

ESTUDOS SÓBRE AS RELAÇÕES CÁLCIO/BORO E POTÁSSIO/BORO
NO CAFEIRO (Coffea arabica L., var. Mundo novo) .

JOSÉ RENATO SARRUGE
Engenheiro-Agrônomo
Cadeira nº 20
Química Biológica
Departamento de Química
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
U. S. P.

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", para obtenção do título de "Doutor em Agronomia".

PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO
1968

DEDICO

aos meus pais

à minha esposa

e a meus filhos

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são devidos às seguintes pessoas e instituição:

Ao Prof. Catedrático Eurípedes Malavolta ,
pela orientação e revisão do texto.

Ao Prof. Catedrático Walter R. Accorsi, pe
la colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Aos Doutores Antonio Cobra Netto, Henrique
P. Haag, Hermano Vaz de Arruda e Moacyr O. C.
do Brasil Sobr^o, pelas sugestões apresentadas.

à Cadeira de Agricultura Especial da E. S.
A. "Luiz de Queiroz", pelo fornecimento das se
mentes.

ÍNDICE

- I -

	<u>Página</u>
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DA LITERATURA	3
3 - MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 - Obtenção das mudas	11
3.2 - Instalação do ensaio	11
3.3 - Sintomatologia e cortes histológicos ...	12
3.4 - Colheita das plantas	13
3.5 - Análises químicas	13
3.6 - Análise estatística	13
4 - RESULTADOS	14
4.1 - Crescimento das plantas	14
4.1.1 - Ensaio sobre as relações cálcio/boro ...	14
4.1.1.1 - Fôlhas superiores	16
4.1.1.2 - Fôlhas inferiores	18
4.1.1.3 - Caules	20
4.1.1.4 - Raízes	23
4.1.1.5 - Plantas inteiras	24
4.1.2 - Ensaio sobre as relações potássio/boro..	25
4.1.2.1 - Fôlhas superiores	27
4.1.2.2 - Caules	28
4.1.2.3 - Raízes	29
4.1.2.4 - Plantas inteiras	29
4.2 - Sintomas morfológicos e alterações anatômicas	30
4.2.1 - Ensaio sobre as relações cálcio/boro ...	30
4.2.1.1 - Deficiência de boro	30
4.2.1.2 - Deficiência de cálcio	32
4.2.1.3 - Toxidez de boro	34
4.2.2 - Ensaio sobre as relações potássio/boro..	35
4.3 - Composição química	35
4.3.1 - Ensaio sobre as relações cálcio/boro ...	35
4.3.1.1 - Fôlhas superiores	36
4.3.1.2 - Fôlhas inferiores	40

4.3.1.3 - Caules	42
4.3.1.4 - Raízes	44
4.3.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro ..	46
4.3.2.1 - Fôlhas superiores	46
4.3.2.2 - Fôlhas inferiores	52
4.3.2.3 - Caules	54
4.3.2.4 - Raízes	56
5 - DISCUSSÃO	59
5.1 - Crescimento das plantas	59
5.1.1 - Ensaio sôbre as relações cálcio/boro	59
5.1.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro ..	61
5.2 - Sintomas morfológicos e alterações anatômicas	62
5.2.1 - Ensaio sôbre as relações cálcio/boro	62
5.2.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro ..	63
5.3 - Composição química	63
5.3.1 - Ensaio sôbre as relações cálcio/boro	63
5.3.1.1 - Nitrogênio	63
5.3.1.2 - Fósforo	64
5.3.1.3 - Cálcio	64
5.3.1.4 - Magnésio	65
5.3.1.5 - Boro e relação cálcio/boro	65
5.3.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro ..	66
5.3.2.1 - Nitrogênio	66
5.3.2.2 - Fósforo	66
5.3.2.3 - Potássio	67
5.3.2.4 - Cálcio	67
5.3.2.5 - Magnésio	68
5.3.2.6 - Boro e relação potássio/boro	68
6 - CONCLUSÕES	70
7 - RESUMO	72
8 - SUMMARY	73
9 - LITERATURA CITADA	74
ÍNDICE DE QUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V

