

JOB CARNEIRO VANDERLEI

BORO EM MATERIAIS DE TRÊS SOLOS DO MUNICÍPIO
DE LAVRAS, ESTADO DE MINAS GERAIS.

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Lavras, como parte das
exigências do curso de mestrado em
Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas,
para obtenção do grau de MESTRE.

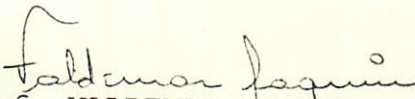
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

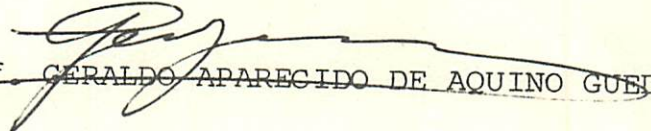
LAVRAS - MINAS GERAIS

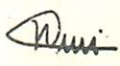
1 9 8 4

BORO EM MATERIAIS DE TRÊS SOLOS DO MUNICÍPIO DE LAVRAS, ESTADO DE
MINAS GERAIS.

APROVADA:


Prof. VALDEMAR FAQUIN
Orientador


~~Prof. GERALDO APARECIDO DE AQUINO GUEDES~~


Prof. NILTON CURI

À memória de meus pais,
pelo esforço e empenho a mim
dedicado. Hoje descansam em paz,
mas continuam vivos na lembrança
daqueles que os amaram.

À minha esposa, CIDA

Ao meu filho, MARCELLO

DEDICO

AGRADECIMENTOS

O autor manifesta os seus agradecimentos:

à Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária (EMGOPA), pela oportunidade concedida para realização deste curso.

à Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), pela confiança e ensinamentos.

ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo.

ao Comitê de orientação, formado pelos professores Valde-
mar Faquin, Geraldo Aparecido de Aquino Guedes e Nilton Curi, pela excelente orientação, incentivo e amizade.

a todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, pela dedicação, apoio e amizade.

ao professor Marco Aurélio Vitorino Ribeiro, pela colaboração na identificação ótica dos minerais da fração areia.

ao Dr. Antônio C. Moniz, Instituto Agrônomo de Campinas, SP e ao acadêmico de agronomia da ESAL, Marcos A. Grande, pelo

auxílio na obtenção dos difratogramas de raios-X.

aos professores Ruben Delly Veiga e Paulo César de Lima ,
pelas colaborações na análise estatística.

ao professor Juventino Júlio de Souza, pela escolha dos
solos para realização deste trabalho.

aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, especialmente Adalberto, Humberto, Delane, Messias, Sônia, Anamaria ,
Ana Lúcia, Vera, Elaise, Jairo, Edinho e Bosco, pelas colaborações
prestadas, apoio e amizade.

à Dra. Janice Elaine Pittis, pela versão do resumo para
o inglês.

aos colegas de curso, pela amizade e agradável convivência.

a todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram
para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

JOB CARNEIRO VANDERLEI, filho de João Geofre Vanderlei e Isabel Carneiro Vanderlei, nascido no Município de Babaçulândia-GO, aos 22 dias do mês de junho de 1946.

Concluiu o primeiro grau no Colégio Santa Cruz, Araguaína-GO, e o segundo grau no Instituto Goiânia, Goiânia-GO. Em 1973 ingressou na Escola de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal de Goiás, graduando-se em Engenharia Agrônômica em 1977. No ano seguinte, foi admitido na Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária (EMGOPA), onde permanece até o presente.

Em março de 1982 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de "Solos e Nutrição de Plantas" na Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), concluindo-o em abril de 1984.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Boro no Solo	03
2.1.1. Fontes de B no Solo	03
2.1.2. Boro Total	06
2.1.3. Boro Solúvel em Água Quente	07
2.1.4. Boro Solúvel em Ácidos	09
2.1.5. Avaliação da disponibilidade de B pelo Méto do Biológico do Girassol (<u>Helianthus annus</u> , L.).....	10
2.1.6. Distribuição de B no Perfil de Solos.....	11
2.2. Fatores que afetam a disponibilidade de B no solo.	12
2.2.1. pH e níveis de cálcio	12
2.2.2. Matéria Orgânica	15
2.2.3. Compostos de Ferro e Alumínio	16
2.2.4. Textura	20
2.2.5. Umidade do Solo	21

3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Solos	23
3.2. Coleta, preparo e correção dos materiais de Solos...	23
3.3. Análises Físicas, Químicas e Mineralógicas.....	24
3.3.1. Densidade do Solo	24
3.3.2. Densidade de Partículas	24
3.3.3. Granulometria	24
3.3.4. Superfície Específica	25
3.3.5. Ataque sulfúrico, carbono orgânico, pH, aci dez extraível e complexo sortivo	25
3.3.6. Óxidos de Fe livre totais	25
3.3.7. Boro Total	25
3.3.7.1. Extração	26
3.3.7.2. Determinação	27
3.3.8. Caracterização mineralógica	28
3.4. Instalação e Execução do Experimento	28
3.4.1. Delineamento Experimental	28
3.4.2. Vasos	29
3.4.3. Fornecimento de Nutrientes	29
3.4.4. Técnica Experimental	31
3.5. Análises Químicas do Material Vegetal	33
3.6. Determinação do B disponível	33
3.6.1. Boro Solúvel em Água Quente	33
3.6.1.1. Extração	34
3.6.1.2. Determinação	34

	Página
3.6.2. Boro Solúvel em HCl 0,05 N	34
3.6.2.1. Extração	34
3.6.2.2. Determinação	35
3.6.3. Boro Solúvel em Ácido Acético 0,05 N	35
3.6.3.1. Extração	35
3.6.3.2. Determinação	36
3.6.4. Método Biológico do Girassol (<u>Helianthus annuus</u> L.)	36
3.7. Análise Estatística	36
4. RESULTADOS	38
4.1. Análises Químicas e Físicas dos materiais de solos utilizados	38
4.2. Produção de Matéria Seca e Altura do Girassol.....	38
4.2.1. Produção de Matéria Seca da Parte Aérea.....	40
4.2.2. Produção de Matéria Seca da Raiz	42
4.2.3. Produção Total de Matéria Seca	42
4.2.4. Altura das Plantas na Colheita	44
4.3. Quantidade de B Absorvido e Relação Ca/B na Planta.	44
4.3.1. Quantidade de B Absorvido pela Parte Aérea..	47
4.3.2. Quantidade de B Absorvido pela Raíz.....	47
4.3.3. Quantidade de B Absorvido pela Planta Total.	48
4.3.4. Relação Ca/B	48
4.4. Boro Disponível pelos Diferentes Extratores	50
4.4.1. Boro Disponível pelo Método da Água Quente..	50
4.4.2. Boro Disponível pelo Ácido Clorídrico 0,05 N	52
4.4.3. Boro Disponível pelo Ácido Acético 0,05 N....	53

	Página
4.5. Correlações Estudadas	53
4.5.1. Boro Disponível e B Total, Teor de Matéria Orgânica, Óxidos de Ferro Livre Totais e Teor de Argila	53
4.5.2. Correlações possíveis entre: Produção Total de Matéria Seca, Altura das Plantas na Colheita, Quantidade total de B absorvida pela planta e B Disponível pelos extractores	54
4.6. Boro Disponível pelo Método Biológico do Girassol (<u>Helianthus annuus</u> L.)	57
4.7. Mineralogia dos Materiais de Solos Estudados.....	59
5. DISCUSSÃO	61
6. CONCLUSÕES	69
7. RESUMO	71
8. SUMMARY	74
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICE	89

4.5. Correlações Estudadas	53
4.5.1. Boro Disponível e B Total, Teor de Matéria Orgânica, Óxidos de Ferro Livre Totais e Teor de Argila	53
4.5.2. Correlações possíveis entre: Produção Total de Matéria Seca, Altura das Plantas na Colheita, Quantidade total de B absorvida pela planta e B Disponível pelos extractores	54
4.6. Boro Disponível pelo Método Biológico do Girassol (<u>Helianthus annuus</u> L.)	57
4.7. Mineralogia dos Materiais de Solos Estudados.....	59
5. DISCUSSÃO	61
6. CONCLUSÕES	69
7. RESUMO	71
8. SUMMARY	74
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICE	89

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Doses e fontes dos nutrientes aplicados na adubação básica. Lavras-MG. 1984	30
2	Parcelamento do B fornecido nos diferentes tratamentos (ml de solução de trabalho/vaso)	31
3	Características químicas e físicas da camada de 0-20 cm, dos materiais de solos estudados. Lavras-MG, 1984	39
4	Efeito das doses de B na produção de matéria seca da parte aérea, raiz e total e, na altura do girassol, cultivado em três materiais de solos de Lavras-MG...1984.....	41
5	Efeito das doses de B na quantidade absorvida pela parte aérea, raiz e total e na relação Ca/B no tecido do girassol, cultivado em três materiais de solo de Lavras... Lavras-MG. 1984	49
6	Efeito das doses de B na quantidade de B disponível pelos extratores: água quente, ácido clorídrico 0,05N em três materiais de solos de Lavras. Lavras-MG. 1984	51

Quadro		Página
7	Coeficientes de correlação entre as várias combinações de variáveis analisados. Lavras-MG. 1984.	56
8	Classes de solos em função do valor-idade, obtido na coleção de padrões em areia lavada.....	58
9	Dados referentes ao valor-idade, obtidos nos materiais de solos estudados, sem adição de B.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efeito de doses crescentes de B na produção de matéria seca, B absorvido pelo girassol e B disponível pelos diferentes extratores em três materiais de solos (média de 4 repetições). Lavras-MG. 1984.....	43
2	Altura do girassol na colheita, em função de doses crescentes de B. Lavras-MG. 1984	45
3	Crescimento médio do girassol, em vários estágios do seu desenvolvimento. A - sem adição de B; B - média das doses aplicadas. Lavras-MG. 1984.....	46
4	Teor de B total e relação percentual B disponível/B total, dos materiais de solos estudados. Lavras-MG. 1984	55
5	Teor de B total e relação B total/B disponível dos materiais de solos estudados. Lavras-MG. 1984.....	55
6	Difratogramas de raios-X da fração argila dos materiais de solos utilizados. Lavras-MG. 1984.....	60

1. INTRODUÇÃO

O boro (B) é um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas. A sua carência no solo tem acarretado, não só no Brasil, como em vários países do mundo, queda na produção agrícola.

Embora atendendo apenas ao critério indireto de essencialidade, as consequências de sua carência têm efeitos muito drásticos no crescimento e no processo produtivo das culturas. O seu papel no metabolismo vegetal ainda não está bem esclarecido, sendo atribuído a esse micronutriente participação em alguns processos, tais como: transporte de açúcar, inibição enzimática no processo de formação de fenóis, divisão celular, florescimento, frutificação, absorção de sais e metabolismo do nitrogênio, substâncias pécticas e da água.

Caracterizado por seu teor relativamente pequeno no material de origem, sendo a turmalina o principal mineral que contém, o B ocorre em pequenas quantidades na maioria dos solos.

O B disponível no solo se encontra, principalmente, associado à matéria orgânica, fato este, que evidencia sua maior concentração nos horizontes superficiais.

A carência de B está, em geral, associada a solos pobres em matéria orgânica, arenosos e sujeitos a lixiviação, como também, à secas prolongadas, onde a mineralização da matéria orgânica é prejudicada.

A literatura mundial relacionada a esse nutriente é bastante extensa, principalmente, com respeito às plantas. No Brasil, com exceção de alguns trabalhos relacionados às respostas de plantas à adubação, pouco se conhece sobre o comportamento do B no solo, especialmente, na região de Lavras, Minas Gerais. Tal fato justifica o presente trabalho, cujos objetivos principais foram:

1. Determinar o teor de B total no solo e a sua relação com o teor de B disponível.

2. Determinar o B disponível através dos métodos biológico, água quente e extratores químicos-ácido clorídrico e ácido acético.

3. Correlacionar algumas propriedades e/ou características do solo com o B disponível, extraído pelos métodos utilizados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Boro no Solo

2.1.1. Fontes de B no Solo

O B é um elemento que ocorre sempre combinado com o oxigênio em coordenação triangular, formando boratos ou, mais raramente, em coordenação tetraédrica, substituindo o silício nos borossilicatos. Devido a grande diferença entre os raios iônicos do B^{3+} (0,23 Å) e do Si^{4+} (0,43 Å), esta substituição é apenas parcial, MARCONI et alii (47).

Segundo os mesmos autores, o B participa da estrutura de um grande número de minerais, embora poucos apresentam alguma importância, dado a quantidade presente nas rochas ou pelo seu valor econômico. Os que mais se destacam são turmalina (8 a 12% de B_2O_3), axinita (4,5 a 5,5%), datolita (21,8%), borax (36,6%), ulexita (43,0%), damburita (28,4%), dumortierita (2,5 a 5%), boracita (62,5%) e colemanita (50,9%).

Os autores (3, 13, 14, 50), consideraram a turmalina como principal mineral contendo B encontrado no solo, embora de baixa

solubilidade.

O teor de B nas rochas ígneas, segundo HODGSON (36), é ca racteristicamente baixo e uniformemente distribuído, na faixa de 5 a 10 ppm, sendo que as rochas ígneas mais ácidas têm concentrações levemente superiores, enquanto que nos sedimentos, as con centrações de B podem variar de menos de 3 a mais de 300 ppm. As rochas metamórficas mais ricas em B são os xistos e gnaisses que contém turmalina, MARCONI et alii (47).

Solos formados a partir de sedimentos marinhos, segundo NORRISH (53), contém normalmente, mais B que solos formados de rochas ígneas. Complementando este fato, Goldechmidt citado por HOROWITZ & DANTAS (37), comenta que o conteúdo total de B nos so los derivados de granito varia de 5 a 10 ppm de B_2O_3 , enquanto que nos solos derivados de sedimentos marinhos, ou de regiões recente mente cobertas pelo mar, encontrou-se até 100 ppm de B_2O_3 total. Vinogradov citado pelos mesmos autores, afirma que de um modo geral, os solos que se formaram de rochas maciças são sempre po bres em B, exceto, evidentemente, se tais rochas continham muita turmalina, datolita ou outros minerais ricos em B enquanto que, solos derivados de material clástico, calcário, folhelhos e, espe cialmente argilas marinhas são relativamente ricos em B.

De acordo com NORRISH (53), a fonte primária de B, na maio ria dos solos bem drenados, é a turmalina, borossilicato contendo de 3 a 4% de B, que se encontra em solos formados a partir de ro chas ácidas e sedimentos metamórficos. Devido a substituição do silício pelo B na coordenação tetraédrica de alguns minerais, co

mo mencionado por MARCONI et alii (47), esta seria a possível expliação para o fato de quantidade apreciável do B, das rochas e solos, estar dispersa dentro dos minerais silicatados, tornando-se disponível às plantas, somente depois de longos períodos de intemperismo.

Apesar da turmalina representar cerca de 95% da reserva de B em solos de regiões úmidas, MALAVOLTA (44) não a considera como a principal fonte deste elemento para as plantas, devido sua alta resistência ao intemperismo, sendo a matéria orgânica sua principal fonte para os vegetais, ou seja, o B passa à solução do solo através desta. BERGER & PRATT (5) relatam que, grande parte do B total do solo está preso à matéria orgânica, fazendo parte de compostos originados durante o crescimento da planta, sendo que esta matéria orgânica, quando decomposta pelos microorganismos, libera B para a solução do solo, onde parte é novamente absorvida pelas plantas, parte é perdida por lixiviação e uma porção relativamente menor pode ser retida pelas argilas. REISENAUER et alii (57) relatam que, em solos de regiões alcalinas com altos teores de B, o micronutriente adsorvido constitui o reservatório lábil, a partir do qual a concentração de boratos na solução do solo é mantida, enquanto que, em solos ácidos e com baixos teores de matéria orgânica, o principal reservatório desse nutriente são os minerais contendo B, os quais são vagarosamente intemperizados. Uma outra fonte de B seria a água da chuva; neste sentido Muto, citado por MARCONI et alii (47), relata que encontrou valores de 0,02 a 0,04 ppm de B, que embora sejam extremamente baixos, poderiam vir a beneficiar o solo, quando se considera o volume de precipi

tação num dado período de tempo. Por exemplo, supondo-se uma precipitação anual de 2000 mm e um teor de B na água da chuva de 0,03 ppm, teríamos uma adição de 600 g deste nutriente por hectare, anualmente.

2.1.2. Boro Total

Segundo JACKSON (39), a quantidade de B total no solo varia de 4 a 98 ppm; nos solos de regiões úmidas com textura fina o teor é de 30 a 60 ppm e nos arenosos de 2 a 6 ppm. MORTVERDT & CUNNINGHAM (50), relatam que a quantidade total de B nos solos varia de 20 a 300 ppm.

