

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE BORO EM UM LATOSSOLO
DE MATO GROSSO/MT.**

THAÍS BÍSCARO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
- (Agricultura).

BOTUCATU-SP
Setembro - 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE BORO EM UM LATOSSOLO
DE MATO GROSSO/MT.**

THAÍS BÍSCARO

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
- Agricultura.

BOTUCATU - SP
Setembro - 2005

DEDICO A:

- Valter Luiz Bísaro e Vitória Ap. Pizzonia Bísaro, meus pais amados, por toda a luta e apoio a mim concedidos, de forma integral.
- Beto e Júnior, meus irmãos, pela força e pela torcida.
- Fernando Santos Corrêa, pela compreensão e amor incondicionais, por todo carinho e dedicação, pelo incentivo que foi de grande importância, principalmente nos momentos de fraqueza e desânimo... Valeu!!

Muito obrigada!!! Vocês são muito especiais...

- Severino Bísaro e Sebastião Pizzonia, meus avôs queridos, que tiveram a péssima idéia de partir deste mundo durante a trajetória deste trabalho do qual vocês tanto se orgulhavam... Saudades eternas!!!

“Nenhum caminho é longo demais quando um amigo nos acompanha”

(Autor desconhecido)

OFEREÇO

A Deus, Pai de bondade eterna, sem o qual minha vida
não teria o menor sentido... pois
“Não só de pão vive o homem, mas de toda palavra
que sai da boca de Deus”(Mateus 4:4)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todos os momentos bons ou ruins, pois sei que estivera sempre ao meu lado, presente em minha vida.

Ao Professor Dr. Ciro Antonio Rosolem pela orientação, o carinho, os conselhos, o grande exemplo profissional, enfim, pelo papel de pai que representa em minha vida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro concedido.

Ao meu grande amigo Fábio Suano de Souza, por ser sempre presente e companheiro, pela oportunidade de aprender contigo e por todas as vezes que me ajudastes.

As minhas queridas amigas e companheiras de curso, Ângela C. Camarin Alvarez, Carolina M. Gaspar, Liana R. Tavares da Costa, as quais tornaram-se pessoas essenciais em minha vida, amigas para qualquer hora, amigas para sempre!!!

As amigas e companheiras de república, Aline Popin, Carolina Amaral Tavares, Karolina Scallet Halter pela boa convivência, pelos momentos inesquecíveis que vivemos juntas, pelos cafés da tarde e de conversa fiada, pelos deliciosos almoços e quitutes que juntas fazíamos e comíamos... Pelos desabafos e conselhos mútuos...

A Karolina Scallet Halter, em especial, por ter se tornado a irmã que eu não tive, obrigada.

Ao amigo Eduardo de Mio pela força e o bom humor característico.

Ao meu querido sogro Benedito Corrêa da Silva pelo incentivo e torcida.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Setor Agricultura e Melhoramento Vegetal, Dorival Pires de Arruda, Ilanir Rosane Rosa Bocetto, Valéria Cristina R. Giandoni, Vera Lúcia Rossi e a todos os outros com os quais convivi.

A Hayra Beirigo Reis, nesta época estudante de graduação e estagiária, pela ajuda nas análises laboratoriais, que desempenhou com muita competência e responsabilidade.

Ao Prof. Dr. Chang Hung Kiang, por ter disponibilizado a realização das análises de difratometria de Raios X.

Ao Dr. Márcio Roberto Soares pelo auxílio com as isotermas.

A todos os colegas durante o curso de pós-graduação, e a todos as pessoas que direta ou indiretamente participaram de minha vida nesta fase.

SUMARIO

	Página
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
5.1. Método da água quente modificado ou BaCl ₂ a quente (Padrão IAC).....	20
5.2 Boro solúvel em solução de CaCl ₂ a quente.....	20
5.3 Método da água quente tradicional.....	21
5.4 Determinação da adsorção de boro.....	21
5.5 Lixiviação de boro no solo.....	22
5.6 Análises estatísticas.....	23
5.7 Caracterização do solo.....	23
5.7.1 Mineralogia da fração argila.....	23
5.7.2 Difractometria de Raios-X e Caracterização geológica.....	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1 Análises químicas e dados de produtividade.....	31
6.2 Métodos de extração de boro no solo.....	33
6.3 Adsorção de boro no solo.....	42
6.4 Lixiviação de boro no solo.....	51
7. CONCLUSÕES.....	55
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. RESUMO

Em algumas condições não se têm obtido correlações entre os teores de B do solo, extraído com água quente, o teor de boro na planta e a produtividade da soja no Estado do Mato Grosso, mais precisamente na região de Campo Novo do Parecis. Sabe-se que o boro é um nutriente fortemente adsorvido nas partículas minerais do solo. Objetivou-se com este trabalho submeter amostras de solo de uma determinada área de estudo, na qual foi cultivada soja por três anos consecutivos e posteriormente cultivado algodão, a diferentes métodos de extração de boro, a fim de se estabelecer correlações entre a dose de boro na planta, a dose de nutriente aplicada e o teor de boro no solo disponível às plantas e, ainda, com a produtividade da soja. Amostras de solo, cultivadas com soja, coletadas por ocasião da condução do experimento no campo, foram analisadas quanto à concentração de B extraída pelos métodos: água quente modificado com solução de BaCl_2 $1,25 \text{ g L}^{-1}$ (recomendado e chamado de método da água quente pelo IAC); água quente modificado com solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, a quente e água quente tradicional (o qual é preconizado por muitos autores como o método oficial) para dessa forma, tentar quantificar a real disponibilidade de boro neste solo, caracterizado como um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (LVA), possibilitando a determinação de um nível crítico. Ainda, durante o período de condução do trabalho, foi feito um estudo de adsorção de B nas amostras, e um

estudo do comportamento da lixiviação do nutriente em colunas de solo, procurando verificar o efeito das adubações na dinâmica do nutriente. Em relação aos métodos de extração de boro no solo, o CaCl_2 foi o que apresentou correlação positiva e significativa com o boro presente no tecido vegetal nos três anos agrícolas. Os métodos do BaCl_2 e da água quente tradicional também apresentaram correlações positivas e significativas em dois anos agrícolas cada, resultados esperados em função da semelhança entre os três métodos, o que prova haver um método capaz de prever a disponibilidade de boro no solo do Mato Grosso/MT aqui estudado. A adsorção de boro nos solos foi crescente de acordo com o aumento da calagem e da concentração de boro adicionado no primeiro ano agrícola; no segundo ano agrícola o efeito foi semelhante, porém menos pronunciado no maior nível de calagem, no terceiro ano agrícola o comportamento esperado ocorreu como no primeiro ano agrícola, porém este comportamento, como no segundo ano agrícola, foi menos pronunciado na maior dose, o que pode ter sido devido à reação do calcário com o solo e à grande quantidade de água de percolação, no decorrer dos três anos. A lixiviação mostrou que mesmo quando não foi adicionado boro ao solo durante o ensaio, na forma de adubação, independente da calagem, certa quantidade de boro presente na amostra, originalmente ou mesmo como residual de adições anteriores, foi lavada pela água que passou pelos poros do solo. Nos tratamentos que haviam recebido boro durante a condução do experimento no campo, a quantidade de boro presente na solução de percolação foi bem maior em relação ao tratamento B 0, no qual as quantidades lixiviadas foram mínimas. Quando se adicionou boro às colunas de solo numa adubação referente a 5 kg ha^{-1} , na forma de ácido bórico, pode-se perceber que as quantidades de boro lixiviadas foram dezenas de vezes maiores em relação ao tratamento sem adição de boro. Ainda, vale ressaltar que um valor próximo de $6,1 \text{ } \mu\text{g ml}^{-1}$ mostra-se como um limite de valor máximo de boro lixiviado para a adubação praticada no ensaio. As quantidades lixiviadas foram consideradas surpreendentemente altas.

EVALUATION OF THE AVAILABILITY OF BORON IN A LATOSSOL FROM MATO GROSSO/MT, BRAZIL. Botucatu, 2005. 60p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: THAÍS BÍSCARO

Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

2. SUMMARY

In some conditions, doesn't have obtained correlations among boron content in soil, boron extracted by hot water, boron content in plants and soybean productivity in a region (Campo Novo do Parecis) of the state of Mato Grosso/Brazil. This work was carried out to submit soil samples from determined area of study where was tillage soybean for three subsequent years and after tillage cotton, to different extraction methods by boron with the aim to establish correlations among, amount of boron content in plants, amount of nutrient putted in soil, boron content in soil disponible to plants and the productivity. Soil samples obtained during the conduction of experiment on field were analyzed to predict the amount of boron in soil by the methods: hot water modified with BaCl_2 solution (recommended and called by hot water from IAC - Instituto Agronômico de Campinas/SP-Brazil), hot water modified CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ solution and hot water traditional (which is preconized by many authors like the official method) to this way try to quantify the real situation of boron disponibility in this soil, characterized like a Yellow Red Latossol, to take the determination of a critical level. During the conduction period of this work was made an adsorption study in the samples, and still a study of boron leaching behavior in soil columns, to verify fertilizer effect in nutrient dynamic. The extraction method with CaCl_2 presented positive and significative correlation with boron present in soybean leaves on three subsequent farm work years. BaCl_2 method and hot water traditional also presented positives and significatives correlations each one in two farm work years, this results were expected in

function of similarity among three methods, it's an evidence that there is a method with capacity to predict boron disponibility in soils of Mato Grosso. Boron adsorption in soils was increasing with the liming increase and boron concentration additioned on first farm work year, in the second the effect was similar although less pronounced in higher liming when addicted the higher boron amounts, in third the expected behavior happens like the first farm work year however like in the second farm work year the effect was lower in major amount of boron putted in soil, it could be due to the liming effected falling during the three years and to the great amounts of percolation's water. Leaching shows that even when no boron was addicted during the test in form of fertilizer, irrespective of liming, a small content of boron originally present or even like waste from previous addiction, was washed by water that passed by soil pores. In treatments that already had received boron previously during the experiment leaded on field, the boron amount was higher in relation to treatment Boron 0 which leached amounts were minimal. When boron was addicted to soil columns in a proportion of 5 kg ha^{-1} in acid boric form could be perceived that amounts of leached boron were dozens of times higher than without addition treatment. A value around $6,1 \text{ } \mu\text{g ml}^{-1}$ seems be a maximum boron value limit that could be leached by the fertilizer used in the test. The leaching ratio was considered high and it wasn't expected by this way.

Keywords: boron, hot water extraction in microwave, hot extraction CaCl_2 , traditional hot water, boron adsorption, boron leaching.

3. INTRODUÇÃO

Com a expansão de fronteiras agrícolas surge um sério problema em relação à quantificação de micronutrientes no solo. A heterogeneidade existente entre os diferentes tipos de solo, assim como o uso constante, muitas vezes sem o devido acompanhamento do nível de desgaste quanto aos micronutrientes, vem promovendo um aumento no aparecimento de áreas problemas, com muitas culturas mostrando sintomas visuais de deficiências. Por outro lado, tem-se, na maioria dos casos, uma “fome oculta”, que determina produções menores do que aquelas esperadas. Sem dúvida nenhuma, o boro está entre os micronutrientes cujo número de casos de deficiências vem crescendo a cada dia (CRUZ e FERREIRA, 1984).

O boro é um elemento essencial para a nutrição de plantas participando de diversos processos fisiológicos, seja como ativador enzimático ou, ainda, na participação de alguns processos tais como absorção iônica, transporte de carboidratos, síntese de lignina, celulose, ácidos nucleicos e proteínas, podendo ainda ter papel anatômico. Atua também na atividade dos tecidos meristemáticos, no desenvolvimento da parede celular, na divisão celular (MALAVOLTA, 1974) e no desenvolvimento dos frutos e translocação de açúcares (ANDRADE *et al.*, 1988). Confere-se a ele importante papel em relação aos atributos de formação e qualidade dos produtos agrícolas, tais como germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, pegamento de flores, esterilidade masculina e chochamento de

grãos, sendo também importante para o aumento da colheita e para a produção de sementes (MALAVOLTA, 1989).

A deficiência de boro, em diversas plantas cultivadas no Brasil, tem provocado grandes perdas de produtividade. A recomendação de seu uso na adubação, entretanto, não pode ser indiscriminada, uma vez que esse micronutriente pode tornar-se tóxico, se aplicado em excesso. Por isso, a disponibilidade no solo precisa ser conhecida para se fazer uma recomendação correta. Deficiências não detectadas dos micronutrientes podem limitar severamente a produção de alimentos em muitas áreas do mundo, sendo o diagnóstico e a correção de sua deficiência fundamentais para o aumento da produção agrícola nos países em desenvolvimento (LONERAGAN, 1997). A faixa de concentração entre a deficiência e a toxicidade de boro é a menor quando comparada à de outros nutrientes. As plantas respondem diretamente à atividade de boro na solução do solo e apenas indiretamente ao boro adsorvido aos constituintes do solo (GOLDBERG, 1997). Como fatores que afetam a disponibilidade do boro no solo, são citados pH, textura do solo, umidade, matéria orgânica e mineralogia da fração argila (DANTAS, 1991; GOLDBERG, 1997). Tanaka (1967) mostrou que a absorção de boro pelas raízes não é afetada pela temperatura, no entanto, a temperatura do solo foi incluída nesses fatores por Goldberg (1997).

Assim como em análises de solo realizadas em áreas comerciais, em experimento de calibração de boro no solo e nas folhas conduzido em quatro anos de pesquisa do PMA (Programa de Monitoramento de Adubação) realizadas pela Fundação MT com o boro em solo argiloso, no município de Campo Novo do Parecis /MT, não foi possível detectar diferenças nos teores de boro no solo nos tratamentos com a aplicação de 0 a 10 kg ha⁻¹ de B. Observou-se que, independente das quantidades de boro aplicadas ao solo, com incorporação, os teores no solo eram os mesmos, enquanto que os resultados das análises foliares demonstraram aumento dos teores de boro nas folhas com o aumento das quantidades aplicadas ao solo. É importante ressaltar que, o boro é fortemente adsorvido nas partículas minerais do solo, ou ainda pode ser lixiviado. No entanto, o que pode ser inferido é que a metodologia utilizada nos laboratórios de Mato Grosso para a determinação do boro, método da água quente, não está sendo uma ferramenta adequada para avaliar a disponibilidade de boro às plantas (FUNDAÇÃO MT, 2002).

Mediante essa situação, o presente trabalho teve por objetivo principal testar outros métodos de extração de boro no solo, como a extração pelo método da água quente modificado (em forno de microondas) com solução de BaCl_2 $1,25 \text{ g L}^{-1}$ e extração pelo método da água quente modificado com solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, a fim de comparar com os resultados obtidos com o método da água quente tradicional, o qual é indicado por muitos autores como padrão e, dessa forma, tentar quantificar a real situação de disponibilidade de boro neste solo, possibilitando a determinação de um nível crítico. Ainda foram conduzidos um ensaio de adsorção de boro no solo e um ensaio de lixiviação do elemento no perfil em colunas de solo, com a finalidade de complementar o estudo do comportamento do boro no solo estudado.

4. REVISÃO DE LITERATURA

O micronutriente boro apresenta dificuldades de determinação, o que limita o estabelecimento de uma metodologia de análise de rotina.

Na determinação do B disponível no solo a escolha de um bom extrator, de uma boa relação solo:extrator e do tempo adequado de extração, é fundamental na determinação da disponibilidade de nutrientes no solo. Na determinação de B, a qualidade da vidraria (que deve ser isenta de borossilicatos), dos reagentes (que muitas vezes não atendem os padrões requeridos) e da água, pode interferir na extração e na dosagem, e comprometer os resultados da análise. Extratores como água quente, soluções de sais, soluções de ácidos, de agentes complexantes e combinações de reagentes têm sido utilizados para a avaliação dos teores de boro no solo (FONTES *et al.*, 2001).

O método de extração de boro com água quente (BERGER e TRUOG, 1939) é padrão de referência obrigatório quando se quer avaliar outros métodos de extração para boro (RAIJ e BATAGLIA, 1991) e consiste em se fazer a extração com água fervente (solo e água na relação 1:2), usando um sistema de refluxo, com filtragem imediata. Trabalhos no Brasil e no exterior apontam o método de extração com água quente (BERGER e TRUOG, 1939) como superior aos que utilizam soluções salinas, ácidos fortes diluídos e soluções complexantes para a extração do boro disponível no solo (COX e KAMPRATH, 1972; BARTZ e MAGALHÃES, 1975; RIBEIRO e TUCUNANGO SARABIA, 1984; CRUZ

e FERREIRA, 1984; VANDERLEI *et al.*, 1988; BATAGLIA e RAIJ, 1990 e SILVA e FERREIRA, 1999), embora não haja informações que possam ser generalizadas para maior número de solos. No entanto a morosidade do método, as dificuldades operacionais da extração e a possibilidade de perda de H_3BO_3 na forma de vapor são alguns dos problemas associados ao método que dificultam sua utilização em análise de rotina (FONTES *et al.*, 2001). Ainda é rotulado como trabalhoso por oferecer dificuldade no controle preciso de temperatura nos procedimentos de aquecimento e resfriamento da suspensão solo-extrator. É restritivo em relação ao número de amostras utilizadas por série, requer grande trabalho para limpeza do aparato de refluxo e liberação de espaço para a execução de novas análises, e, ainda, é oneroso devido à exigência de vidraria isenta de borossilicatos. Nos solos ácidos, a extração com água quente deixa a desejar quanto à determinação do B disponível para as plantas, do ponto de vista da definição conceitual de B disponível (OFFIAH e AXLEY, 1993).

As extrações de B do solo com soluções de $BaCl_2$ ou $CaCl_2$, em sacos plásticos aquecidos em forno de microondas, têm sido utilizadas com sucesso (ABREU *et al.*, 1994; FERREIRA, *et al.*, 2001). Ferreira *et al.* (2001) confirmaram a necessidade de adição de carvão ativado para essa extração como recomendado por Gupta (1979). O $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ flocula os colóides formados durante o aquecimento (WEAR, 1965). A extração de B com solução contendo $1,25 \text{ g L}^{-1}$ de $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ foi testada e recomendada para rotina de determinação de B disponível em solos (ABREU *et al.*, 1994). Dible *et al.* (1954) propuseram uma simplificação no método da água quente, que costuma ser o mais utilizado para a extração do boro solúvel. Este método emprega a ebulição da suspensão solo-água em erlenmeyer por 5 minutos sob condensador de refluxo. O período de fervura é um dos aspectos importantes a ser considerado nesse método. Berger e Truog (1944), Gupta (1967) e Odom (1980) verificaram que com um aumento desse período de 05 para 10 minutos, tem-se maior quantidade extraída. Esse fato constitui problema à medida que leva a uma baixa reprodutibilidade dos resultados; para solucioná-lo, Odom (1980) sugeriu que se aqueça a suspensão até a ebulição em tempo tão curto quanto possível, ou que se faça a calibração da análise de solo para um tempo maior de fervura, o qual, no caso estudado pelo autor, foi de 10 minutos. Os resultados obtidos pela extração com água quente que se encontram disponíveis são bastante contraditórios. Berger e Truog (1940) obtiveram boa relação entre o boro extraído pela água quente e a quantidade de boro presente nas folhas de beterraba; Robertson *et al.* (1975) obtiveram valor para r igual a

0,87 (significativo a 1% de probabilidade) entre boro no solo e na planta. Por outro lado, Page e Paden (1954) não observaram correlação entre a produção de matéria seca pelo girassol e quantidade de boro extraída; no entanto, como os demais micronutrientes não foram fornecidos, esse resultado pode ser devido à deficiência, ou toxidez, de outro nutriente. Martens (1968) e Parker e Gardner (1982) observaram ausência de correlação entre boro extraído pelo método e o extraído pela planta ou produção, e, ainda, Martens *opt cit*, acredita que as formas de boro extraídas pela água quente não correspondem às disponíveis à planta. Algumas propostas de modificação no método descrito em Dible *et al.* (1954) têm sido sugeridas nos últimos anos. Ferreira e Cruz (1984) com o objetivo de eliminar a ebulição sob condensador de refluxo, propuseram o emprego de agitação da suspensão solo-água por 05 minutos em banho-maria, a aproximadamente 70° C. Os autores obtiveram correlação significativa entre o método convencional e a técnica modificada ($r = 0,751$ significativo a 5% de probabilidade) e entre o boro extraído pelas plantas e através do método modificado ($r = 0,846$, significativo a 5% de probabilidade).

Além da água em ebulição, o boro disponível dos solos pode ser extraído através de soluções ácidas e salinas. Catani *et al.* (1970) estudaram a extração com água quente empregando as relações de solo:água de 1:2, 1:4 e 1:8 e, ainda, o comportamento do ácido sulfúrico 0,05 N e do ácido acético 0,05 N. Os autores observaram que, no caso da água quente, o emprego de maior volume de água promoveu aumento na quantidade extraída. Quanto aos extratores ácidos, ficou constatado que o ácido acético extrai mais boro que o ácido sulfúrico, detectando-se para os mesmos solos, quantidades nos intervalos de 0,49 a 1,90 ppm e 0,27 e a 0,86 ppm, respectivamente. No entanto, não foram feitas correlações entre o boro extraído do solo e a produção de matéria seca ou extração de boro por plantas.

Soluções ácidas como ácido clorídrico, ácido acético (LI e GUPTA, 1991), ácido sulfúrico (BARTZ e MAGALHÃES, 1975), solução de Mehlich-1 ($H_2SO_4 + HCl$) na relação solo-extrator 1:10 (RIBEIRO e TUCUNANGO SARABIA, 1984) também são usadas como extratores para a determinação de boro em solos. Independente do método de extração, a presença de ferro nos extratos representa possibilidade de interferência quando se faz a dosagem do boro com azometina-H. Em solos de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, foi observada forte interferência do ferro na extração com HCl 0,05 mol L^{-1} , vindo a seguir a extração com Mehlich-1 e por último a extração com HCl 0,1 mol L^{-1} (FERREIRA, 1998).

Para os solos estudados, não houve correlação entre os teores de boro extraídos por soluções ácidas e os extraídos por água quente. A adição do ácido tioglicólico aos extratos para a eliminação da interferência do ferro (ZARCINAS, 1995) resultou em dificuldades na estabilização da cor do extrato para a dosagem com azometina-H (FERREIRA, 1998). O uso do ácido tioglicólico para eliminar a interferência com ferro em extrações com soluções ácidas, quando a dosagem é feita por azometina-H, é essencial, principalmente em solos pobres em boro (ZARCINAS, 1995). Para alguns solos de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, a dosagem pela extração tradicional com HCl mostrou-se preferível à extração com adição de ácido tioglicólico (FERREIRA, 1998). Para solos do Canadá (Prince Edward Islands), Li e Gupta (1991) concluíram que o HCl 0,05 mol L⁻¹ foi superior à água quente, sendo recomendado para estimar o boro disponível para as plantas nos solos ácidos daquela região.

A análise de boro em solos ácidos é claramente afetada por fatores como pH, textura, matéria orgânica e mineralogia, e quanto mais esses fatores variarem de solo para solo, mais a liberação de boro pelo solo refletirá essas variações. Seria importante que os extratores também fossem capazes de refletir essa variabilidade entre os solos (OFFIAH e AXLEY, 1993). Cox e Kamprath (1972) minimizaram a importância do fator capacidade para o boro, considerando que a planta só responde ao boro da solução do solo, e recomendam que se considere o pH e a textura do solo na obtenção de níveis críticos quando da extração com água quente. O extrator Mehlich-1 não consegue discriminar o efeito da calagem na variação do boro disponível no solo, ao contrário do que ocorre com a extração com água quente (BATAGLIA e RAIJ, 1990).

Segundo Fontes *et al.* (2001) a determinação do B disponível, fazendo-se a extração com água quente seguida da dosagem de boro com azometina-H, pode apresentar problemas pela ocorrência de turbidez nos extratos que pode ocorrer devido à presença de material coloidal e que pode interferir na dosagem. Tal fato pode ser contornado com a adição, aos extratos, de reagentes, como o CaCl₂, para flocular as partículas coloidais, as quais serão facilmente removidas por filtração. Na dosagem por ICP-AES, a adição de BaCl₂ é importante para impedir o entupimento dos capilares de sucção do aparelho devido às partículas coloidais. Além disso, colorações nos extratos devido à presença de componentes orgânicos também podem interferir na dosagem. A adição de carvão ativado para descolorir os extratos é usada

para contornar esse problema. Entretanto, essa adição deve ser cuidadosa devido à possibilidade de se colocar excesso de carvão ativado, o que poderia causar perda de boro em solução, com conseqüente diminuição na eficiência de determinação.