ÍNDICE DE QUADROS

<u>Quadro</u>		<u>Página</u>
	Ensaio sôbre as relações cálcio/boro	
1	Crescimento do cafeeiro	15
2	Valores de <u>F</u>	16
3	Pêso do material sêco das fôlhas superiores- em gramas	16
4	Número de fôlhas superiores	17
5	Pêso do material sêco das fôlhas inferiores- em gramas	19
6	Número de fôlhas inferiores	20
7	Pêso do material sêco dos caules em gramas..	21
8	Comprimentos dos caules em centímetros	22
9	Pêso do material sêco das raízes em gramas..	23
10	Pêso do material sêco das plantas inteiras - em gramas	25
	Ensaio sôbre as relações potássio/boro	
11	Crescimento do cafeeiro	26
12	Valores de <u>F</u>	27
13	Pêso do material sêco das fôlhas superiores- em gramas	27
14	Pêso do material sêco dos caules em gramas..	28
15	Pêso do material sêco das raízes em gramas..	29
16	Pêso do material sêco das plantas inteiras - em gramas	30
	Ensaio sôbre as relações cálcio/boro	
17	Composição mineral média dos cafeeiros	37/38
18	Teor percentual de cálcio nas fôlhas superio- res	39
19	Teor de boro em partes por milhão nas fôlhas superiores	39
20	Relação cálcio/boro nas fôlhas superiores ..	40
21	Teor percentual de fósforo nas fôlhas infe- riores	41
22	Teor percentual de magnésio nas fôlhas infe- riores	41
23	Teor de boro em partes por milhão nas fôlhas inferiores	42
24	Teor percentual de magnésio nos caules	42

Quadro

Página

25	Teor de boro em partes por milhão nos caules	43
26	Relação cálcio/boro nos caules	44
27	Teor percentual de nitrogênio nas raízes..	44
28	Teor de boro em partes por milhão nas raízes	45
29	Relação cálcio/boro nas raízes	46
	Ensaio sôbre as relações potássio/boro	
30	Composição mineral média dos cafeeiros ...	47/48
31	Teor percentual de nitrogênio nas fôlhas superiores	49
32	Teor percentual de fósforo nas fôlhas superiores	50
33	Teor percentual de potássio nas fôlhas superiores	50
34	Teor percentual de cálcio nas fôlhas superiores	51
35	Teor percentual de magnésio nas fôlhas superiores	51
36	Teor de boro, em partes por milhão, nas fôlhas superiores	52
37	Teor percentual de potássio nas fôlhas inferiores	52
38	Teor percentual de cálcio nas fôlhas inferiores	53
39	Teor percentual de magnésio nas fôlhas inferiores	53
40	Teor de boro, em partes por milhão, nas fôlhas inferiores	54
41	Teor percentual de cálcio nos caules	55
42	Teor percentual de magnésio nos caules ...	55
43	Teor percentual de potássio nas raízes ...	56
44	Teor percentual de cálcio nas raízes	57
45	Teor percentual de magnésio nas raízes ...	57
46	Teor de boro, em partes por milhão nas raízes	58

ÍNDICE DE FIGURAS.

- V -
Página.

Figura

1	Esquema de montagem das mudas nos vasos	12
2	Corte microscópico do limbo de fôlha-afetada por deficiência de boro	32
3	Corte microscópico do limbo de fôlha-afetada por deficiência de cálcio ...	34

A presença de boro nas plantas, foi determinada em 1857, quando Wittstein & Apoiger obtiveram ácido bórico a partir de cinzas de Maesa picta, uma planta da Abissínia, pertencente à ordem Myrsinaceae. Em 1910, Agulhon, publicou resultados mostrando aumentos no peso seco do trigo, aveia e raba nete, como consequência da aplicação de boro no meio nutritivo. Mazé foi, entretanto, o primeiro a afirmar que o boro era essencial para o crescimento do milho. Warington (1923), deu pela primeira vez, provas conclusivas, não só de que o boro é estimulante, como também de que, em sua ausência, certas plantas da família Leguminosae desenvolvem sintomas característicos de deficiência (BERGER, 1949).

Embora conhecida, há algum tempo, em várias regiões cafeeiras (GONZALES & CAMACHO, 1952; PEREZ e outros, 1956), só recentemente se constatou no Brasil, a falta de boro em condições de campo. BRASIL SOBRINHO (1965), em alguns solos do Estado de São Paulo, constatou baixos teores de boro.

A falta de cálcio, comum em plantações da Costa Rica e da Colômbia, ainda não foi encontrada nas brasileiras; não se deve, porém, perder de vista a possibilidade do seu aparecimento, uma vez que cafezais novos têm sido plantados nos últimos anos, em solos bastante ácidos, como os de "cerrado", onde respostas espetaculosas ao calcário, têm sido obtidas com outras culturas.