Trabalhando com grandes grupos de solos do Estado de São Paulo e com séries de solos do Município de Piracicaba, BRASIL SOBRINHO (12), encontrou na camada arável valores de 31,3 a 54,0 ppm e de 19,2 a 150,5 ppm de B total, respectivamente. CASAGRANDE (14) também trabalhando com séries de solos do Município de Piracicaba, encontrou valores que variaram de 9,8 a 34,2 ppm.

Pelo fato da extrema insolubilidade dos minerais contendo B, o teor total desse elemento é de baixo valor, para predição da sua disponibilidade para as plantas, (6, 69, 12). O último autor verificou que a relação B total/B disponível, apresentou grandes variações, mostrando que altos teores de B total, nem sempre correspondem a altos teores de B solúvel. BERGER & TRUOG (6), admitem que menos de 5% do B total está disponível para as plantas.

Contudo, GUPTA (28) relata que, a correlação significativa e positiva, estabelecida entre o teor de B total e o solúvel em água quente, sugere que o B total, pode ser usado como um índice de disponibilidade, apesar de afirmar que as quantidades totais dos micronutrientes, em geral, não estão relacionadas com as formas disponíveis dos nutrientes.

Observa-se que o teor de B total é muito variável, bem como é controvertida a validade deste fator para a predição de sua disponibilidade, o que parece ser dependente de cada caso, isto é, de cada condição específica.

2.1.3. Boro Solúvel em Água Quente

Para avaliar a disponibilidade de B dos solos, vários métodos têm sido utilizados, principalmente, na tentativa de obtenção de um método mais prático, que pudesse vir a ser usado na rotina.

Dos extratores para B disponível, o método da água quente é o mais utilizado, apesar de apresentar uma série de limitações, bem como ser um método moroso para ser utilizado na rotina. MARTENS (48), relata que o B extraído por este método, é o que está correlacionado significativamente com o crescimento vegetal, valores de pH, teores de matéria orgânica e de argila. JACKSON (39), comenta que o teor de B solúvel do solo, de acordo com este método, varia de 0,2 a 1,5 ppm, sendo considerado como imediatamente disponível para as plantas. BRASIL SOBRINHO (12) e CASA

GRANDE (14), encontraram em solos do Estado de São Paulo, variações entre 0,06 a 0,34 ppm. Os dois últimos autores, encontraram ainda, altos coeficientes de correlação entre o teor de B extraído com água quente e os parâmetros de produção de matéria seca e altura do girassol, pH do solo e teor de matéria orgânica. CURI (18), trabalhando com materiais do horizonte B de solos de Itumbiara-GO, encontrou em todas as amostras menos de 0,25 ppm de B. O autor comenta ainda que o meio propício à lixiviação e o baixo conteúdo de matéria orgânica no horizonte B destes Oxissolos, ajudam a explicar este baixo teor em B disponível.

HODGSON (36), citando vários autores, relata que o B solúvel em água quente, na quase totalidade dos casos em solos bem drenados, está concentrado na camada superficial.

Berger & Truog, citados por JACKSON (39), encontraram correlação positiva e significativa entre o teor de B solúvel em água quente e o pH do solo, variando os valores de pH entre 4,7 e 6,7 e, correlação negativa entre pH 7,1 e 8,1.

CATANI et alii (15), compararam o efeito da relação solo: água na extração do B pela água quente, encontrando que o teor de B extraído, cresce com o aumento da quantidade de água utilizada. Estes mesmos autores compararam também esta técnica com métodos ácidos de extração (CH_3COOH 0,05N e H_2SO_4 0,05N).

2.1.4. Boro Solúvel em Ácidos

ROGERS (60), relata que maiores quantidades de B, foram extraídas com métodos baseados em ácidos diluídos, porém as correlações obtidas com o B absorvido pelas plantas, não foram superiores às obtidas com o método da água quente. Maior quantidade de extração de B do solo, pelos ácidos diluídos, foi também encontrada por BARTZ & MAGALHÃES (2). Observaram ainda, que os vários métodos utilizados (Carolina do Norte, HCl 0,05N, H₂SO₄ 0,05N e água quente), mostraram-se igualmente eficientes na avaliação do B disponível para as plantas.

Utilizando ácido fosfórico a 85% como extrator, CASAGRANDE (14), não encontrou nenhuma correlação com o pH do solo, matéria orgânica, altura e produção de matéria seca do girassol, portanto, apresentando dificuldades quanto a seu uso como índice de disponibilidade de B para as plantas. As quantidades extraídas por este método, foram de 4 a 47 vezes maiores que as obtidas com água quente.

PONNAMPERUMA et alii (56), utilizando HCl 0,05N, encontraram boa correlação entre os resultados obtidos, com os determinados pelo método da água quente. Melhor correlação com o B absorvido pelo arroz, ainda foi obtido pelo primeiro método. Segundo tais autores, as vantagens do uso de HCl 0,05N é que, o método é rápido, simples e permite a determinação além de B, também de Zn e Cu no mesmo extrato. CATANI et alii (15), comparando o método da água quente com métodos ácidos de extração (CH₃ COOH 0,05N e H₂SO₄ 0,05N), observaram que o B extraído com ácido acético, apre

sentou bons resultados, sugerindo sua adaptação para determinação de boro solúvel no solo.

2.1.5. Avaliação da disponibilidade de B pelo Método Biológico do Girassol (Helianthus annuus L.).

O girassol tem sido usado como uma planta teste na determinação da disponibilidade de B do solo.

Utilizando 400 g de material de solo, onde foram cultivadas diversas plântulas de girassol, SCHUSTER & STEPHENSON (63), observaram que dentro de algumas semanas, as plantas revelaram uma notável reação ao B. Nos solos muito deficientes, as plantas não passaram da fase cotiledonar. No final do experimento as plantas foram pesadas e o peso seco foi indicativo da disponibilidade de B no solo.

Mais tarde, COLWELL (16), utilizou este método adotando, no entanto, o critério de anotar o número de dias, a partir da semeadura, que o girassol levava para exibir os primeiros sintomas de deficiência, o que o autor denominou de valor-idade. De acordo com tal critério, ele estabeleceu séries de classes de carência : forte deficiência - valor-idade médio menor que 28 dias; 28 a 36 dias - moderada deficiência; e, maior que 36 dias - deficiência leve. Esta metodologia tem sido usada por vários pesquisadores brasileiros, entre alguns deles, pode-se citar (12, 13, 14), os quais obtiveram bons resultados, quando comparados com outros métodos utilizados.

BLAMEY et alii (11) trabalhando com girassol, relatam que as concentrações críticas de B, no tecido das folhas maduras da parte mais alta de duas variedades (Smena e SO 320), foram respectivamente, 32 e 35 ppm.

Em geral, os sintomas de deficiência de B se manifestam nos pontos de crescimento das plantas e, normalmente induzem a morte. Os tecidos parecem duros, secos e quebradiços. As folhas podem tornar-se deformadas e o caule enrugado e rachado. O florescimento é afetado severamente, EPSTEIN (22).

HIRSCH & TORREY (35) observaram que as raízes de girassol, sob condições de carência de B, sofriam uma inibição no alongamento, isto é, uma mudança na direção de expansão das células de longitudinal para radial.

2.1.6. Distribuição de B no Perfil de Solos

Segundo Berger & Truog, citados por GARAVITO & LEON (25) e SCHUSTER & STEPHENSON (63), o B disponível do solo se encontra principalmente, associado à matéria orgânica, por isto, as maiores concentrações deste nutriente se encontram nos horizontes superficiais. A tendência do B acumular no horizonte superficial dos solos, foi também constatada pelos autores (13, 37, 43). Baseado em diversos trabalhos, CASAGRANDE (14) comenta que na maioria dos solos, o B se encontra na camada superficial, isto é, decrescendo com a profundidade do perfil.

BRASIL SOBRINHO (12), verificou que o teor de B variou de um solo para outro e mesmo nos diversos horizontes de um mesmo

perfil. Os teores de B total obtidos foram: 19 a 150 ppm nos horizontes Ap ou Al; 11,5 a 135 ppm nos horizontes B (excluindo suas subdivisões) e 18,7 a 114 ppm nos horizontes C. Os teores de B solúvel em água quente, nos diversos horizontes foram: 0,06 a 0,32 ppm (Ap ou Al); 0,04 a 0,29 ppm (B) e de traços a 0,12 ppm (C).

2.2. Fatores que afetam a disponibilidade de B no solo

2.2.1. pH e níveis de cálcio

Anteriormente o pH do solo era considerado como praticamente, o único fator que afetava a disponibilidade de B para as plantas, pelo fato deste nutriente, em geral, tornar-se menos disponível com o aumento do valor do pH. Correlações negativas entre a absorção de B pelas plantas e o pH do solo, foram observadas por diversos pesquisadores, tais como: (1, 17, 27, 29, 52, 72). Entretanto, de acordo com COOK & MILLAR (17), esta relação não é consistente, pois já foi observada deficiência de B em solos ácidos e ausência de deficiência em solos alcalinos. Isto evidencia a presença de outros fatores talvez mais relevantes que o pH, influenciando a disponibilidade de B; resultados idênticos foram obtidos por BRASIL SOBRINHO (12), que obteve teores mais altos de B solúvel em água quente, considerado disponível, em solos com pH mais elevado do que naqueles de pH mais baixo.

Estudos realizados por PETERSON & NEWMAN (55) e GUPTA et alii (30), mostraram a ocorrência de uma relação negativa, entre pH do solo e a absorção de B pelas plantas, para valores de pH

acima de 6,3 - 6,5, indicando um decréscimo da disponibilidade de B para as plantas a altos níveis de pH; no entanto, a valores de pH abaixo de 6,5 esta relação não mostrou uma tendência definida. PETERSON & NEWMAN (55), utilizando grama festuca (Festuca arundinacea Schreb) como planta teste, e solo com diferentes valores de pH e níveis de B, observaram uma marcante redução da concentração de B no tecido foliar, quando o pH do solo foi elevado para 7,4. A absorção e a percentagem de recuperação do B foram uniformes, exceto para o nível de pH 7,4, onde houve uma redução.

Os trabalhos realizados por BRASIL SOBRINHO (12), com grandes grupos de solos do Estado de São Paulo, com pH variando de 4,7 a 6,6 e por CASAGRANDE (14), com vários solos do Município de Piracicaba, com valores de pH de 4,8 a 6,1, reforçam as conclusões dos autores acima, pois eles não constataram a existência de correlação entre o B solúvel em água quente, considerado disponível, e o pH dos solos. É importante notar, que a faixa de pH utilizada por esses autores, é a faixa considerada ácida.

A retenção de B pelos hidróxidos de ferro e alumínio, como pelos argilo-minerais, aumenta com o pH, apresentando um máximo entre pH 8 e 9 e um mínimo com pH próximo a 5, segundo HODGSON (36) e SIMS & BINGHAM (64). Os autores (8, 54, 62), estudando diferentes tipos de solos, são concordantes quanto ao fato da adsorção de B variar relativamente pouco quando o pH varia dentro da faixa ácida, isto é, pH 4,0 a 7,0 para SCHALSCHA et alii (62) e pH 5,0 a 7,0 para BINGHAM et alii (8), sendo que, um aumento na retenção de B, foi observado na faixa alcalina com consequente fi

xação de B; no entanto, este pode ser normalmente liberado pelo abaixamento do pH do solo ao seu nível original, pela adição de ácido clorídrico, indicando, segundo OLSON & BERGER (54), ser este um processo químico rapidamente reversível.

KUBOTA et alii (42) observaram que a elevação do pH do solo para 6,5 a 7,0 com a calagem, ajudou a prevenir o B da lixiviação, dando condições favoráveis para sua disponibilidade às plantas.

Vários trabalhos têm mostrado uma aparente relação entre os níveis de cálcio no solo e a disponibilidade de B para as plantas.

Em trabalho realizado com alfafa, aveia e tabaco, frente à variações de teores de cálcio e B, JONES & SCARSETH (41) comprovaram que as plantas extraem diferentes quantidades desses dois nutrientes de acordo com as suas disponibilidades no solo. Para tais autores, a planta terá um desenvolvimento normal quando existir um certo equilíbrio na absorção de cálcio e de B; caso o equilíbrio seja desfeito, devido a uma pequena absorção de cálcio, como ocorre em solos ácidos, a planta terá uma maior tolerância à deficiência de B. Nestas condições, em solos muito ácidos, que possuam pequenas quantidades de cálcio trocável, a adição de pequenas doses de B pode causar fitotoxidez. Em solos alcalinos, ou que tenham recebido excesso de calagem, as plantas necessitariam de mais B do que normalmente é exigido em solos ácidos.

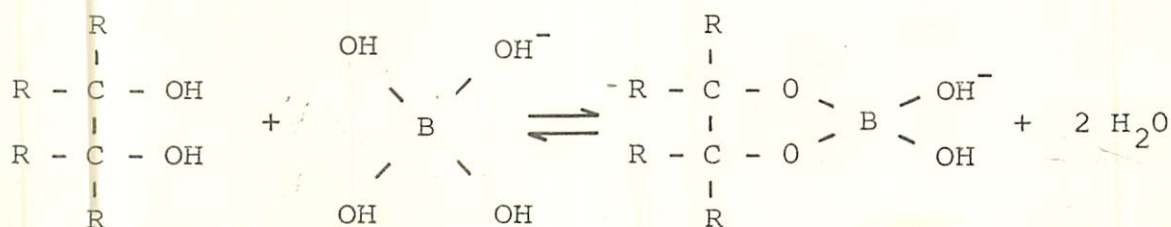
GUPTA (27) trabalhando com cevada, concluiu que para solos com menos de 0,6 ppm de B extraído com água quente, a adição

de calcário, elevando o pH acima de 5,8 poderá agravar a deficiência desse micronutriente para esta cultura. Por outro lado, calcário deve ser aplicado a solos com mais de 2,4 ppm de B a fim de evitar injúrias às plantas de cevada, devido à toxidez. Uma relação Ca/B de 180 no tecido foliar, foi relacionada com a máxima produção de grãos de cevada; relações Ca/B de 540 e 45 estavam relacionadas, respectivamente, com deficiência e toxidez de boro nesta cultura.

2.2.2. Matéria Orgânica

O B disponível no solo, segundo BERGER & TRUOG (6), se encontra, principalmente, associado à matéria orgânica, fato que explica os seus maiores teores nos horizontes superficiais; solos com pH menor que 7,3 e considerável teor de matéria orgânica, contém, geralmente, adequado suprimento de B disponível para o desenvolvimento das plantas, enquanto que, aqueles com menos de 2% de matéria orgânica e, aqueles com altos teores de cálcio trocável, mostram invariavelmente baixos teores.

A retenção de B pela matéria orgânica é sugerida, segundo SIMS & BINGHAM (64), pela seguinte reação:



MARTENS (48) afirma haver uma correlação positiva entre B solúvel em água quente e o teor de matéria orgânica. Correlações desta natureza foram feitas por (4, 6, 12, 14, 28, 49); no entanto, Zyriu & Zborishchuk e, Roberson et alii, citados por CASAGRANDE (14), encontraram apenas pequenas correlações entre o B solúvel em água quente e o teor de matéria orgânica. RIBEIRO (59) não encontrou correlação entre a adsorção de B e o teor de matéria orgânica.

Em trabalho realizado por HOROWITZ & DANTAS (37) com solos de zona litoral da mata de Pernambuco, o teor de B extraído com água quente se correlacionou muito bem com o teor de matéria orgânica do solo, mostrando clara tendência de se acumular nos horizontes superficiais.

2.2.3. Compostos de Ferro e Alumínio

Apesar da retenção de B se dever principalmente aos óxidos* de ferro e alumínio, tais mecanismos de reação não são bem conhecidos; é possível que se deva a troca de ânions, adsorção de moléculas de ácido bórico e às pontes de hidrogênio, HINGSTON (33).

Eaton & Wilcox, citados por ELLIS & KNEZEC (20), sugeriram três possíveis mecanismos para a reação do B com os solos: (i) troca de ânions, (ii) precipitação química e, (iii) adsorção molecular. RHOADES et alii (58), citando vários autores, relatam que os principais sítios de adsorção de B são: (i) óxidos de Fe e

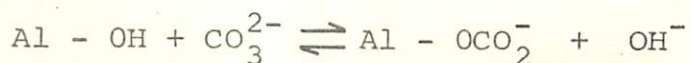
* Termo inclusivo para óxidos, oxidohidróxidos e hidróxidos.

Al recobrando ou associados com os argilo-minerais; (ii) óxidos de Fe e Al, e (iii) argilo-minerais, particularmente os do tipo micáceo. Com relação aos óxidos hidratados de ferro e alumínio, MALCOLM et alii (46) observaram que os de alumínio, retêm mais boro por unidade de massa.

A adsorção não específica de ânions, pode ter o seu potencial determinado pela adsorção de prótons e íons hidroxila. Segundo HINGSTON et alii (34), quanto mais prótons são adsorvidos em relação aos íons hidroxilas, as superfícies dos minerais tornam-se mais carregadas positivamente, dando lugar a adsorção não específica de ânions.