O método de determinação colorimétrica de B com azometina-H é baseado na formação de um complexo colorido com o ácido bórico em pH 5,1; a densidade ótica do extrato no comprimento de onda 420 nm (absorção máxima) é linear na faixa entre 0,5 e 10 mg L⁻¹ de B (SAH e BROWN, 1997). Também podem ser usados curcumina (complexo marrom-avermelhado, absorção máxima em 545 nm e pH 1,0) e carmin (complexo com ácido bórico em ácido sulfúrico concentrado, absorção máxima em 585 nm, linear na faixa 0,5 a 10 mg L⁻¹ de B). Entretanto, os reagentes químicos requeridos para a determinação de boro com os métodos da curcumina e do carmin são perigosos, o que limita seu uso (SAH e BROWN, 1997).

Em solos de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, foi verificado que a fervura na extração com água quente, sem carvão ativado, foi suficiente para dispersar a argila e, mesmo tendo sido feita filtração em duplo papel (filtração lenta), foram detectadas interferências significativas na dosagem de boro com azometina-H (FERREIRA, 1998). Na extração com soluções de CaCl₂ e BaCl₂, em ausência de carvão ativado, também foram verificadas interferências com azometina-H. Nas duas extrações, quando se colocou o carvão ativado, essas interferências foram suprimidas. Nas extrações com soluções salinas, sem carvão ativado, o autor sugere que a interferência das argilas ocorreu porque a sua baixa atividade dificultou a ação floculante dos íons em solução. Problemas de interferência originadas do método de extração são comuns quando se faz dosagem do boro por espectrofotometria baseada em reações para desenvolvimento de cor nos extratos. No método de dosagem por espectroscopia de emissão atômica acoplada em plasma induzido (ICP-AES), a matéria orgânica presente no extrato não representa problema. Entretanto, o material coloidal pode causar entupimento nos capilares de sucção do aparelho. A extração com BaCl₂.2H₂O 5 mmol L⁻¹, na ausência de carvão ativado, permitiu bons resultados na dosagem de boro por ICP-AES (ABREU *et al.*, 1994).

Em qualquer circunstância, sempre que se adiciona boro ao solo, parte da quantidade aplicada permanece na solução e uma outra fração é adsorvida à fase sólida. Como as plantas só absorvem o boro dissolvido na solução do solo, a capacidade do solo em

adsorver esse nutriente adquire importância significativa tanto para a correção da deficiência quanto para a prevenção dos casos de toxidez. Na ciência do solo, é chamada de adsorção a diferença da concentração de íons entre a camada dos colóides do solo e a dupla camada difusa. Catani *et al.* (1971) *apud* Cruz *et al.* (1987) admitiam que o boro dissolvido na solução do solo estava na forma de ácido bórico e definiram a quantidade desse ácido extraída com água quente como boro solúvel ou disponível. A fração do boro que permaneceu presa à fase sólida designaram de boro fixado, retido ou adsorvido.

Cinco mecanismos têm sido propostos para explicar a adsorção de boro: adsorção de íon borato; adsorção de ácido bórico; formação de complexos orgânicos; precipitação de boratos insolúveis com alumina e sílica e entrada do boro nas grades cristalinas dos minerais de argila (HATCHER *et al.*, 1967 *apud* CRUZ *et al.* 1987).

A quantidade de B que um solo pode adsorver depende de vários fatores, tais como: concentração da solução em equilíbrio, textura do solo, tempo de contato do solo com a solução, pH do sistema solo-solução, teor de matéria orgânica e composição mineralógica do solo, entre outros (ELRASHIDI e O'CONNOR, 1982; YERMIYAHU *et al.*, 1995, *apud* AZEVEDO *et al.*, 2001).

Quanto menor o teor de boro no solo, mais significativo é o efeito da calagem no aumento da adsorção do elemento (GUPTA e McLEOD, 1977 *apud* ALLEONI, 1996). No Brasil, aumentos de pH de 4,2 a 5,6, devido a aplicações de doses crescentes de calcário a um Latossolo Vermelho Escuro, textura média, causaram aumento significativo na quantidade de boro adsorvido (CRUZ *et al.*, 1987).

Um aspecto importante a se considerar em estudos de adsorção é a grande afinidade existente entre o boro e os hidróxidos de ferro e de alumínio. Para um grupo de solos ácidos, em que se elevou o pH (em água) de $\pm 5,5$ a $\pm 7,7$, foi verificado aumento na quantidade de boro adsorvido, e esse aumento foi altamente correlacionado à quantidade de alumínio trocável que precipitou como Al(OH)_3 em virtude da adição de CaCO_3 ($r = 0.98$). Esse efeito, no entanto, foi mais marcante para o Al(OH)_3 recém-precipitado, ocorrendo, com o passar do tempo, menor adsorção. Hatcher *et al.*, 1967, *apud* Cruz 1987, concluíram que os hidróxidos de alumínio são os maiores causadores da retenção de boro pelo solo. A mesma conclusão também foi obtida por Sims e Bingham, 1968a, em estudos de interação entre boro

e os hidróxidos de Fe e Al, tendo em ambos os casos ampla dependência do pH. A máxima fixação de B para o hidróxido de ferro ocorreu a pH 8,5, já para o hidróxido de alumínio a pH 7,0. O aumento na retenção de boro com a elevação do pH foi atribuído a um aumento na quantidade de íons borato. A diminuição da retenção a valores de pH acima de 8,0 ou 9,0 foi explicada pela provável competição entre íons borato e hidroxilas por sítios de troca, por uma mudança de carga dos hidróxidos que passam a repelir os ânions borato e pela dissolução do material adsorvente. Ao comparar a capacidade de adsorção de boro por caulinita revestida, ou não, com ferro, Sims e Bingham, 1968b, verificaram menor retenção na argila sem o revestimento. Esse resultado, conforme os autores, indicou que a caulinita contém componentes que apresentam maior afinidade pelo boro do que o ferro, como no caso do hidróxido de alumínio.

A concentração do boro em solução afeta a adsorção, esperando-se que o aumento da mesma provoque uma intensificação no citado fenômeno. A quantidade adsorvida, também aumenta com a elevação do pH, embora os mecanismos que comandam o processo ainda permaneçam obscuros. Catani et al., 1971 *apud* Cruz 1987, confirmaram esses fatos e verificaram que a adsorção de boro aumentou até pH 7,5 a 8,5, a partir do qual decresceu. Os autores argumentaram que o ácido bórico é um ácido muito fraco apresentando $pK = 9,23$ e assim, a concentração do ânion $H_2BO_3^{-2}$ é muito baixa e depende do pH. Aumentando o pH, até certo ponto, a percentagem de ionização aumenta e, conseqüentemente, ocorre maior adsorção.

Kluge e Beer, 1979 *apud* Cruz 1987, verificaram que a baixas concentrações de boro a adsorção foi independente do pH na faixa de variação 4,0 a 6,5. No entanto, acima de pH 6,5 a 7,0 a adsorção de boro aumentou com a elevação do mesmo, com adsorção máxima ocorrendo entre pH 8,0 a 9,0 e sendo de 3 a 5 vezes maior do que sob condições fracamente ácidas.

Em Latossolos das ilhas do Hawaí, Okasaki e Chao (1968) notaram aumento na fixação de boro com a elevação do pH de 4,0 a 9,0 e, nos casos onde a correção havia sido feita com hidróxido de cálcio, foi verificada maior retenção do que nos tratamentos em que a mesma foi efetuada com hidróxido de sódio.

Para solos brasileiros, ricos em caulinita e sesquióxidos de ferro e de alumínio, a adsorção de boro deve se constituir em fenômeno de significativa importância.

Diante desse fato, Cruz *et al.*, 1987, estudou o efeito do pH dentro da faixa de variação mais comum para os solos brasileiros (4,0 a 6,0) e da quantidade de nutriente aplicada, sobre a quantidade de boro adsorvido e concluiu que a retenção do boro pelo solo é afetada pela quantidade deste elemento quando lhe é adicionado, sendo sempre maior quanto maior for a dose utilizada (de acordo com os resultados encontrados por CATANI *et al.*, 1971), e que o pH do solo, embora não tenha propiciado resultados consistentes, tende a provocar, com sua elevação, um aumento na quantidade de boro adsorvido. De qualquer modo, de acordo com os resultados obtidos, deve-se esperar que a correção dos solos a pH (em água) 6,0, como é recomendada para um grande número de culturas, aumente a adsorção ou fixação do boro adicionado. Todavia este fato não significa necessariamente redução na disponibilidade de B para as plantas, uma vez sabido que a matéria orgânica é fonte deste nutriente, e em muitos casos, a calagem estimula a sua mineralização.

A complexidade das reações de adsorção e os dados conflitantes existentes na literatura contribuem para que os mecanismos da adsorção não sejam entendidos totalmente. A quantidade de um elemento adsorvido em razão da concentração remanescente na solução de equilíbrio, freqüentemente, pode ser representada por uma isoterma de adsorção (McBRIDE, 1994 *apud* AZEVEDO *et al.*, 2001). Dentre os modelos de isotermas mais utilizados para descrever a adsorção de ânions no solo estão os de Langmuir e Freundlich. Embora as equações das isotermas de adsorção sejam, freqüentemente, utilizadas na descrição da adsorção de boro, elas são simplesmente relações matemáticas utilizadas para descrever dados e não fornecem informações sobre os mecanismos das reações envolvidas. As equações de Langmuir e Freundlich adequaram-se à adsorção de boro para caulinita e montmorilonita, sendo melhor o ajuste do modelo de Freundlich (SINGH, 1971).

A equação de Langmuir, determinada em condições de equilíbrio térmico, foi inicialmente descrita com relação à adsorção de gases por superfícies sólidas e homogêneas. A isoterma de Langmuir supõe que a adsorção de íons, em todos os sítios da superfície, possui a mesma atividade, e se torna máxima quando uma camada monomolecular do adsorvato cobre toda a superfície do adsorvente. Stumm (1992), *apud* Azevedo (2001), no entanto, afirma que a capacidade máxima de adsorção de um íon, ajustada pela isoterma de Langmuir, não constitui evidência de que a adsorção desse íon seja um mecanismo real que computa a perda do mesmo na solução, já que, freqüentemente a adsorção de um íon por uma

superfície é seguida por interações adicionais entre outros íons na camada de adsorção. A forma mais comum da equação de Langmuir é:

$$\frac{x}{m} = \frac{KCb}{1 + KC}$$

Onde: C é a concentração de equilíbrio do adsorvato, x/m é a massa de adsorvato por unidade de massa do adsorvente, K é a constante relacionada à energia de ligação adsorvato-adsorvente, e b é a quantidade máxima de adsorvato que pode ser adsorvido, isto é, após a formação de uma camada monomolecular completa. A equação é freqüentemente rearranjada para a forma linear a fim de se verificar se os dados se ajustam ao modelo de Langmuir.

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b}$$

Se os resultados de adsorção seguirem o modelo de Langmuir, um gráfico de C/ x/m versus C produz uma reta com uma inclinação igual a 1/b e intercepto 1/Kb. A constante de Langmuir é obtida dividindo-se a inclinação (1/b) pelo intercepto (1/Kb). Uma limitação da isoterma de Langmuir é a impossibilidade de descrever o comportamento da adsorção em concentrações muito altas de boro e em condições de pH bastante variáveis.

Outra equação utilizada para descrever fenômenos de adsorção é a de Freundlich. Desenvolvida sem base teórica, aplica-se muito bem para sólidos com propriedade de superfícies heterogêneas e, geralmente, para superfícies sólidas heterogêneas (STUMM (1992) *apud* AZEVEDO, 2001). Para dados de adsorção para soluções muito diluídas podem ser assim representadas:

$$x/m = K C^b$$

onde K e b são constantes empíricas, e outros termos são os mesmos da equação de Langmuir. Sugere que a energia de adsorção decresce logarithmicamente, à medida que a superfície vai se tornando coberta pelo adsorvato, o que a diferencia da equação de Langmuir. O modelo de Freundlich pode ser derivado teoricamente ao se considerar que o decréscimo na energia de adsorção com o aumento da superfície coberta pelo adsorvato é devido à heterogeneidade da superfície. Como o grau de heterogeneidade é desconhecido para

muitos casos, tanto a equação de Freundlich como a de Langmuir são mais bem tratadas como descrições empíricas do processo real de adsorção. A forma linear da equação de Freundlich é:

$$\log \frac{x}{m} = b \log C + \log K$$

A equação de Freundlich tem a limitação de não prever a adsorção máxima do adsorvato, mas geralmente apresenta bom ajuste dos dados de adsorção devido à pouca sensibilidade dos gráficos log-log e pela grande flexibilidade ao ajuste das constantes K e b. Estas constantes apesar de empíricas, correlacionam-se, respectivamente, com a capacidade e com a intensidade de adsorção do adsorvato.

A adsorção de B pelos solos tem um significado agrônômico considerável, tanto na prevenção da toxidez, quanto na correção de sua deficiência no solo (HATCHER *et al.*, 1967, *apud* AZEVEDO, 2001). Trabalhos envolvendo as isotermas de Langmuir e Freundlich procuram esclarecer o comportamento do B com relação aos mecanismos de interação com as partículas do solo e sua adsorção, levando à quantificação dos fatores que influenciam sua biodisponibilidade (GU e LOWE, 1990; GOLDBERG e FOSTER, 1993; PERKINS, 1994; ALLEONI, 1996; *apud* AZEVEDO, 2001.)

Solos de textura grossa que são pobres em matéria orgânica tendem a apresentar baixa disponibilidade de boro. Isto é especialmente pronunciado em áreas muito chuvosas onde o boro pode estar sendo lixiviado perfil abaixo (MORTVEDT, *et al.*, 1972).

A maior parte do boro disponível no solo está presa à fração orgânica, e desta forma está retido com grande força. Assim que a matéria orgânica é decomposta o boro é liberado, parte é absorvido pelas plantas, e parte é perdido por lixiviação. Parte do boro é retido pelas argilas e as perdas, geralmente são menores em regiões úmidas nos solos de textura fina, em relação a solos de textura mais grosseira. Solos arenosos com subsolos de textura fina geralmente não respondem tanto a adição de boro como naqueles arenosos com subsolo de textura mais grosseira. Estudos de lixiviação tem mostrado que o boro adicionado ao solo permanece solúvel e pode se mover horizonte abaixo. A remoção do boro adicionado é dependente da quantidade de água adicionada e da textura do solo. Os solos de texturas mais finas tendem a reter o boro adicionado por períodos mais longos que os solos de textura mais grosseira. Em solos com excesso de calagem grandes quantidades de cálcio são adsorvidas em relação ao boro. Vale ressaltar que resultados de estudos de lixiviação têm mostrado que há

menor remoção de boro em águas de percolação de solos com calagem em relação a solos sem calagem. A deficiência de boro em muitas culturas é acelerada em solos sobre condições de extrema seca. Este comportamento, entretanto, observado várias vezes tanto em condições de campo quanto em casa de vegetação, não é completamente entendido, mas isto pode muito bem ser relacionado à taxa de decomposição da matéria orgânica. Isto também pode ser devido à taxa de proliferação das raízes nos solos ser diminuída sob condições extremas de seca.

Como regra geral, a deficiência de boro é menos predominante em solos que têm altas quantidades de matéria orgânica. Em resumo, a deficiência de boro pode ser resultado de lixiviação excessiva (particularmente em solos arenosos), excesso de calagem e condições climáticas excessivamente secas (TISDALE e NELSON, 1966).

Bingham *et al.*, 1972 *apud* Patil *et al.*, 1997, relata que para remover a mesma quantidade de boro em relação a sais é necessário um volume 3 vezes maior de água para o boro.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras da camada superficial (0-15 cm) de um Latossolo Vermelho Amarelo provenientes de um experimento no qual foi cultivada soja por três anos consecutivos (1998/1999, 1999/2000, 2000/2001) e posteriormente algodão (2001/2002). O experimento foi conduzido em Campo Novo do Parecis MT, dentro do Programa de Monitoramento de Adubação (PMA) realizado pela Fundação MT. O mesmo tinha como objetivo fornecer subsídios para um programa de recomendação de boro para a cultura da soja (FUNDAÇÃO MT, 2002). Foram utilizados tratamentos com doses de boro (0, 1, 3, 5, 7 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente) e de calcário (1,5, 3, 4,5, 6, 7,5 e 9 t ha⁻¹, respectivamente), com quatro repetições. Foi efetuado sistema de plantio convencional, a calagem efetuada no primeiro ano agrícola, a lanço. O boro foi adicionado na forma de ácido bórico, localizado, próximo ao sulco de semeadura nos três anos agrícolas. O volume de chuvas da região estudada é de aproximadamente 2000 mm por ano, e a altitude de cerca de 650 m.

Os resultados de análise química do solo e análise química das folhas da soja foram realizados anteriormente a este trabalho pela Fundação MT por ocasião da condução do experimento.

As análises do teor de B no solo foram realizadas no Laboratório de Relação Solo-Planta do Departamento de Produção Vegetal, Setor de Agricultura e

Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, campus de Botucatu. A análise mineralógica da fração argila foi realizada no Laboratório de Espectrometria de Raio-X do Departamento de Petrologia Mineralógica do Instituto de Geociência e Ciências Exatas, UNESP, campus de Rio Claro.

5.1. MÉTODO DA ÁGUA QUENTE MODIFICADO OU BaCl_2 A QUENTE (PADRÃO UTILIZADO PELO IAC)

Foram tomados 10 cm^3 de solo e estes foram acondicionados em sacos plásticos de $12,5 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}$, em seguida, foram adicionados 20 ml de solução extratora de cloreto de bário, a qual foi preparada dissolvendo-se 1,25 g de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em 1 L de água destilada. Em seguida os saquinhos foram selados a uma altura de mais ou menos 15 cm e um pequeno furo foi feito no canto superior do saquinho com o auxílio de um clipe. Em seguida, foram pendurados por cliques plásticos em um suporte plástico, distribuídos de forma uniforme e em círculo, no sentido do raio. Foram colocados no suporte do forno de microondas, sempre em série, 14 saquinhos, sendo uma prova em branco (que consiste em uma amostra sem solo adicionando 20 ml de solução de cloreto de bário) e uma amostra controle junto a cada 12 amostras de solo, ou seja, cada conjunto colocado no forno microondas continha 12 amostras, uma amostra em branco e uma amostra controle. Foram aquecidos por um período de 4 minutos na potência máxima (700W) e por 5 minutos na potência média máxima (490 W). A temperatura de aquecimento foi determinada de acordo com a potência do forno de microondas utilizado, seguindo a metodologia de Abreu e Abreu, 2001. A suspensão foi deixada em repouso para esfriar por cerca de 30 minutos e filtrada imediatamente utilizando-se papel filtro Whatman 42, filtragem lenta, faixa azul. As amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos e em seguida o boro presente foi determinado por espectroscopia de indução de plasma.

5.2. BORO SOLÚVEL EM SOLUÇÃO DE CaCl_2 A QUENTE:

O processo é idêntico ao descrito acima, porém a solução extratora é modificada, sendo substituído o Cloreto de Bário, no caso, pelo Cloreto de Cálcio. Então 10

cm³ de solo foram colocados em sacos plásticos de 12,5 cm x 26 cm e em seguida adicionados 20 ml solução extratora de cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹. Os sacos foram selados a aproximadamente 15 cm de altura e agitados levemente. Foi feita uma perfuração de mais ou menos 1 cm na extremidade superior na lateral do saco, foram colocados no prato giratório do forno de microondas, pendurados por cliques plásticos em suporte também de plástico. Também foram colocados em série de 14 saquinhos, sendo constituída por 12 amostras, 1 amostra controle e 1 prova em branco. Estes foram aquecidos por um período de 4 minutos na potência máxima (700W) e por 5 minutos na potência média máxima (490 W). Os extratos foram filtrados em camada dupla de papel filtro de filtragem lenta (faixa azul), acondicionados em recipientes plásticos e em seguida o boro presente foi determinado por espectroscopia de indução de plasma.

5.3. MÉTODO DA ÁGUA QUENTE TRADICIONAL

Foram tomadas amostras de 10 cm³ de solo e a estas foram adicionados 20 ml de água desionizada. As amostras foram colocadas em recipientes de teflon cobertos com vidro de relógio de material de constituição do tipo acrílico, em seguida foram levadas à fervura sob refluxo durante cinco minutos. Esta foi realizada em banho de areia, à temperatura de aproximadamente 130 a 140 °C. Depois de frias, foram adicionadas cinco gotas de solução de CaCl₂ a 0,1M e, posteriormente filtradas através de papel filtro Whatman 42 (filtração lenta). O boro presente na solução foi determinado por espectroscopia de indução de plasma.

5.4. DETERMINAÇÃO DA ADSORÇÃO DE BORO

No estudo de adsorção, utilizou-se o método preconizado por Osazaki e Chao (1968), com a modificação das concentrações de boro de 0 a 100 µg ml⁻¹, utilizada por esses autores, para a faixa de 0 a 16 µg ml⁻¹. Essa faixa foi utilizada por Alleoni (1996) em podzólico e latossolos paulista e por Correa *et al.* (1985) em LATOSSOLOS do Paraná e parece ser a mais adequada para representar os teores do elemento em solução de solos brasileiros.

Para a determinação da quantidade de boro adsorvida, o equivalente a 4,0g de solo foram mantidos em agitação lenta, acondicionadas em tubos de polietileno, por 24 horas, acrescidas de 20 ml de uma solução de CaCl_2 a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, contendo diferentes quantidades de boro (0, 1, 2, 4, 8 e $16 \mu\text{g ml}^{-1}$) usando-se ácido bórico como fonte. A agitação lenta é importante para o estudo das reações de adsorção, porque dessa maneira se evita abrasão intensa das partículas do solo, sendo então recomendado o agitador vertical, o qual foi utilizado, com poucas revoluções por minuto (BARROW, 1987). A suspensão em seguida foi centrifugada por quinze minutos a 2000 rpm (SHUMWAY e JHONES, 1972), filtrada, e uma alíquota de 10 ml do sobrenadante removida para que o boro, posteriormente, fosse determinado por indução de plasma. O teor de boro adsorvido no solo foi obtido subtraindo-se o boro em equilíbrio na solução após a centrifugação e filtração do boro adicionado nas diversas concentrações.

5.5. LIXIVIAÇÃO DE B NO SOLO

Um estudo do comportamento do B no solo em relação à percolação através da água de irrigação foi realizado com a finalidade de se conhecer melhor este mecanismo, ou o quanto de B foi lixiviado. O ensaio foi realizado em colunas de PVC de 2 polegadas de diâmetro, com uma amostra composta da quantidade remanescente de solo utilizado nas análises, devido ao fato desta ser pequena. Desta maneira foram misturadas quantidades iguais de solo referentes aos três níveis mais baixos de calagem compondo uma amostra e os três níveis mais altos compondo outra. Ainda foram utilizados apenas três níveis de boro dentre os seis totais do experimento. A quantidade de macroporos foi determinada anteriormente por análise física, pelo método do anel. O ensaio foi constituído de um fatorial $2 \times 3 \times 2$, ou seja, Calagem 1 (composta por amostras de Calagem 1,5, 3 e $4,5 \text{ t ha}^{-1}$) e Calagem 2 (composta por amostras de Calagem 6, 7,5 e 9 t ha^{-1}), as três doses de B sendo a menor (sem B, 0 kg ha^{-1}), uma intermediária (5 kg ha^{-1} de B) e o nível mais alto utilizado no experimento (10 kg ha^{-1} de B), sendo que estas foram subdivididas e uma parcela recebeu uma quantidade de 5 kg de boro por hectare, na forma de ácido bórico, sobre a superfície da coluna (simulando uma adubação boratada) e a outra parcela não recebeu o tratamento. O cálculo da adubação foi

realizado em função da área, e este foi efetuado diluindo-se a quantidade necessária para 5 kg de boro por hectare em 1 ml de água destilada, a solução foi aplicada sobre o solo gota a gota na superfície, não havendo revolvimento do solo desde então. As colunas foram preenchidas com o solo a uma altura de 15 cm. A parcela que deveria ser adubada recebeu o tratamento. Foi decorrido um tempo de reação de pouco mais que duas horas e, então, as colunas foram submetidas à passagens do volume de água correspondente a uma, duas, três e quatro vezes, respectivamente, o volume total de poros. A base da coluna encontrava-se fechada por uma tela anti-ofídica presa com fita adesiva e recoberta por um círculo de papel filtro de filtragem lenta, de maneira que a solução saísse filtrada e límpida. As soluções recolhidas nas bases das colunas após a passagem da água foram coletadas em recipientes plásticos e, posteriormente, analisadas por espectroscopia de indução de plasma.