REEVE & SHIVE (1944), demonstram em estudos -- feitos com tomateiro, importância das relações cálcio/boro e potássio/boro, no desenvolvimento do vegetal.

Os ensaios de que trata o presente trabalho, foram instalados com os seguintes objetivos:

a. Obter sintomas de deficiências de cálcio , boro e potássio, em condições controladas, para facilitar a identificação dos mesmos em condições de campo.

b. Verificar o efeito do cálcio e do boro, fornecidos em diversos níveis, no crescimento e composição química das plantas.

c. Avaliar o efeito das diversas concentrações de potássio e de boro, no crescimento e composição química do vegetal.

O boro parece ser o micronutriente mais bem estudado, aparecendo na literatura, um grande número de trabalhos a seu respeito, abordando os mais diferentes aspectos. Na presente revisão, procuramos incluir apenas aqueles trabalhos, mais diretamente ligados ao nosso assunto, isto é, relações cálcio/boro e relações potássio/boro, preferencialmente ligadas à alimentação mineral do cafeeiro. Como nesse campo, o assunto é limitado, incluímos ainda, as mesmas relações citadas, aplicadas à alimentação mineral de outras culturas, uma vez que se tratam de trabalhos clássicos a respeito, e cujas conclusões, poderiam dentro dos limites devidos, auxiliar a interpretação de nossos dados.

CHAPMAN e outros (1939), cultivaram limoeiros com 1 ppm de boro na solução nutritiva, e os mesmos apresentaram sintomas de toxidez do micronutriente, quando se omitiu o potássio da solução. As concentrações de boro nas folhas, chegaram a 200 ppm no material seco. As concentrações de boro nas folhas de plantas submetidas aos tratamentos completos, estavam ao redor de 20 a 40 ppm, no material seco.

DRAKE e outros (1941), cultivaram milho e fumo em areia com solução nutritiva, com dois níveis de cálcio (0,0025 M e 0,025 M), e cada nível, submetido a vários pH (4,4 a 7,6). Verificaram que o cálcio ativo influenciava a absorção de boro, e não o pH. Sugerem que a relação cálcio/boro para o fumo turco, em condições normais, não deve exceder a 1.340. A relação cálcio/boro igual a 1.500, está associada a forte deficiência de boro. Concluem que as relações cálcio/boro, permitem a determinação da necessidade de boro pelas plantas, que por sua vez, têm necessidades de relações diferentes, conforme as espécies.

JONES & SCARSETH (1944), cultivaram diversas espécies vegetais, sob condições de casa de vegetação, variando a calagem e a quantidade de boro aplicada nos solos. Concluíram -- que as absorções de cálcio e de boro pelas plantas, dependiam -- dos teores desses elementos nos solos. Parece que cada planta -- tem uma necessidade de cálcio e de boro, necessidades essas que variam muito entre as espécies. Em solos ácidos, em que há pequena disponibilidade de cálcio, uma pequena quantidade de boro é necessária. Quantidades pouco maiores desse último elemento, podem provocar sintomas de toxidez. Em solos alcalinos, ou que sofreram calagens pesadas, há uma grande disponibilidade de cálcio e haverá necessidade de grandes quantidades de boro para prevenir o problema de deficiência. As relações cálcio/boro ótimas encontradas para algumas culturas foram: fumo - 1.200; soja - 500; beterraba açucareira - 100.

REEVE & SMIVE (1944), utilizaram tomateiros cultivados em solução nutritiva e areia, a diversos níveis de boro (0,001, 0,01, 0,5 e 5,0 ppm), sendo cada nível submetido a variações de concentração de cálcio (5,0, 10,0, 50,0, 100,0, -- 250,0 e 500,0 ppm) e de potássio (10,0, 50,0, 89,0, 250,0 e 500,0 ppm). Chegaram às seguintes conclusões: os sintomas externos de toxidez de boro, a altos níveis desse elemento, bem como os sintomas de deficiência, a baixos níveis do micronutriente, são acentuados pelo aumento da concentração de potássio na solução nutritiva, indicando influência do elemento na acumulação do boro nos tecidos do tomateiro. A níveis elevados de boro, um aumento da concentração de potássio no substrato, é seguida de um aumento mais pronunciado da concentração de boro nos tecidos.

O cálcio tem o mesmo papel do potássio, no sentido de aumentar os sintomas de deficiência de boro, sendo entre tanto de efeito contrário ao do potássio, no caso de toxidez do micronutriente. Altas concentrações de cálcio, diminuíram a absorção e os sintomas de toxidez de boro, a altos níveis do mesmo.