Na adsorção não específica de ânions, estes não fazem parte da estrutura do adsorvente, pois o fenômeno se baseia em atração física, devido a presença de cargas contrárias, enquanto que, na adsorção específica, os ânions adsorvidos passam a fazer parte da estrutura do novo complexo formado. De acordo com HINGSTON et alii (34), a adsorção específica de ânions envolve a formação de um complexo de coordenação na superfície dos óxidos. Esta reação é mais possível na presença de prótons ou sobre a superfície dos óxidos a valores de pH abaixo do ponto zero de carga (PZC), ou ainda, derivado da dissociação de ácidos fracos.

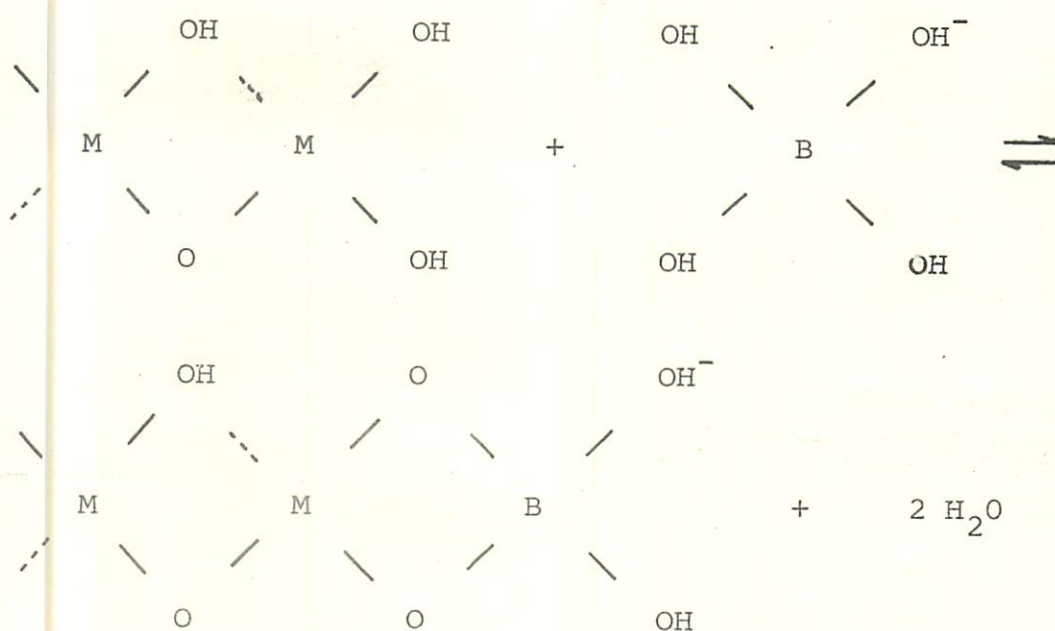
De acordo com FELDKAMP et alii (23), ânions carbonato são adsorvidos especificamente, na presença de hidróxidos de alumínio, como pode ser visto pela seguinte equação:



Através de informação pessoal de WHITE*, o B é adsorvido de uma maneira inteiramente específica, tal como ocorre com carbonato e que a quantidade de B adsorvida será uma função da superfície específica, se o B estiver na presença de hidróxidos de alumínio depois do processo de precipitação.

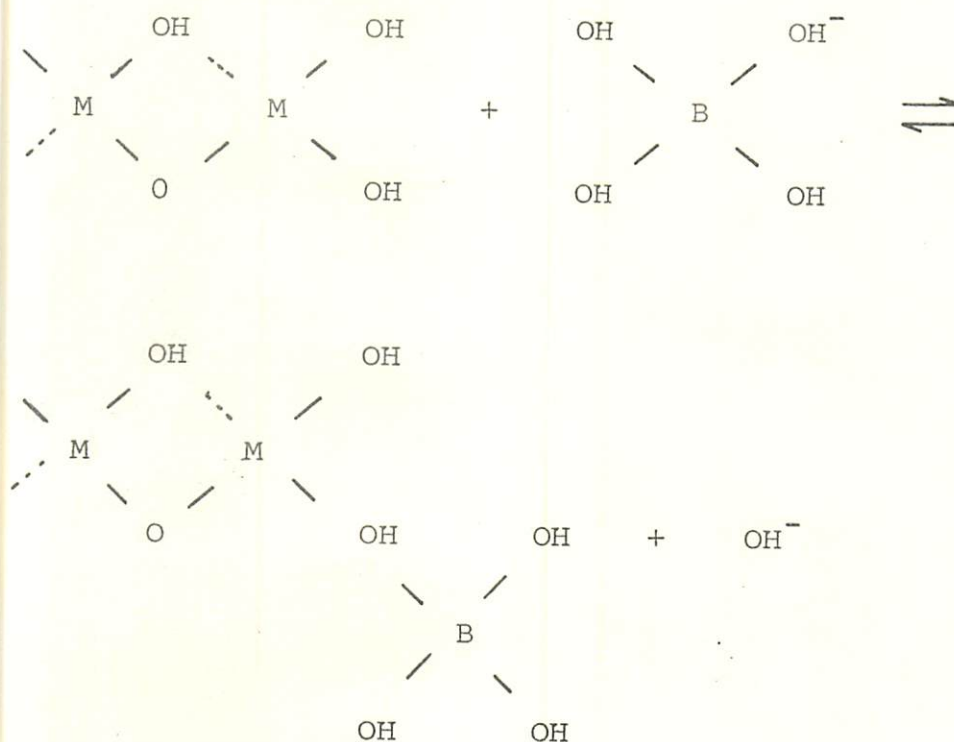
SIMS & BINGHAM (64), sugerem a retenção de B mediante dois possíveis mecanismos:

1. Eliminação de água e formação do complexo borato-diol.



* WHITE, J.L. Professor de Agronomia da Purdue University, Indiana - USA.

2. Troca de íons borato ($B(OH)_4^-$) por íons hidroxila.



onde M pode ser Al^{3+} ou Fe^{3+} .

Dé acordo com HATCHER et alii (31), o $Al(OH)_3$ adsorve quantidades relativamente grandes de B, sendo que o aumento da quantidade adsorvida em solos ácidos que receberam calagem, foi altamente relacionada com a quantidade de alumínio trocável que se precipitou nesta forma. Esses autores concluíram que o $Al(OH)_3$, bem como outros compostos semelhantes, são os principais constituintes do solo que causam a retenção do B. O $Al(OH)_3$ recém-precipitado adsorve grandes quantidades de B, embora este processo decresça acen-
tuadamente com o tempo, tornando-se constante ao redor de 7 dias.

Posteriormente, SIMS & BINGHAM (64), relataram que o envelhecimento destes compostos, é acompanhado de diminuição de retenção de B.

2.2.4. Textura

O teor de B disponível (água quente) nas frações do solo diminui na seguinte ordem: argila, silte e areia, segundo OLSON & BERGER (54).

BIGGAR & FIREMAN (7) e, SINGH (66) observaram que a capacidade de retenção de B pelo solo, aumentou dos solos de textura grossa para os de textura mais fina, sendo que, segundo os primeiros autores, os solos não apenas variam em sua capacidade de reter o B, mas também quanto à energia de retenção. Consequentemente, estes dois fatores afetam a habilidade do solo em liberar B, bem como, a manutenção de um suprimento adequado desse nutriente na solução do solo.

Diversos trabalhos têm mostrado que solos de textura fina, requerem mais B para que as plantas apresentem as mesmas concentrações desse nutriente. GUPTA (28) observou que na quase totalidade dos casos estudados, os teores de B total e solúvel em água quente foram maiores nos solos de textura fina. O autor observou também que, a recuperação do B adicionado, por meio da extração com água quente, foi menor nos solos argilosos do que nos solos de textura grosseira.

SINGH et alii (65) encontraram concentrações de 232 a 221 ppm de B na gramínea Cicer arietinum, que recebeu 3,5 ppm do ele-

mento em solo franco-arenoso e 4,5 ppm em solo argiloso, respectivamente.

Perdas de B em solos arenosos, por lixiviação, foram relacionadas por (42, 70, 71). Em decorrência deste fato, solos arenosos cultivados com culturas exigentes, seriam mais sujeitas a apresentarem deficiência deste micronutriente do que solos argilosos, dentro da mesma mineralogia.

BRASIL SOBRINHO (12) encontrou melhor suprimento do B nos solos argilosos quando comparados com solos arenosos e, CASAGRANDE (14), obteve correlação positiva e significativa entre o teor de B total e solúvel com o teor de argila.

2.2.5. Umidade do Solo

GARAVITO & LEON (25), citando outros autores, relatam que a deficiência de B era mais severa onde o solo se secava mais durante o ano e, que o efeito do secamento do solo era positivo em relação a retenção desse nutriente. Foram encontrados variações de até 100% de retenção quando era aumentado o número de ciclos de secagem.

Com a falta de água ocorre uma diminuição da taxa de mineralização da matéria orgânica, portanto menor fornecimento de B para as plantas. GUPTA (26) menciona que a redução parcial que ocorre na solução do solo, associada com um fluxo de massa e uma taxa de difusão reduzidos, bem como, um fluxo transpiratório limitado que ocorre nas plantas, durante períodos secos, podem ser fatores

[REDACTED]

causadores da deficiência de B, mesmo que haja um suprimento adequado deste nutriente. GUPTA et alii (30) encontraram que a concentração de B nos tecidos de cevada, com adição de boro, variou de 162 a 312 ppm sob condições normais, sendo a variação de apenas 87 a 135 ppm, quando a área próxima à faixa de adição de B foi conservada seca.

Não somente a falta de umidade no solo provoca o apareci-
mento de deficiência de B, como também, os excessos de chuvas ou
de água de irrigação, lixiviando o B para além da zona radicular
principalmente, em solos de textura arenosa, Eaton & Wilcox, cita
do por ELLIS & KNEZEC (20).

Observa-se que os vários fatores que afetam a disponibili-
dade de B, não atuam separadamente e sim interdependem uns dos
outros, tornando-se difícil afirmar, qual destes fatores é que
está sendo crítico em cada caso; também a grande heterogeneidade
de pedomateriais, dificulta fazer extrapolação de resultados. Ou-
tro fator que afeta o desenvolvimento científico, são os estudos
não sistemáticos, ou seja, a não continuidade de um determinado
programa de pesquisa, pois o que mais vem ocorrendo são as pesqui-
sas isoladas, que pouco têm contribuído para tal desenvolvimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solos

Foram utilizados materiais de Latossolo Vermelho- Amarelo (LV) Epiálico textura muito argilosa, Latossolo Roxo (LR) Epiálico textura muito argilosa e Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) Epieutrófico textura argilosa,* localizados no Município de Lavras-MG, cuja região apresenta as seguintes características climáticas gerais: tipo climático, segundo Koppen, C_{wb} (mesotérmico), temperatura média anual de $19,3^{\circ}\text{C}$, precipitação média anual de 1.493 mm, sendo que 67% da precipitação total ocorre no período de novembro a fevereiro, VILELA & RAMALHO (68).

3.2. Coleta, preparo e correção dos materiais de solos

De cada perfil, coletou-se aproximadamente 50 kg de materiais de solo da camada superficial (0-20 cm), tomando-se o cuidado de remover toda a vegetação da superfície. Após estas amostras

CURI, N. & SOUZA, J.J. Identificação e classificação dos solos.

serem secas ao ar, foram peneiradas em malha de 3 mm de abertura.

Em sub-amostras, através do método de incubação preconizada por MALAVOLTA (45) e MUZILLI (51), determinou-se a dose de corretivo necessária para elevação do pH a 5,8 - 6,0, utilizando-se uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 P.A., na relação Ca:Mg de 4:1. Após a determinação das doses, cada solo recebeu a quantidade de corretivo correspondente, seguida de uma cuidadosa homogeneização, permanecendo em incubação por 30 dias em umidade adequada. O PV não recebeu calagem, devido seu pH original estar dentro da faixa desejada.

3.3. Análises Físicas, Químicas e Mineralógicas

3.3.1. Densidade do Solo

Foi determinada de acordo com metodologia de BLAKE (10).

3.3.2. Densidade de Partículas

Determinada através do método do picnômetro, BLAKE (9).

3.3.3. Granulometria

Na dispersão das amostras foram usados princípios químicos (NaOH 0,1N) e físicos (agitação com alta rotação). a fração areia (ϕ 2 - 0,053 mm), foi obtida através de tamizagem. As frações silte (ϕ 0,053 - 0,002 mm) e argila (ϕ < 0,002 mm), foram

determinadas segundo o método da pipeta, proposto por DAY (19).

3.3.4. Superfície Específica

Determinada através do método do etileno glicol monoetil éter (EMEG) de HEILMAN et alii (32).

3.3.5. Ataque sulfúrico, carbono orgânico, pH, acidez extraível e complexo sortivo.

Foram determinados segundo VETORI (67) e EMBRAPA (21): Al_2O_3 e Fe_2O_3 do ataque sulfúrico (H_2SO_4 , $d = 1,47$); carbono orgânico por oxidação com dicromato de potássio; Ca^{++} , Mg^{++} e Al^{+++} (extraídos pelo KCl 1N); P, Na^+ e K^+ (extrator de Mehlich) e pH em KCl 1N e H_2O .

3.3.6. Óxidos de Fe livre totais

Determinado, na fração argila, pelo DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) de acordo com JACKSON (40).

3.3.7. Boro Total

Determinado nos materiais de solos originais de acordo com o método simplificado da curcumina, de Dible et alii, descrito por JACKSON (39).

3.3.7.1. Extração

Fundiu-se 0,5 g de solo, passado em peneira de 100 mesh (100 malhas por polegada linear), com 3,0 g de carbonato de sódio anidro em cadinho de platina a 1000°C, durante 2 horas. Após esfriar colocou-se o cadinho em um beker de 250 ml, com cerca de 50 ml de água destilada e coberto com um vidro de relógio. Em seguida adicionou-se 5 ml de ácido sulfúrico 4 N ao cadinho, levando-se todo o conjunto para aquecimento em chapa, sem deixar entrar em fervura. Com o auxílio de um bastão de vidro, procurou-se desfazer a massa do fundo do cadinho e entornou-se todo o material dissolvido no beker; ao restante do material não dissolvido, adicionou-se mais 5 ml de ácido sulfúrico 4 N, até dissolução completa. Transferiu-se toda a solução para um balão volumétrico de 500 ml lavando-se o beker e o cadinho diversas vezes, com H₂O destilada recolhendo as águas de lavagem no balão volumétrico, de modo a não ultrapassar 150 ml o volume da solução nele contida. Em seguida adicionou-se álcool etílico até volume próximo de 500 ml, agitando-se bem e, acrescentando 10 ml de Na₂CO₃ a 12%, de modo que a solução apresentasse o pH na faixa de 6,0 a 7,0 (utilizou-se papel indicador); em seguida, completou-se o volume para 500 ml com álcool etílico. Logo após, a solução foi centrifugada a 2.500 r.p.m. durante 10 minutos, obtendo-se um extrato claro. Do extrato, tomou-se uma alíquota de 400 ml em capsula de porcelana, evaporando-se em banho-maria a 70 a 80°C, até pequeno volume, ao ponto de caber novamente no cadinho de platina. Evaporou-se a seco, em mufla a 200°C e queimou-se o resíduo, até completa destruição de compos-

tos orgânicos a 450°C, durante 40 minutos. Ao resíduo adicionou-se 50 ml de HCl 0,1N e filtrou-se em papel de filtro qualitativo, estando assim constituído o extrato de B total.

Paralelamente, foi desenvolvido prova em branco, com todos os reagentes exceto o solo.

3.3.7.2. Determinação

Tomou-se em vidro comum ($\varnothing$ 4,5 x 9,0 cm), 1 ml do extrato obtido e adicionou-se 4 ml de solução alcoólica de curcumina-ácido oxálico. Após misturar bem, o vidro foi levado ao banho-maria a $55 \pm 3^\circ\text{C}$, até a secagem completa, a fim de que as amostras completassem a reação entre o boro e a curcumina, com formação do "rosaciamina". Retirou-se o vidro, deixando-se esfriar e ao resíduo adicionou-se 25 ml de álcool etílico, fazendo-se escorrer pelas paredes internas do vidro, para remoção de todo o resíduo. A solução alcoólica final, foi centrifugada a 2.500 r.p.m. por 10 minutos, devido a presença de precipitado e, transferida para tubo de colorímetro, fazendo-se a leitura em espectrofotômetro COLEMAN, modelo 6/35.

Com o extrato da prova em branco, aferiu-se o aparelho em 100% de transmitância, além de uma série de padrões com concentração de B conhecida, para se encontrar um fator de multiplicação.

3.3.8. Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica dos materiais de solos estudados foi realizada através de análise ótica e análise de difração de raios-X.

A fração areia fina (ϕ 0,20 - 0,05 mm) foi selecionada para a estimativa de espécies minerais leves e pesadas. Para a separação destes minerais utilizou-se o bromofórmico ($d = 2,87$), de acordo com o procedimento de RUBBEY (61). Os minerais pesados magnéticos foram separados com o auxílio de um ímã, para facilitar a identificação da turmalina entre os não magnéticos.