5.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos para concentrações de B no solo foram correlacionados entre si e com os resultados da diagnose foliar, obtidos por ocasião da condução do experimento no campo. No estudo de adsorção e lixiviação foram efetuadas correlações com o boro adicionado e boro presente na solução de percolação, respectivamente. Para produtividade foi efetuada análise de variância no programa Sisvar separando-se as médias através do teste t (LSD) a 5% de significância. As correlações e regressões, assim como as curvas de resposta ajustadas (quando nos casos julgados adequados para tal) foram obtidas através do programa Origin 6.1.

5.7. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

5.7.1. MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA

O procedimento e preparação da amostra ocorreram da seguinte maneira: foi utilizado o procedimento de ensaio de granulometria (sedimentação) para a separação de grãos menores que 0,075 mm (NOGUEIRA, 1988), segundo norma da ABNT (NBR7181/84). A amostra foi desagregada em almofariz, com auxílio de defloculante

(Hexametáfosfato de sódio 45,7 g/L), em seguida deixada em repouso durante um período 12 horas. Após o intervalo de repouso a amostra foi lavada em malha 400 (ABNT) com 1 litro de água destilada, sendo o produto armazenado em proveta de 1 litro. Durante a fase de armazenamento a amostra sofreu novamente um intervalo de repouso de 12 horas. Uma alíquota do material em suspensão da proveta foi coletada e posta num novo recipiente no qual recebeu adição de gotas de ácido acético o que auxilia na decantação do material que, posteriormente foi utilizado para a confecção da lâmina utilizada na difração de raios X. As análises foram realizadas em equipamento da marca Difrátometro D5000 (Siemens) e os dados coletados foram tratados e interpretados pelo programa EVA (Siemens DIFFRACplus - D5000).

5.7.2. DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X E CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Os argilominerais são normalmente originados pela transformação de outros minerais, ou seja, são resíduos sólidos da dissolução de minerais instáveis em condições superficiais (intemperismo), como feldspatos e plagioclásios. Os fatores que influenciam a transformação destes minerais são o clima, a rocha fonte (mineralogia e granulometria), a topografia do local (influência da velocidade da migração da água) e o tempo de desenvolvimento ou maturidade do solo.

O ensaio de difratometria de Raios-X realizado em uma amostra do solo da região da cidade de Campo Novo do Parecis revelou a existência de dois argilominerais: a Caulinita e a Gibbsita (Figuras 1 e 2). A análise de difratometria de Raios-X foi realizada sobre dois aspectos granulométrico, a fração argila e a fração total do solo. Este último significa que não foram realizados procedimentos de separação granulométrica, utilizando o solo como é encontrado no campo. Os resultados de difração de Raios-X para a amostra total revelaram todos os minerais constituintes do solo em estudo (Figura 1), tendo o quartzo com o pico mais expressivo ($d = 3,335$) ou $3,335 \text{ \AA}$, seguido dos argilominerais gibbsita ($d = 4,851$) ou $4,851 \text{ \AA}$, e caulinita ($d = 7,214$ ou $7,214 \text{ \AA}$, $d = 4,356$ e $4,356 \text{ \AA}$, $d = 3,578$ ou $3,578 \text{ \AA}$). Já os resultados de difração de Raios-X obtidos para a amostra de fração argila revelaram, essencialmente, a presença do argilomineral caulinita ($d = 7,188$ ou $7,188 \text{ \AA}$ e $d = 3,572$ ou $3,572 \text{ \AA}$). É possível observar na Figura 2 que há a existência de diversos picos oriundos de ruídos (linha vermelha) que não representam nenhum argilomineral e que são

facilmente suprimidos através de filtragem FFT (Fast Fourier Transform), resultando numa curva mais limpa (curva cinza) e com picos significativos de argilominerais, no caso a caulinita. Vale ressaltar que, a gibsita é um argilomineral que não foi identificado no ensaio de difração realizado para a fração argila, evidenciando a escassez deste mineral no solo. Contudo não pode ser desprezada a existência do mesmo, ainda mais pelo contexto geológico de laterização em que está inserido.

A caulinita, gibsita e variáveis de argilominerais 2:1 são comumente os principais argilomineais constituintes dos solos subtropical e tropical úmidos (Costa *et al.*, 2003). No contexto geológico da Bacia do Parecis, os depósitos sedimentares siliciclásticos foram a origem dos Latossolos Vermelho Amarelos da região da cidade de Campo Novo do Parecis/MT. Então, partindo desta afirmação, é importante focar nas características do arcabouço e da matriz da rocha que originaram tal solo. A presença de minerais como plagioclásios (sódicos e cálcicos) e feldspatos potássicos podem ter se transformado em argilominerais como caulinita e gibsita através do intemperismo superficial que causa a lixiviação dos cátions (Ca, Na e K), culminando no rearranjo mineral em forma de argilas com alta concentração de aluminossilicatos. Processos de aplainamento também são descritos na área por Rodrigues (2003) associadas à existência de longos períodos de estabilidade tectônica da massa continental. Embora a superfície de aplainamento seja um termo descritivo, ainda apresenta conotação de gênese. Ou seja, tal superfície coincide com os depósitos detrítico-lateríticos no mapa geológico da área (Figura 3).

Os depósitos de lateritas são característicos de topografia bastante aplainada com modificação das características mineralógicas a partir da infiltração da água no terreno, onde nas porções mais superiores do terreno são comuns produtos de oxidação (óxido de ferro, bauxitas, etc). Neste contexto de superfícies de aplainamento, a caulinita é normalmente desenvolvida no horizonte A e B sendo associada a óxidos e argilas interestratificadas, respectivamente. Já a gibsita é um produto intempérico derivado ao processo de laterização e normalmente ocorre no horizonte A ou nas couraças de laterita.

A forte presença do mineral quartzo na análise de difratometria de Raios-X está associada ao arcabouço da rocha fonte e pela sua propriedade intrínseca de mineral estável, ou seja, não se altera sob as condições intempéricas superficiais. Assim, partindo da análise da rocha fonte que deu origem a estes Latossolos, houve um tempo

importante de maturação do solo (intemperização), onde os minerais instáveis foram transformados em argilominerais como caulinita e gibsitita pela lixiviação dos cátions Ca, Na e K restando somente o quartzo como resquício da rocha original. Tais condições associadas a processos de aplainamento do terreno culminaram com a geração das camadas de lateritas, descritas no mapa como detrito-lateríticas (Figura 3). Importante notar que a paisagem da região foi modificada nos últimos dez mil anos (Holoceno) através da instalação de sistemas de drenagem em direção a Bacia Amazônica que, culminou em dissecar os depósitos detrito-lateríticos, exumando as formações rochosas inferiores na região, além de mudanças nas condições de circulação de água daquelas que deu origem aos argilominerais e às lateritas existentes atualmente.

Figura 1. Difratoograma de Raios-X da amostra total

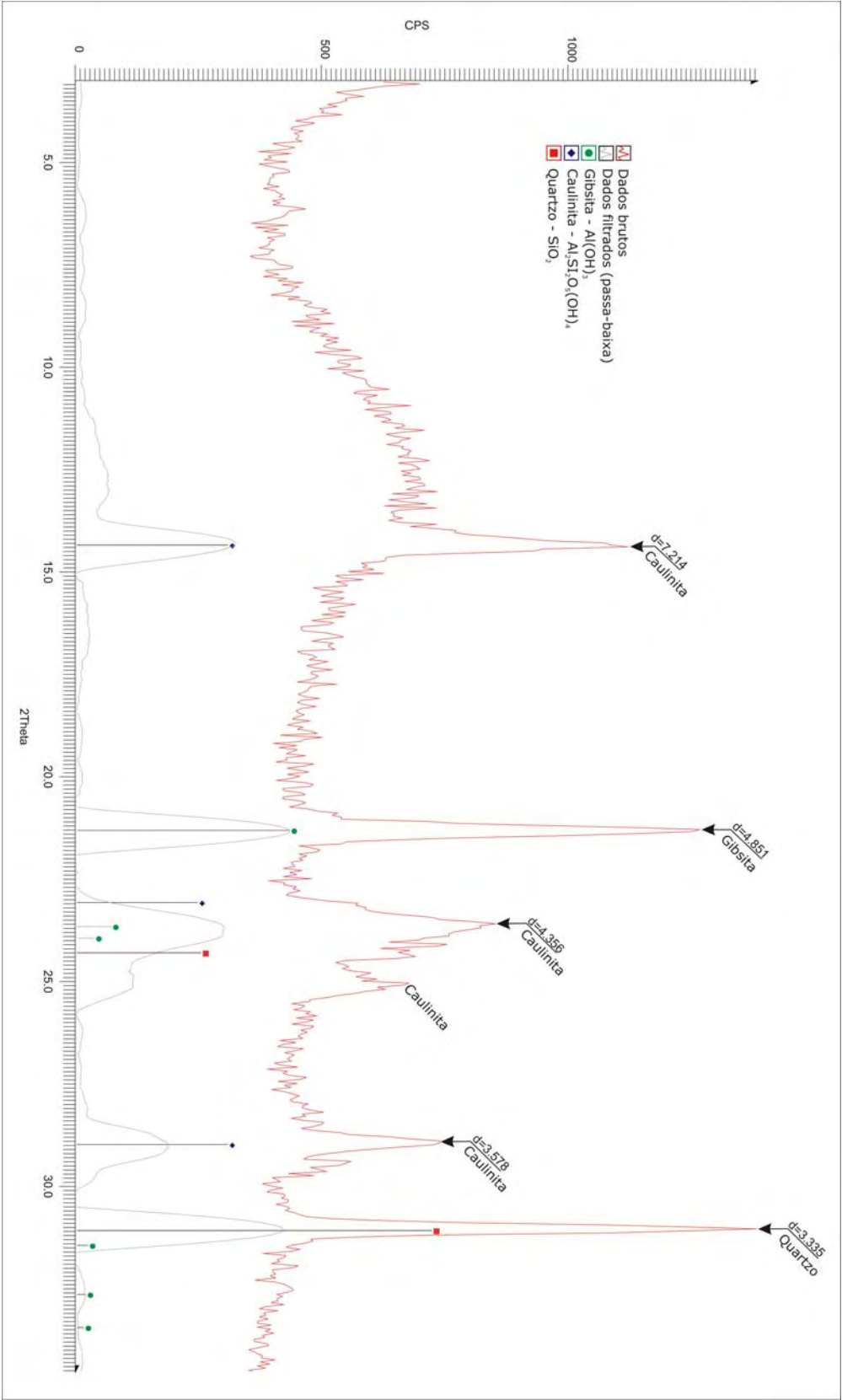


Figura 2. Difratograma de Raios-X da fração argila da amostra.

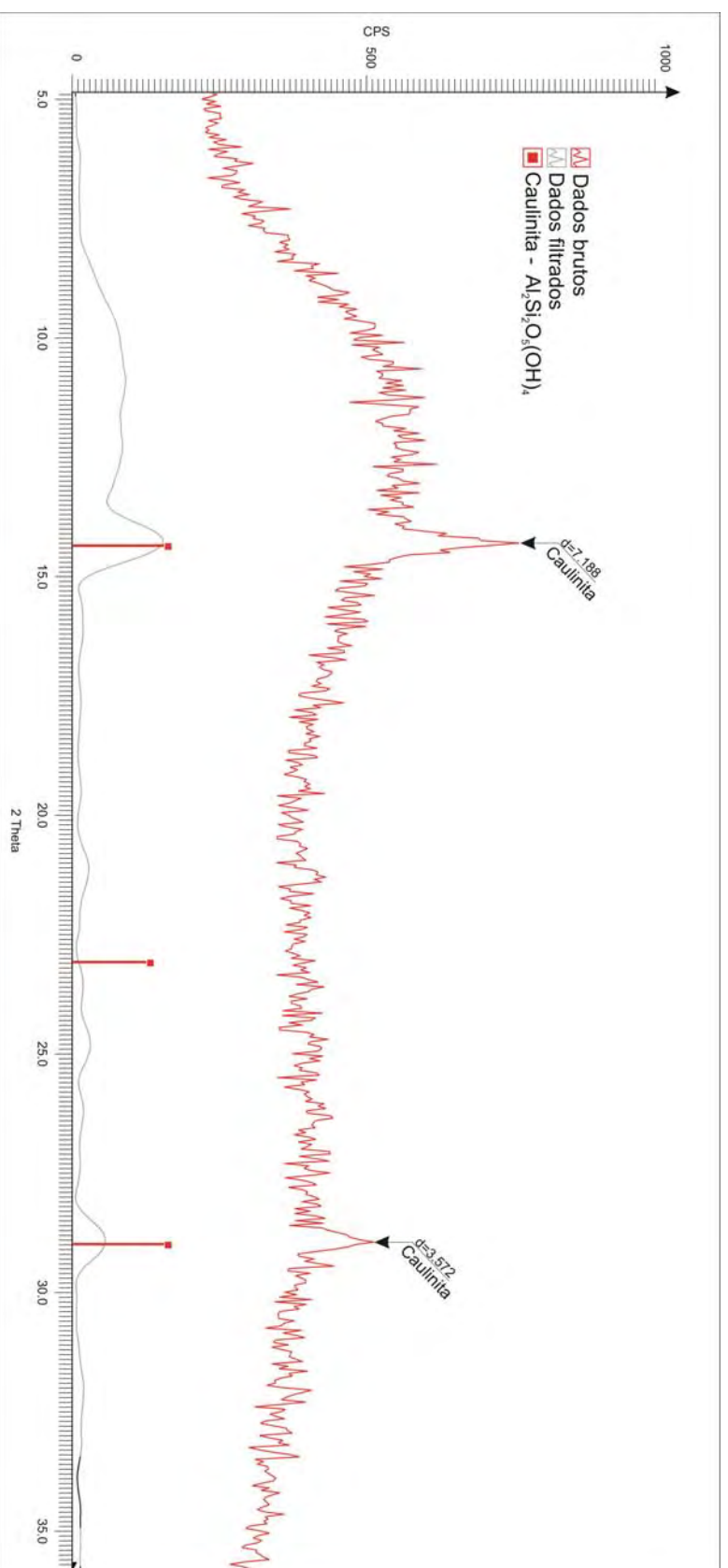


Figura 3. Mapa geológico da área.

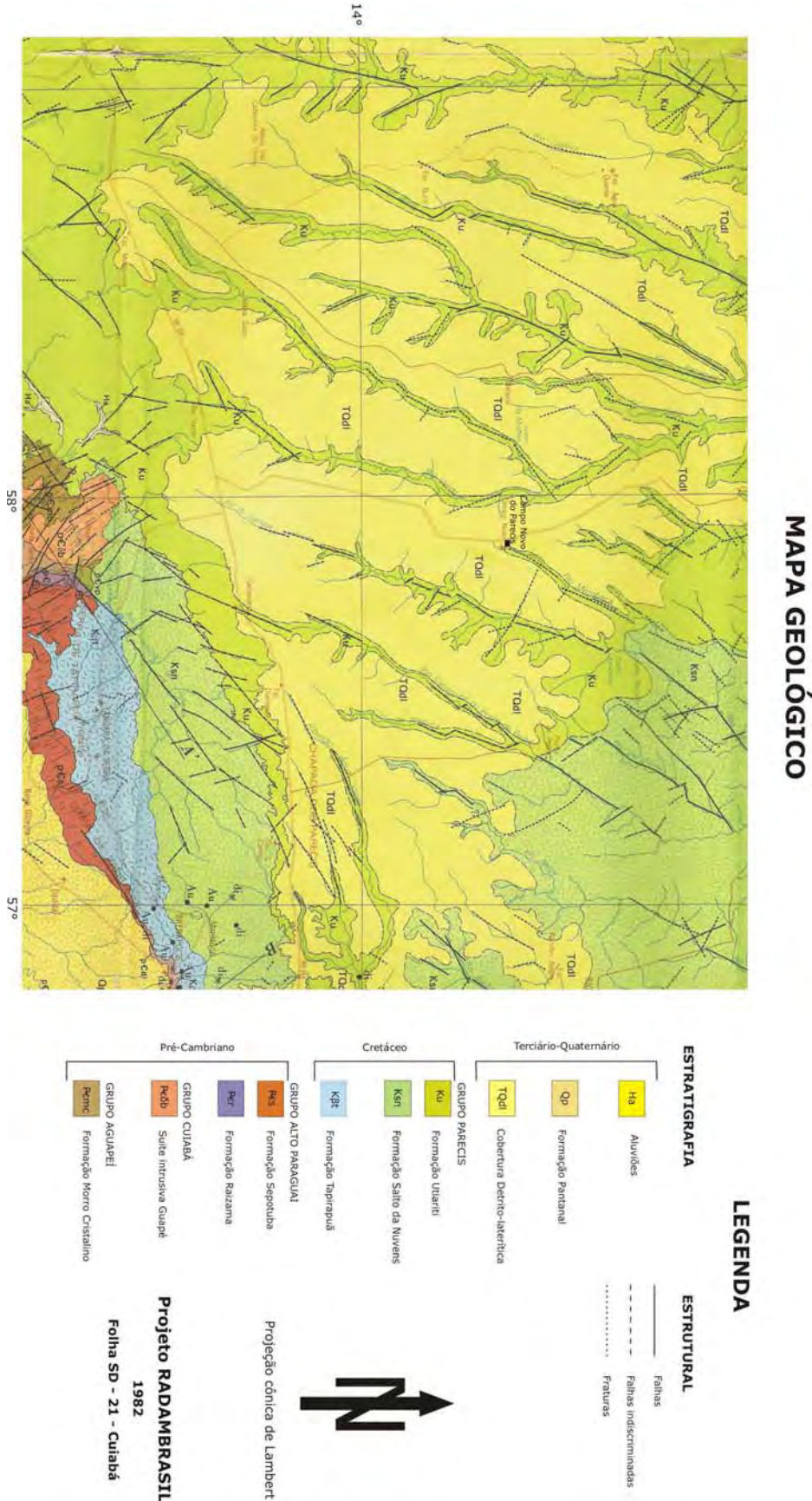
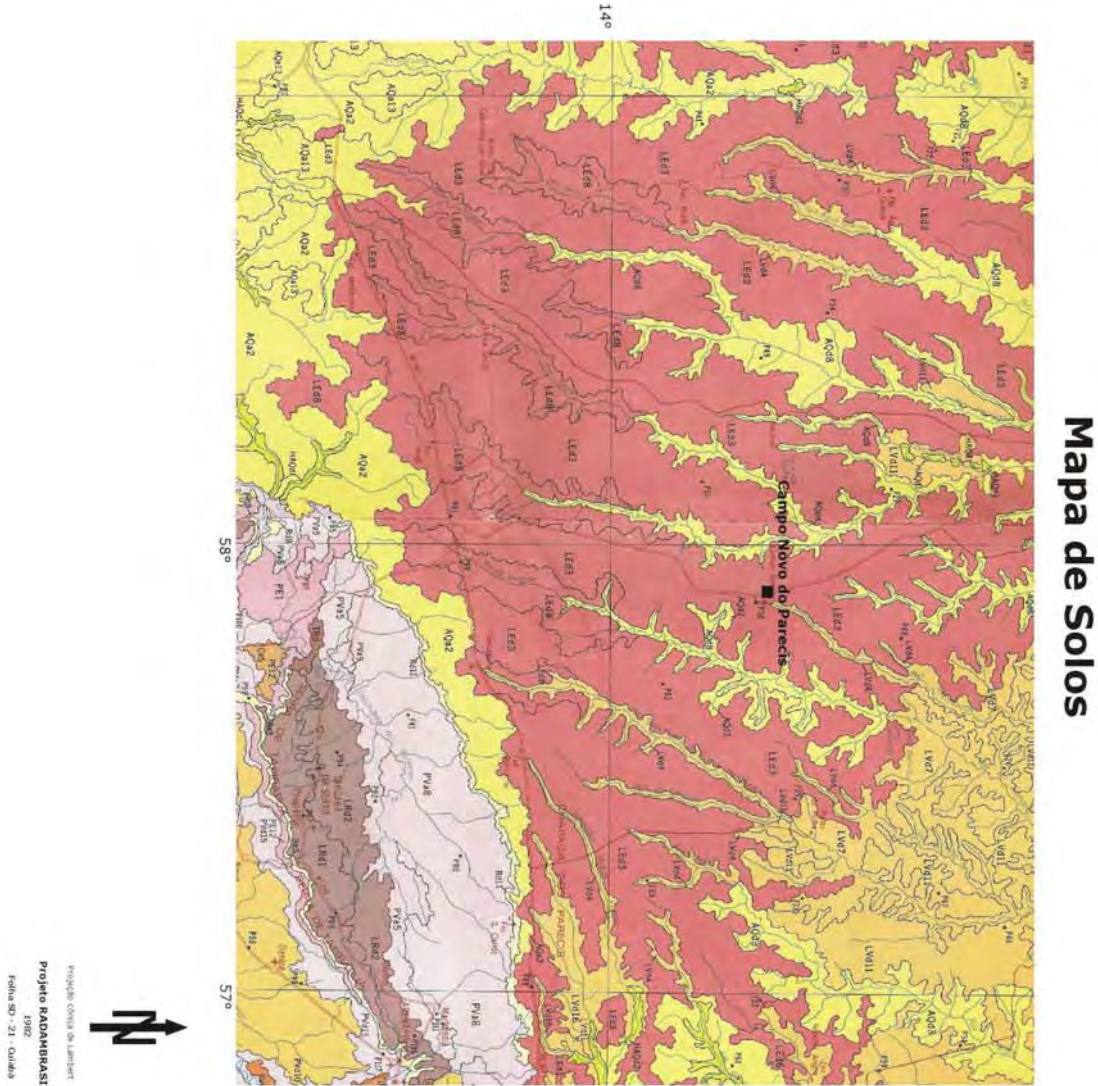


Figura 4. Mapa de solos da área.