A acumulação de cálcio depende da concentração do mesmo no substrato, e independe da concentração de boro. A relação cálcio / boro para um dado nível de cálcio e de boro, decresce quando se aumenta a concentração de potássio no substrato. O cálcio, entretanto, não apresenta efeito na relação potássio/cálcio. Parece que a relação cálcio/boro está implicada diretamente na absorção do boro, enquanto o potássio age indiretamente, através da absorção e acumulação do cálcio.

MEDINA & SHIVE (1946), cultivaram milho em solução nutritiva e areia, a várias concentrações de cálcio e de boro. A análise da parte aérea revelou que a concentração de boro independe da concentração de cálcio no substrato. Entretanto, o conteúdo de boro solúvel de plantas cultivadas em solução com altas concentrações do micronutriente (20 ppm), foi menor quando em presença de 500 ppm de cálcio, do que quando cultivadas com baixos níveis do mesmo. A absorção de cálcio ou de boro, é proporcional às quantidades dos elementos no substrato. A absorção de cálcio foi maior, quando em presença de teores elevados do elemento (100,0, 250,0 e 500,0 ppm) e altas concentrações de boro, diminuindo quando os níveis do micronutriente baixava. Sintomas de deficiência de boro aumentaram, quando se aumentou a concentração de cálcio no substrato, com exceção dos níveis 250,0 e 500,0 ppm de cálcio, nos quais o segundo apresentou sintomas de deficiência menos intensos. Plantas cultivadas ao nível zero (0,0 ppm) de boro, apresentaram sintomas de deficiência e concentrações baixas do micronutriente, mas quando em presença de baixas concentrações de cálcio (5,0 e 10,0 ppm), os sintomas não apareceram. As partes velhas dessas plantas, apresentaram maiores conteúdos de boro do que as partes novas. Há baixa translocação do boro.

A toxidez de boro, decresce quando aumenta a concentração de cálcio no substrato. A absorção de cálcio, foi praticamente, independente da concentração de boro no substrato

to. A relação cálcio/boro, desempenha importante papel na atividade metabólica. Para os autores, as relações cálcio/boro, altas, intermediárias e baixas, estão relacionadas com deficiências, doses normais e toxidez de boro, respectivamente.

BERGER (1949), em extensa revisão bibliográfica, incluindo mais de uma centena de trabalhos, relatou importantes fatores relacionados com o boro, através dos seguintes capítulos: Determinação, disponibilidade nos solos, e necessidades das plantas.

WALLACE & BEAR (1949), trabalharam com alfafa, em areia e solução nutritiva, fornecendo diversos níveis de potássio e de boro. Apareceram sintomas de deficiência de boro em plantas cultivadas com soluções de baixa concentração do micronutriente. Esses sintomas foram mais severos, quando aumentou o teor de potássio no substrato. Os conteúdos das folhas foram, 26,0 e 10,0 ppm no material seco, respectivamente. Os sintomas de toxidez de boro, só apareceram em plantas cultivadas com 5 ppm de boro, e 10,0 ppm de potássio na solução. As plantas que apresentaram sintomas de toxidez, exibiram concentrações de 360,0 ppm de boro, comparadas com 240,0 e 200,0 ppm, para plantas com altos níveis de potássio na solução, e mesma concentração de boro.

GISIGER (1950), afirmou que a causa imediata de distúrbios no crescimento das plantas, depois de uma calagem excessiva em solos ácidos, é a concentração desfavorável de ions OH^- , e não, uma alta fixação de boro. Nesses solos, o boro não reage normalmente como um nutriente, e sim como um remédio, fortificando as raízes contra o efeito hidratante de concentrações excessivas de ions OH^- . Esses solos poderiam ainda, ser lixiviados por lavagem.

PAAUW (1954), demonstrou em experimentos com

beterraba açucareira, que as deficiências de boro, aparecem claramente, quando se fornece altas quantidades de potássio, junto com uma calagem pesada. Quantidades menores de potássio, dão culturas normais. Os conteúdos de boro nas plantas são, entretanto, iguais para ambos os casos. Os sintomas de deficiências poderiam resultar de distúrbios metabólicos.