Os difratogramas de raios-X da fração argila foram obtidos com lâminas orientadas em amostras naturais sem pré-tratamento com DCB.

As amostras foram irradiadas com raios-X, utilizando-se tubo de cobre e filtro de níquel no intervalo de 2 a 38 graus dois teta ($2-38^\circ 2\theta$), nos laboratórios do Instituto Agronômico de Campinas-SP.

3.4. Instalação e Execução do Experimento

3.4.1. Delineamento Experimental

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras-ESAL, sob um esquema fatorial 3×6 , sendo os fatores: 3 solos e 6 doses de B, em delineamento inteiramente casualizado, com

4 repetições. Semanalmente os vasos foram mudados de posição

3.4.2. Vasos

Foram utilizados recipientes vazios de óleo lubrificante, com capacidade de 1000 ml e, posteriormente cortados de modo a se obter um volume final, aproximado, de 600 ml. As latas foram cuidadosamente lavadas, pintadas internamente com "undersil" e externamente com tinta prateada. Cada recipiente recebeu 0,5 kg de TFSA.

3.4.3. Fornecimento de Nutrientes

Com exceção do B, todos os tratamentos receberam a mesma adubação básica, sendo o fósforo aplicado em forma de pó, misturado ao solo, enquanto que, os demais nutrientes foram aplicados em solução nutritiva, de acordo com o Quadro 1.

O B foi fornecido nas doses de 0,0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; e 1,6 ppm, de maneira parcelada para evitar efeito fitotóxico. A solução contendo B foi elaborada, pela dissolução de 0,5716 g de ácido bórico em água destilada e completando-se o volume final para 1.000 ml. Esta solução foi diluída 20 vezes, obtendo-se uma solução de trabalho, com concentração de 5 ppm, que foi aplicada de acordo com o Quadro 2.

QUADRO 1. Doses e fontes dos nutrientes aplicados na adubação básica. Lavras-MG. 1984.

ELEMENTO	Doses (ppm)		FONTE
	Semeadura	Cobertura	
N	100	100	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
P	200	-	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
K	75	75	K_2SO_4
Ca*	129	-	-
Mg	15	-	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
S*	59	31	-
Cu	1,5	-	$\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Fe	5,0	-	Fe - EDTA
Mn	3,0	-	$\text{Mn SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Zn	5,0	-	$\text{Zn SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Mo	0,1	-	$\text{Na}_2 \text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

* No preparo das soluções não houve preocupação com os teores de Ca e S; o Ca foi fornecido pela mesma fonte de P e o S pelas fontes de K, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn.

QUADRO 2. Parcelamento do B fornecido nos diferentes tratamentos (ml de solução de trabalho/vaso).

Tratamentos (ppm de B)	Dia do desbaste	Dias após o desbaste			
		4	8	12	16
0,0	-	-	-	-	-
0,1	10	-	-	-	-
0,2	10	10	-	-	-
0,4	10	10	20	-	-
0,8	10	20	20	30	-
1,6	10	20	30	40	60

3.4.4. Técnica Experimental

Vinte e quatro horas antes da semeadura, os vasos receberam 0,5 kg de TFSA, adubação básica e foram irrigados. Decorrido este período, foi executada a semeadura, através do enterrio parcial de 12 sementes de girassol por vaso, com a ponta voltada para baixo. Foi utilizado girassol híbrido denominado Contis - sol-112, proveniente da Contibrasil, Cravinhos-SP, que apresenta sementes pretas. A umidade nos vasos, foi mantida a 60% do volume total de poros (VTP), de acordo com FREIRE et alii (24), aferida através de pesagens diárias dos recipientes e completando-se o peso com água destilada. Nos dias mais quentes chegou-se a proceder até 4 irrigações diárias.

Seis dias após a semeadura foi realizado um desbaste parcial, reduzindo-se para sete o número de plantas por vaso; passados mais três dias foi realizado o desbaste final, deixando-se cinco plantas por vaso.

A adubação de cobertura com nitrogênio e potássio foi realizada quinze dias após a semeadura, de acordo com o Quadro 1.

Foram realizadas medições das alturas de todas as plantas aos 15, 25, 35 e 45 dias após a semeadura; diariamente, realizaram-se observações e anotações do número de plantas de cada vaso que mostravam sintomas de carência de B.

Aos 21 e 30 dias após a semeadura foram realizadas pulverizações com Karathane W.D. ($C_{18}H_{24}N_2O_6$) e Byleton (Triadimefon - $C_{14}H_{16}ClN_3O_2$) para o controle de oídio (*Oidium* sp), respectivamente.

A colheita foi realizada aos 45 dias após a semeadura, cortando-se as plantas rente ao solo. Após a secagem do material de solo dos vasos, as raízes foram coletadas e cuidadosamente lavadas em água corrente e, posteriormente, em água desmineralizada.

Todo o material vegetal foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 60 - 65°C até peso constante, realizando-se em seguida a pesagem da matéria seca da parte aérea e das raízes. Separadamente, a parte aérea e as raízes foram moídas em moinho do tipo Willey, provido de peneira de aço inoxidável com 20 malhas por polegada e, acondicionadas em frascos de vidro isentos de boro.

3.5. Análises Químicas do Material Vegetal

O B foi determinado de acordo com metodologia descrita por JACKSON (39), sendo as leituras processadas em espectofotômetro COLEMAN, modelo 6/35.

Para determinar o Ca, utilizou-se metodologia descrita por HUNTER (38) para obtenção do extrato, sendo que as leituras foram feitas em espectofotômetro de absorção atômica VARIAN, modelo AA.175.

3.6. Determinação do B disponível

As extrações de B disponível foram feitas após o cultivo, usando-se somar as quantidades extraídas pelos extratores, com aquelas absorvidas pela planta total. Nos materiais de solo original foram feitas apenas com o método da água quente.

3.6.1. Boro Solúvel em Água Quente

Determinado nos materiais de solos originais e após o cultivo, de acordo com o método simplificado da curcumina de Dible et alii, descrito por JACKSON (39).

3.6.1.1. Extração

Colocou-se 10 g de TFSA em vidro comum de fundo redondo ($\emptyset$ 4,5 x 9,0 cm) e juntou-se 20 ml de água destilada (relação 1:2). A suspensão foi aquecida em chapa para ebulição durante 5 minutos. Aos vidros foram acoplados condensadores de refluxo, para evitar perdas de vapor. Após a fervura o material ficou em repouso durante uma noite (12 horas), a fim de se obter um sobrenadante limpo do, estando assim constituído o extrato.

3.6.1.2. Determinação

Como descrito para o B total (3.3.7.2), porém, sem necessidade de centrifugação.

3.6.2. Boro Solúvel em HCl 0,05 N

Determinado de acordo com a metodologia de PONNAMPERUMA et alii (56).

3.6.2.1. Extração

Tomou-se 10 g de solo, passado em peneira de 80 mesh, em um vidro, isento de B, com capacidade de 50 ml, aproximadamente, e

adicionou-se 20 ml de HCl 0,05 N, agitando-se por 5 minutos em agitador horizontal. Deixou-se decantar durante uma noite, obtendo-se um sobrenadante límpido, que constituiu o extrato.

3.6.2.2. Determinação

Como descrita para o B total (3.3.7.2), porém, sem necessidade de centrifugação.

3.6.3. Boro Solúvel em Ácido Acético 0,05 N

Determinado pelo método preconizado por CATANI et alii (15).

3.6.3.1. Extração

Pesou-se 5 g de TFSA passada em peneira de 2 mm, em um vidro, livre de B, com capacidade de 50 ml e adicionou-se 20 ml de CH_3COOH 0,05 N, agitando-se por 15 minutos em agitador horizontal. Deixou-se decantar uma noite, obtendo-se o extrato.

3.6.3.2. Determinação

Como descrito para B Total (3.3.7.2), sem centrifugação.

3.6.4. Método Biológico do Girassol (Helianthus annus L.)

A determinação do B disponível por este método, foi baseada na metodologia de SCHUSTER & STEPHENSON (63) e COLWELL (16) a partir do valor-idade (dias após a semeadura que pelo menos uma das plantas dos tratamentos com dose zero de B apresentam sintomas de deficiência de B), comparando-se estes valores com os da literatura, COLWELL (16) e BRASIL SOBRINHO (12), visto que, não foi montada uma coleção de padrões em areia.

3.7. Análise Estatística

As análises estatísticas foram feitas com auxílio de computador, sendo realizadas análises de variância para as seguintes características: produção de matéria seca da parte aérea, raiz e total, altura de plantas aos 45 dias; quantidade de B absorvida pela parte aérea, raiz e total; relação mg Ca/vaso/mg/B/vaso, absorvido pela planta total; B extraído com água quente; B extraído com HCl 0,05 N e boro extraído com CH_3COOH 0,05 N.

Na comparação das médias usou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O modelo da análise de variância foi baseado no seguinte esquema:

Causas de variação	G.L.
Solos (A)	2
Doses de B (B)	5
Interação A x B	10
Erro	54
TOTAL	71

Foram ajustadas equações de regressão na análise de variância de todas as características.

Procedeu-se também a estudos de correlação entre o B disponível pelos três extratores e óxidos de ferro livre totais, teor de argila, matéria orgânica e B total. Correlacionou-se ainda a produção de matéria seca total, altura das plantas na colheita, B absorvido pela planta total e B disponível pelos três extratores, em todas as combinações possíveis.

4. RESULTADOS

4.1. Análises Químicas e Físicas dos materiais de solos utiliza dos.

No Quadro 3, são apresentados os resultados de análises químicas e físicas da camada superficial (0-20 cm) dos solos estudados, antes e após a calagem; exceção feita ao PV que não recebeu calagem. Observa-se que a calagem foi suficiente para elevar os teores de cálcio e magnésio e reduzir o Al a valores considerados adequados para o desenvolvimento das culturas, bem como os valores de pH em H_2O atingiram os níveis pré-determinados. Com relação aos outros resultados constantes do Quadro 3, os mesmos serão oportunamente discutidos.

4.2. Produção de Matéria Seca e Altura do Girassol

A análise de variância (Apêndice 1) demonstra que tanto os solos, quanto as doses de B influenciaram significativamente na produção de matéria seca da parte aérea e total, bem como, na altu
ra de plantas, enquanto que, a produção de matéria seca da raiz, não sofreu influência das doses de B aplicadas. Observa-se ainda

QUADRO 3. Características químicas e físicas da camada de 0-20 cm, dos materiais de solos estudados. Lavras-MG. 1984.

CARACTERÍSTICAS	Amostras				
	LV		LR		PV
	A	D	A	D	A
<u>QUÍMICAS</u>					
Al ³⁺ (meq/100 g)	1,30	0,10	1,40	0,10	0,10
Ca ²⁺ (meq/100 g)	0,37	2,62	0,18	2,58	1,68
Mg ²⁺ (meq/100 g)	0,22	1,45	0,14	1,23	0,79
K ⁺ (meq/100 g)	0,14	0,14	0,11	0,11	0,21
Na ⁺ (meq/100 g)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08
P (ppm)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
pH em H ₂ O	4,70	5,80	4,90	5,80	5,90
pH em KCl N	3,90	5,00	4,00	5,00	4,80
B total (ppm)	37,97		28,74		29,00
B disponível em água quente (ppm)	0,52		0,27		0,13
Relação B total/B disponível	73,02		106,46		223,04
Matéria orgânica (%)	3,87		4,85		2,17
Óxidos de Fe livre totais (%)	8,56		20,63		5,02
Acidez extraível (meq/100 g)	11,71		13,03		4,29
Fe ₂ O ₃ (At.sulfúrico (%))	9,37		23,15		5,90
Al ₂ O ₃ (At.sulfúrico (%))	22,06		26,77		17,50
Valor S (meq/100 g)	0,78	4,26	0,48	3,97	2,77
Valor T (meq/100 g)	2,08	4,36	1,88	4,07	2,87
Valor V (%)	37,50	97,71	25,53	97,54	96,51
<u>FÍSICAS</u>					
Densidade do solo (g/cm ³)	1,03		0,97		1,08
Densidade de partículas (g/cm ³)	2,43		2,70		2,66
Argila (%)	61,00		81,00		51,00
Silte (%)	2,00		7,00		11,00
Areia Grossa (%)	29,00		7,00		27,00
Areia fina (%)	8,00		5,00		11,00
Superfície específica (m ² /g)	111,12		122,82		91,27

* A - Análise realizada antes da incubação com calcário.
D - Análise realizada após a incubação com calcário.

efeitos significativos da interação entre solos e doses de B, nos parâmetros: matéria seca da parte aérea, total e, altura de plantas na colheita. O desdobramento das interações são apresentados no Apêndice 2, onde observa-se significância de doses de B dentro do PV, em todos os parâmetros, enquanto que, no LV e LR, apenas para produção de matéria seca da parte aérea.

O efeito dos fatores estudados sobre a produção de matéria seca da parte aérea, raiz e total e, altura das plantas na colheita estão apresentados no Quadro 4.

4.2.1. Produção de Matéria Seca da Parte Aérea

Verifica-se no Quadro 4, que a produção de matéria seca da parte aérea, quando o girassol foi cultivado no LR, não sofreu influência das doses de B aplicadas, enquanto que no LV e PV a menor produção de matéria seca foi observada quando os solos não receberam adubação com B (dose 0,0 ppm), principalmente no PV, onde ficou bem evidenciado, a inferioridade deste tratamento na produção de matéria seca da parte aérea. Neste solo foram observados os mais severos sintomas visuais de deficiência de B, na ausência de adubação com este micronutriente, tendo o crescimento sido paralizado, devido a morte das gemas apicais. Segundo MALAVOLTA (44) a carência de B manifesta-se pela morte das gemas apicais.

Ainda no Quadro 4, verifica-se que a maior produção de matéria seca da parte aérea foi obtida com a dose 0,4 ppm no LV e PV e, de 0,2 ppm no LR, embora, estatisticamente não sejam diferenen

QUADRO 4. Efeito das doses de B na produção de matéria seca da parte aérea, raiz e total e, na altura do girassol, cultivado em três materiais de solos de Lavras-MG. 1984.

Doses B (ppm)	Parte aérea			Raiz			Total			Altura		
	LV	LR	PV	LV	LR	PV	LV	LR	PV	LV	LR	PV
	- - - -g/vaso - - - -			- - - -g/vaso - - - -			- - - -g/vaso - - - -			- - - - cm - - - -		
0,0	7,94 b	6,51 a	5,36 b	1,52 a	0,92 a	0,76 a	9,46 a	7,43 a	6,12 b	51,95 a	47,45 a	41,75 b
0,1	8,57 ab	6,16 a	6,51 a	1,59 a	0,97 a	0,92 a	10,16 a	7,13 a	7,43 a	56,00 a	47,40 a	45,75 b
0,2	8,34 ab	6,89 a	6,57 a	1,46 a	0,95 a	0,82 a	9,80 a	7,84 a	7,39 a	54,65 a	51,35 a	51,05 a
0,4	8,85 a	6,42 a	7,06 a	1,51 a	1,08 a	0,93 a	10,37 a	7,53 a	8,00 a	55,35 a	50,05 a	51,00 a
0,8	8,10 ab	6,64 a	6,55 a	1,41 a	1,02 a	0,77 a	9,51 a	7,65 a	7,33 a	54,70 a	49,90 a	51,75 a
1,6	8,55 ab	6,77 a	6,99 a	1,34 a	1,11 a	0,91 a	9,89 a	7,88 a	7,90 a	55,10 a	49,80 a	52,10 a
MÉDIAS	8,39 A	6,56 B	6,51 B	1,47 A	1,01 B	0,85 C	9,86 A	7,58 B	7,36 B	54,62 A	49,32 B	48,90 B

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na mesma coluna e maiúscula, na linha não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

tes das outras, exceto, para a dose 0,0 ppm nos solos LV e PV.

Quanto ao efeito dos solos, o LV mostrou-se superior aos demais na produção de matéria seca da parte aérea (Quadro 4). Embora os outros dois solos não tenham apresentado diferenças, observa-se que no PV houve resposta da planta à aplicação de B, o que não ocorreu com o LR.

4.2.2. Produção de Matéria Seca da Raiz

Não foi verificado nenhum efeito significativo das doses de B na produção de matéria seca da raiz, Quadro 4. Quanto aos solos, o LV proporcionou o maior peso de matéria seca da raiz, enquanto que o PV, o menor.

4.2.3. Produção Total de Matéria Seca

Observa-se pelo Quadro 4, e Figura 1 (A, B e C), que não houve efeito das doses de B na produção de matéria seca total quando o girassol foi cultivado no LV e LR, porém, houve efeito significativo quando cultivado no PV, onde obteve-se a menor produção de matéria seca no tratamento sem aplicação de B. No entanto, a partir da dose 0,1 ppm de B, não houve mais nenhuma diferença, destacando-se a dose 0,4 ppm, com a maior produção.