LEGENDA

- LVd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico**
LVd4 - plint. Arg. + Glei pouco húmico distrófico Tb arg. Pl. Sond
LVd7 - eálico méd e arg. + areias quartzosas álicas sond.
LVd11 - arg.+latossolo vermelho-Escuro distrófico arg. + Latossolo vermelho-Escuro distrófico méd. Pl. E sond.
LVd16 - méd+areias quartzosas distróficas sond. E pl. + areias quartzosas hidromórficas distróficas pl.
- Pvd - Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico**
Pvd10 - Tb aren./méd + Areias quartzosas distróficas pl.
Pvd15 - Tb. Méd./arg. + Podzólico vermelho-amarelo distrófico Tb. Cn. Méd/arg. + solos concrecionários distróficos B text. Tb arg. Pl. e sond.
- LEd - Latossolo Vermelho-Escuro distrófico**
LEd3 - arg. e marg. + latossolo vermelho-amarelo distrófico arg. pl.
LEd6 - arg. + latossolo vermelho-amarelo distrófico arg. pl. e sond
LEd8 - méd. sond + areias quartzosas distróficas pl. e sond.
- Pva - Podzólico Vermelho-Amarelo Álico**
Pva5 - e distrófico Tb ab. aren./méd + podzólico vermelho-amarelo eutrófico Tb ab. Aren./méd. sond.
Pva8 - Tb aren./méd + Podzólico vermelho-amarelo álico Tb ab. Aren./méd. + areias quartzosas álicas pl. e sond.
- AqD - Areias Quartzosas distróficas**
AqD3 - +latossolo vermelho-amarelo distrófico e álico méd. sond. e pl.
AqD8 - e álicas sond. + areias quartzosas hidromórficas álicas + latossolos vermelho-amarelo distróficos méd. pl.
- LRd - Latossolo Roxo distrófico**
LRd1 - arg. E marg. + latossolo roxo distrófico cn. Arg. + podzólico vermelho-amarelo distrófico Tb. Plint. Aren./méd e méd./arg.pl.
LRd2 - arg. Pl. + terra roxa estruturada distrófica latossólica arg. + terra roxa estruturada distrófica arg. sond.
- AqA - Areias Quartzosas Álicas**
AqA2 - sond.
AqA13 - +latossolo vermelho-escuro álico méd. + latossolo vermelho-amarelo álico méd sond.
- PE - Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico**
PE1 - Tb méd./arg e arg./marg. + terra roxa estruturada eutrófica arg. sond.
PE12 - Tb méd./arg.+podzólico vermelho-amarelo eutrófico Tb ab. aren./arg. e aren./méd.+podzólico vermelho-amarelo distrófico Tb méd. casc./arg. casc. sond e ond.
- HAQd - Areias Quartzosas Hidromórficas distróficas**
HAQd1 - pl.
- Rd - Solos Litólicos Distróficos**
Rd8 - ind. fond. — podzólicos vermelho-amarelo distrófico e álico Tb. Méd. ond. e fond. + afloramentos rochosos fond. e esc.
Rd11 - ind. esc. fond. + afloramentos rochosos esc. + podzólico vermelho-amarelo distrófico Tb. ind. ond. e sond.
- Re - Solos Litólicos Eutróficos**
Re3 - ind. fond. + terra roxa estruturada eutrófica arg. ped. Fond. e ond. + afloramentos rochosos esc.
- Ca - Cambissolo álico**
Ca5 - Tb arg. casc e h. casc. + solos litólicos álicos arg. casc. + podzólico vermelho-amarelo álico Tb raso arg. Sond e pl.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. ANÁLISES QUÍMICAS E DADOS DE PRODUTIVIDADE

Encontram-se nos Anexos os resultados das análises de solo para fins de fertilidade, realizadas nos três anos agrícolas pela Fundação MT. Também em anexo encontram-se os resultados das diagnoses foliares realizadas no período e os resultados das análises de adsorção de boro pelo solo nos três anos agrícolas. Estes resultados foram disponibilizados pela Fundação MT.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados do desdobramento da interação entre calagem e dose de boro para produtividade da soja nos três anos agrícolas. Embora o teste de médias tenha mostrado alguns resultados significativos, tais como resposta a B no primeiro ano com aplicação de $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário e, resposta negativa com aplicação de $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabela 1), não foi possível uma discussão conclusiva. Assim, no presente trabalho, não foi possível verificar a interação da resposta da soja a boro com a calagem, como esperado. Outro fator que poderia explicar essa ausência de resposta seria o fato de que quando se analisou os resultados da diagnose química das folhas da soja a mesma indicava que os níveis foliares estavam dentro da faixa de suficiência. Portanto, como a quantidade de boro disponível às plantas já era suficiente não houve resposta aos tratamentos. Como não houve resposta ao boro aplicado, não houve correlação significativa entre os dados de produtividade

e os métodos de extração testados. Como mostra a Tabela 2, os valores das correlações de concordância entre a produtividade e as metodologias de extração de boro no solo foram muito baixos, sendo que, no ano agrícola de 1999/2000 os valores chegaram a ser negativos, demonstrando que a correlação não foi significativa para este e para os demais anos agrícolas.

Tabela 1. Desdobramento da interação entre calagem e doses, nos três anos agrícolas.

Calagem (t ha ⁻¹)	Dose de Boro (kg ha ⁻¹)						
Ano agrícola 1998/1999.							
	0	1	3	5	7	10	Médias
1,5	2843 ab A	2772 a A	2820 a A	2935 ab A	2862 a A	2760 ab A	2831,8 a b
3,0	2820 ab A	2815 a A	2885 a A	2817 ab A	2924 a A	2754 ab A	2835,9 a b
4,5	2614 b B	2720 a AB	2763 a AB	2838 ab AB	2931 a A	2718 b AB	2763,9 b
6,0	2775 ab A	2746 a A	2768 a A	2837 ab A	2979 a A	2593 b A	2749,9 b
7,5	2826 ab AB	2754 a AB	2727 a AB	2692 b B	2959 a A	2782ab AB	2790,1 b
9,0	2936 a A	2792 a A	2935 a A	2973 a A	2887 a A	2997 a A	2920,0 a
Médias	2802,4 AB	2766,5 B	2816,1 AB	2848,6 AB	2890,4 A	2767,6 B	-
Ano agrícola 1999/2000.							
	0	1	3	5	7	10	Médias
1,5	3278 c A	3237 b A	3424 b A	3395 bc A	3394 b A	3521 a A	3375,0 b
3,0	3325 bc AB	3516ab AB	3524ab AB	3246 c B	3379 b AB	3607 a A	3432,7 b
4,5	3502abc A	3608 a A	3608ab A	3693a A	3592ab A	3674 a A	3612,9 a
6,0	3557abc A	3654 a A	3577ab A	3663ab A	3689a A	3537 a A	3612,7 a
7,5	3590ab A	3722 a A	3714a A	3500abc A	3605ab A	3644 a A	3629,5 a
9,0	3647a A	3519ab A	3681ab A	3563ab A	3580ab A	3694 a A	3614,2 a
Médias	3483,4 B	3542,8 AB	3588,1 AB	3509,9 AB	3540,2 AB	3612,7 A	-
Ano agrícola 2000/2001.							
	0	1	3	5	7	10	Médias
1,5	3564 b A	3690 b A	3634 a A	3954ab A	3725 b A	3744b A	3718,5 b
3,0	3756ab B	4184a A	4148 a AB	4057ab AB	4294 a A	4066ab AB	4084,3 a
4,5	4107a A	4109a A	4199 a A	3863 b A	4154 a A	4147a A	4096,6 a
6,0	3758ab B	3988ab AB	4255 a A	4270a A	4285 a A	3961ab AB	4086,2 a
7,5	3953ab A	4145a A	4310 a A	4065ab A	4014 ab A	4024ab A	4085,2 a
9,0	3946ab A	4196a A	4227 a A	4296a A	4006 ab A	3928ab A	4100,0 a
Médias	3847,4 B	4052,1 A	4128,9 A	4084,3 A	4079,7 A	3978,4 AB	-

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente entre si pelo teste DMS, a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Correlações de concordância entre as metodologias de extração de boro no solo e a produtividade nos anos agrícolas de 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001.

	FMT	BaCl ₂	CaCl ₂	H ₂ O quente
Produtividade em 1998 – 1999	0,1968	0,0825	0,1617	0,0085
Produtividade em 1999 – 2000	-0,1368	0,2151	-0,0613	-0,0052
Produtividade em 2000 - 2001	0,2869	0,1196	0,2000	0,3146

6.2. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE BORO DO SOLO

As correlações de concordância entre os métodos testados (Tabela 3) visavam testar qual método seria mais preciso quando comparados aos dados da Fundação MT. De acordo com o esperado, os valores das correlações de concordância obtidos foram bastante baixos, uma vez que o método utilizado pela Fundação não estava correlacionando bem o boro presente no solo com o presente no tecido vegetal. Como o método utilizado pela Fundação MT mostrou-se ineficiente para seu objetivo, esta baixa correlação de concordância indica que os outros métodos testados podem ter a eficiência que o método utilizado não apresentou.

Tabela 3. Correlações de concordância entre as metodologias de extração de boro no solo nos diferentes anos agrícolas.

Ano agrícola 1998/1999				
	FMT	BaCl ₂	CaCl ₂	H ₂ O quente
FMT	-	0,2424	0,0291	0,055
BaCl ₂	-	-	0,1463	0,0466
CaCl ₂	-	-	-	0,0952
Ano agrícola 1999/2000				
	FMT	BaCl ₂	CaCl ₂	H ₂ O quente
FMT	-	0,2509	0,4175	0,0955
BaCl ₂	-	-	0,4941	0,2526
CaCl ₂	-	-	-	0,3632
Ano agrícola 2000/2001				
	FMT	BaCl ₂	CaCl ₂	H ₂ O quente
FMT	-	0,3773	0,4688	0,6061
BaCl ₂	-	-	0,2716	0,3427
CaCl ₂	-	-	-	0,6296

Na Tabela 4 estão descritos os dados obtidos a partir dos diferentes métodos de extração testados neste trabalho.

Em relação aos métodos testados para a determinação de B no solo, no ano agrícola 1998/1999 (Figura 5), podemos observar que os métodos da água quente com solução de CaCl₂ a quente e o método da água quente tradicional foram os que apresentaram

Tabela 4. Boro no solo extraído pelos diferentes métodos nos anos agrícola 1998/1999, 1999/2000 e 2000/2001.

		1998-1999				1999-2000				2000-2001			
Cal.	dose B	FMT*	BaCl ₂	CaCl ₂	H ₂ O trad	FMT*	BaCl ₂	CaCl ₂	H ₂ O trad	FMT*	BaCl ₂	CaCl ₂	H ₂ O trad
$\mu\text{g mL}^{-1}$													
1.5	0	0.25	0.18	0.26	0.08	0.24	0.24	0.20	0.15	0.28	0.29	0.19	0.22
1.5	1	0.23	0.18	0.37	0.14	0.31	0.29	0.23	0.12	0.32	0.39	0.27	0.31
1.5	3	0.26	0.28	0.43	0.19	0.28	0.34	0.24	0.20	0.31	0.52	0.31	0.26
1.5	5	0.23	0.25	0.58	0.20	0.30	0.36	0.30	0.25	0.43	0.67	0.35	0.28
1.5	7	0.23	0.33	0.79	0.20	0.31	0.40	0.32	0.27	0.45	0.89	0.39	0.44
1.5	10	0.23	0.32	0.80	0.14	0.32	0.36	0.36	0.20	0.46	0.90	0.39	0.46
3	0	0.25	0.28	0.19	0.10	0.31	0.24	0.24	0.19	0.26	0.25	0.18	0.18
3	1	0.26	0.21	0.32	0.35	0.29	0.28	0.28	0.17	0.33	0.34	0.22	0.29
3	3	0.27	0.22	0.43	0.22	0.32	0.34	0.27	0.43	0.39	0.49	0.28	0.38
3	5	0.25	0.15	0.57	0.14	0.29	0.32	0.31	0.30	0.37	0.62	0.27	0.53
3	7	0.26	0.24	0.69	0.22	0.28	0.35	0.31	0.26	0.42	0.74	0.32	0.53
3	10	0.27	0.33	0.77	0.29	0.33	0.40	0.30	0.19	0.46	0.76	0.31	0.51
4.5	0	0.26	0.28	0.20	0.08	0.25	0.21	0.21	0.13	0.30	0.21	0.15	0.12
4.5	1	0.27	0.21	0.34	0.12	0.26	0.30	0.27	0.18	0.34	0.39	0.22	0.26
4.5	3	0.26	0.25	0.47	0.23	0.28	0.38	0.26	0.22	0.38	0.58	0.30	0.32
4.5	5	0.27	0.38	0.53	0.14	0.28	0.38	0.26	0.23	0.42	0.59	0.40	0.37
4.5	7	0.28	0.34	0.70	0.26	0.28	0.38	0.25	0.23	0.56	0.81	0.37	0.48
4.5	10	0.34	0.35	0.73	0.28	0.31	0.45	0.30	0.31	0.52	0.84	0.50	0.54
6	0	0.26	0.14	0.26	0.10	0.28	0.19	0.18	0.13	0.30	0.27	0.16	0.23
6	1	0.25	0.39	0.35	0.11	0.29	0.26	0.23	0.13	0.33	0.36	0.26	0.39
6	3	0.26	0.27	0.42	0.16	0.27	0.28	0.26	0.13	0.35	0.42	0.33	0.41
6	5	0.31	0.33	0.53	0.20	0.26	0.33	0.22	0.18	0.41	0.70	0.41	0.37
6	7	0.27	0.21	0.56	0.20	0.27	0.40	0.27	0.23	0.43	0.81	0.44	0.42
6	10	0.25	0.40	0.81	0.18	0.27	0.32	0.30	0.21	0.43	0.79	0.37	0.45
7.5	0	0.30	0.29	0.21	0.11	0.26	0.19	0.14	0.16	0.30	0.18	0.13	0.27
7.5	1	0.24	0.21	0.29	0.13	0.23	0.26	0.22	0.18	0.32	0.41	0.21	0.16
7.5	3	0.25	0.24	0.39	0.18	0.24	0.31	0.22	0.19	0.38	0.37	0.29	0.36
7.5	5	0.29	0.34	0.95	0.26	0.27	0.34	0.30	0.20	0.54	1.05	0.32	0.33
7.5	7	0.29	0.30	0.85	0.23	0.32	0.33	0.31	0.18	0.49	0.74	0.26	0.27
7.5	10	0.30	0.37	0.79	0.29	0.31	0.41	0.31	0.17	0.49	0.75	0.40	0.54
9	0	0.28	0.24	0.21	0.07	0.28	0.21	0.19	0.13	0.31	0.21	0.14	0.21
9	1	0.29	0.41	0.37	0.09	0.32	0.28	0.24	0.15	0.42	0.40	0.23	0.34
9	3	0.27	0.39	0.42	0.15	0.33	0.36	0.28	0.19	0.38	0.45	0.30	0.37
9	5	0.30	0.42	0.70	0.15	0.32	0.36	0.34	0.31	0.50	0.69	0.37	0.56
9	7	0.28	0.40	0.52	0.15	0.27	0.32	0.31	0.31	0.43	0.58	0.36	0.46
9	10	0.31	0.35	1.01	0.14	0.29	0.42	0.31	0.33	0.57	0.92	0.42	0.44

*Dados obtidos pela Fundação MT por ocasião do encerramento do experimento, método H₂O quente tradicional.

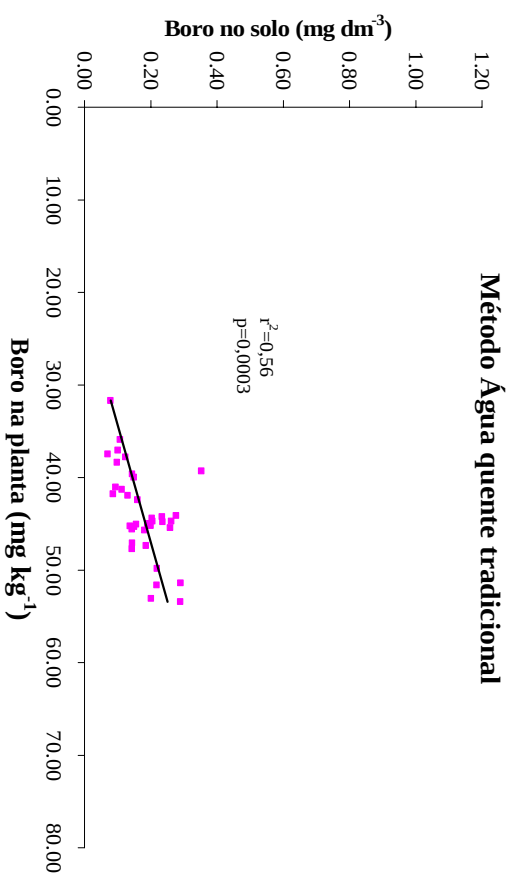
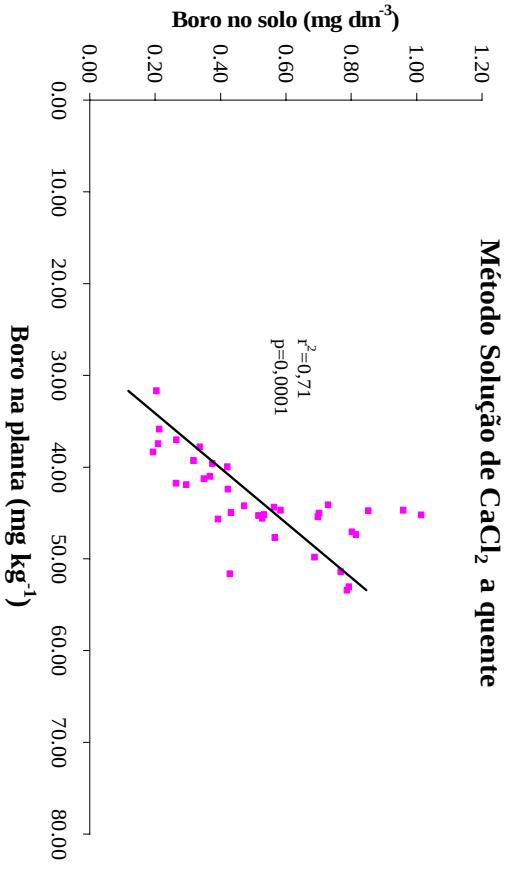
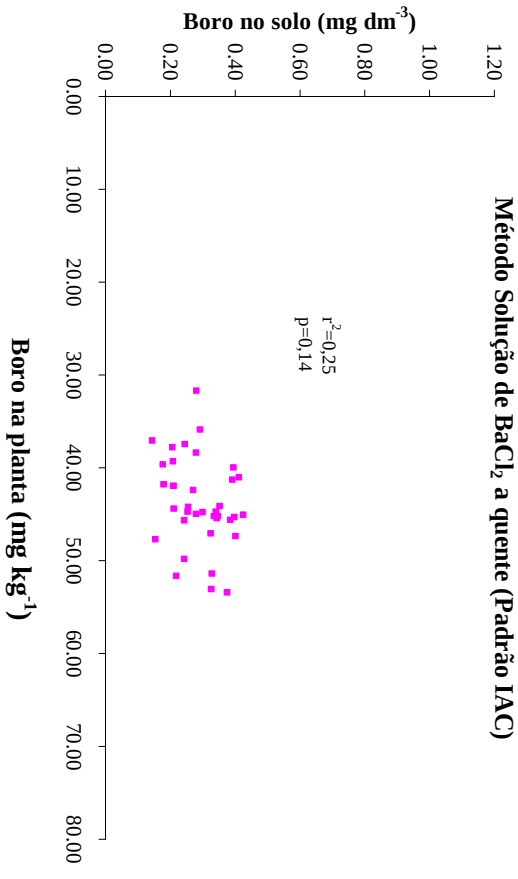
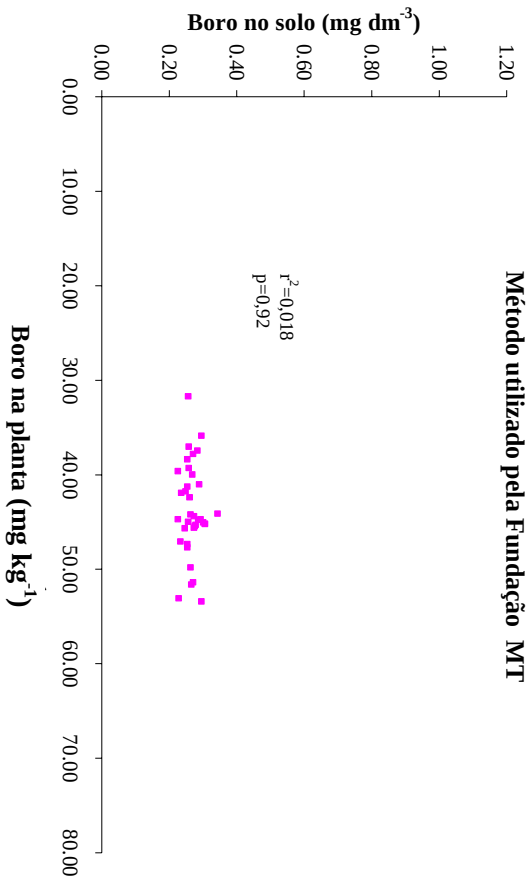


Figura 5. Boro no solo, extraído pelos diferentes métodos de extração, correlacionado com o boro presente no tecido vegetal, ano agrícola 98/99.

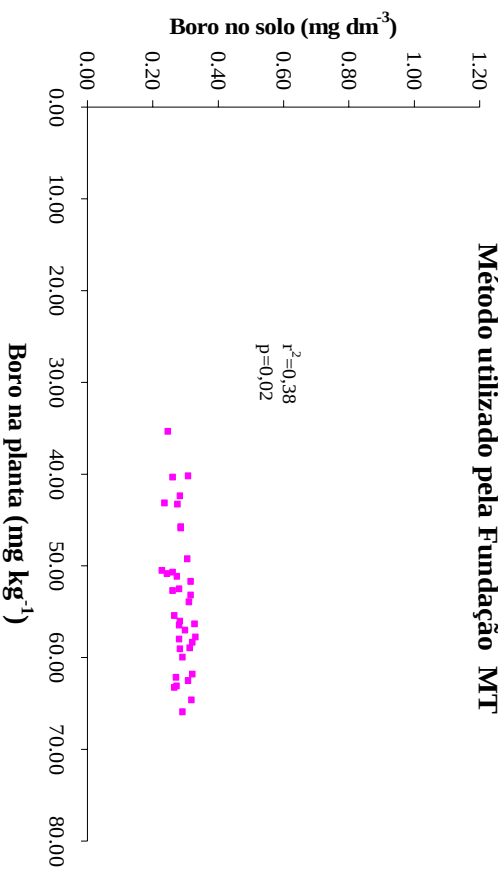
correlação positiva e significativa com o conteúdo de boro presente no tecido vegetal, mas com o melhor resultado para o método do CaCl_2 a quente. Ambos foram significativos a 1% e apresentando r^2 de 0,71 e 0,56, respectivamente. As análises realizadas pela Fundação MT assim como o método da água quente com solução de BaCl_2 em forno de microondas - Padrão IAC - neste caso não apresentaram correlação significativa com o boro presente nas folhas da soja.

No ano agrícola 1999/2000 (Figura 6) correlações positivas e significativas foram apresentadas pelos métodos da água quente com solução de BaCl_2 em forno de microondas - Padrão IAC – e CaCl_2 a quente, ambos significativos a 1% e com valores de r^2 de 0,82 e 0,80 respectivamente. Os outros dois métodos testados, o da Fundação MT e da água quente tradicional não se correlacionaram com o boro presente no tecido vegetal.

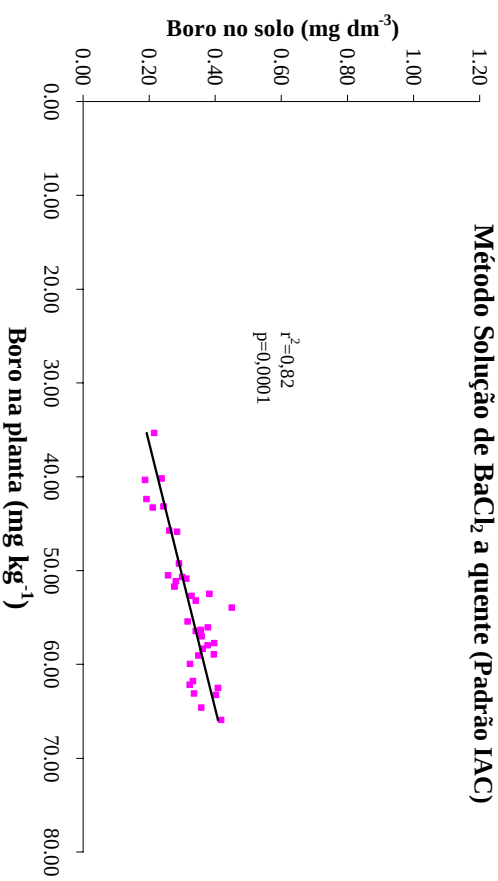
No ano agrícola 2000/2001 (Figura 7) foram obtidas correlações significativas e positivas por ocasião da utilização dos quatro métodos testados. Todos foram significativos a 1% e apresentaram valores de r^2 de 0,85 para o método da água quente com solução de BaCl_2 em forno de microondas - Padrão IAC; 0,82 para o método do CaCl_2 a quente; 0,72 para o método da água quente tradicional e, 0,71 pelo método utilizado anteriormente pela Fundação MT.