PEREZ e outros (1956), realizaram experimentos de adubação de cafeeiros Bourbon Híbrido Nacional, com cálcio e boro, fornecidos em diversos níveis. A parcela estava afetada por forte deficiência de boro, que foi corrigida pela aplicação do elemento ao solo. Houve aumento do conteúdo foliar do micro nutriente e da colheita. A aplicação de cálcio, não afetou a concentração do mesmo nas folhas, nem a colheita, e nem a concentração de boro nas plantas. Foram propostos os seguintes níveis de boro e relações cálcio/boro para o cafeeiro:

Estado das plantas	Concentração de B (ppm)	Ca/B -
Deficiência	Menor que 50,0	400,0 a 2.500,0
Normal	50,0	60,0 a 400,0
Toxidez	Maior que 200,0	menor que 60,0

Foi confirmado, que sêcas fortes ou chuvas violentas diminuem a quantidade de boro disponível nos solos. Não encontraram uma possível relação potássio/boro.

LOUÉ (1957), em levantamento dos teores de boro em cafeeiros robusta, verificou que os teores mais baixos de boro, coincidiam com épocas sêcas do ano. Determinou que o teor normal de boro permissível para o cafeeiro, seria de 20,0 a 100,0 ppm no material sêco, sendo que 60,0 ppm, revelaria um bom estado nutricional da cultura, com respeito ao elemento. Conclui ainda, que o boro é o micronutriente de maior importância para o cafeeiro, em suas condições de trabalho.

MEDINA & LOPEZ (1958), em ensaios com abacaxí, variaram as concentrações de cálcio e de boro na solução nutritiva. Os tratamentos sem boro, e com 5,0, 100,0, 250,0 e 500,0 ppm de cálcio na solução, deram plantas que cresceram menos que as plantas dos tratamentos também sem boro, mas que receberam 50,0 ppm de cálcio. As plantas que receberam doses altas de boro (5,0 ppm), deram maior rendimento, quando aumentaram a concentração de cálcio no substrato. Os maiores rendimentos, foram apresentados por plantas cultivadas com 250,0 ppm de cálcio. Nos tratamentos com 0,001 ppm de boro na solução, obtiveram os maiores rendimentos, com 50,0 ppm de cálcio nas soluções. Concentrações maiores ou menores, ocasionaram diminuição no material seco.

MULLER (1958), descreveu sintomas de deficiência e de toxidez de boro em cafeeiros. Determinou como 20,0 ppm, o limite inferior do conteúdo de boro para folhas de cafeeiros normais jovens; 100,0 a 150,0 ppm, como limite superior para folhas normais velhas. Para folha adulta, sadia, assinala valores de 60,0 a 120,0 ppm, como cifras normais. Recomenda ainda, correção de deficiência de boro, pela aplicação no solo ou pulverização foliar, de soluções com 0,2% ou 0,3% de compostos boratados.

WOODRUFF e outros (1960), fornecendo excesso de potássio à soja, em solos, verificaram a tendência do elemento em deprimir as concentrações de cálcio e magnésio em plantas, aparecendo às vezes sintomas de deficiências desses elementos. Sugere que tais fatos, poderiam indicar apenas, falta de boro nos solos em questão. Devido a isso, a adubação potássica, só poderia ser avaliada em conjunto com a determinação da necessidade de boro.

OERTLI (1961), em experimentos de longa duração, verificou que, nem a concentração relativa, nem a absoluta

de cálcio ou potássio, em uma larga faixa de valores, exerce - uma influência importante no conteúdo de boro em plantas de girassol e tomate. O efeito de deficiência de boro, induzido pela calagem, dificilmente poderia ser explicado através de um efeito iônico do cálcio, sobre a absorção de boro. Para folhas-sadias, a relação cálcio/boro, pode variar dentro de limite de centenas. Essa relação, pode ser menos importante do que é suposto por alguns investigadores nesse campo, e é duvidoso utilizar essa relação, para fins de diagnose.

OERTLI & KOHL (1961), cultivaram várias espécies vegetais em areia e solução nutritiva completa, adicionando 10,0 ppm de boro, o tempo suficiente para que mostrassem sintomas de toxidez, determinando o tempo e as concentrações de boro nas áreas necróticas, cloróticas e sadias. Concluem que, o boro se distribui de acordo com as nervuras das plantas, e que quase todo boro se move pelas correntes de transpiração, aumentando de concentração pela evaporação da água. Com 1.500,0 ppm, ou mais, aparecem áreas necróticas. Ao redor de 1.000,0 ppm, poderão aparecer áreas cloróticas. Áreas verdes da mesma planta, poderão apresentar concentrações de boro que irão desde 100,0 ppm, até 1.000,0 ppm. Não foi observada diferença de sensibilidade ao boro, pelos diversos tecidos das espécies estudadas, havendo ao que parece, apenas uma menor velocidade de acumulação para as espécies tolerantes. Os autores tentaram explicar a pequena variação de produção devido à toxidez de boro, pela localização do elemento nas correntes transpiratórias, e concentração em áreas relativamente pequenas, o que ocasionaria, uma diminuição também pequena na área de fotossíntese.