Considerando o efeito dos solos, nota-se que o LV apresentou a maior produção de matéria seca, sendo que, os outros dois não diferiram entre si.

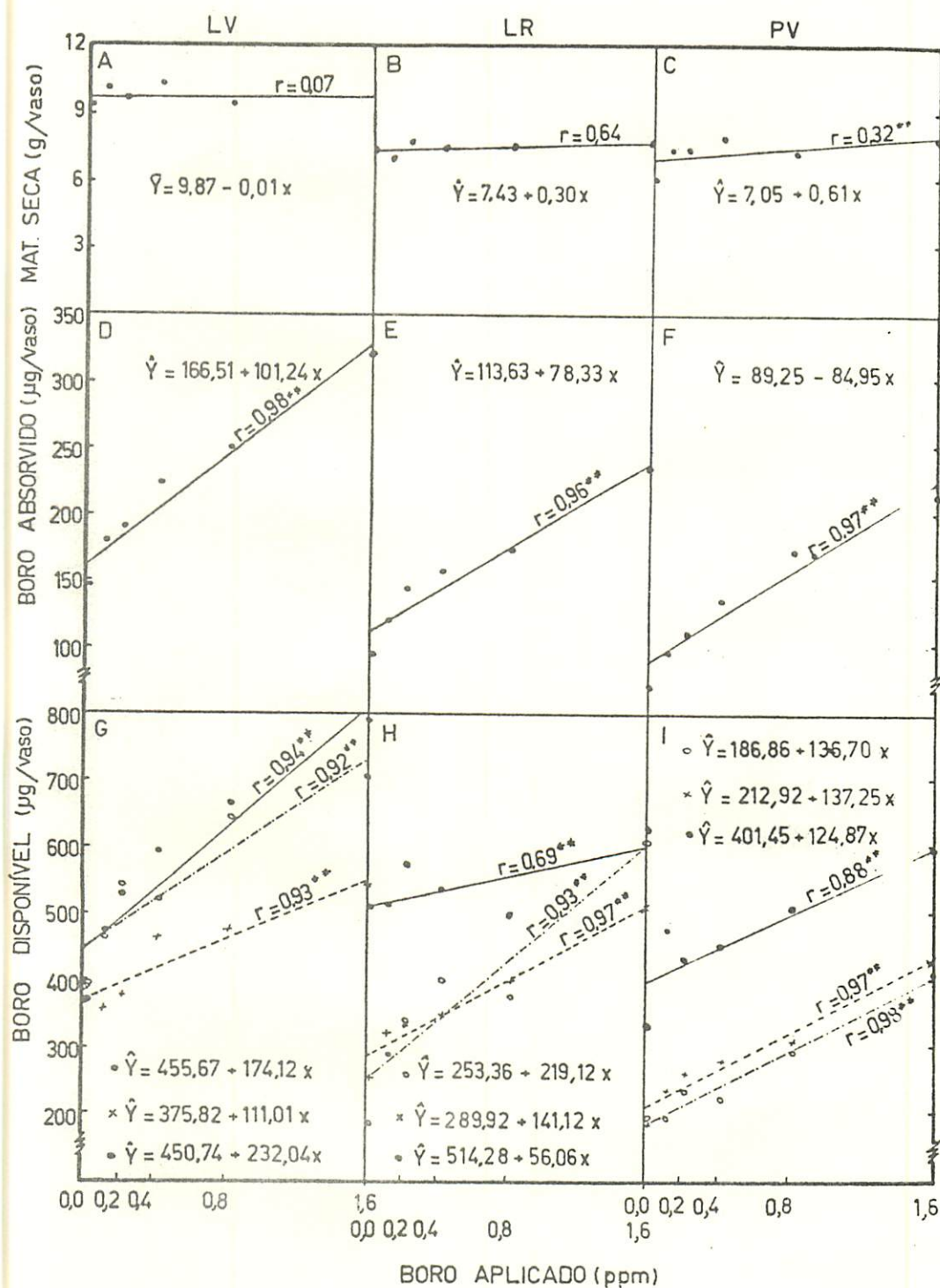


FIGURA 1. Efeito de doses crescentes de B na produção de matéria seca, B absorvido pelo girassol e B disponível pelos diferentes extratores em três materiais de solos (média de 4 repetições). Lavras-MG. 1984.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade
 -- Água quente; --- HCl 0,05 N e — CH₃COOH 0,05 N.

4.2.4. Altura das Plantas na Colheita

O crescimento das plantas em altura teve o mesmo comportamento da produção de matéria seca total frente às doses de B, bem como, quanto aos solos, onde só houve resposta à aplicação de B, no PV, sendo que a dose 0,1 ppm não diferiu da dose 0,0 ppm e a partir da dose 0,2 todas se comportaram igualmente, Quadro 4 e Figura 2.

Quanto ao desenvolvimento do girassol em diversos estádios no decorrer do ensaio (15, 25, 35 e 45 dias após a semeadura), ve rifica-se pela Figura 3 (A e B), que o LV proporcionou sempre um maior crescimento de plantas e o PV o menor, tanto na dose 0,0ppm de B, (Figura 3 A) como na média das doses (Figura 3 B).

4.3. Quantidade de B Absorvido e Relação Ca/B na Planta

Os teores de B e Ca determinados nos tecidos encontram-se no Apêndice 3, os quais foram utilizados para calcular as quantidades de cada um absorvida pelo girassol.

A análise de variância (Apêndice 4) mostra os efeitos sig nificativos de solos e doses no B absorvido pela parte aérea, raiz e total, bem como, na relação Ca/B. Nota-se também, que houve in terações altamente significativas entre todos os parâmetros anali sados, com exceção da relação Ca/B.

No apêndice 5 encontra-se o desdobramento das interações de primeira ordem, onde observa-se que somente para o B absorvido

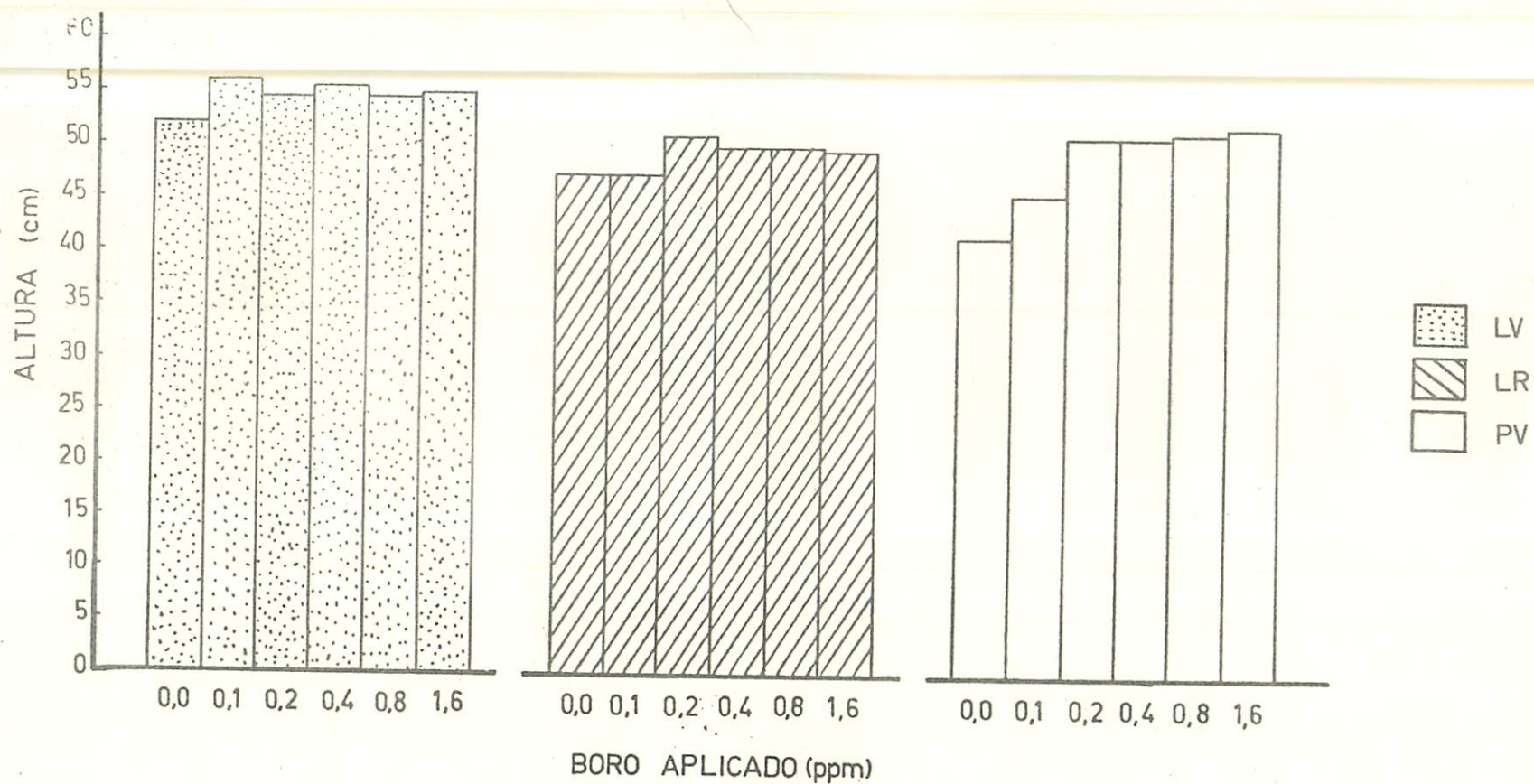


FIGURA 2. Altura do girassol na colheita, em função de doses crescentes de B. Lavras-MG. 1984.

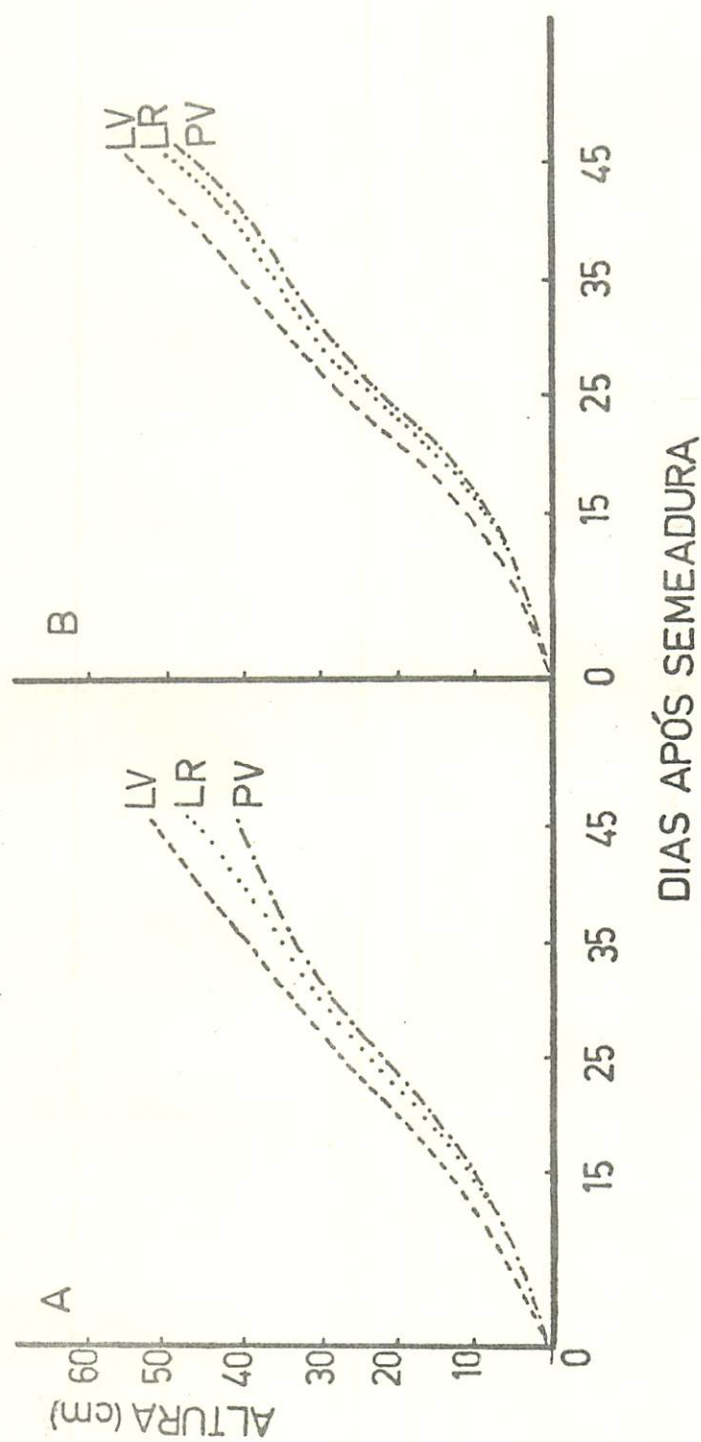


FIGURA 3. Crescimento médio do girassol, em vários estágios do seu desenvolvimento. A - sem aplicação de B; B - média das doses aplicadas. Lavras-MG., 1984.

pela raiz não houve significância das doses de B para o PV.

No Quadro 5 são apresentados os resultados dos efeitos de doses de B e solos, no B absorvido pela parte aérea, raiz e total e na relação Ca/B.

4.3.1. Quantidade de B Absorvido pela Parte Aérea

Observa-se pelo Quadro 5, que a parte aérea da planta absorveu quantidades crescentes de B, em função das doses aplicadas, em todos os solos estudados. Entretanto, o LV foi o solo que promoveu as maiores quantidades de B absorvida em todas as doses, bem como na média e, o PV as menores.

4.3.2. Quantidade de B Absorvido pela Raiz

Como as doses de B não influenciaram a produção de matéria seca da raiz (Quadro 4), isto indica, que o aumento do B absorvido por esta parte da planta, foi devido as doses aplicadas (Quadro 5). No entanto, para o PV, não houve efeito de aplicação das doses de B, apenas com uma tendência da maior quantidade acumulada, na dose de 1,6 ppm. O LV foi o solo que proporcionou maior absorção de B pela raiz, enquanto que o LR e PV não diferiram estatisticamente.

4.3.3. Quantidade de B Absorvido pela Planta Total

Como era de se esperar, devido a parte aérea e raiz terem absorvido quantidades crescentes de B em função das doses aplicadas, o B total absorvido também teve o mesmo comportamento, Quadro 5 e Figura 1 (D, E e F). Observa-se que, as plantas cultivadas no LV, absorveram quantidades superiores ao LR e este ao PV.

No tratamento sem adição de B as plantas se mostraram deficientes neste micronutriente, porém, em épocas diferentes de seu ciclo, não chegando, em certos casos, afetar a produção de matéria seca e altura. No entanto, como pode ser visto no Quadro 5 e Apêndice 3, apenas a dose 0,0 ppm no PV, com 66,62 μg B/vaso (12,49 ppm na parte aérea), é que causou uma redução na produção de matéria seca e altura do girassol.

4.3.4. Relação Ca/B*

As relações Ca/B no tecido da planta sofreram influência tanto das doses de B, quanto dos solos (Quadro 5). Verifica-se uma redução nesta relação com o aumento das doses aplicadas, bem como uma elevação na relação dentro da seguinte sequência de solos: LR, LV e PV, porém, não sendo significativa a diferença existente entre os dois primeiros.

* mg Ca absorvido/vaso
mg B absorvido/vaso

QUADRO 5. Efeito das doses de B na quantidade absorvida pela parte aérea, raiz e total e na relação Ca/B no tecido do girassol, cultivado em três materiais de solo de Lavras, Lavras-MG. 1984.

Doses B (ppm)	Parte aérea			Raiz			Total			Relação Ca/B		
	LV	LR	LV	LV	LR	PV	LV	LR	PV	LV	LR	PV
	----- µg/vaso -----											
0,0	145,41 e	91,12 e	66,62 e	1,63 d	3,10 bc	3,64 a	147,04 e	94,05 e	70,25 e	382 a	406 a	446 a
0,1	175,55 d	116,29 d	92,82 d	3,77 c	3,21 bc	3,71 a	179,32 d	119,50 d	96,71 d	349 a	328 b	352 bc
0,2	181,65 d	142,85 c	107,30 d	7,57 b	2,54 c	3,25 a	189,22 d	145,38 c	110,45 d	307 ab	266 b	373 b
0,4	216,05 c	151,75 c	130,92 c	8,53 ab	4,71 ab	3,77 a	224,57 c	156,46 bc	134,69 c	265 b	254 c	306 c
0,8	240,91 b	169,61 b	170,28 b	9,86 a	4,13 abc	3,18 a	250,77 b	173,74 b	172,58 b	212 c	218 cd	229 d
1,6	313,17 a	229,95 a	209,10 a	8,84 ab	5,51 a	5,06 a	322,01 a	235,47 a	214,16 a	162 c	173 d	184 d
MÉDIAS	212,12 A	150,26 B	129,51 C	6,70 A	3,87 B	3,77 B	218,82 A	154,10 B	133,14 C	279 B	274 B	315 A

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na mesma coluna e maiúscula na linha, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.4. Boro Disponível pelos Diferentes Extratores

As doses de B e os solos influenciaram significativamente na quantidade de B disponível por todos os extratores, como também, houve interações, entre os fatores estudados (Apêndice 6). No Apêndice 7, encontram-se os desdobramentos destas interações, onde, observa-se que houve significância para todos os solos e extratores.