Perante os resultados apresentados pode-se perceber que, dentre os métodos testados, o que apresentou maior consistência de correlação positiva e significativa nos três anos agrícolas foi o método do CaCl_2 a quente. O método da água quente com solução de BaCl_2 em forno de microondas (Padrão IAC), apresentou resultados bastante semelhantes aos do CaCl_2 a quente naqueles anos em que ambos se correlacionaram positiva e significativamente. Isto pode ser explicado pelo fato de o método do CaCl_2 a quente nada mais ser que o método da água quente com solução de BaCl_2 em forno de microondas (Padrão IAC) modificado, ou seja, foi efetuada uma substituição da solução de BaCl_2 a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ por uma solução de CaCl_2 a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Esta superioridade do método do CaCl_2 pode ter ocorrido em função de uma maior capacidade do Cl^- em extrair a fração dissociada do B(OH)_3 adsorvida às cargas positivas dos colóides (JIN *et al.*, 1987; HOU *et al.*, 1996; *apud* FERREIRA *et al.*, 2001) e à competição por sítios de adsorção entre os ânions Cl^- e B(OH)_4^- presentes na solução antes da filtração (JEFFREY e McCALLUM, 1998 *apud* Ferreira *et al.*, 2001). Deve-se

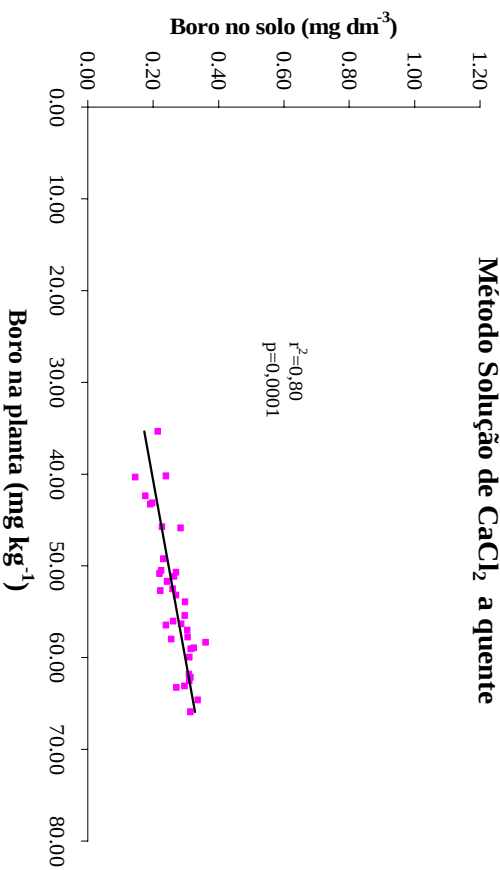
Método utilizado pela Fundação MT



Método Solução de BaCl_2 a quente (Padrão IAC)



Método Solução de CaCl_2 a quente



Método Água quente tradicional

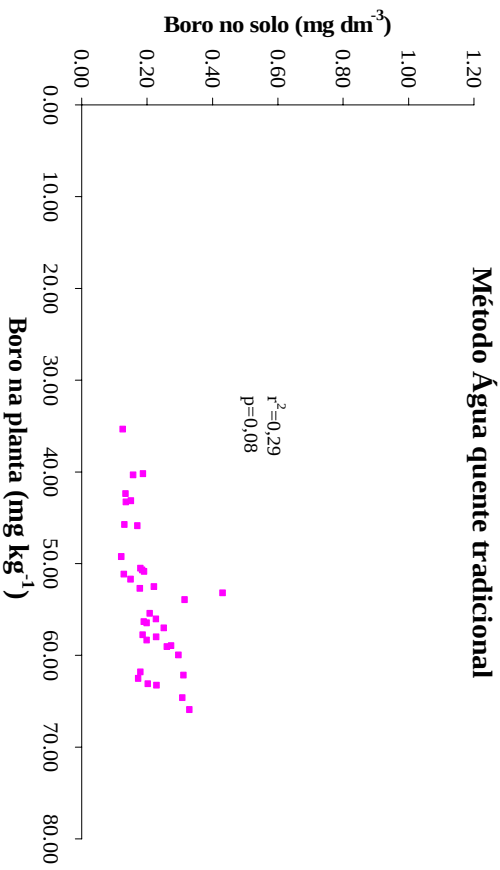


Figura 6. Boro no solo, extraído pelos diferentes métodos de extração, correlacionado com o boro presente no tecido vegetal, ano agrícola 99/00.

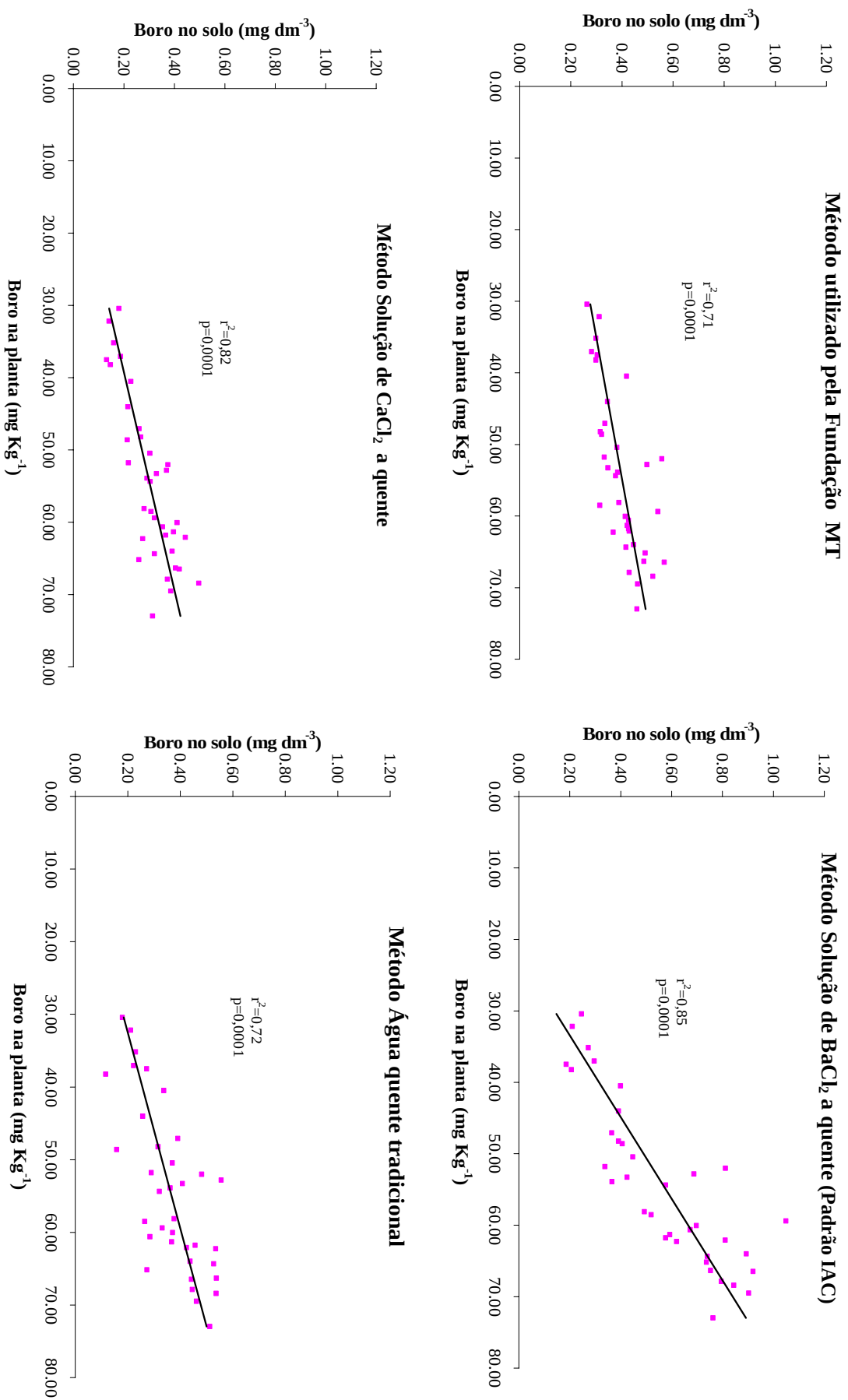


Figura 7. Boro no solo, extraído pelos diferentes métodos de extração, correlacionado com o boro presente no tecido vegetal, ano agrícola 99/00.

considerar, também, que a força iônica da solução de CaCl_2 , comparada com a da água quente, diminui a atividade do B(OH)_3^0 presente na solução extratora, dificultando sua re-adsorção e favorecendo maior concentração no extrato. Considerando-se extratores com capacidade de predição semelhantes, é preferível usar aquele que resulte em maior teor de B no extrato, o que permite maior sensibilidade na dosagem desse elemento que, geralmente, é encontrado em baixa concentração no solo.

Seria necessário que mais pesquisas neste sentido fossem realizadas para se descobrir a magnitude dessas duas soluções quando da determinação do boro no solo, pois caso o CaCl_2 apresente uma constância de resultados poderia ser visto como uma vantagem pois o CaCl_2 como produto é encontrado mais facilmente em relação ao BaCl_2 , sendo assim uma ferramenta a mais para se utilizar quando necessário determinar boro.

Fazendo-se a substituição da solução de $\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 5 mmol L^{-1} por solução de $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 5 mmol L^{-1} , na metodologia proposta por Abreu *et al.*, 1994, foi constatada alta correlação ($r = 0,99$) entre ambos (FERREIRA, 1994). A alta correlação sugere que, as soluções acima citadas, podem ser utilizadas com a mesma eficiência para extração visando a determinação do boro disponível em solos. Considerando-se o potencial tóxico do $\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, caracterizado pelos cuidados e recomendações constantes no rótulo da embalagem comercial do produto, sua substituição pelo $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ pode contribuir para maior segurança nos laboratórios.

Resultados semelhantes foram encontrados por Bataglia e Raij, 1990, Abreu *et al.*, 1994, e Ferreira, *et al.*, 2001 nos quais o método do CaCl_2 a quente se mostrou bastante eficiente na determinação do boro no solo. Ferreira *opt cit* concluiu que o CaCl_2 pode ser utilizado com eficiência para substituir o BaCl_2 na extração de boro dos solos utilizando-se forno de microondas.

O método da água quente tradicional também mostrou resultados satisfatórios nos dois anos em que teve correlação significativa com o boro presente na planta, como nos resultados obtidos por Ribeiro e Tucunango Sarabia, 1984. Ainda de acordo com o trabalho de Bataglia e Raij, 1990, esse resultado poderia ser esperado, em função da grande semelhança aos outros dois métodos, pois parte de um mesmo princípio já que os outros dois métodos foram adaptados com a substituição de vidraria por sacos plásticos selados (MAHLER *et al.*, 1984) e utilização de aquecimento em microondas (McCLENANHAN e

FERGUSON, 1989, apud ABREU *et al.*, 1994) para facilitar a condução deste, que apresenta desvantagens como baixo rendimento de amostras por dia, necessidade de material isento em borossilicatos, dificuldade no controle dos procedimentos de aquecimento e resfriamento da suspensão do solo (ABREU *et al.*, 1994), não esquecendo o fato de se correr o risco de perder boro pela volatilização do ácido bórico.

Por este trabalho foi possível concluir que existe um método de extração de B do solo que possa ser utilizado com confiança para determinar o boro no solo estudado do Mato Grosso, assim como já o é determinado para muitos solos do Estado de São Paulo, onde o método da água quente com solução de BaCl_2 em forno de microondas é considerado como método oficial.

Na Figura 8 foi selecionada uma faixa de 35 a 50 mg kg^{-1} de boro na planta, simulando-se uma faixa de suficiência ideal para a cultura da soja, correlacionando-se com os dados de boro no solo dos três anos agrícolas, dentro de cada método. Os métodos do BaCl_2 a quente e do CaCl_2 a quente foram os que apresentaram correlações significativas a 5%, porém com valores de r^2 muito baixos. No entanto quando se efetuou essa simulação um fato interessante foi notado neste resultado, pois quando foi selecionada a faixa de suficiência de 35 a 50 mg kg^{-1} de B na planta, apenas 45% do total do número de dados entrou na seleção, 55% dos dados ficaram fora por estarem normalmente acima da faixa de suficiência ou, em menor proporção, abaixo da faixa de suficiência. Este valor de 45% de dados são representados por 86% dos dados do primeiro ano agrícola (98/99), e apenas por 25% dos dados do segundo ano agrícola (99/00) e 25% dos dados do terceiro ano agrícola (00/01). Os 75% dos dados que ficaram fora em ambos os anos, em sua grande maioria, são de níveis de boro na planta acima da faixa selecionada como suficiente, o que vem concordar com os dados de adsorção obtidos no experimento onde, no segundo e terceiro anos agrícolas respectivamente, a adsorção foi bem menor em relação ao primeiro ano agrícola (98/99) no qual a adsorção foi visivelmente maior (estes resultados serão apresentados adiante neste trabalho). Portanto os dados dos níveis foliares confirmam os resultados de boro presente no solo em sua forma adsorvida.

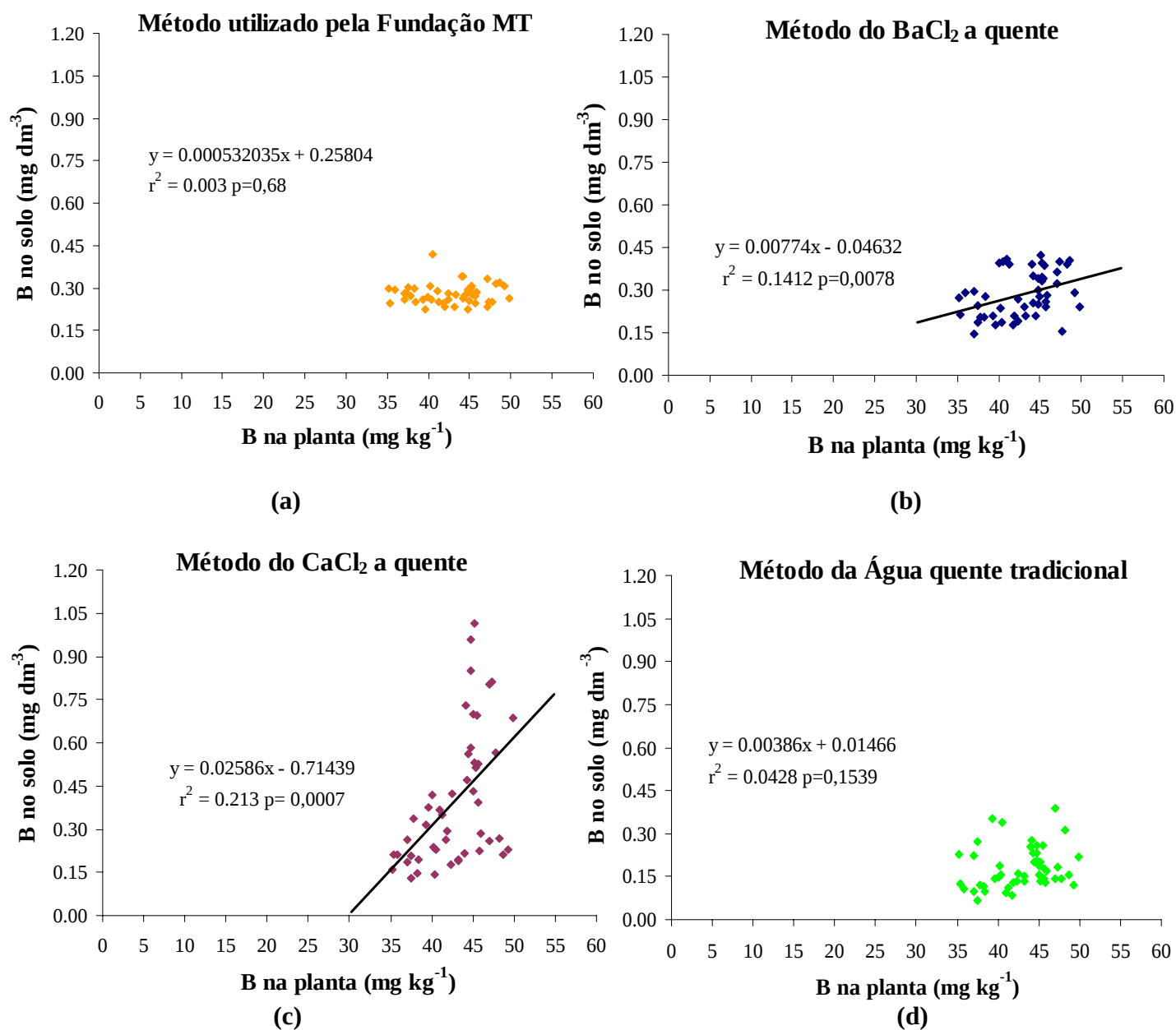


Figura 8. B no solo extraído pelos diferentes métodos: (a) utilizado pela Fundação MT, (b) BaCl_2 a quente, (c) CaCl_2 a quente, (d) Água quente tradicional, correlacionado com o B na planta numa faixa de 35 a 50 mg kg^{-1} .

6.3. ADSORÇÃO DE BORO NO SOLO

Na figura 9 encontram-se ilustradas a adsorção de boro em $\mu\text{g/g}$ de solo após adições de soluções de CaCl_2 $0,01\text{mol L}^{-1}$ com 1, 2, 4, 8 e $16 \mu\text{g mL}^{-1}$ de boro, nos anos agrícola 1998/1999 (a), 1999/2000 (b) e 2000/2001 (c).

A quantidade de boro adsorvido em cada amostra foi obtida pela diferença entre a concentração de B na solução inicial e o B remanescente na solução de equilíbrio após a agitação e centrifugação.

As quantidades de B adsorvido aumentaram com as quantidades adicionadas, ao passo que a porcentagem adsorvida em relação à quantidade adicionada diminuiu com o aumento da concentração de B na solução em equilíbrio (Anexos 7, 8 e 9). O aumento relativamente menor, à medida que as soluções ficam mais concentradas, concorda com os resultados observados por Azevedo, 2001; Correa *et al.*, 1985, e Valadares, 1998 *apud* Azevedo (2001). Segundo Goldberg *et al.*, 1996, *apud* Azevedo, 2001, tal fato provavelmente ocorre pela não saturação da superfície adsorvente em sistemas heterogêneos.

A adsorção de boro nos solos foi crescente de acordo com o aumento da calagem e da concentração de boro adicionado no primeiro ano agrícola (Figura 9 a); no segundo ano agrícola o efeito foi semelhante, porém menos pronunciado na maior calagem quando adicionadas as doses mais altas de boro (8 e $16 \mu\text{g mL}^{-1}$) (Figura 9 b); no terceiro ano agrícola o comportamento esperado ocorreu como no primeiro ano agrícola porém este comportamento, como no segundo ano agrícola, foi menos pronunciado na maior dose ($16 \mu\text{g mL}^{-1}$)(Figura 9 c).

Uma importante relação entre o boro adicionado ao solo e a adsorção de B pelo mesmo pode ser observada na Figura 9. A Figura 9 (a) demonstra o comportamento da adsorção de boro pelo solo em função das diversas calagens do experimento. Nota-se nesta figura que para valores baixos de adição de boro (1 a $2 \mu\text{g mL}^{-1}$) e para todas as calagens, a adsorção foi praticamente a mesma, em torno de $1,5$ microgramas de boro por grama de solo. A partir deste ponto o comportamento da adsorção de boro das amostras passou a apresentar um caráter dispersivo, conforme se aumentou a adição de boro em relação às diversas calagens.

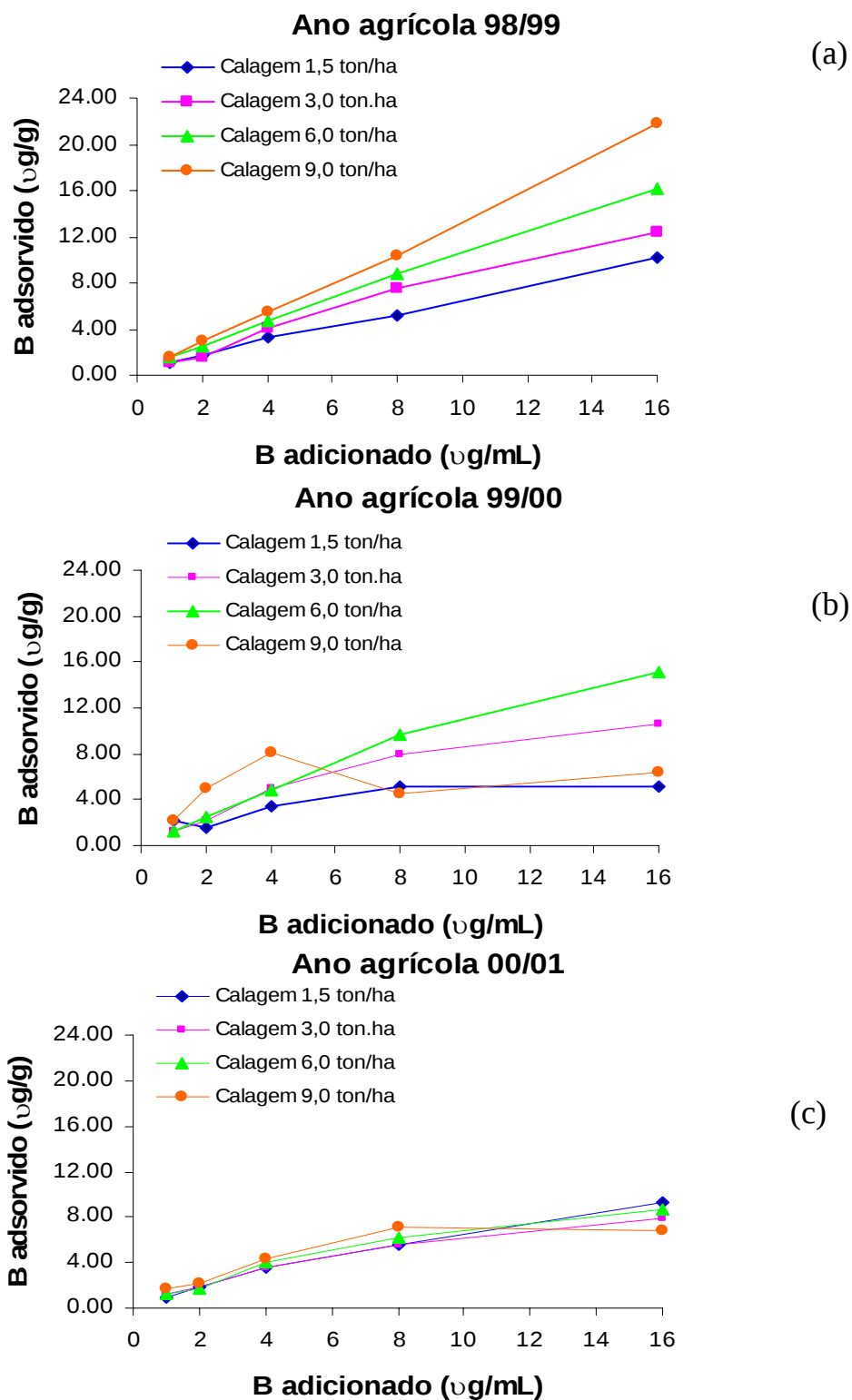


Figura 9. Adsorção de boro no solo após adições de soluções de CaCl_2 $0,01\text{mol L}^{-1}$ com 1, 2, 4, 8 e 16 $\mu\text{g/mL}$ de boro, nos anos agrícola (a) 1998-1999, (b) 1999-2000, (c) 2000-2001.

É nítido que as maiores calagens apresentam os maiores índices de adsorção de boro ao solo e vice-versa. Todavia, na Figura 9 (b), o comportamento das amostras para a calagem $9,0 \text{ t ha}^{-1}$ a partir do valor $8 \mu\text{g mL}^{-1}$ apresentou significativo decréscimo de adsorção de B pelo solo, caindo para valores da ordem de 6,0 microgramas de boro por grama de solo em relação ao ano 98/99 que é da ordem de 22 microgramas de boro por grama de solo, representando uma redução de aproximadamente 72,3% da capacidade de adsorção do boro pelo solo.

O mesmo comportamento foi observado na Figura 9 (c), para o ano agrícola de 00/01, onde a partir do valor de $8 \mu\text{g mL}^{-1}$ de boro adicionado houve um decréscimo da adsorção em relação ao ano 98/99 (Figura 9 a) da ordem de $6,5 \mu\text{g g}^{-1}$, ou seja, um decréscimo de cerca de 72%.

É importante ressaltar que, no primeiro ano agrícola do experimento, quando a calagem acabara de ser efetuada, a resposta revelou um comportamento linear das amostras com acréscimo dos valores de adsorção de B pelo solo conforme se aumentou as razões de calagem, num padrão semelhante a leque para valores elevados de adição de boro e, embora o padrão linear seja predominante na tendência das amostras, as amostras relacionadas à calagem $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ apresentam tendências a índices de derivada da curva igual a zero, ou seja, no caso da Figura 9 (a) a partir da adição de, aproximadamente, $12 \mu\text{g mL}^{-1}$ a adsorção começa a decrescer sendo este indício fortemente observado na Figura 9 (b), onde a partir da adição de boro de $8 \mu\text{g mL}^{-1}$ não há aumentos significativos de adsorção de boro pelo solo. Vale ressaltar que este comportamento persiste para todas as outras calagens nos anos agrícola 99/00 e 00/01. Esse fator pode estar associado ao grande volume de água na forma de precipitação, o qual gira em torno de 2000 mm por ano; fato este que, certamente, provocou excessiva perda de boro na forma de lixiviação, arrastando o boro perfil abaixo e dessa forma restando menor quantidade de boro ano após ano.