OUELLETTE (1964), cultivou alfafa em condições de campo, em solo de textura leve (o qual tinha mostrado sintomas de deficiência de boro), e em casa de vegetação, utilizando areia. Aplicou tratamentos com 0,0, 100,0 e 200,0 libras de cloreto de potássio por acre, e cada um, com 0,0, 15,0 e 30,0-

libras de borax por acre. Quando foi corrigido os sintomas de deficiência de boro, os sintomas de deficiência de potássio foram fracos. Altas concentrações de potássio acentuam a deficiência de boro, mas altas concentrações de boro favorecem a absorção do potássio. O valor limite para o conteúdo de boro nas plantas, esteve entre 16,0 e 20,0 ppm, dependendo do teor de potássio nas plantas. Em geral, relações-potássio/boro maiores que 1.200 nas plantas, representaram deficiência de boro. Relações muito menores, indicaram deficiência de potássio. Crescimentos satisfatórios, ocorreram entre relações 650 a 1.150. Quando apareceram sintomas de deficiência de potássio ou boro, as relações acima não funcionaram.

VALENCIA (1964). Descreveu sintomas de deficiência de boro em cafeeiros, e controlou os mesmos, aplicando borax nos solos, nas quantidades: 0,0, 50,0, 100,0, 200,0 e 300,0 gramas por planta e por ano. Houve aumento da concentração foliar de boro, desde as doses mais baixas, até tornar-se prejudicial, nas doses mais altas. As relações cálcio/boro, e os respectivos tratamentos, aparecem abaixo:

Gramas de borax/planta/ano	Relação Ca/B
0,0	125,7
50,0	42,6
100,0	35,0
200,0	30,9
300,0	28,0

O autor concluiu, que o melhor tratamento, correspondeu à dose de 50,0 gramas/planta/ano, ou seja, a relação cálcio / boro igual a 42,6.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Obtenção das mudas

Foram utilizados cafeeiros (Coffea arabica L.) variedade Mundo novo, cujas sementes foram obtidas da Cadeira - de Agricultura Especial, da Escola Superior de Agricultura -- "Luiz de Queiroz". A semeadura foi feita em areia, e quando as plântulas estavam na fase "orelha de onça", foram transferidas para solução nutritiva, como a recomendada por HOAGLAND & ARNON (1950), modificada quanto ao fornecimento de ferro, e diluída à metade da concentração original. O ferro foi fornecido na -- forma de quelado (FeNaEDTA).

3.2 - Instalação do ensaio

As mudas, com dois meses de idade, foram selecionadas quanto à uniformidade e vigor, e transferidas para vasos de polietileno com tampa, e de dois litros de capacidade. - Foram sustentadas por tampões de cortiça parafinada, e calçadas com espuma plástica.

A solução nutritiva empregada, foi a de -- HOAGLAND & ARNON (1950), modificada quanto ao fornecimento de ferro, e dos nutrientes em questão. O ferro, como no caso ante rior, foi fornecido na forma de quelado, enquanto que os elemen tos em estudo, boro e cálcio de um lado, e boro e potássio de outro, foram fornecidos em três níveis, arranjados como em um ensaio fatorial, com nove tratamentos, repetidos três v^êzes em cada experimento.

Os níveis de cálcio foram: 0,0, 0,5 e 25,0 - i^ônios miligramas por litro de solução.

As concentrações de potássio foram: 0,0, 0,6 e 30,0 i^ônios miligramas por litro de substrato.

Os teores de boro nas soluções foram: 0,0, 0,5 e 12,5 partes por milhão.

Os níveis intermediários de cada elemento, correspondem àqueles fornecidos pela solução completa de HOAGLAND & ARNON (1950).

Durante os seis meses de duração do ensaio, as plantas foram observadas, descrito sintomas e fotografadas.