No Quadro 6 e Figura 1 (G, H e I) são apresentados os efeitos das doses de B na quantidade deste micronutriente recuperada pelos extratores, nos três materiais de solos estudados.

4.4.1. Boro Disponível pelo Método da Água Quente

No Quadro 3 são apresentados os valores de B disponível, originalmente, pelo método da água quente. Verifica-se que o LV apresenta o maior teor de B disponível, sendo este valor, quatro vezes o do PV e aproximadamente o dobro do LR.

Observa-se no Quadro 6 e Figura 1 (G, H e I), que a água quente extraiu quantidades crescentes de B, a medida que as doses do nutriente aplicado aumentaram, porém, esta extração não foi proporcional às doses, pois segundo o teste de médias, o comportamento foi o seguinte: No LV não houve diferenças entre as quantidades extraídas nas doses 0,0 e 0,1 ppm e 0,2 e 0,4 ppm, sendo as outras médias diferentes entre si e das anteriores. No LR nota-se que as quantidades extraídas nas doses 0,2; 0,4 e 0,8 ppm

QUADRO 6. Efeito das doses de B na quantidade de B disponível pelos extratores*: água quente, ácido clorídrico 0,05 N e ácido acético 0,05 N em três materiais de solos de Lavras. Lavras-MG. 1984.

Doses B (ppm)	Água Quente			HCl 0,05 N			CH ₃ COOH 0,05 N		
	Amostras			Amostras			Amostras		
	LV	LR	PV	LV	LR	PV	LV	LR	PV
	----- µg/vaso -----								
00	393,47 d	183,30 d	193,99 c	387,52 c	255,82 d	182,79 e	372,33 f	509,66 c	335,18 c
0,1	465,18 d	287,99 c	192,97 c	356,97 c	320,01 c	235,89 d	472,82 e	511,48 c	476,87 bc
0,2	545,12 c	345,26 b	234,04 c	375,93 c	338,99 c	260,88 cd	528,51 d	572,81 b	432,50 c
0,4	521,46 c	399,13 b	220,74 c	462,69 b	347,80 c	282,85 bc	592,91 c	536,62 bc	450,83 c
0,8	644,39 b	373,64 b	292,59 b	472,35 b	402,41 b	307,20 b	666,38 b	501,45 c	506,08 b
1,6	704,19 a	610,14 a	410,58 a	543,59 a	511,95 a	433,38 a	790,80 a	627,45 a	592,31 a
MÉDIAS	545,63 A	366,58 B	257,48 C	433,18 A	362,83 B	283,83 C	570,62 A	543,25 B	465,96 C

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na mesma coluna e maiúscula na linha, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

* A quantidade de B disponível em cada extrator é a somatória da quantidade extraída pela planta, com aquela extraída pelos extratores.

são todas estatisticamente iguais, enquanto que, no PV até a dose 0,4 ppm, não houve diferenças na quantidade extraída.

Quanto aos solos, tal como aconteceu com a produção de matéria seca total e B total absorvido, o LV foi o que apresentou maior quantidade de B extraído pela água quente e o PV a menor quantidade (Quadro 6, Figura 1 (G, H e I)).

4.4.2. Boro Disponível pelo Ácido Clorídrico 0,05 N

Este extrator apresentou o mesmo comportamento da água quente (Quadro 6 e Figura 1 (G, H e I) com respeito às quantidades extraídas em relação às doses de B aplicadas. No entanto, no LV, verifica-se que as quantidades de B disponíveis pelo HCl foram bem inferiores à água quente em todas as doses (Figura 1, G). Para o LR, houve uma tendência de maior extração pelo HCl nas baixas doses de B aplicado, invertendo-se tal tendência nas altas doses (Figura 1, H). No PV, embora as tendências tenha sido a mesma, o HCl extraiu pequena quantidade a mais de B do solo em todas as doses aplicadas, exceto para a dose 0,0 ppm (Figura 1, I).

Tal como observado para a água quente, o LV foi o solo que proporcionou as maiores quantidades de B extraído por este extrator e o PV as menores (Figura 1 (G e I)).

4.4.3 Boro Disponível pelo Ácido Acético 0,05 N.

Pelo Quadro 6 e Figura 1 (G, H e I), observa-se que este extrator, de maneira geral, extraiu maior quantidade de B, que os outros extratores, conservando a mesma tendência de superioridade do LV. Apenas para este solo houve uma tendência definida de aumento da quantidade extraída em função da dose de B aplicada (Quadro 6). Comparando-se este método com o da água quente, apenas para o LV as tendências e quantidades foram aproximadas (Figura 1, G). Para o LR, as quantidades de B extraídas foram muito maiores nas baixas doses aplicadas, tendendo a serem semelhantes nas altas doses (Figura 1, H). No PV, as quantidades extraídas foram sempre muito superiores às aquelas extraídas pela água quente em todas as doses aplicadas (Figura 1, I).

4.5. Correlações Estudadas

4.5.1. Boro Disponível e B Total, Teor de Matéria Orgânica, Óxidos de Ferro Livre Totais e Teor de Argila.

Os dados referentes a B total, teor de matéria orgânica, óxidos de Fe livre totais e teor de argila estão apresentados no Quadro 3. Com relação ao B total, observa-se que o maior valor foi encontrado no LV, enquanto que o LR e PV apresentaram valores semelhantes. Para o teor de M.O., o maior valor foi encontrado no LR seguido pelo LV e PV, respectivamente. Quanto aos óxidos de Fe livre totais, observa-se que o maior teor foi encontrado no LR, valor este bem superior aos encontrados no LV e PV. O maior teor de

argila foi encontrado no LR, sendo esse valor bem mais elevado àquele encontrado no LV e PV.

Quando se correlacionou o B disponível pelos extratores com as características acima mencionadas não foi observada nenhuma correlação significativa.

Para melhor visualizar a relação entre o B total e o B disponível (método da água quente) antes da calagem, construiu-se as Figuras 4 e 5. Observa-se na Figura 5 que a relação B total/B disponível cresceu na seguinte ordem: LV, LR e PV, enquanto que na Figura 4, que indica a percentagem do B total que é disponível, nota-se que esta percentagem foi maior no LV, sendo a menor verificada no PV. Estes resultados confirmam as observações verificadas para produção de matéria seca, B total absorvido e B extraído onde o LV mostrou-se superior aos demais, sendo seguido pelo LR e PV, respectivamente.

4.5.2. Correlações possíveis entre: Produção Total de Matéria Seca, Altura das Plantas na Colheita, Quantidade total de B absorvida pela planta e B Disponível pelos extratores.

Em todas as combinações, verificou-se correlação positiva e significativa, como pode ser observado no Quadro 7.

Verifica-se que os maiores valores para o coeficiente de correlação entre o B disponível pelos três métodos e os ~~parâme~~tros de produção de matéria seca e altura do girassol foram obti

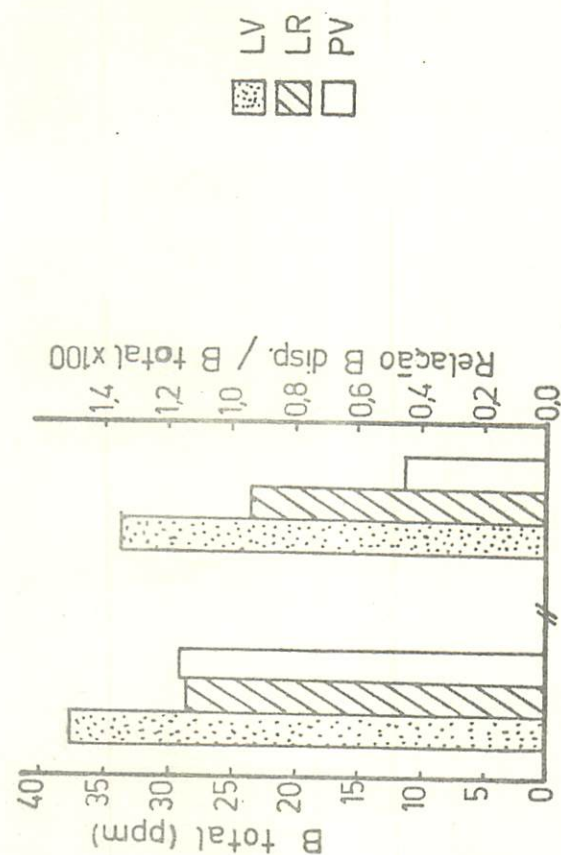


FIGURA 4. Teor de B total e relação percentual B disponível/B total, dos materiais de solos estudados. Lavras-MG. 1984.

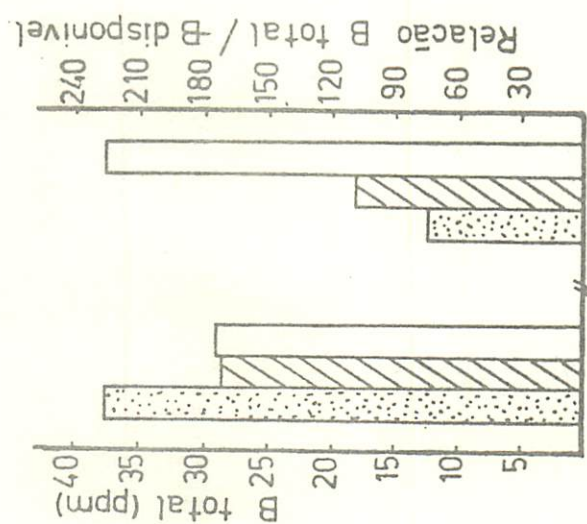


FIGURA 5. Teor de B total e relação B total/B disponível dos materiais de solos estudados. Lavras-MG. 1984.

dos com o método da água quente, seguido do HCl 0,05 N e os mais baixos coeficientes com o método do CH_3COOH 0,05 N.

QUADRO 7. Coeficientes de correlação entre as várias combinações de variáveis analisados. Lavras-MG. 1984.

COMBINAÇÕES DE VARIÁVEIS		COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r)
B (H_2O quente)	x Produção matéria seca	0,74 **
B (H_2O quente)	x Altura	0,72 **
B (H_2O quente)	x B Total absorvido	0,93 **
B (H_2O quente)	x B (HCl 0,05 N)	0,93 **
B (H_2O quente)	x B (CH_3COOH 0,05 N)	0,77 **
B (HCl 0,05 N)	x Produção matéria seca	0,66 **
B (HCl 0,05 N)	x Altura	0,69 **
B (HCl 0,05 N)	x B total absorvido	0,94 **
B (HCl 0,05 N)	x (CH_3COO 0,05 N)	0,80 **
B (CH_3COOH 0,05 N)	x Produção matéria seca	0,44 **
B (CH_3COOH 0,05 N)	x Altura	0,54 **
B (CH_3COOH 0,05 N)	x B total absorvido	0,86 **
B total absorvido	x Produção matéria seca	0,68 **
B total absorvido	x Altura	0,74 **

** Significativos ao nível de 1% de probabilidade

Altos coeficientes de correlação foram observados quando se correlacionou o B disponível pelos extratores água quente e HCl com o B total absorvido pela planta. Menor valor foi encontrado para o ácido acético.

No entanto, quando se correlacionou os extratores utilizados entre si, nota-se que houve um alto coeficiente de correlação entre o B disponível pela água quente e o B disponível pelo HCl 0,05 N, o mesmo não ocorrendo quando correlacionou-se o B disponível pela água quente com o boro disponível pelo CH_3COOH 0,05 N. Quanto ao B absorvido pelo tecido da planta, observa-se maiores coeficientes de correlação entre o B disponível pelos 3 extratores, do que com a produção de matéria seca e a altura das plantas.

4.6. Boro Disponível pelo Método Biológico do Girassol (Helianthus annuus L.).

De acordo com o método biológico do girassol para determinação do B disponível, proposto por COLWELL (16) e, baseado na classificação de BRASIL SOBRINHO (12), Quadro 8, os solos foram classificados (Quadro 9). Observa-se que o LV e LR foram enquadrados na classe III (ligeira deficiência ou ausência de deficiência) e o PV na classe I (deficiência acentuada).

Durante o desenvolvimento do experimento, observou-se que as plantas deficientes em B inicialmente apresentavam uma leve clorose na base das folhas terminais, com subsequente encurvamento do limbo foliar e surgimento de uma coloração verde brilhante no segundo par de folhas. Com o decorrer do tempo, a clorose progrediu e os sintomas nas folhas mais novas se acentuaram, provocando morte da gema terminal e paralização do crescimento.

QUADRO 8. Classes de solos em função do valor-idade, obtido na coleção de padrões em areia lavada.

Classe	ppm de B	Valor-idade (dias)
I	< 0,10	< 23 - deficiência acentuada
II	0,10 a 0,30	23 a 30 - deficiência moderada
III	> 0,30	> 30 - ligeiramente ou não deficiente

FONTE: BRASIL SOBRINHO (12)

QUADRO 9. Dados referentes ao valor-idade, obtidos nos materiais de solos estudados, sem adição de B.

Solo	Valor - Idade		Interpretação
	Dias	Classe	
LV	38	III	Ligeiramente ou não deficiente
LR	37	III	Ligeiramente ou não deficiente
PV	21	I	Deficiência acentuada

4.7. Mineralogia dos Materiais de Solos Estudados

Observa-se pelos difratogramas de raios-X da fração argila, Figura 6, que houve dominância generalizada de caulinita, destacando-se o PV; observa-se também nesta amostra a presença de goethita e quartzo. No LV, além da caulinita, que está em menor proporção que no PV, há também a presença de gibbsita, goethita e hematita (em teores muito reduzidos). O LR, revela-se com dominância de caulinita e gibbsita, apresentando ainda, goethita e hematita.

Na identificação de turmalina na fração areia fina ao microscópio petrográfico, encontrou-se que 0,70% dessa fração era turmalina no PV, 0,20% no LV, no entanto, não sendo detectada no LR.

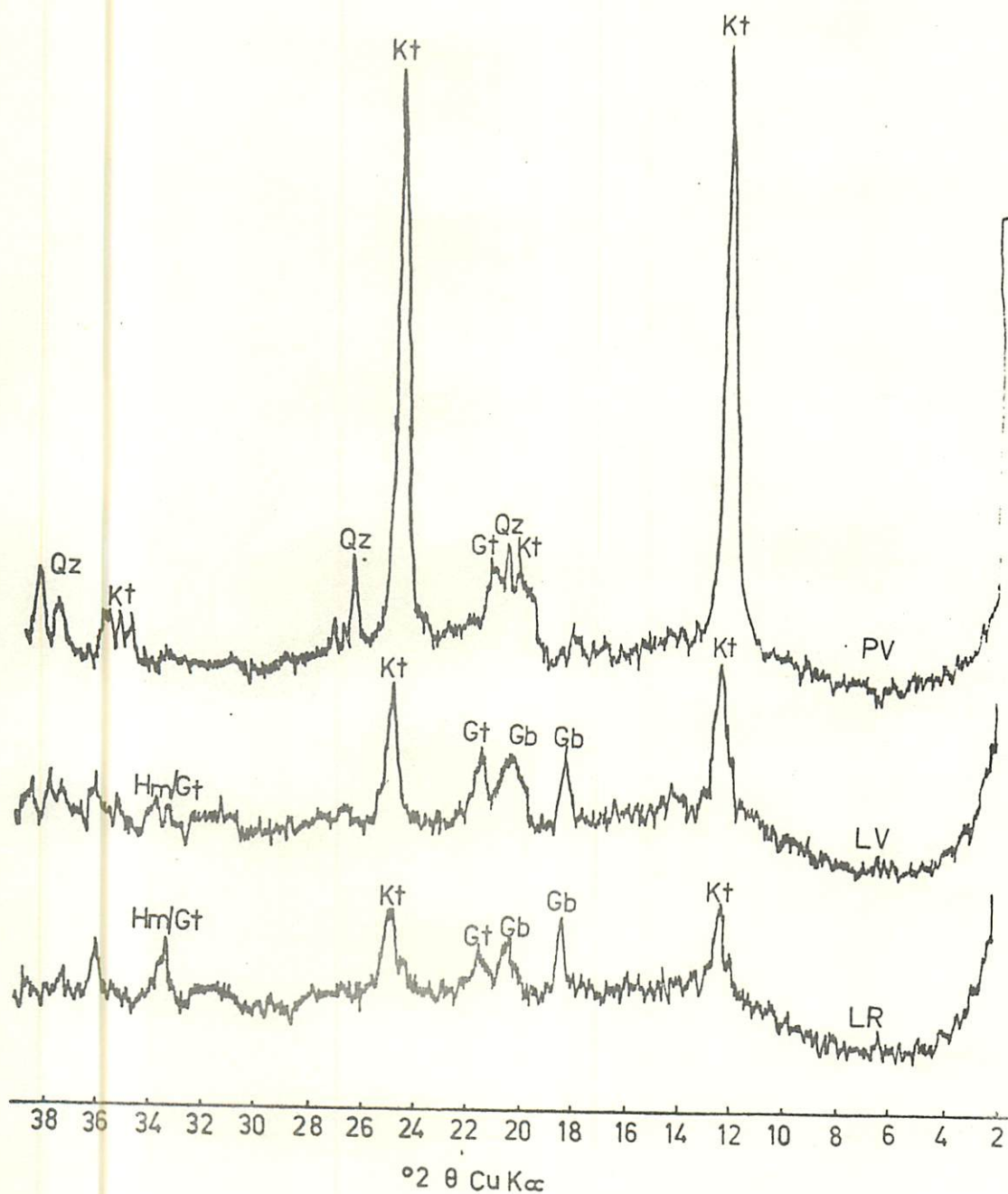


FIGURA 6. Difrátogramas de raios-X da fração argila dos materiais de solos utilizados. Lavras-MG., 1984.