Esta mudança de comportamento, ainda pode estar associada ao tempo de reação do cálcio com o solo com o decorrer dos anos, pode estar associada à capacidade de adsorção de boro pelo solo em função da quantidade de CaCO_3 existente no solo. No primeiro ano com grande quantidade de CaCO_3 presente, grande quantidade de boro adsorve ao solo. Em relação à diferença da quantidade de calcário aplicada, dentro de um mesmo ano,

percebeu-se que os solos que receberam as menores calagens no início do experimento apresentavam pequena adsorção, porém com comportamento linear. Com o decorrer do tempo, na presença de grande quantidade de água infiltrando no solo, provocando perda de boro e favorecendo reações químicas, físicas e microbiológicas. Ainda, com a falta da manutenção da calagem e a reação do CaCO_3 com o solo, os sítios de adsorção que seriam ocupados pelo boro podem ter sido ocupados por outro nutriente, mesmo porque a adsorção de boro ocorre até determinado ponto crítico e, a partir deste não adianta mais adicionar boro porque a adsorção não será mais efetiva.

O mesmo comportamento foi observado para a calagem mais alta (9 t ha^{-1}), porém de maneira mais acentuada, onde ocorre intensa adsorção de boro pelo solo no intervalo de $1 \text{ a } 4 \mu\text{g mL}^{-1}$ atingindo valores de $8 \mu\text{g g}^{-1}$ seguida de uma queda acentuada para $5 \mu\text{g g}^{-1}$ quando da adição de $8 \mu\text{g mL}^{-1}$. Esses resultados demonstram que há uma intensa saturação de boro nos argilo minerais ou outros constituintes do solo, logo a pequenas quantidades de boro adicionadas, ficou evidente que os espaços que seriam ocupados pelo boro já estavam ocupados por outro elemento, deixando pouco espaço para o B, diminuindo portanto a adsorção deste último em comparação com a Figura 9 (a). Ainda relacionando a falta da manutenção da calagem, pode-se inferir que a adsorção de boro pelo solo fica prejudicada e, portanto maior quantidade de boro fica na solução do solo em condições de ser prontamente absorvido pelas plantas ou mesmo sujeito a perda por lixiviação.

A partir dos dados de B adsorvido ao solo ($\mu\text{g g}^{-1}$) e B remanescente na solução de equilíbrio ($\mu\text{g mL}^{-1}$), foram obtidos os parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich (Tabela 4).

A Tabela 4 apresenta os valores das constantes calculadas pelas isotermas de Freundlich e Langmuir, respectivamente.

Tabela 4. Constantes calculadas pelas isotermas de Freundlich e Langmuir.

Ano Agrícola	Calagem t/ha	Isoterma de Freundlich		Isoterma de Langmuir		
		K_f mL/ μ g	n	$Ad_{m\acute{a}x}$ μ g/g	K mL/ μ g	pH (CaCL ₂)
98-99	1,5	1.151	0.822	36.852	0.027	4.50
	3,0	1.536	0.811	36.380	0.039	4.58
	6,0	1.818	0.858	68.296	0.024	5.03
	9,0	1.815	1.011	254.688	0.008	5.55
99-00	1,5	2.149	0.352	6.340	0.376	4.30
	3,0	2.338	0.590	16.320	0.137	4.60
	6,0	2.403	0.723	37.493	0.053	5.15
	9,0	4.669	0.133	6.590	2.828	5.53
00-01	1,5	1.383	0.720	20.804	0.056	4.25
	3,0	1.733	0.573	12.081	0.126	4.60
	6,0	1.811	0.599	13.836	0.118	5.05
	9,0	2.631	0.396	8.850	0.332	5.35

Os ajustes das curvas de adsorção dados pelas isotermas de Langmuir e Freundlich foram muito bons, principalmente para o ano agrícola 1998-1999 (Figuras 10) onde a relação com a calagem praticada era direta. Há quase setenta anos, Midgley e Dunklee (1939) *apud* Alleoni (1996) já prediziam que adições de carbonatos de cálcio e de magnésio causavam aumento na adsorção de boro em solos ácidos com alto teor de carbono orgânico. A alcalinidade produzida pelos corretivos teve mais influência na fixação de boro do que os cátions trocáveis (OLSON e BERGER, 1946 *apud* ALLEONI, 1996).

Para o ano agrícola 1999-2000, os ajustes também foram muito bons, porém, com efeito menos pronunciado para a calagem mais alta (9 t ha⁻¹) (Figura 11), o que também ocorreu para o ano agrícola 2000-2001 (Figura 12). Este diferencial para a calagem mais alta pode ter ocorrido em função das mudanças ocorridas no solo após o cultivo da soja, ou ainda, pode ser um indício de que, numa calagem muito alta, a maioria dos sítios de adsorção, representada pelos grupos carboxílicos dos ácidos húmicos da matéria orgânica, provavelmente com o passar do tempo, e reação deste com o solo, foram ocupados pelos íons Ca²⁺, ou seja, poucos sítios ficaram disponíveis para adsorver boro (GU e LOWE, 1990, *apud*

AZEVEDO 2001.) Estes mesmos autores afirmam que o íon cálcio possui maior afinidade pelos grupos carboxílicos que o boro.

No primeiro ano, certamente, o teor de boro no solo, antes da adição da adubação, era menor. A calagem efetuada antes dessa adição, com menor teor de boro no solo, provavelmente teve influência, proporcionando efeito mais significativo no aumento da adsorção de boro pelo solo que nos outros anos, quando o teor de boro já havia aumentado, como relatado em Gupta e McLeod, 1977, *apud* Alleoni, 1996.

Os modelos de Langmuir e Freundlich ajustam-se bem à adsorção de boro aos solos, dentro da faixa de concentração do elemento utilizada. Neste caso, a limitação da isoterma de Langmuir, relatada pela literatura como a impossibilidade de descrever o comportamento da adsorção em altas concentrações de boro e em condições variáveis de pH, não se aplica, pois apesar de uma pequena variação de pH entre os dados experimentais, a faixa de concentração estudada é baixa em relação a experimentos que utilizam 100 ou mesmo 200 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de B.

Adsorção de B - Ano 98/99

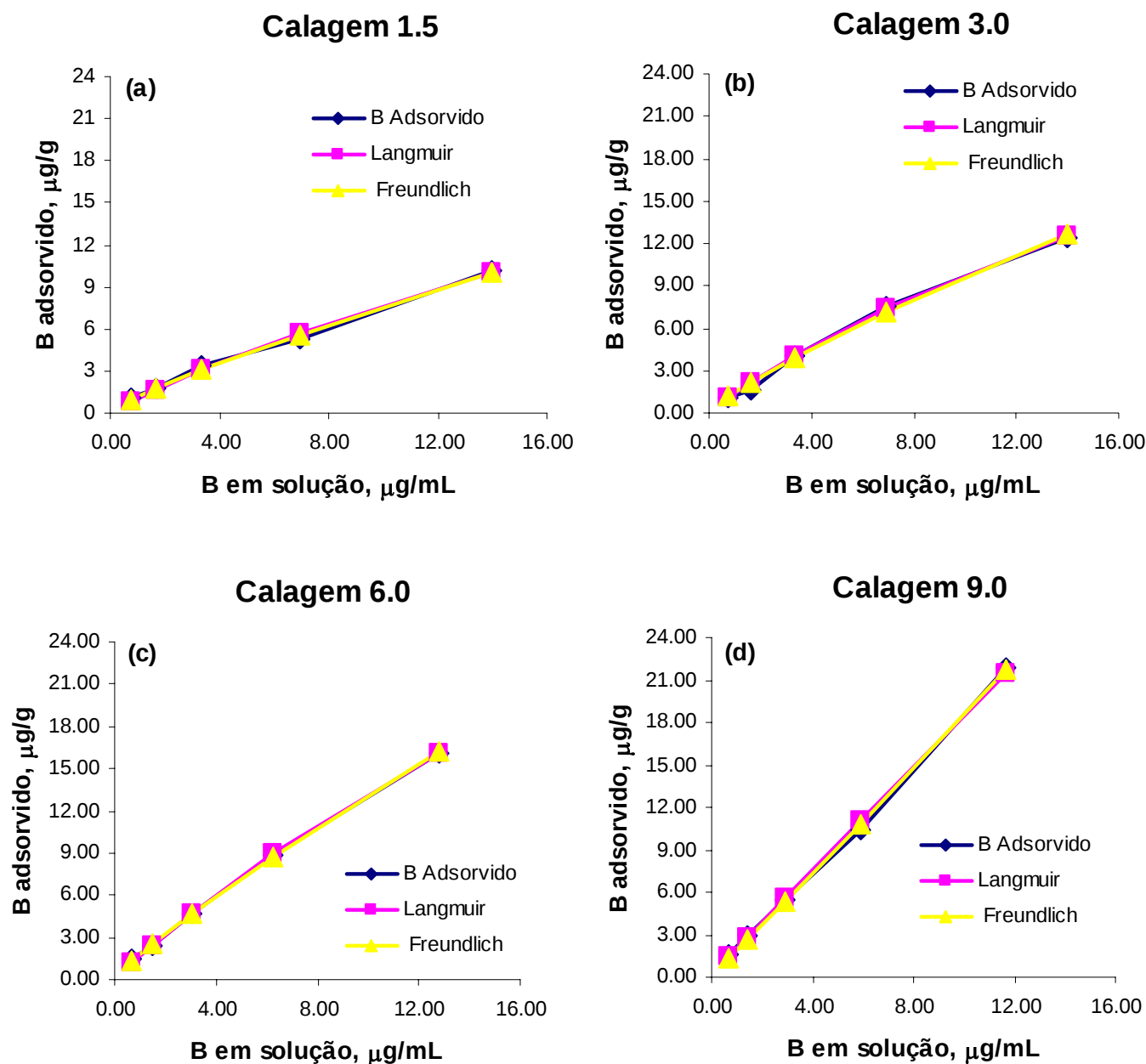


Figura 10. Adsorção de boro nos tratamentos (a) 1,5 t ha⁻¹, (b) 3,0 t ha⁻¹, (c) 6 t ha⁻¹, (d) 9 t ha⁻¹ e curvas obtidas a partir de valores estimados pelos modelos de Langmuir e Freundlich no ano agrícola 1998/1999.

Adsorção de B - Ano 99/00

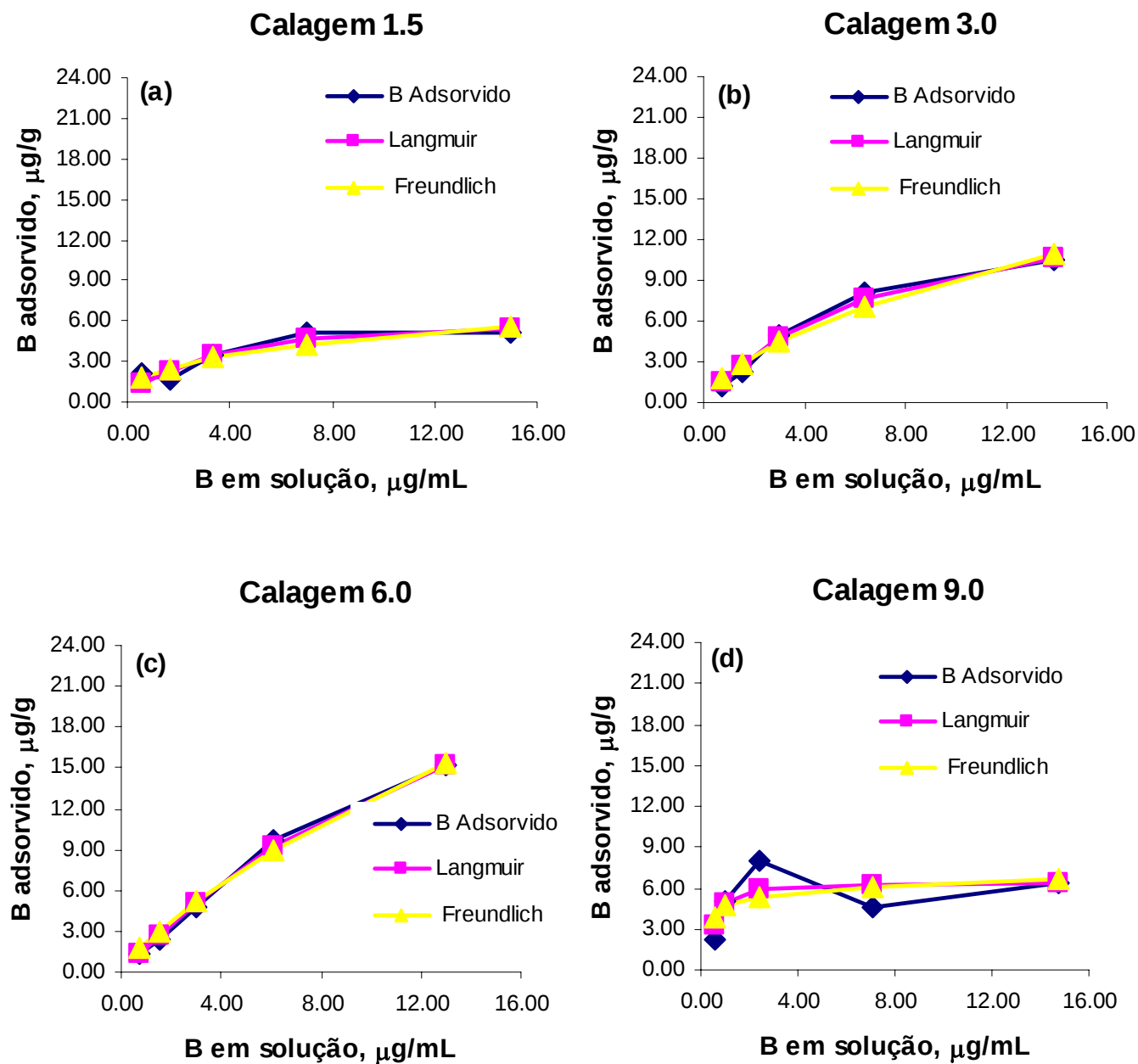


Figura 11. Adsorção de boro nos tratamentos (a) 1,5 t ha⁻¹, (b) 3,0 t ha⁻¹, (c) 6 t ha⁻¹, (d) 9 t ha⁻¹ e curvas obtidas a partir de valores estimados pelos modelos de Langmuir e Freundlich no ano agrícola 1999/2000.

Adsorção de B - Ano 00/01

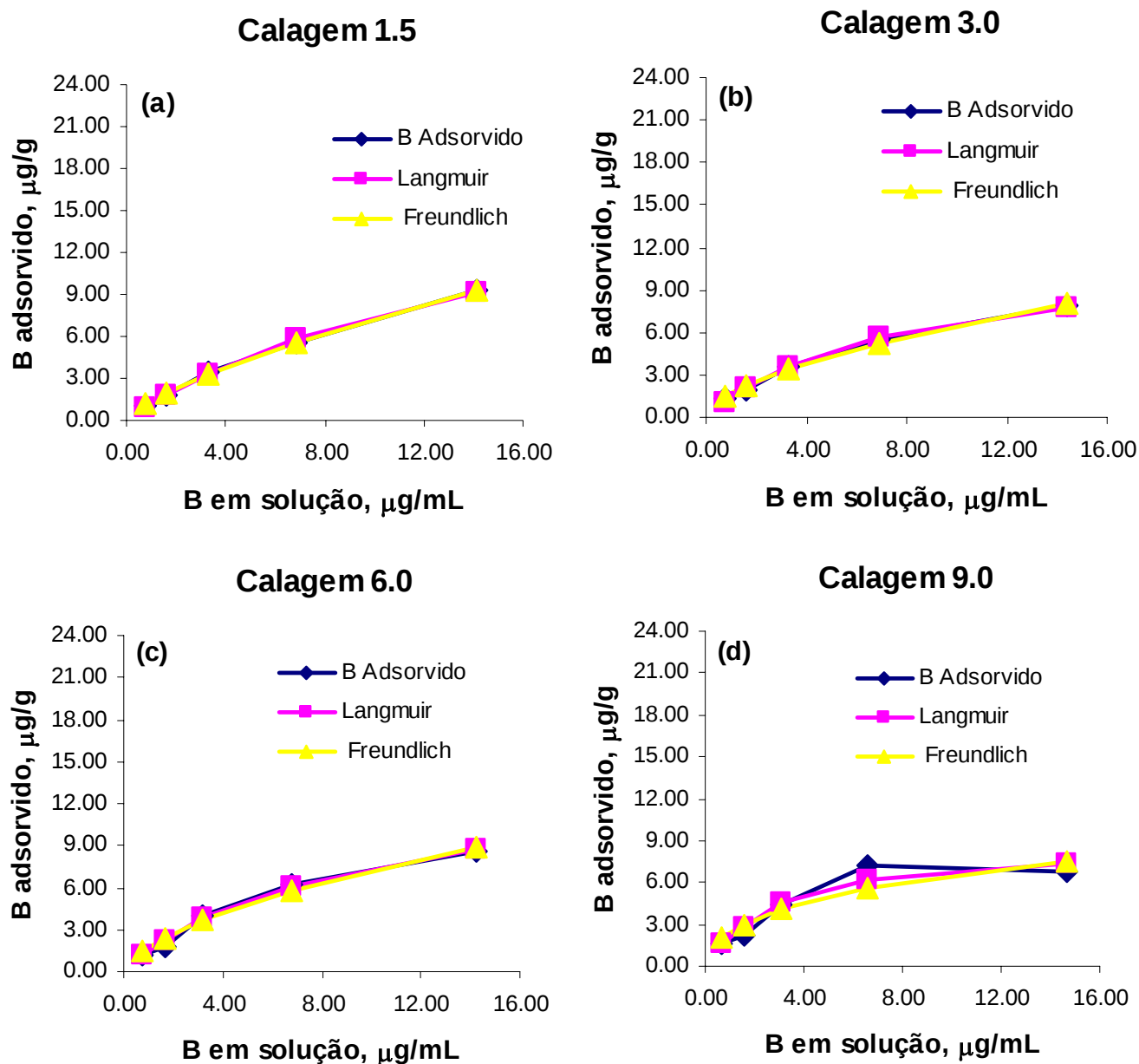


Figura 12. Adsorção de boro nos tratamentos (a) 1,5 t ha⁻¹, (b) 3,0 t ha⁻¹, (c) 6 t ha⁻¹, (d) 9 t ha⁻¹ e curvas obtidas a partir de valores estimados pelos modelos de Langmuir e Freundlich no ano agrícola 2000/2001.

6.4. LIXIVIAÇÃO DE BORO NO SOLO

O ensaio de lixiviação realizado neste trabalho mostrou que tanto quanto maior a quantidade de água passa pelo solo, maior é a quantidade de boro que é arrastada perfil abaixo. Mesmo quando não foi adicionado boro ao solo (adubação equivalente a 5 kg ha^{-1} de boro na forma de ácido bórico) a pequena quantidade de boro presente no solo, originalmente ou como residual de adições anteriores, foi lavada pela água que passou pelos poros do solo, e, ainda, os tratamentos que já haviam recebido boro anteriormente por ocasião da condução do experimento quando estava instalada a cultura da soja (Boro 5 e Boro10), possuíam quantidade maior de boro em relação ao tratamento sem boro (Boro 0) no qual foram lixiviadas quantidades bem menores, como era de se esperar (Figuras 13 e 14).

Quando foi adicionado boro ao solo numa adubação referente a 5 kg ha^{-1} na forma de ácido bórico (Figuras 15 e 16) as quantidades de boro presentes na água que passou pelas colunas de solo, retirando o mesmo deste, foram milhares de vezes maiores em relação às quantidades encontradas no tratamento sem adição de boro. Na calagem 1, B 0, quando passada 1 vez o volume de poros no solo foi cerca de 7400 vezes maior em relação ao não adubado, quando passadas 2 vezes o volume de poros foi de cerca de 7100 vezes maior, quando passadas 3 vezes de cerca de 2000 vezes maior e 1300 vezes maior quando passadas 4 vezes o volume de poros. No tratamento calagem 1, B 5, esses valores foram de cerca de 1800, 3300, 2400 e 740 vezes respectivamente. No tratamento calagem 1 B 10, os valores encontrados estiveram por volta de 2000, 3000, 1200 e 780 vezes, respectivamente. Seguindo-se o mesmo raciocínio, no tratamento calagem 2, B 0, esses valores foram 6200, 5100, 3300 e 1200 vezes maiores relativos a 1 vez, 2 vezes, 3 vezes e 4 vezes o volume de poros, respectivamente. O tratamento calagem 2, B 5 apresentou valores 2300, 3400, 1400 e 710 vezes maiores, respectivamente. Finalmente para o tratamento calagem 2, B 10, foram encontrados valores 1400, 2700, 1700 e 720 vezes maiores, respectivamente.

Ainda é possível perceber que, para a adubação praticada no ensaio, tanto na calagem 1, mais baixa, quanto na calagem 2, mais alta, para os tratamentos B 5 e B 10 a quantidade máxima perdida de boro quando passado 4 vezes o volume de poros do solo fica próxima a $6,1 \text{ µg/ml}$, parecendo ser este um limite.

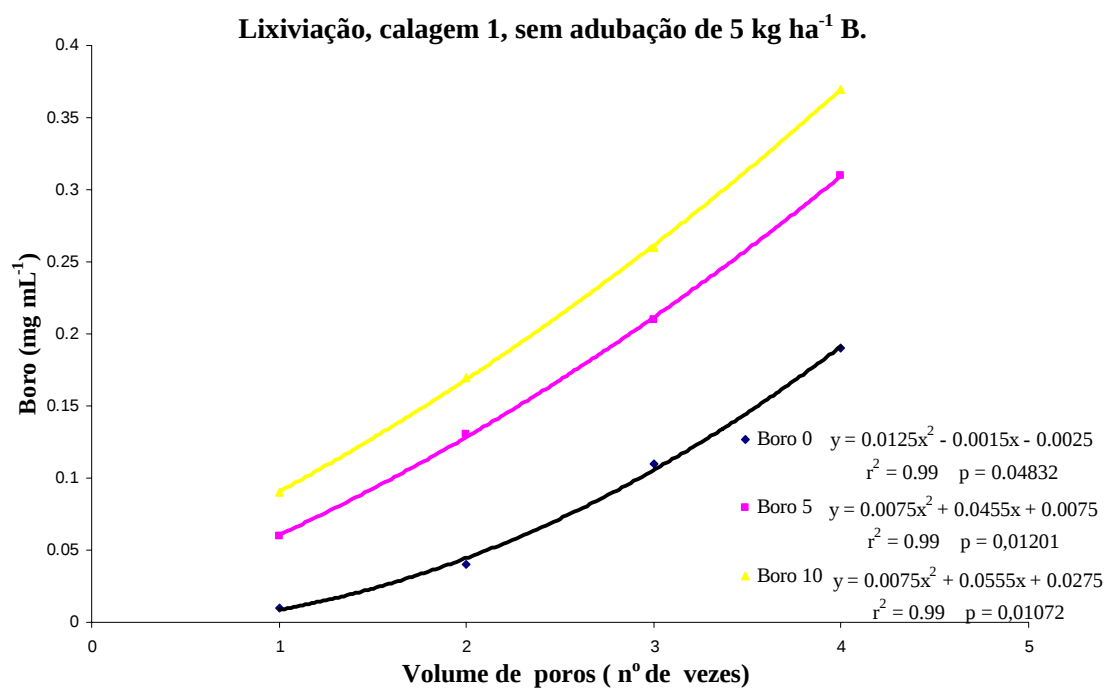


Figura 13. Lixiviação de boro no solo estudado, Calagem 1 (1,5 + 3,0 + 4,5 t/ha) sem adição de 5 kg/ha de boro na forma de ácido bórico.