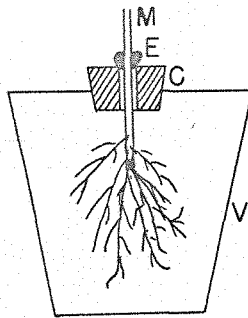


Fig. 1 - Esquema da montagem das mudas nos vasos. M - muda; E - espuma plástica; C - cortiça parafinada; V - vaso de polietileno.

3.3 - Sintomatologia e cortes histológicos

Para a descrição dos sintomas e das modificações internas, foram escolhidas plantas de tratamentos simples, como por exemplo: Ca_1B_0 (deficiência de boro e nível normal de cálcio), Ca_0B_1 (deficiência de cálcio e nível normal de boro), Ca_1B_{25} (toxidez de boro e nível normal de cálcio).

Foram relatados os sintomas de deficiências e toxidez, bem como as alterações anatômicas, através de exames visuais e ao microscópio. Foram feitos esquemas e tomadas fotografias das alterações observadas.

3.4 Colheita das plantas

Concluído o ensaio, colheram-se as plantas, separando: folhas superiores, folhas inferiores, caules e raízes. As raízes foram lavadas com ácido clorídrico diluído (aproximadamente 1 N) e água desmineralizada. As partes foram secas em estufa com circulação de ar forçada, a temperatura de 75 a 80°C, pesadas, e moídas em moinho "Wiley" com peneira de malha 20.

3.5 - Análises químicas

O nitrogênio foi determinado pela técnica do micro kjeldahl, descrita por MALAVOLTA (1957).

No extrato nítrico perclórico, do material seco e triturado, foram seguidas as recomendações de LOTT e outros (1956), para dosar fósforo, potássio e magnésio. O cálcio foi determinado por titulação do ácido oxálico proveniente do oxalato de cálcio, pelo permanganato de potássio (MALAVOLTA & COURY, 1954). O enxôfre, foi dosado por gravimetria (TOTH e outros, 1948).

A dosagem do boro foi feita de acordo com JOHNSON & ULRICH (1959).

3.6 - Análise estatística

A análise estatística, foi feita de acordo com PIMENTEL GOMES (1963).

4 - RESULTADOS

4.1 - Crescimento das plantas

4.1.1 - Ensaio sôbre as relações cálcio/boro

As influências dos diversos tratamentos, no --
crescimento das plantas, são dadas pelo Quadro 1.

O Quadro 2, mostra os valores de F , para os e-
feitos dos tratamentos no crescimento do vegetal.

Quadro 1 - Crescimento do cafeeiro

TRATA- MENTOS	PESOS DO MATERIAL SÊCO (g)				NÚMEROS DE		COMPRIMENTOS (cm)	
	Folhas Superi- ores	Folhas Inferi- ores	Caules	Raízes	Folhas Superi- ores	Folhas Inferi- ores	Caules	Raízes
Ca ₀ B ₀	1,30	1,30	1,40	0,90	5,0	9,0	19,0	17,0
	2,00	1,30	2,00	0,80	5,0	6,0	29,0	20,0
	1,70	1,40	1,10	0,80	4,0	7,0	21,0	16,0
Ca ₀ B ₁	2,30	1,40	1,50	0,80	6,0	9,0	26,0	24,0
	2,00	1,30	1,80	0,90	6,0	10,0	27,0	15,0
	2,10	1,50	1,40	1,00	6,0	12,0	21,5	17,0
Ca ₀ B ₂₅	2,90	2,00	1,30	1,40	10,0	8,0	25,0	17,0
	2,20	1,50	1,40	1,10	11,0	10,0	22,5	29,0
	2,20	1,90	1,40	0,60	12,0	8,0	28,5	20,0
Ca ₁ B ₀	3,20	1,70	2,00	1,30	9,0	15,0	27,0	25,0
	2,50	2,60	2,60	1,20	6,0	18,0	31,5	21,0
	3,30	1,70	2,40	1,00	6,0	18,0	27,5	23,0
Ca ₁ B ₁	2,20	3,10	3,00	1,50	10,0	15,0	41,0	31,0
	4,40	3,30	4,00	1,30	20,0	10,0	46,0	22,0
	4,10	3,40	4,60	1,70	18,0	12,0	49,5	21,0
Ca ₁ B ₂₅	2,50	2,10	2,20	1,30	8,0	7,0	34,5	16,0
	2,30	2,90	2,50	1,20	10,0	8,0	37,0	25,0
	2,70	2,00	2,00	1,50	8,0	8,0	20,0	19,0
Ca ₅ B ₀	2,40	2,70	2,30	1,50	12,0	10,0	33,0	27,0
	3,70	1,20	1,60	1,20	20,0	7,0	25,0	17,0
	3,70	1,80	2,00	1,40	12,0	8,0	29,0	21,5
Ca ₅ B ₁	3,40	3,70	3,50	1,80	18,0	12,0	41,0	17,0
	3,70	2,90	3,70	1,30	21,0	11,0	41,0	24,0
	3,60	2,70	3,40	1,50	14,0	10,0	41,0	25,0
Ca ₅ B ₂₅	2,60	1,90	1,40	1,00	8,0	6,0	28,0	21,0
	2,50	2,20	1,70	1,40	6,0	9,0	30,0	19,0
	2,90	2,40	2,00	1,40	10,0	6,0	33,5	22,0