5. DISCUSSÃO

Pelos resultados apresentados, verifica-se que o LV proporcionou, de uma maneira geral, maior peso de matéria seca, maior quantidade de B absorvido pelo tecido, bem como, maior quantidade de B disponível, com todos os extratores utilizados. Por outro lado, foi o PV aquele que menos se destacou em todos os parâmetros analisados. O LR teve comportamento intermediário, mesmo possuindo o maior teor de matéria orgânica (Quadro 3), apesar de que segundo vários pesquisadores, (4, 6, 12, 14, 37, 48, 49), haver uma correlação positiva entre o teor de matéria orgânica o B disponível, bem como a afirmação dos autores (4, 48), de que o B disponível se encontra, principalmente associado à matéria orgânica. Este solo também apresentou o maior teor de argila (Quadro 3), fator que também favoreceria a um maior teor de B disponível, como descrito por (12, 14, 28). Assim, com base apenas nesses fatores esperar-se-ia que o LR apresentasse o maior teor de B disponível. Essa menor disponibilidade verificada no LR, quando comparado com o LV, possivelmente, seja função da menor riqueza em B do seu material de origem, da sua maior retenção de B no solo, devido seus mais altos teores de óxidos de ferro livre totais

e argila (Quadro 3), superfície específica, bem como, sua dominância relativa de gibbsita, mostrada pelos difratogramas de raios-X, Figura 6, quando comparado com o LV e PV. Segundo BIGGAR & FIREMAN (7) e SING (66) a capacidade de retenção de B, aumenta dos solos de textura grosseira para os de textura mais fina. Com relação a maior presença de óxidos de ferro livre totais e de gibbsita, HINGTON (33) e HATCHER et alii (31), relatam que a retenção deste nutriente, se deva, principalmente, aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. MALCOLM et alii (46), observaram que os óxidos hidratados de alumínio, retém mais B por unidade de massa, que os de ferro.

Quanto ao teor de B total encontrado (Quadro 3), observou-se que o maior teor foi o do LV, seguido do PV e LR, apesar de vários autores, (6, 12, 69), relatarem que o teor total deste nutriente é de baixo valor para predição de sua disponibilidade para as plantas. No entanto, pelas relações B total/B disponível, pode-se ter uma idéia da maior ou menor capacidade do solo, em transformar o B total em disponível para as plantas, pois como pode ser visto pela Figura 5, a menor relação foi obtida no LV, solo em que se deu o maior suprimento deste nutriente para as plantas, proporcionando um melhor desenvolvimento vegetaivo; por outro lado, a maior relação ficou com o PV, onde a carência de B foi bem acentuada. Considerações desta natureza, encontram suporte no trabalho de BRASIL SOBRINHO (12). Observa-se também pela Figura 4, que o LV foi o solo que apresentou a maior percentagem do B total que é disponível (1,4%), portanto, mostrando uma maior capacidade de fornecimento deste nutriente para as plantas, enquanto que o

PV apresentou a menor percentagem (0,4%), comprovando, desta maneira, ser um solo de baixa capacidade de suprimento. Estes valores encontrados estão de acordo com BERGER & TRUOG (6), os quais admitiram que, menos de 5% do B total do solo está disponível para as plantas.

O menor teor de B total encontrado no LR pode ser explicado, pelo fato deste solo ter sua origem em rochas básicas, o que não ocorre com o LV e PV, os quais são originados de rochas ácidas. HODGSON (36) comenta que as rochas mais ácidas, têm concentrações levemente superiores, o que está de acordo com os dados obtidos (Quadro 3). Pela análise da fração areia fina ao microscópio petrográfico, para identificação da turmalina (principal mineral contendo B no solo), segundo (3, 50, 53), esta não foi detectada no LR, tendo sido a maior percentagem encontrada no PV seguido pelo LV.

O que mais contribuiu, provavelmente para os maiores teores de B total no LV foram o material de origem, a matéria orgânica e a maior retenção deste micronutriente pelos componentes do solo. O PV apesar de apresentar o maior percentual de turmalina na fração areia fina, não apresentou o maior teor em B total, possivelmente, devido ao seu baixo teor de matéria orgânica e sua menor capacidade de retenção. Segundo BERGER & PRATT (5), grande parte do B total do solo está preso à matéria orgânica.

Quanto aos métodos de extração utilizados, observou-se que os métodos da água quente e do HCl, tiveram comportamentos se

melhantes e mais definidos que o do ácido acético, Figura 1 (G, H e I). Entre as correlações feitas com o B extraído por estes extratores, o melhor coeficiente foi obtido entre a água quente o HCl (Quadro 7). Estes extratores foram também os que melhor se correlacionaram com o B total absorvido, produção de matéria seca e altura da planta. Estes resultados são promissores, considerando a possibilidade de substituição do método da água quente na avaliação do B disponível, visto tratar-se de um método moroso e com possibilidades de perda de H_3BO_3 na forma de vapor, durante a fervura, apesar de ser até hoje o método mais utilizado e aceito como o melhor índice de disponibilidade de B para as plantas, (6, 48, 69). Boa correlação entre o método da água quente e do HCl, bem como, melhor correlação entre o B absorvido pela cultura do arroz e o extraído com HCl, foi encontrada por PONNAMPERUMA et alii (56), que cita como vantagens do HCl, ser um método rápido, simples e permite determinação além do B, também de Zn e Cu no mesmo extrato. A não significância encontrada para as correlações feitas entre o B disponível pelos diversos extratores com os teores de matéria orgânica, B total, teor de argila e óxidos de ferro livre torais, possivelmente seja devido a influência de outros fatores como por exemplo a superfície específica, ou dado ao pequeno número de pontos utilizados nas correlações (apenas três).

Correlações positivas e significativas entre o B disponível em água quente e o teor de matéria orgânica foram encontrados por (12, 14, 37, 49). Com o teor de argila, CASAGRANDE (14), encontrou coeficientes de correlação da mesma natureza, no entanto, os mesmos foram relativamente baixos. Por outro lado, Page & Paden

citados pelo mesmo autor, não encontraram correlação entre tais parâmetros. Quanto ao B total, GUPTA (28) encontrou correlação significativa e positiva, sugerindo até que o seu teor fosse usado para predição de sua disponibilidade, embora afirmando que as quantidades totais dos micronutrientes, nem sempre, estão relacionadas com as formas disponíveis. No presente trabalho o teor de B total parece ser um bom índice para predizer a disponibilidade de B.

Quanto aos óxidos de ferro livre totais, CASAGRANDE (14) e BRASIL SOBRINHO (12) encontraram coeficientes de correlação positivos e significativos, com o B disponível em água quente, além de relatar que os solos mais ricos em óxidos de ferro, apresentavam teores mais elevados de B disponível por este extrator, fato este não verificado neste trabalho, levando-se a crer que, outros fatores que afetam a retenção de B, poderiam estar também afetando e sua disponibilidade, como é o caso da superfície específica, a qual é muito influenciada pelo tipo e características dos minerais de argila. Segundo BIGGAR & FIREMAN (7), os solos não apenas variam em sua capacidade de reter o B, mas também quanto a energia de sua retenção.

Com relação a classificação dos solos, obtida pelo método biológico do girassol (Quadro 9), comparando-se os dados de B disponível no solo original (antes da calagem), Quadro 3, com os resultados obtidos por BRASIL SOBRINHO (12), Quadro 8, observa-se, de certa maneira, bastante coerência, sendo os solos LV e LR classificados como ligeiramente ou não deficientes, classe III, pois



o LV apresentou um teor de B disponível em água quente de 0,52 e o LR, apesar de ter apresentado um teor abaixo de 0,30 ppm, isto é, 0,27 ppm, se mostrou autosuficiente em fornecer B para as plantas, pois não houve resposta à aplicação de doses crescentes desse nutriente. O PV, mesmo apresentando um teor acima de 0,10 ppm (0,13 ppm) mostrou-se deficiente em fornecer B para as plantas, afetando tanto a produção de matéria seca, quanto a altura, sendo portanto enquadrado na classe I, (deficiência acentuada). A classificação de todos os solos foi baseada, apenas, no valor-idade estabelecido por COLWELL (16) e com base nos resultados obtidos por BRASIL SOBRINHO (12). Os autores (12, 13, 14) observaram que as faixas de teores de B disponível em água quente foram melhor refletidas pelo valor-idade.

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que as plantas, de modo geral absorveram quantidades crescentes de B, em função das doses do nutriente aplicado, Figura 1 (D, E e F) e Quadro 5. Por outro lado, vê-se que não houve resposta de produção total de matéria seca, nem da altura das plantas, no caso do LV e LR, ocorrendo resposta destes parâmetros, apenas no PV, Quadro 4 e Figura 1 (A, B e C). Isto sugere que os teores de B disponíveis em água quente, determinados antes da calagem, no LV (0,52 ppm) e LR (0,27 ppm), Quadro 3, foram suficientes para suprir a planta em B, não limitando seu crescimento e produção. Por outro lado, no PV (0,13 ppm), o teor foi suficientemente baixo, para permitir a resposta da planta a aplicação deste micronutriente, embora, a partir da primeira dose aplicada (0,1 ppm) não foi observada diferença significativa.

Como houve aumento do B absorvido em função das doses aplicadas e, não foi observado aumento do crescimento e produção de matéria seca do girassol, no caso do LV e LR e, a partir da primeira dose no PV, é indicado portanto, um consumo de B além das necessidades da planta. Como também não foi observado, nem mesmo nas maiores doses de B aplicadas, um sintoma típico de toxidez, que pudesse afetar estes parâmetros, tal como a literatura refere-se ao K, MALAVOLTA (45), ocorreu possivelmente, um "consumo de luxo" de B e, as doses utilizadas não foram suficientemente altas para que a toxidez se manifestasse.

Estes resultados, confirmam um fato muito comentado, de que a fixação do nível crítico em 0,5 ppm de B no solo, extraído com água quente, não é válido para todas as culturas e tipos de solos.

Com respeito a relação Ca/B, observou-se como era esperado, que à medida que as plantas acumularam mais B, em função do aumento da dose aplicada, a relação decrescia (Quadro 5), isto devido ser o teor de Ca^{2+} constante em um mesmo material de solo, para todas as doses. Para os materiais de solo, a relação Ca/B foi praticamente semelhante para o LV e LR e maior para o PV (Quadro 5). Com relação aos teores de Ca^{2+} após a calagem, valores aproximadamente iguais para o LV e LR foram observados (Quadro 3). Como o teor de B disponível no solo original era diferente (LV=0,52 ppm e LR = 0,27 ppm; Quadro 3), a maior produção de matéria seca e absorção de B proporcionada pelo LV (1,30 e 1,42 vezes maior, respectivamente, que a LR), exigiu uma maior acumulação de cálcio

pela planta (1,44 vezes maior que o LR), para que a relação Ca/ B se mantivesse igual à do LR, onde a absorção de cálcio foi menor. Esta observação concorda com JONES & SCARSETH (41), de que as plantas absorvem diferentes quantidades destes dois nutrientes, em função de suas disponibilidades. Tais autores comentam ainda que, para a planta ter um bom desenvolvimento, é necessário um determinado equilíbrio na absorção destes dois nutrientes.

Os altos valores para as relações Ca/B (de 315 para o fator solo e 446, 406, 382, 373 e 352 para o fator dose), Quadro 5, foram associadas com sintomas de carência de B, no entanto, em diferentes épocas do ciclo vegetativo do girassol (Quadro 9), não chegando, em todos os casos, a afetar o desenvolvimento das plantas, como pode ser observado no Quadro 4, e Figura 1 (A, B e C) . Com a cultura da cevada, GUPTA (27), observou que relações de Ca/B de 540 e 45, estavam associadas, respectivamente, com deficiência e toxidez de B.

6. CONCLUSÕES

- Valores mais baixos para a relação B total/B disponível no material de solo original, indicaram maior disponibilidade desse micronutriente.
- O teor de B total parece ser um bom índice de sua disponibilidade, pelo menos no caso dos materiais de solo estudados.
- Dos métodos utilizados para extrair o B disponível, o da água quente foi o que apresentou-se mais eficiente, seguido do HCl 0,05 N.
- O método do HCl 0,05 N desponta-se com possibilidades de uso na rotina, dado a rapidez de extração.
- A classificação dos solos através do valor-idade, obtida pelo método biológico do girassol, refletiu bem os teores de B originalmente extraídos com a água quente.
- Dos materiais de solos estudados, o LV e o LR têm possibilidades, de pelo menos nos primeiros cultivos, não causarem problemas de deficiência de B para as plantas.

- Relação Ca/B no tecido do girassol acima de 315, foram associadas com problemas de deficiência de B nesta cultura.

7. RESUMO

Foram estudados materiais de Latossolo Vermelho - Amarelo (LV) Epiálico textura muito argilosa, Latossolo Roxo (LR) Epiálico textura muito argilosa e Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) Epiétrófico textura argilosa, localizados no Município de Lavras, Estado de Minas Gerais e, representativo da área de importância agrícola na região, com os objetivos de se determinar os teores de B total e disponível, pelo método biológico do girassol (Helianthus annuus, L.), água quente e extratores químicos, bem como, correlacionar o B disponível pelos extratores com os parâmetros de produção, com as propriedades e/ou características que afetam a disponibilidade de B e entre si.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×6 , com quatro repetições, sendo três solos e seis doses de B (0,0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 e 1,6 ppm).

Foram utilizados como vasos, latas de óleo lubrificante com capacidade de 1.000 ml e cortadas a uma altura, de modo a ficar com capacidade de 600 ml. Os recipientes foram revestidos internamente com "undersil" recebendo cada um, 0,5 kg de material de solo onde foram cultivadas cinco plantas de girassol (Híbrido Contissol-112) por 45 dias. As plantas foram colhidas, parte aérea e raiz separadamente e, analisadas para B e Ca. Os materiais de solos, após o cultivo, foram analisados por três extratores (água quente, HCl 0,05 N e CH_3COOH 0,05 N). Foi considerado como B disponível, o somatório das quantidades extraídas em cada extrator e aquelas extraídas pela planta total. O B disponível nos materiais de solos originais, foi determinado apenas com o método da água quente.

Dentre os materiais de solos estudados, o LV foi o que se mostrou mais eficiente em fornecer B para as plantas, proporcionando maior produção total de matéria seca, maior altura das plantas, maior quantidade de B absorvido e maior quantidade de B disponível por todos os extratores utilizados, seguido do LR e PV. Esse material de solo (LV), originalmente apresentou o mais alto teor em B total e disponível (água quente), bem como, a menor relação B total/B disponível.

O teor de B total parece ser um bom índice de sua disponibilidade, pelo ~~menos~~ no caso dos materiais de solos estudados.

O extrator que apresentou maior correlação com a produção de matéria seca, altura e B acumulado pelo girassol foi o da água quente, seguido do HCl, bem como, melhor correlação foi obtida

entre estes dois extratores, do que estes com o CH_3COOH .

A avaliação da disponibilidade de B pelo método biológico do girassol, foi bem refletida pelos teores de B originalmente extraídos com água quente.

Altas relações Ca/B no tecido do girassol foram associadas com problemas de deficiência de B para esta cultura.

8. SUMMARY

Materials of LV, LR, PV, located in the Municipality of Lavras, State of Minas Gerais, and representative of the area of agricultural importance in the region, were studied with the objective of determining the levels of total and available B by the biological method of the sunflower (Helianthus annuus L.), hot water and chemical extractants, as well as correlating the available B by the extractants with the parameters of production like the properties and/or characteristics that affect the availability of B and between themselves.

The experiment was conducted in a glasshouse in the Department of Soil Science of the Escola (ESAL).

A completely randomised experimental design was used with a 3 x 6 factorial scheme, that is three soils and six doses of B (0,0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8.e 1,6 ppm) and with four replicates.