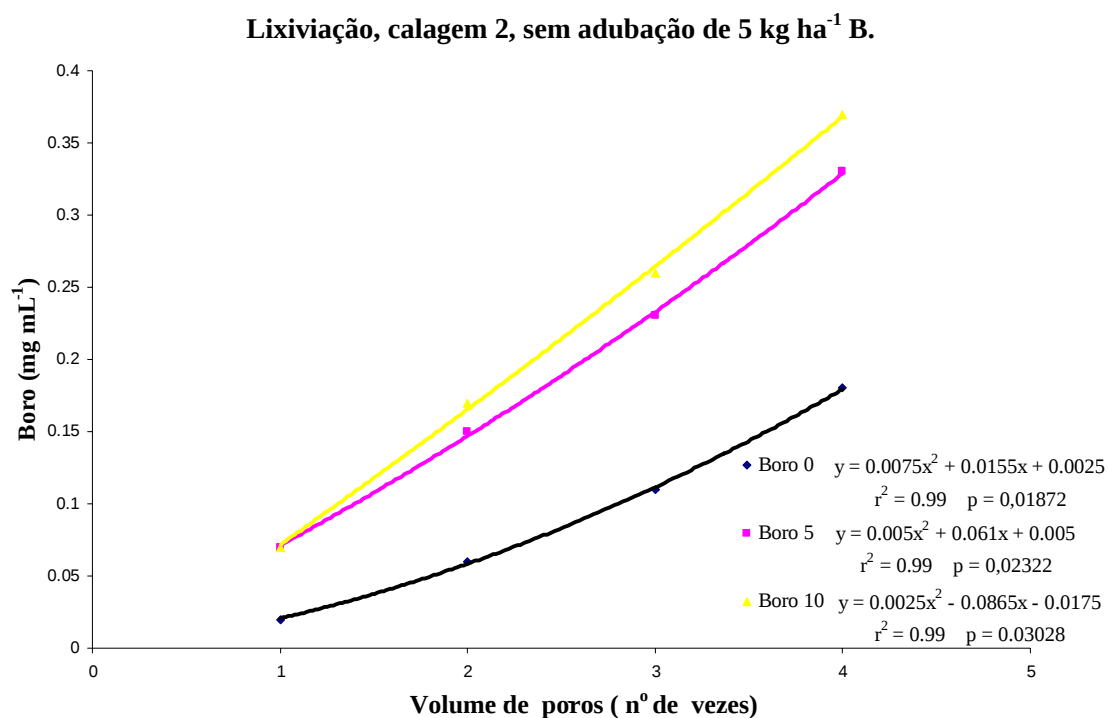
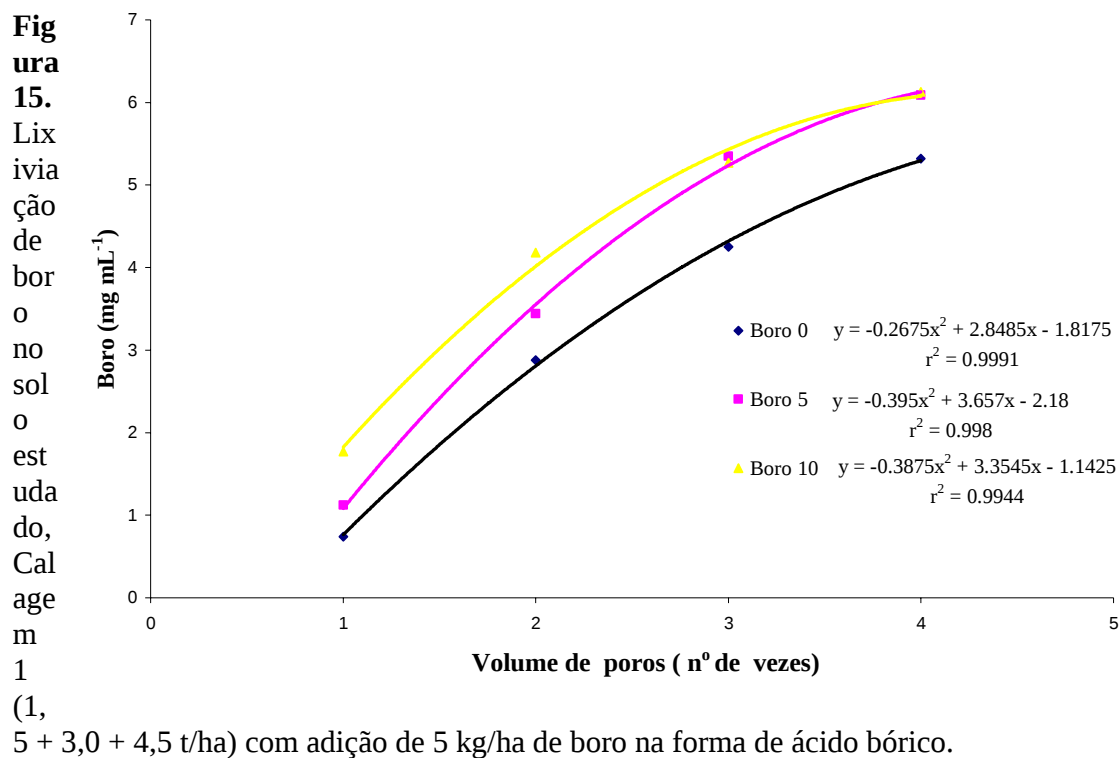


Figura 14. Lixiviação de boro no solo estudado, Calagem 2 (6,0 + 7,5 + 9,0 t/ha) sem adição de 5 kg/ha de boro na forma de ácido bórico.

Lixiviação, calagem 1, com adubação de 5 kg ha⁻¹ B.



Lixiviação, calagem 2, com adubação de 5 kg ha⁻¹ B.

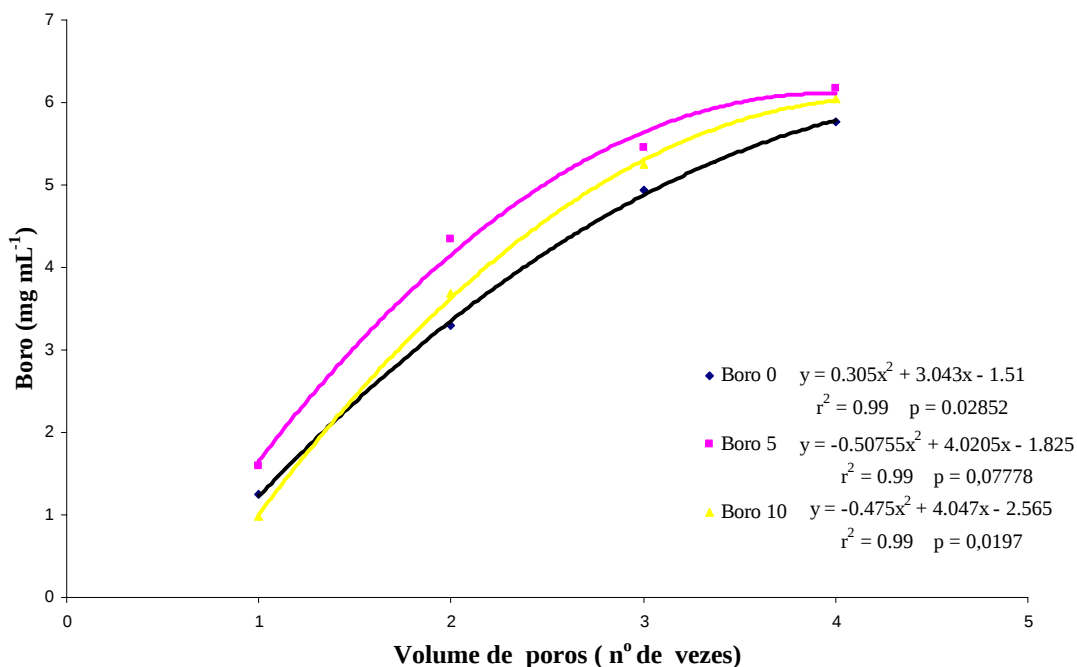


Figura 16. Lixiviação de boro no solo estudado, Calagem 2 (6,0 + 7,5 + 9,0 t/ha) com adição de 5 kg/ha de boro na forma de ácido bórico.

Para se ter uma idéia da quantidade de boro lixiviada no experimento, foram feitas as devidas transformações para as unidades mg kg^{-1} de solo, esses dados estão apresentados na Tabela 5.

Esses resultados elucidam o fato de que quando se adiciona boro ao solo grande parte deste será perdido por lixiviação. Mas não é porque esta forma de perda é real e significativa que se deve aumentar a dose a ser aplicada, com o intuito de aumentar a produção, porque o boro aplicado em excesso pode representar um sério problema de toxidez, levando a um grande prejuízo na produção. No entanto, para a racionalização do sistema de produção como um todo, quando se trata da adubação com boro vale lembrar que nem todo boro aplicado ficará disponível às plantas, neste caso como informação chave para a adoção desta, deve-se aliar a capacidade de adsorção de um solo, ao nível de boro na solução que pode ser tolerado pela cultura e à quantidade de água de irrigação que irá trabalhar neste sistema.

Tabela 5. Quantidades lixiviadas, em mg kg^{-1} de solo, nos tratamentos do experimento de adsorção.

Calagem 1 sem adubação				
Tratamentos	1 vez volume de poros (120 mL)	2 vezes volume de poros (240 mL)	3 vezes volume de poros (360 mL)	4 vezes volume de poros (480 mL)
Boro 0	0,004 ppm	0,036 ppm	0,134 ppm	0,309 ppm
Boro 5	0,024 ppm	0,106 ppm	0,257 ppm	0,504 ppm
Boro 10	0,037 ppm	0,138 ppm	0,317 ppm	0,602 ppm
Calagem 2 sem adubação				
Tratamentos	1 vez volume de poros (120 mL)	2 vezes volume de poros (240 mL)	3 vezes volume de poros (360 mL)	4 vezes volume de poros (480 mL)
Boro 0	0,008 ppm	0,049 ppm	0,134 ppm	0,293 ppm
Boro 5	0,028 ppm	0,122 ppm	0,281 ppm	0,537 ppm
Boro 10	0,028 ppm	0,138 ppm	0,317 ppm	0,602 ppm
Calagem 1 com adubação				
Tratamentos	1 vez volume de poros (120 mL)	2 vezes volume de poros (240 mL)	3 vezes volume de poros (360 mL)	4 vezes volume de poros (480 mL)
Boro 0	0,301 ppm	2,343 ppm	5,186 ppm	8,656 ppm
Boro 5	0,456 ppm	2,799 ppm	6,529 ppm	9,909 ppm
Boro 10	0,517 ppm	3,401 ppm	6,431 ppm	9,974 ppm
Calagem 2 com adubação				
Tratamentos	1 vez volume de poros (120 mL)	2 vezes volume de poros (240 mL)	3 vezes volume de poros (360 mL)	4 vezes volume de poros (480 mL)
Boro 0	0,508 ppm	2,677 ppm	6,028 ppm	9,372 ppm
Boro 5	0,651 ppm	3,531 ppm	6,663 ppm	10,039 ppm
Boro 10	0,403 ppm	2,994 ppm	6,407 ppm	9,828 ppm

Calagem 1: 1,5 + 3,0 + 4,5 t ha^{-1} , Calagem 2: 6,0 + 7,5 + 9,0 t ha^{-1} .

7. CONCLUSÕES

- O método do CaCl_2 a quente foi o método que apresentou maior correlação com o boro presente no tecido vegetal nos três anos agrícolas, indicando que, para o tipo de solo estudado, a substituição do BaCl_2 pelo CaCl_2 para extração de boro dos solos em forno de microondas, pode ser efetuada com notável eficiência. No entanto, seria interessante que fosse testada em outros tipos de solo.

- A adsorção de boro nos solos foi crescente de acordo com o aumento da calagem, sendo esse efeito diminuído com o passar do tempo, ao passo que a porcentagem adsorvida em relação à quantidade adicionada diminuiu com o aumento de B na solução em equilíbrio no primeiro ano agrícola, quando a calagem foi efetuada.

- A lixiviação de boro ocorreu mesmo quando este não foi adicionado ao solo na forma de adubação. Independente da calagem, o boro presente, originalmente ou mesmo como residual de adições anteriores, foi lixiviado em quantidades consideradas elevadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. A.; ABREU, M.F.; RAIJ, B. van; BATAGLIA, O . C; ANDRADE, J.C. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, p. 3311-3333, 1994.
- ABREU, C. A.; ABREU, M.F. Determinação de boro em água quente usando aquecimento com microonda. In: RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação de solos tropicais**. IAC, Campinas, p.231-39, 2001.
- ALLEONI, L. R. F. **Adsorção de Boro em Podzólico e Latossolos Paulistas**. Piracicaba, 1996. 127 p. (Doutorado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”).
- ANDRADE, J.C.; FERREIRA, M.; BACCAN, N. Spectrophotometric determination of boron in plants using monosegmented continuous flow analysis. **Analyst**, v.113, p. 289-93, 1988.
- AZEVEDO, R. A., FAQUIN, V., FERNANDES, L. R. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 957-964, julho 2001.
- BARROW, N. J. **Reactions with variable-charge soils**. Dondrecht, Martinus Nijhoff Publishers, 1987. 191p.
- BARTZ, H. R.; MAGALHÃES, A. F. Avaliação da disponibilidade de boro através de soluções extratoras em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Agronômica Sulriograndense**, Porto Alegre, 11, p. 89-96, 1975.

- BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 14, p. 25-31, 1990.
- BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants using the quinalizarin reaction. **Industry Engineering Chemical Analysis**. Ed., Washington. 11, p. 540-545, 1939.
- BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron tests and determination for soil and plants. **Soil Science**, New Brunswick, 57, p. 25-36, 1944.
- CORREA, A. E; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Aplicação de boro no solo e respostas do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 20 (2), p. 177-181, 1985.
- CATANI, R. A., ALCARDE, J. C. e KROLL, F. M. Extração e determinação do boro solúvel dos solos. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, 27, p. 287-97, 1970.
- COSTA, A. C. S., BIGHAM, J. M., TORMENA, C. A., PINTRO, J. C. Clay mineralogy and cation exchange capacity of Brazilian soils from water contents determined by thermal analysis. **Termochimica Acta**. 413, p. 73-79, 2004.
- COX, F.R.; KAMPRATH, E. J. Micronutrient soil tests. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W. L., eds. **Micronutrients in agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p. 289-317.
- CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do boro disponível em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 19, p. 1457-1464, 1984.
- CRUZ, M. C. P.; NAKAMURA, A. M.; FERREIRA, M.E. Adsorção de boro pelo solo: efeito da concentração e o pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 22 (6), p. 621-626, 1987.
- DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P., eds. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, p. 113-130, 1991.
- DIBLE, W. T.; TRUOG, E.; BERGER, K. C. Boron determination in soils and plants. Simplified Curcumin Procedure. **Analysis Chemical**, New York, 26 (2), p. 418-421, 1954.
- FERREIRA, G. B. Interferências de matéria orgânica e ferro na dosagem de boro com azometina-H e comparação de extratores para boro disponível no solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 97p. (Dissertação de Mestrado).

- FERREIRA, G.B.; FONTES, R.L.F.; FONTES, M.P.F; ALVAREZ VENEGAS, V. H. Influência de algumas características do solo nos teores de boro disponível. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 93-103, 2001.
- FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. eds . **Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura**. Jaboticabal: CNPq/ FAPESP/POTAFOS, 612 p., 2001.
- FONTES, R. L. F.; ABREU, C. A.; ABREU, M.F. Disponibilidade e Avaliação de Elementos Aniônicos. In: **Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura**. Jaboticabal: CNPq/ FAPESP/POTAFOS, p. 187-198, 2001.
- FUNDAÇÃO MT (Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso) eds. **Boletim de Pesquisa de Soja**, n. 06, p. 229-230, 2002.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. **Plant Soil**, 193, p. 35-48, 1997.
- GUPTA, U.C. Some factors affecting the determination of howater-soluble boron from podzol soils using azometine-H. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 59, p. 241-247, 1979.
- GUPTA, U.C. A Simplified method for determinininghot-water soluble born in podzol soils. **Soil Science**, New Brunswick, 103 (6), p. 424-9, 1967.
- LI, R.; GUPTA, U. C. Extraction of soil boron for predicting its availability to plants. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, 22, p. 1003-1012, 1991.
- LONERAGAN, J.F. Plant nutrition in the 20th and perspectives for the 21st century. In: **Development in plant and soil sciences**. Tokyo, Kluwer Academic Publishers, v.78. p. 3-14, 1997.
- MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F. A. F. **Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1974.
- MARTENS, D. C. Plant availability of extractable boron, copper and zinc as related to selected soil properties. **Soil Science**, New Brunswick, 106 (1), p. 23-8, 1968.
- MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: **Micronutrients in agriculture**. Soil Science Society of America , Inc. Madison, Wisconsin, USA, 666 p., 1972.
- ODOM, J. W. Kinetics of the hot-water soluble boron soil test. **Communication Soil Science Plant Analysis**, New York, 11 (7), p. 759-765, 1980.

- OFFIAH, O. O.; AXLEY, J. H. Soil testing for boron on acid soils. In: Gupta, U. C. eds. **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC Press, p. 105-123, 1993.
- OKAZAKI, E.; CHAO, T. T. Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils. **Soil Science**, Baltimore, 105, p. 255-259, 1968.
- PAGE, N. R.; PADEN, W. R. Boron-supplying power of several South Carolina soils. **Soil Science**, New Brunswick, 77, p. 427-34, 1954.
- PARKER, D. R.; GARDNER, E. H. Factors affecting the mobility and availability of boron in some Western Oregon soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison 46 (3), p. 573-8, 1982.
- PATIL, S.G.; SETKAR, S.; HEBBARA, M. Relationship between water table depth, soil boron and sunflower genotypic response on a saline soil. In: **Boron in soils and plants**, Proceedings of the International Symposium on Boron in Soils and Plants, Chiang Mai, Thailand Kluwer academic publishers, v. 76, p. 261-4, 1997.
- PROJETO RADAMBRASIL (Programa de Integração Nacional). Levantamento de recursos naturais. Folha SD.21 Cuiabá, editado pela Divisão de Publicação, Rio de Janeiro, v. 26, 544p. Il. 1982.
- RAIJ, van B.; BATAGLIA, O. C. Análise química de solo. In: FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P., eds. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, p. 333-356, 1991.
- RIBEIRO, A. C.; TUCUNANGO SARABIA, W. A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em latossolos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 8, p. 85-89, 1984.
- ROBERTSON, L. S.; KNEZEK, B. D. e BELO, J. O. A survey of Michigan soils as related to possible boron toxicities. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York 6 (4), p. 359-73, 1975.
- RODRIGUES, S. C. Mapa geomorfológico do cerrado aplicado a definição de ecorregiões. **X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. E3-3.3T076, Rio de Janeiro, 2003.
- SAH R. N.; BROWN, P. H. Techniques for boron determination and their application to the analysis of plant and soil samples. **Plant and Soil**, 193, p. 15-33, 1997.

- SHUMWAY, J. S.; JONES, J. P. Boron adsorption isotherm: a method to estimate boron fertilizer requirement. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**. New York, 3, p. 477-485, 1972.
- SILVA, F. R.; FERREIRA, H. F. F. Disponibilidade de boro em solos do Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23, p. 227-236, 1999.
- SIMS, J.R. e BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soils materials. II: Sesquioxides. **Soil Science Society of America Proceedings**, 32 (3), p. 364-9, 1968a.
- SIMS, J.R. e BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soils materials. III: Iron and aluminum-coated layer silicates and soil materials. **Soil Science Society of America Proceedings**, 32 (3), p. 369-73, 1968b.
- TANAKA, H. Boron adsorption by plant roots. **Plant Soil**, 27, p. 300-302, 1967.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W.L. Sulfur and micronutrients in soils and fertilizers. In: **Soil fertility and fertilizers**. The MacMillan Company, New York, second edition, 694 p., 1966.
- VANDERLEI, J. C.; FAQUIN, V.; GUEDES, G. A. A. e CURI, N. Boro em materiais de três solos do município de Lavras, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 23, p. 1421-1429, 1988.
- WOLF, B. The determination of boron in soils extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, 2, p. 363-374, 1971
- WOLF, B. Improvements in the Azomethine-H method for determination of boron. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, 5, p. 39-44, 1974.
- ZARCINAS, B. A. Supression of iron interference in the determination of boron using the azomethine-H procedure. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, 26, p. 713-729, 1995.

Anexo 1. Análise química do solo no ano agrícola 1998/1999.

Calagem	Dose B	pH	P	Melich 1	K	Ca	Mg	S	B	H + Al	MO	CTC	V
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	mg kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%
1.5	0.0	4.50	8.83	39.75	1.23	0.68	10.53	0.25	5.86	31.30	7.85	26.05	
1.5	1.0	4.18	4.05	44.25	0.88	0.40	8.43	0.23	6.43	31.60	7.80	17.70	
1.5	3.0	4.15	3.65	38.75	0.85	0.40	7.90	0.26	6.73	32.48	8.08	16.93	
1.5	5.0	4.18	2.70	37.75	0.73	0.35	4.93	0.23	6.70	31.00	7.83	15.00	
1.5	7.0	4.18	3.23	34.25	0.83	0.38	7.60	0.23	6.60	31.65	7.88	16.53	
1.5	10.0	4.18	6.83	41.00	0.80	0.38	4.28	0.23	6.45	30.75	7.73	16.55	
3.0	0.0	4.58	3.10	46.50	1.38	0.70	2.90	0.25	5.56	30.55	7.68	28.75	
3.0	1.0	4.48	4.15	43.50	1.20	0.63	11.75	0.26	5.41	29.30	7.30	25.85	
3.0	3.0	4.50	4.75	45.50	1.33	0.68	6.20	0.27	5.83	32.03	7.85	26.90	
3.0	5.0	4.53	4.18	47.75	1.33	0.68	2.28	0.25	5.68	31.60	7.75	27.58	
3.0	7.0	4.58	3.85	40.25	1.43	0.73	2.78	0.26	5.30	30.58	7.50	30.03	
3.0	10.0	4.53	3.80	45.00	1.33	0.65	9.55	0.27	5.75	30.75	7.78	26.93	
4.5	0.0	4.65	2.48	37.50	1.45	0.83	2.73	0.26	5.35	30.98	7.68	30.85	
4.5	1.0	4.68	2.48	40.25	1.55	0.88	3.33	0.27	5.05	30.13	7.55	33.53	
4.5	3.0	4.68	3.28	42.25	1.43	0.83	4.03	0.26	4.81	27.58	7.10	32.98	
4.5	5.0	4.65	3.10	41.50	1.58	0.80	3.23	0.27	5.28	30.80	7.70	32.33	
4.5	7.0	4.65	5.05	41.50	1.50	0.78	4.38	0.28	5.08	29.13	7.43	31.95	
4.5	10.0	4.73	2.08	42.75	1.63	0.98	3.33	0.34	5.11	31.88	7.83	34.75	
6.0	0.0	5.03	8.58	44.75	2.13	1.35	5.73	0.26	4.20	31.85	7.78	46.18	
6.0	1.0	5.05	2.93	48.50	2.05	1.25	5.48	0.25	4.13	30.80	7.55	45.75	
6.0	3.0	5.03	3.38	41.75	1.95	1.20	5.85	0.26	4.01	28.93	7.25	45.18	
6.0	5.0	5.00	3.28	48.50	1.98	1.28	4.25	0.31	4.20	29.93	7.55	44.70	
6.0	7.0	4.95	1.78	48.00	1.73	1.15	6.15	0.27	4.05	27.93	7.05	42.38	
6.0	10.0	5.18	2.63	39.25	2.00	1.23	4.00	0.25	3.50	27.23	6.83	49.10	
7.5	0.0	5.28	5.48	48.00	2.30	1.53	5.08	0.30	3.88	31.63	7.80	50.80	
7.5	1.0	5.23	1.95	41.25	2.20	1.45	3.85	0.24	3.60	30.35	7.35	51.18	
7.5	3.0	5.35	3.78	41.50	2.30	1.58	4.98	0.25	3.28	29.53	7.23	55.05	
7.5	5.0	5.23	16.20	49.50	2.40	1.55	9.58	0.29	3.83	32.53	7.95	51.30	
7.5	7.0	5.28	6.33	48.25	2.33	1.53	4.85	0.29	3.58	30.73	7.50	52.70	
7.5	10.0	5.35	2.38	47.50	2.38	1.60	3.53	0.30	3.45	29.58	7.53	54.38	
9.0	0.0	5.55	2.73	42.00	2.50	1.70	4.93	0.28	3.08	30.40	7.35	58.50	
9.0	1.0	5.43	5.05	41.50	2.63	1.83	4.08	0.29	3.43	31.98	7.98	57.35	
9.0	3.0	5.20	2.25	39.75	2.05	1.43	11.53	0.27	3.38	27.90	6.93	50.18	
9.0	5.0	5.50	2.48	39.50	2.53	1.78	3.50	0.30	2.93	29.35	7.30	60.23	
9.0	7.0	5.15	2.88	46.25	2.40	1.58	3.38	0.28	4.18	33.15	8.30	48.45	
9.0	10.0	5.48	4.70	44.50	2.63	1.75	3.43	0.31	3.08	30.75	7.55	59.20	

Análises realizadas pela Fundação MT, por ocasião da condução do experimento.

