, solos e extratores.

Causas da variação	GL	QM
Boro	4	2,4993558**
Solo	7	0,7563303**
Extrator	1	3,3986399**
Boro x Solo	28	0,0075308**
Boro x Extrator	4	0,0508775**
Solo x Extrator	7	0,0454257**
Boro x Solo x Extrator	28	0,0034501**
Resíduo	160	0,0013533
Total	239	
C.V.	6,43%	

** Significativo a 1%.

TABELA 2 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância), da produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz em função das doses de boro e solos.

Causas da variação	GL	QM
Boro	4	28,9066762**
Solo	7	435,8225614**
Boro x Solo	28	4,3126604
Resíduo	80	3,6845932
Total	119	
C.V.	4,01%	

** Significativo a 1%.

TABELA 3 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da concentração de boro (ppm), cobre (ppm) e zinco (ppm), na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de boro e solos.

Causas da variação	GL	QM		
		Boro	Cobre	Zinco
Boro	4	6164,3735**	1,779166	8,0958333
Solo	7	939,8851**	23,960714	87,9752381
Boro x Solo	28	82,2049**	5,707738	9,0815476
Resíduo	80	1,6354	29,866666	64,5333333
Total	119			
C.V. %		4,49	24,68	24,45

** Significativo a 1%.

TABELA 4 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da concentração de nitrogênio (%), fósforo (%), potássio (%), cálcio (%) e magnésio (%) na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de boro e solos.

Causas de variação	GL	QM				
		Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
Boro	4	0,0063348	0,0003971	0,1288757	0,001494	0,0000013
Solo	7	0,4186676**	0,0014646**	0,3313218	0,0112894**	0,0030205
Boro x Solo	28	0,0503331	0,0001661	0,0529797	0,0013308	0,0004184
Resíduo	80	0,0594166	0,0004033	0,2043333	0,001581	0,0017608
Total	119					
C.V. %		7,4	14,7	18,43	10,72	19,38

** Significativo a 1%.

TABELA 5 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da quantidade de boro acumulada na parte aérea das plantas de arroz em função das doses de boro e solos.

Causas de variação	GL	QM
Boro	4	6,8212882**
Solo	7	1,3027133**
Dose x Solo	28	0,1131179**
Resíduo	80	0,0101983
Total	119	
C.V.	7,2%	

** Significativo a 1%.