Tins of lubricating oil were used as pots. These had a capacity of 1,000 ml and were cut in height to give a capacity of 600 ml. The containers were coated on the inside with "under sill" and each one received 0,5 kg of soil material in which five plants of sunflower were grown for 45 days. The plants were harvested, aerial parts and roots separately and were analysed for B and Ca the soil materials, after cultivation, were analysed using three extractants (hot water, HCl 0,05 N and CH_3COOH 0,05 N). Available B was considered as the sum of the extracted quantities in each extractant and those extracted by the whole plant. The available B in the original soil materials was determined only by the method of hot water.

Among the soil materials studied, LV was shown to be most efficient in supplying B for the plants, providing greatest total production of dry matter, greatest plant height, largest quantity of absorbed B and largest quantity of available B by all of the extractions used, followed by LR and PV. This soil material (LV) originally showed the highest level of total and available B (hot water) as well as the lowest total B:available B ratio.

The level of total B appears to be a good index of its availability, at least in the case of the soil materials studied.

The extractant that showed greater correlation with the production of dry matter, height and accumulated B by sunflower was hot water, followed by HCl. Also better correlation was obtained between these extractants than between these and CH_3COOH .

The assessment of the availability of B by the biological method of the sunflower was reflected well by the levels of B originally extracted with hot water.

High Ca:B ratios in the tissues of sunflower were associated with problems of deficiency of B for this crop.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARTLETT, R.J. & PICARELLI, C.J. Availability of boron and phosphorus as affected by liming an acid potato soils. Soil Science, Baltimore, 116(2):77-83, Aug. 1973.
2. BARTZ, H.R. & MAGALHÃES, A.F. Avaliação da disponibilidade de boro através de soluções extratoras em alguns solos do Rio Grande do Sul. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, , 11 (1):89-96, 1975.
3. BEAR, F.E. Microelementos. In: _____. Suelos y fertilizantes. 2.ed. Barcelona, Omega, 1953. p.352-71, 1953.
4. BERGER, K.C. Boron in soils and crops. Advances in Agronomy, New York, 1:321-51, 1949.
5. _____ & PRATT, P.F. Advances in secondary and micronutrient fertilization. In: MALCOLM, H.M. et alii. Fertilizers technology and usage. Madison, Soil Science Society of America, 1963. p.287-340.

6. BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron deficiencies as revealed by plant and soil tests. Journal of the American Society of Agronomy, Madison, 32(4):297-301, Apr. 1940.
7. BIGGAR, J.W. & FIREMAN, M. Boron adsorption and release by soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 24(2):115-20, Mar./Apr. 1960.
8. BINGHAM, F.T.; PAGE, A.L.; COLEMAN, N.T. & FLACH, K. Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 35(4):546-50, July/Aug. 1971.
9. BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling, Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, Cap.30, p.374-90.
10. _____. Participle density. In: BLACK, C.A. Methods of Soil Analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, Cap. 29, p.371-3.
11. BLAMEY, F.P.C.; MOULD, D. & CHAPMAN, J. Critical boron concentrations in plant tissues of two sunflower cultivars. Agronomy Journal, Madison, 71(2):243-7, Mar./Apr. 1979.

12. BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 1965 . 135p. (Tese de Mestrado).
13. _____ & FREIRE, J.C. Boro em alguns solos do Estado de São Paulo; avaliação por métodos químicos. Revista de Agricultura, Piracicaba, 55(1/2):83-105, maio, 1980.
14. CASAGRANDE, J.C. O boro em alguns solos do município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 1978. 122p. (Tese de Mestrado).
15. CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C. & KROLL, F.M. Extração e determinação do boro solúvel dos solos. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba, 27:287-94, 1970.
16. COLWELL, W.E. A biological method for determing the relative boron contents of soils. Soil Science, Baltimore, 56:81-94, July/Dic. 1943.
17. COOK, R.L. & MILLAR, C.E. Some soil factors affecting boron availability. Soil Science Society of America Proceedings , Madison, 4(3):297-301, May/June, 1939.
18. CURI, N. Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1983. 158p. (Tese PhD).

19. DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, Cap.43, p.545-66.
20. ELLIS, B.G. & KNEZEC, B.D. Adsorption reactions of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J. et alii. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. Cap.4, p.59-78..
21. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
22. EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas; princípios e perspectivas. Rio de Janeiro, Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.
23. FELDKAMP, J.R.; SHAH, D.N.; MEYER, S.L.; WHITE, J.L. & HEM, L. S. Effect of adsorbed carbonate on surface charge characteristics and physical properties of aluminum hydroxide gel. Journal of Pharmaceutical Sciences, 70(6):638-40, June, 1981.
24. FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S. & AQUINO, L.H. de. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4(1):5-8, jan./abr. 1980.

25. GARAVITO, N.F. & LEON, S.A. Propriedades del suelo en relaci_on con deficiencias de boro en el Valle del Cauca. Revista do Instituto Colombiano Agropecuário, Bogotá, 13(3):445-53, sep. 1978.
26. GUPTA, V.C. Boron nutrition of crops. Advances in Agronomy, New York, 31:273-307, 1979.
27. _____. Interaction effects of boron and lime on barley . Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36(2): 332-4, Mar./Apr. 1972.
28. _____. Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 32(1): 45-8, Jan./Feb. 1968.
29. _____ & CUTCLIFFE, J.A. Effects of lime and boron on Brown-heart, leaf tissue calcium/boron ratios, and boron concentrations of rutabaga. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 36(6):936-9, Nov./Dic. 1972.
30. _____; McLEOD, J.A. & STERLING, J.D.E. Effects of boron and nitrogen on grain yield and boron and nitrogen concentrations of barley and wheat. Soil Science Society of American Journal, Madison, 40(5):723-6, Sept./Oct. 1968.

31. HATCHER, J.T.; BOWER, C.A. & CLARK, M. Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminum and surface area. Soil Science, Baltimore, 104(6):422-6, Dec. 1967.
32. HEILMAN, M.D.; CARTER, D.L. & GONZALES, C.L. The ethylene glycol monoethyl eter (EMEG) technique for determining soil-surface area. Soil Science, Baltimore, 100(6):409-13, June, 1965.
33. HINGSTON, F.J. Reactions between boron and clays. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, 2(1):83-95, Feb. 1964.
34. _____; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelope. The Journal of Soil Science, Oxford, 23(2):177-92, June, 1972.
35. HIRSCH, A.M. & TORREY, J.G. Ultrastructural changes in sun lower root calls in relation to boron deficiency and added auxin. Canadian Journal of Botany, Ottawa, 58(8):856-66, Apr. 1980.
36. HODGSON, J.F. Chemistry of the micronutrient elements in soils. Advances in Agronomy, New York, 15:119-59, 1963.
37. HOROWITZ, A. & DANTAS, H. da S. Boro disponível nos solos da zona litoral - Mata de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 8(7):163-8, 1973.

38. HUNTER, H.A. Laboratory analysis of vegetal tissues samples, Raleigh, N.C.S.U., 1975. 5p. (Mimeografado).
39. JACKSON, M.L. Análise químico de suelos. 2.ed. Barcelona , Omega, 1970. 662p.
40. _____. Soil chemical analysis; advanced course. 2.ed. Madison, University of Wisconsin, 1969. 895p.
41. JONES, H.E. & SCARSETH, G.D. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. Soil Science, Baltimore, 57:15-24, Jan./June, 1944.
42. KUBOTA, J.; BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron movements in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 13(2): 130-4, Mar./Apr. 1948.
43. LUCAS, R.E. & KNEZEC, B.D. Climatic anual soil conditions promoting micronutrients deficiencies in plants. In: MORTVEDT, J.J. et alii. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. Cap.12, p.265-88.
44. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
45. _____. Manual de química agrícola; adubos e adubação. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 596p.

46. MALCOLM, M.; PAGE, A.L. & BINGHAM, F.T. Adsorption interactions of monosilicic and boric acid on hydrous oxides of iron and aluminum. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36(3):510-14, May/June, 1972.
47. MARCONI, A.; FREIRE, O.; ABRAHÃO, I.O. & BRASIL SOBRINHO, M. O.C. Boro nos minerais, rochas, solos e plantas. Revista de Agricultura, Piracicaba, 55(1/2):33-9, maio, 1980.
48. MARTENS, D.C. Plant availability of extractable boron, copper and zinc as related to selected soil properties. Soil Science, Baltimore, 106(1):23-8, July, 1968.
49. MILJKOVIC, N.S.; MATTHEWS, B.C. & MILLER, M.H. The available boron content of the genetic horizons of some ontaric soils. 1. The relationship between water-soluble boron and other soil properties. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 46(2):133-138, June, 1966.
50. MORTVEDT, J.J. & CUNNINGHAM, H.C. Production, marketing, and use of other secondary and micronutrient fertilizers. In: OLSON, R.A. Fertilizer technology & use. Madison, Soil Science Society of America, 1971. p.413-54.
51. MUZILLI, O. Desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar "Goiano Precoce" e a absorção de nutrientes em função da acidez do solo Latossolo Roxo distrófico. Piracicaba, ESALQ/USP, 1974. 76p. (Tese de Mestrado).

52. NAFTTEL, J.A. The influence of excessive liming on boron deficiency in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 2(4):383-4, July/Aug. 1937.
53. NORRISH, K. Geochemistry and mineralogy of trace elements. In: NICHOLAS, D.J.O. & EGAN, A.R. Trace elements in soil-plant-animal systems. New York, Academic Press, 1975 . p.55-81.
54. OLSON, R.U. & BERGER, K.C. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content, and other factors. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 11(5):216-20 , May/June, 1946.
55. PETERSON, L.A. & NEWMAN, R.C. Influence of soil pH on the availability of added boron. Soil Science Society of American Journal, Madison, 40(2):280-2, Mar./Apr. 1976.
56. PONNAMPERUMA, F.N.; CAYTON, M.T. & LANTIN, R.S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soils. Plant and Soil, Netherlands, 61: 297-310, 1981.
57. REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M. & HOEFT, R.G. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. Soil testing and plant analysis, Madison , Soil Science Society of America, 1973. p.173-200.

58. RHOADES, J.D.; INGVALSON, R.D. & HATCHER, J.T. Adsorption of boron by ferromagnesian minerals and magnesium hydroxide. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(6): 938-41, Nov./Dec. 1970.
59. RIBEIRO, A.C. Adsorção de boro pelo solo. Viçosa, UFV, 1974. 32p. (Tese de Mestrado).
60. ROGERS, H.T. Water soluble boron on coarse textural soils in relation to need of boron fertilization for legumes. Journal of the American Society of Agronomy, 39(1):914-28, Jan. 1947.
61. RUBBEY, W.W. The size distribution of heavy minerals within a wathlaid sandstone. Journal of Sedimentary Petrology, 3:3-29, 1933.
62. SCHALSCHA, E.B.; BINGHAM, F.T.; CALINDO, G.G. & GALVAN, H.P. Boron adsorption by vulcanic ash soils in southern Chile. Soil Science, Baltimore, 116(2):70-6, Aug. 1973.
63. SCHUSTER, C.E. & STEPHENSON, R.E. Sunflower as an indicator plant of boron deficiency in soils. Journal of the American Society of Agronomy, 32(8):607-21, Aug. 1940.
64. SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials; II sesquioxides. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 32(3): 364-9, May/June, 1968.

65. SINGH, D.V.; CHAUAN, R.P.S. & CHARAN, R. Safe and toxicity limits of boron for gram in sandy loam and clay loam soils. Indian Journal of Agronomy, New Delhi, 21(2):309-10, June 1976.
66. _____, S.S. Boron adsorption equilibrium in soils. Soil Science, Baltimore, 98:383-7, July/Dec. 1964.
67. VETORI, L. Métodos de análises do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
68. VILELA, E.A. & RAMALHO, M.A.P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras, Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, 3(1):71-9, jan./jun. 1979.
69. WEAR, J.I. Boron. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap.75, p.1059-63.
70. _____ & PATTERSON, R.M. The effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in soil. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 23(3):344-5, May/June, 1962.
71. WILSON, C.M.; LOVORN, R.L. & WOODHOUSE, W.W. Movement and accumulation of water-soluble boron within the soil profile. Agronomy Journal, Washington, 43(8):363-7, Aug. 1951.

72. WOLF, B. Factors influencing availability of boron in soil and its distribution in plants. Soil Science, Baltimore , 50:209-20, July/Dec. 1940.

APÊNDICE

APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância da produção de matéria seca da parte aérea , raiz e total e da altura das plantas na colheita. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	Quadrado médio e significância		
		Parte aérea	Raiz	Total
Solos (S)	2	27,547 **	2,489 **	46,143**
Doses B (D)	5	1,167 **	0,028 NS	1,410 **
Interação S x D	10	0,520 **	0,024 NS	0,595 **
Erro	54	0,187	0,022	0,211
C.V. (%)		6,05	13,33	5,55
				4,27

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste "F"

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "F".

APÊNDICE 2. Desdobramento das interações de primeira ordem significativas, obtidas nas análises de variância da produção de matéria seca pela parte aérea, total e altura das plantas na colheita. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	Quadrado médio e significância		
		Parte aérea	Total	Altura
Dose B:LV	5	6,670 **	0,505 NS	7,841 NS
Dose B:LR	5	6,788 **	0,309 NS	9,923 NS
Dose B:PV	5	3,541 **	1,787 **	70,753 **
Erro	54	0,187	0,211	4,740

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste "F"

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste "F"

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "F".

APÊNDICE 3. Teores de Ca e B no tecido do girassol, cultivado em três materiais de solos de Lavras, em função de doses crescentes de B. Lavras-MG. 1984.

Doses B(ppm)	Parte aérea			Raiz			Parte aérea			Raiz		
	LV	LR	PV	LV	LR	PV	LV	LR	PV	LV	LR	PV
0,0	0,42	0,40	0,36	1,51	1,33	1,54	18,31	14,02	12,49	1,11	3,10	4,74
0,1	0,45	0,41	0,31	1,49	1,42	1,52	20,43	18,91	14,27	2,45	3,10	4,04
0,2	0,43	0,37	0,43	1,50	1,45	1,53	21,83	20,71	16,37	5,21	2,67	4,04
0,4	0,42	0,40	0,38	1,47	1,32	1,54	24,39	23,67	18,50	5,67	4,28	4,04
0,8	0,39	0,37	0,42	1,53	1,29	1,50	29,78	25,56	26,02	6,61	4,04	4,04
1,6	0,38	0,39	0,40	1,49	1,28	1,22	36,66	34,04	29,93	6,61	4,97	5,67

APÊNDICE 4. Resumo da análise de variância da quantidade de B absorvida pela parte aérea, raiz e total e da relação quantidade de cálcio/quantidade de boro absorvidas pela planta. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	Quadrado médio e significância			
		Parte aérea	Raiz	Total	Relação Ca/B
Solos (S)	2	44331,130 **	66,554 **	47878,059 **	11879,225 **
Doses B (D)	5	33722,793 **	24,192 **	35403,039 **	88926,422 **
Interação S x D	10	338,551 **	12,501 **	338,443 **	1711,251 NS
Erro		117,281	0,958	118,572	867,991
C.V. (%)		6,60	20,48	6,46	10,17

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste "F"

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "F".

APÊNDICE 5. Desdobramento das interações de primeira ordem significativas, obtidas nas análises de variância da quantidade de B absorvida pela parte aérea, raiz e total. Lavras-MG., 1984.

Causas de variação	G.L.	Quadrado médio e significância		
		Parte aérea	Raíz	Total
Dose B:LV	5	14217,275 **	42,331 **	15432,025 **
Dose B:LR	5	9147,983 **	5,025 **	9512,787 **
Dose B:PV	5	11034,606 **	1,837 NS	11135,099 **
Erro	54	117,281	0,958	118,572

NS = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste "F"

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "F".

APÊNDICE 6. Resumo da análise de variância da quantidade de B disponível pelos extratos: água quente, ácido clorídrico 0,05 N e ácido acético 0,05 N. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	Água Quente		
		HCl 0,05 N	CH ₃ COOH 0,05 N	
Solos (S)	2	507968,219 **	133969,766 **	70705,781 **
Doses B (D)	5	144026,422 **	74939,445 **	91687,633 **
Interação S x D	10	8195,056 **	2367,244 **	17097,105 **
Erro	54	675,229	220,342	637,754
C.V. (%)		6,65	4,12	4,80

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "F".

APÊNDICE 7. Desdobramento das interações de primeira ordem significativas, obtidas nas análises de variância da quantidade de B disponível pelos extratores: água quente, ácido clorídrico 0,05 N e ácido acético 0,05 N. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio e Significância		
		Água quente	HCl 0,05 N	CH ₃ COOH 0,05 N
Dose B:LV	5	52084,301 **	20612,801 **	87045,203 **
Dose B:LR	5	80521,203 **	30305,699 **	9513,100 **
Dose B:PV	5	27810,901 **	28755,600 **	29323,801 **
Erro	54	673,229	220,342	637,754

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste "F".