Anexo 2. Análise química do solo no ano agrícola 1999/2000.

Calagem	Dose B	pH	P	Melich 1	K	Ca	Mg	S	B	H + Al	MO	CTC	V
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	CaCl ₂	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³		mg kg ⁻¹		cmol _c dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%
1.5	1.0	4.28	7.55	48.75	0.88	0.88	0.35	10.88	0.31	6.05	28.90	7.38	18.23
1.5	3.0	4.30	8.50	50.25	0.95	0.95	0.35	10.48	0.28	5.83	28.15	7.23	19.95
1.5	5.0	4.28	8.25	58.00	0.90	0.90	0.35	9.13	0.30	6.00	29.33	7.38	19.03
1.5	7.0	4.30	4.55	47.25	0.90	0.90	0.33	8.58	0.31	6.10	29.10	7.48	18.05
1.5	10.0	4.33	7.75	57.75	0.85	0.85	0.33	8.48	0.32	5.78	28.10	7.10	18.70
3.0	0.0	4.60	8.40	63.50	1.58	0.70	0.70	5.55	0.31	5.1	29.30	7.50	32.30
3.0	1.0	4.73	10.25	60.75	1.73	0.70	0.70	6.03	0.29	4.9	29.58	7.48	34.65
3.0	3.0	4.65	6.88	53.25	1.60	0.70	0.70	6.30	0.32	5.025	29.18	7.43	32.78
3.0	5.0	4.58	5.83	51.50	1.45	0.63	0.63	5.98	0.29	4.975	28.33	7.18	30.78
3.0	7.0	4.63	4.35	51.50	1.55	0.63	0.63	6.70	0.28	5.05	28.90	7.35	31.35
3.0	10.0	4.63	5.93	54.50	1.50	0.65	0.65	5.95	0.33	5.075	28.70	7.30	31.30
4.5	0.0	4.80	6.98	51.50	1.83	0.83	0.83	6.43	0.25	4.63	28.90	7.40	37.60
4.5	1.0	4.73	3.00	59.25	1.68	0.78	0.78	5.48	0.26	4.75	28.90	7.35	35.50
4.5	3.0	4.80	2.75	58.50	1.63	0.85	0.85	5.38	0.28	4.35	27.73	6.98	37.60
4.5	5.0	4.80	3.20	62.50	1.80	0.93	0.93	7.58	0.28	4.65	29.70	7.55	38.13
4.5	7.0	4.83	8.95	58.00	1.75	0.85	0.85	5.55	0.28	4.50	28.58	7.23	38.05
4.5	10.0	4.85	9.05	67.75	1.85	0.90	0.90	6.70	0.31	4.58	28.90	7.48	39.13
6.0	0.0	5.15	9.75	52.00	2.38	1.20	1.20	6.75	0.28	3.85	30.58	7.60	48.68
6.0	1.0	5.08	7.85	59.00	2.15	1.30	1.30	7.25	0.29	3.93	29.53	7.53	47.90
6.0	3.0	5.08	10.40	64.00	2.18	1.18	1.18	7.93	0.27	3.88	29.30	7.40	47.63
6.0	5.0	5.08	10.05	54.00	2.20	1.23	1.23	7.75	0.26	4.10	30.13	7.65	46.53
6.0	7.0	5.10	7.50	52.00	2.20	1.23	1.23	5.88	0.27	3.95	29.10	7.48	47.43
6.0	10.0	5.13	3.20	41.75	2.03	1.30	1.30	6.25	0.27	3.70	28.50	7.13	48.10
7.5	0.0	5.20	7.70	46.00	2.30	1.45	1.45	7.33	0.26	3.48	28.30	7.33	52.55
7.5	1.0	5.23	6.25	48.25	2.45	1.48	1.48	5.63	0.23	3.65	30.18	7.70	52.35
7.5	3.0	5.33	5.28	56.25	2.33	1.40	1.40	5.85	0.24	3.30	28.53	7.18	54.28
7.5	5.0	5.25	4.70	46.50	2.38	1.38	1.38	6.48	0.28	3.43	28.30	7.28	53.15
7.5	7.0	5.23	6.03	53.75	2.23	1.33	1.33	5.95	0.32	3.40	27.70	7.05	52.13
7.5	10.0	5.25	7.80	53.25	2.33	1.45	1.45	6.55	0.31	3.43	28.90	7.40	53.25
9.0	0.0	5.53	6.98	61.25	2.70	1.75	1.75	5.80	0.28	3.03	30.05	7.63	60.33
9.0	1.0	5.43	6.53	56.50	2.73	1.75	1.75	5.75	0.32	3.20	31.25	7.83	58.98
9.0	3.0	5.55	6.95	52.00	2.95	1.85	1.85	6.05	0.33	2.73	31.03	7.63	64.48
9.0	5.0	5.48	7.60	61.50	2.70	1.75	1.75	5.95	0.32	2.90	29.30	7.53	61.25
9.0	7.0	5.50	4.50	50.50	2.60	1.65	1.65	6.98	0.27	2.93	28.33	7.30	60.03
9.0	10.0	5.53	9.45	51.25	2.80	1.70	1.70	7.68	0.29	2.80	29.30	7.45	62.23

Análises realizadas pela Fundação MT, por ocasião da condução do experimento.

Anexo 3. Análise química do solo no ano agrícola 2000/20001.

Calagem	Dose B	pH	P Mellich 1	K	Ca	Mg	S	B	H + Al	MO	CTC	V
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		mg kg ⁻¹		cmol _c dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%
1.5	1.0	4.40	5.38	72.75	0.93	0.38	7.20	0.32	5.25	26.58	6.75	22.15
1.5	3.0	4.40	7.40	79.00	0.95	0.43	7.10	0.31	5.20	26.63	6.75	23.80
1.5	5.0	4.38	6.60	69.50	0.93	0.40	7.23	0.43	5.33	27.13	6.83	22.10
1.5	7.0	4.30	5.43	69.50	1.03	0.45	6.73	0.45	5.68	29.00	7.33	22.83
1.5	10.0	4.40	5.60	73.00	0.98	0.40	7.58	0.46	4.88	25.00	6.45	24.08
3.0	0.0	4.60	6.85	74.00	1.30	0.60	5.70	0.26	4.50	25.68	6.60	31.88
3.0	1.0	4.70	7.83	77.50	1.53	0.70	6.10	0.33	4.63	27.15	7.00	34.90
3.0	3.0	4.60	6.98	72.50	1.38	0.60	6.03	0.39	4.90	27.35	7.00	30.85
3.0	5.0	4.65	7.53	68.00	1.38	0.65	5.55	0.37	4.53	26.05	6.73	32.95
3.0	7.0	4.65	5.85	75.75	1.43	0.68	6.35	0.42	4.50	26.60	6.78	34.03
3.0	10.0	4.63	3.83	78.25	1.35	0.63	6.03	0.46	4.55	26.23	6.73	32.63
4.5	0.0	4.85	7.98	78.25	1.73	0.78	6.08	0.30	4.23	27.35	6.90	39.00
4.5	1.0	4.83	5.50	84.75	1.68	0.83	6.83	0.34	4.43	28.18	7.10	38.55
4.5	3.0	4.95	7.03	68.00	1.75	0.80	6.60	0.38	3.78	25.18	6.48	42.43
4.5	5.0	4.83	6.33	78.75	1.60	0.75	6.30	0.42	4.18	26.40	6.70	38.05
4.5	7.0	4.80	6.03	70.25	1.50	0.68	6.95	0.56	4.05	24.78	6.38	36.80
4.5	10.0	4.90	6.93	78.75	1.75	0.83	7.05	0.52	3.88	26.23	6.65	41.68
6.0	0.0	5.05	6.55	81.75	2.05	1.00	7.50	0.30	3.60	26.75	6.85	47.65
6.0	1.0	5.15	5.73	78.00	2.05	1.08	6.90	0.33	3.35	26.20	6.68	49.88
6.0	3.0	5.15	7.18	84.00	2.18	1.08	7.73	0.35	3.50	27.00	6.98	49.90
6.0	5.0	5.05	7.25	75.25	2.13	1.13	7.65	0.41	3.83	29.10	7.30	47.75
6.0	7.0	5.18	8.28	64.25	2.28	1.18	7.33	0.43	3.45	27.33	7.05	51.50
6.0	10.0	5.20	6.23	76.25	2.05	1.08	6.33	0.43	2.88	23.65	6.18	53.78
7.5	0.0	5.20	5.83	82.00	2.18	1.18	7.10	0.30	3.33	26.65	6.90	52.00
7.5	1.0	5.23	6.30	78.25	2.23	1.18	5.48	0.32	3.03	26.05	6.60	54.43
7.5	3.0	5.25	8.15	83.50	2.23	1.18	5.80	0.38	2.98	25.85	6.60	54.83
7.5	5.0	5.15	5.85	86.25	2.28	1.23	6.40	0.54	3.63	28.40	7.35	50.58
7.5	7.0	5.23	5.25	72.00	2.25	1.28	6.65	0.49	3.03	26.03	6.70	55.18
7.5	10.0	5.28	5.88	66.00	2.30	1.23	6.35	0.49	2.85	25.70	6.58	56.63
9.0	0.0	5.35	6.43	69.25	2.48	1.40	6.48	0.31	6.20	26.18	6.75	60.40
9.0	1.0	5.35	5.58	80.25	2.60	1.50	6.88	0.42	6.25	27.80	7.08	60.93
9.0	3.0	5.38	3.75	73.75	2.60	1.43	6.83	0.38	6.25	26.05	6.88	61.18
9.0	5.0	5.43	4.48	69.00	2.70	1.55	6.75	0.50	6.28	26.45	6.83	64.88
9.0	7.0	5.33	5.13	74.25	2.55	1.43	7.05	0.43	6.20	26.98	6.88	60.75
9.0	10.0	5.38	6.40	70.50	2.70	1.55	6.13	0.57	6.28	27.00	6.93	64.28

Análises realizadas pela Fundação MT, por ocasião da condução do experimento.

Anexo 4. Resultados das análises químicas das folhas da soja, ano agrícola de 1998/1999.

Calagem	Dose B	N	P	K	Ca	Mg	S	B
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹
1.5	1.0	44.45	1.80	24.10	8.30	3.63	1.95	39.63
1.5	3.0	45.85	1.93	22.90	7.90	3.33	1.98	44.98
1.5	5.0	45.50	1.93	22.75	7.90	3.55	1.98	44.73
1.5	7.0	46.20	2.03	24.05	8.08	3.63	1.98	53.08
1.5	10.0	44.10	1.78	24.20	8.10	3.53	1.90	47.08
3.0	0.0	45.50	1.93	24.05	8.30	3.75	2.03	38.38
3.0	1.0	45.85	1.93	23.50	8.35	3.93	1.98	39.30
3.0	3.0	46.90	2.00	23.60	8.43	3.85	1.95	51.63
3.0	5.0	45.50	2.03	23.05	8.53	3.98	1.93	47.70
3.0	7.0	44.80	1.90	21.60	8.55	3.80	1.95	49.83
3.0	10.0	46.55	1.93	23.85	8.20	3.73	1.98	51.40
4.5	0.0	47.25	1.88	21.75	7.90	3.50	2.03	31.70
4.5	1.0	44.80	1.90	22.50	8.20	3.75	2.03	37.80
4.5	3.0	43.75	1.98	22.55	8.48	3.85	2.03	44.23
4.5	5.0	45.85	1.93	22.35	8.45	3.83	2.03	45.60
4.5	7.0	45.50	1.98	22.70	8.43	4.08	2.00	45.43
4.5	10.0	45.50	1.85	21.10	8.15	3.65	2.05	44.13
6.0	0.0	44.80	1.98	22.10	8.28	3.83	2.00	37.05
6.0	1.0	44.45	2.03	22.85	8.80	4.28	2.03	41.28
6.0	3.0	44.80	1.95	20.65	8.33	3.75	2.00	42.40
6.0	5.0	46.20	1.93	22.35	8.48	3.93	2.00	45.20
6.0	7.0	44.45	1.90	22.65	8.33	3.95	1.98	44.40
6.0	10.0	45.15	2.03	21.75	8.53	3.95	2.05	47.35
7.5	0.0	47.95	2.03	22.45	8.53	4.00	1.90	35.88
7.5	1.0	46.90	2.00	23.00	8.60	4.30	1.93	41.93
7.5	3.0	45.15	1.90	22.75	8.45	4.15	2.03	45.68
7.5	5.0	46.55	1.95	22.35	8.65	4.25	1.98	44.73
7.5	7.0	45.15	1.95	21.95	8.78	4.35	1.95	44.78
7.5	10.0	46.55	2.00	22.15	9.00	4.53	1.88	53.43
9.0	0.0	46.90	2.15	21.30	8.95	4.45	2.03	37.45
9.0	1.0	45.50	1.98	22.60	8.78	4.03	2.03	41.03
9.0	3.0	44.45	1.98	21.50	8.60	4.20	1.98	39.98
9.0	5.0	44.80	2.13	21.60	8.48	4.05	1.98	45.05
9.0	7.0	45.85	2.08	21.95	8.68	4.20	1.98	45.30
9.0	10.0	45.15	2.00	22.55	8.75	4.28	1.90	45.23

Análises realizadas pela Fundação MT, por ocasião da condução do experimento. Amostras tomadas na época do florescimento.

Anexo 5. Resultados das análises químicas das folhas da soja, ano agrícola de 1999/2000.

Calagem t ha ⁻¹	Dose B kg ha ⁻¹	Ng kg ⁻¹	P	K	Ca	Mg	S	B mg kg ⁻¹
1.5	1.0	49.00	2.50	23.50	5.83	4.35	2.38	49.25
1.5	3.0	48.65	2.65	24.25	5.98	4.40	2.35	56.45
1.5	5.0	48.48	2.58	24.35	5.88	4.30	2.48	57.03
1.5	7.0	49.00	2.68	24.90	5.60	4.18	2.48	58.95
1.5	10.0	47.95	2.53	24.30	5.88	4.28	2.35	58.35
3.0	0.0	46.03	2.58	23.45	6.38	4.50	2.43	40.20
3.0	1.0	46.20	2.48	22.55	6.58	4.68	2.45	45.88
3.0	3.0	46.38	2.45	23.55	6.23	4.35	2.50	53.20
3.0	5.0	47.43	2.48	22.70	6.28	4.48	2.43	59.95
3.0	7.0	47.88	2.55	23.45	6.58	4.53	2.40	59.05
3.0	10.0	45.33	2.50	24.05	6.70	4.58	2.43	57.75
4.5	0.0	47.88	2.68	22.95	5.83	4.18	2.48	35.35
4.5	1.0	47.08	2.78	23.10	5.80	4.35	2.43	50.70
4.5	3.0	48.13	2.65	23.60	6.00	4.35	2.43	52.50
4.5	5.0	47.60	2.70	23.05	5.98	4.33	2.45	56.05
4.5	7.0	48.65	2.60	21.50	5.88	4.43	2.48	57.98
4.5	10.0	47.25	2.60	22.05	5.85	4.28	2.38	53.95
6.0	0.0	47.60	2.75	23.30	5.85	4.38	2.38	42.38
6.0	1.0	46.55	2.58	23.75	6.38	4.58	2.38	45.75
6.0	3.0	47.78	2.63	22.75	6.10	4.48	2.30	51.15
6.0	5.0	49.35	2.73	22.95	6.23	4.50	2.35	52.70
6.0	7.0	48.30	2.80	24.55	6.33	4.65	2.40	63.25
6.0	10.0	46.20	2.58	23.80	6.03	4.38	2.35	55.43
7.5	0.0	47.60	2.70	23.35	5.95	4.55	2.48	40.35
7.5	1.0	49.35	2.73	23.85	6.35	4.63	2.48	50.50
7.5	3.0	47.25	2.70	23.30	6.33	4.70	2.43	50.88
7.5	5.0	46.03	2.68	23.90	6.13	4.48	2.53	63.10
7.5	7.0	47.60	2.73	23.15	6.18	4.73	2.48	61.80
7.5	10.0	47.95	2.70	23.50	6.60	4.85	2.45	62.53
9.0	0.0	47.25	2.73	25.35	6.08	4.65	2.40	43.28
9.0	1.0	46.55	2.73	25.00	6.13	4.48	2.45	51.70
9.0	3.0	46.55	2.78	25.25	5.95	4.68	2.53	56.33
9.0	5.0	47.08	2.83	25.10	6.30	4.78	2.43	64.63
9.0	7.0	47.95	2.73	23.65	6.18	4.68	2.45	62.18
9.0	10.0	46.73	2.75	24.35	6.13	4.60	2.48	65.93

Análises realizadas pela Fundação MT, por ocasião da condução do experimento. Amostras tomadas na época do florescimento.

Anexo 6. Resultados das análises químicas das folhas da soja, ano agrícola de 2000/2001.

Calagem	Dose B	N	P	K	Ca	Mg	S	B
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹
1.5	0.0	47.25	2.40	27.20	7.13	4.48	2.40	37.05
1.5	1.0	45.85	2.48	27.15	7.23	4.40	2.28	48.23
1.5	3.0	46.90	2.40	26.90	7.43	4.48	2.33	58.53
1.5	5.0	47.95	2.43	26.60	7.10	4.33	2.35	60.63
1.5	7.0	48.65	2.38	27.20	7.00	4.50	2.35	64.00
1.5	10.0	47.95	2.28	27.25	7.23	4.45	2.23	69.50
3.0	0.0	47.60	2.43	24.90	6.55	4.18	2.33	30.43
3.0	1.0	46.20	2.45	25.70	7.18	4.35	2.33	51.80
3.0	3.0	47.60	2.45	26.00	6.90	4.30	2.30	58.13
3.0	5.0	47.60	2.50	26.00	6.68	4.15	2.20	62.28
3.0	7.0	45.50	2.35	27.50	7.48	4.48	2.20	64.35
3.0	10.0	47.95	2.45	26.55	6.80	4.15	2.30	72.98
4.5	0.0	47.95	2.53	26.45	6.95	4.30	2.25	38.23
4.5	1.0	47.95	2.53	27.40	6.55	4.30	2.28	44.03
4.5	3.0	44.80	2.45	26.00	6.93	4.33	2.28	54.38
4.5	5.0	46.55	2.40	26.70	7.08	4.38	2.25	61.33
4.5	7.0	46.55	2.43	26.75	7.13	4.35	2.18	52.03
4.5	10.0	45.85	2.58	26.85	7.18	4.58	2.13	68.43
6.0	0.0	44.80	2.45	27.30	6.60	4.63	2.18	35.18
6.0	1.0	47.25	2.50	27.30	6.75	4.60	2.25	47.08
6.0	3.0	46.90	2.48	26.30	6.50	4.53	2.23	53.28
6.0	5.0	44.45	2.48	27.05	6.90	4.95	2.15	60.05
6.0	7.0	45.15	2.48	27.85	7.00	4.70	2.13	62.10
6.0	10.0	47.25	2.60	26.15	6.55	4.73	2.28	67.88
7.5	0.0	46.90	2.58	27.10	6.78	4.65	2.18	37.50
7.5	1.0	47.60	2.58	26.95	6.78	4.70	2.33	48.60
7.5	3.0	46.90	2.48	26.05	6.58	4.68	2.28	53.90
7.5	5.0	47.60	2.38	25.10	6.63	4.48	2.25	59.40
7.5	7.0	45.15	2.45	27.20	6.73	4.63	2.25	65.18
7.5	10.0	46.90	2.53	26.55	6.63	4.63	2.33	66.33
9.0	0.0	45.85	2.63	27.15	6.73	4.83	2.33	32.18
9.0	1.0	46.55	2.50	26.25	6.53	4.73	2.30	40.50
9.0	3.0	47.25	2.55	26.70	5.98	4.78	2.20	50.45
9.0	5.0	44.80	2.40	25.60	6.68	4.80	2.23	52.83
9.0	7.0	49.00	2.45	25.05	6.55	4.78	2.33	61.78
9.0	10.0	48.30	2.45	25.15	6.60	4.83	2.38	66.48

Análises realizadas pela Fundação MT, por ocasião da condução do experimento. Amostras tomadas na época do florescimento.

Anexo 7. Quantidades de boro em equilíbrio na solução ($\mu\text{g/ml}$) e adsorvido ($\mu\text{g/g}$) por grama de terra do solo estudado e porcentagem de boro adsorvido em função das quantidades de boro adicionadas, em $\mu\text{g/ml}$, ano agrícola 1998/1999.

Calagem (t)	Boro adicionado	Boro em equilíbrio ($\mu\text{g/ml}$)	Boro adsorvido	
			($\mu\text{g/g}$)	%
1,5	1	0.77	1.14	22.75
	2	1.65	1.78	17.75
	4	3.33	3.33	16.65
	8	6.95	5.24	13.10
	16	13.96	10.20	12.75
3,0	1	0.78	1.08	21.61
	2	1.68	1.61	16.10
	4	3.19	4.04	20.20
	8	6.48	7.60	18.99
	16	13.51	12.45	15.56
6,0	1	0.69	1.53	30.61
	2	1.51	2.46	24.60
	4	3.07	4.64	23.18
	8	6.23	8.84	22.10
	16	12.77	16.15	20.19
9,0	1	0.69	1.55	31.08
	2	1.41	2.95	29.45
	4	2.90	5.51	27.55
	8	5.93	10.34	25.85
	16	11.63	21.85	27.31

Anexo 8. Quantidades de boro em equilíbrio na solução ($\mu\text{g/ml}$) e adsorvido ($\mu\text{g/g}$) por grama de terra do solo estudado e porcentagem de boro adsorvido em função das quantidades de boro adicionadas, em $\mu\text{g/ml}$, ano agrícola 1999/2000.

Calagem (t)	Boro adicionado	Boro em equilíbrio	Boro adsorvido	
		($\mu\text{g/ml}$)	($\mu\text{g/g}$)	%
1,5	1	0.57	2.16	43.19
	2	1.68	1.61	16.10
	4	3.32	3.40	17.00
	8	6.98	5.09	12.73
	16	14.97	5.15	6.44
3,0	1	0.76	1.18	23.51
	2	1.56	2.19	21.85
	4	3.02	4.91	24.55
	8	6.40	8.03	20.06
	16	13.89	10.55	13.19
6,0	1	0.74	1.30	26.00
	2	1.51	2.46	24.55
	4	3.04	4.82	24.08
	8	6.07	9.66	24.15
	16	12.97	15.15	18.94
9,0	1	0.57	2.16	43.16
	2	1.00	5.01	50.14
	4	2.39	8.07	40.35
	8	7.09	4.53	11.33
	16	14.72	6.40	8.00

Anexo 9. Quantidades de boro em equilíbrio na solução ($\mu\text{g/ml}$) e adsorvido ($\mu\text{g/g}$) por grama de terra do solo estudado e porcentagem de boro adsorvido em função das quantidades de boro adicionadas, em $\mu\text{g/ml}$, ano agrícola 2000/20001.

Calagem (t)	Boro adicionado	Boro em equilíbrio	Boro adsorvido	
		($\mu\text{g/ml}$)	($\mu\text{g/g}$)	%
1,5	1	0.80	0.98	19.64
	2	1.63	1.86	18.60
	4	3.30	3.50	17.48
	8	6.90	5.52	13.80
	16	14.14	9.30	11.63
3,0	1	0.74	1.29	25.89
	2	1.61	1.93	19.30
	4	3.28	3.60	17.98
	8	6.90	5.53	13.81
	16	14.43	7.85	9.81
6,0	1	0.76	1.22	24.37
	2	1.64	1.78	17.80
	4	3.19	4.06	20.28
	8	6.77	6.17	15.41
	16	14.27	8.65	10.81
9,0	1	0.67	1.65	33.00
	2	1.56	2.19	21.85
	4	3.12	4.41	22.05
	8	6.57	7.17	17.93
	16	14.65	6.75	8.44