Quadro 2 - Valores de F (1)

CAUSAS DE VARIAÇÃO	PESOS DO MATERIAL SECO (g)				NÚMEROS DE		COMPRIMENTOS (cm)	
	Folhas Superiores	Folhas Inferiores	Caules	Raízes	Folhas Superiores	Folhas Inferiores	Caules	Raízes
Ca	** 10,85	** 16,20	** 29,97	** 14,62	** 11,00	** 15,55	** 14,80	1,21
B	2,68	** 9,52	** 28,24	2,01	** 6,80	** 13,31	** 13,46	0,14
Ca x B	1,99	3,11*	5,48*	1,11	** 7,64	** 10,67	* 3,09	0,84
Tratamentos	** 4,38	** 8,00	** 17,29	** 4,75	** 8,29	** 12,55	** 8,61	0,75

(1) Valores de F significativos a 5% (*) e 1% (**)

4.1.1.1 - Fôlhas superiores

Pêso do material seco - Houve efeito significativo do cálcio, no pêso do material seco das fôlhas superiores, conforme se observa no quadro 3.

Quadro 3 - Pêso do material seco das fôlhas superiores - em gramas

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	5,00	6,40	7,30	18,70 (13,83 **)
Ca ₁	9,00	10,70	7,50	27,20 (0,31)
Ca ₅	9,80	10,70	8,00	28,50
TOTAIS	23,80	27,80	22,80	74,40

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**)

Os tratamentos que não receberam cálcio na solução nutritiva, apresentaram pêso do material seco, inferior àque-

les que o receberam. Quando se aumentou a concentração de cálcio no substrato, desde o nível dado pelo tratamento Ca₁, até o nível dado pelo tratamento Ca₅, não se observou nenhum efeito -- significativo ao limite mínimo de 5% de probabilidade.

Quantidade - O número de fôlhas superiores sofreu efeitos de interação entre os tratamentos relativos ao cálcio e ao boro, que desdobrados apresentou os seguintes resultados:

<u>Causas de variação</u>	<u>Valores de F</u>
Boro em presença de Ca ₀	4,22*
Boro em presença de Ca ₁	8,67**
Boro em presença de Ca ₅	9,26**
Cálcio em presença de B ₀	10,36**
Cálcio em presença de B ₁	15,06**

O quadro 4, mostra as variações no número de fôlhas superiores, em função dos tratamentos.

Quadro 4 - Número de fôlhas superiores

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	14,0 (1,03)	(0,34)	18,0 (18,92**)	(4,73*)	33,0	65,0
Ca ₁	21,0 (11,12**)	(15,32**)	48,0 (0,53)	(10,17**)	26,0	95,0
Ca ₅	44,0	(1,70)	53,0	(17,68**)	24,0	121,0
TOTAIS	79,0		119,0		83,0	281,0

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Houve certa semelhança nos comportamentos do cálcio e do boro, no sentido de que tanto o boro em presença dos

tratamentos Ca_0 , como o cálcio em presença dos tratamentos B_0 , aumentaram o número de folhas superiores, quando fornecidos em concentrações que poderiam ser consideradas, de excesso (Ca_5 e B_{25}).

O tratamento Ca_0 , quando em presença de B_1 , diminuiu o número de folhas superiores, enquanto que o tratamento Ca_5 , não apresentou diferença significativa, quando comparados com Ca_1 .

Os efeitos de deficiência de boro, dada pelos tratamentos B_0 , foram notados quando em presença de Ca_1 , em -- quanto que o excesso do micronutriente (B_{25}) diminuiu o número de folhas, tanto em presença de Ca_1 como de Ca_5 .

Quando o boro foi fornecido em presença dos tratamentos Ca_0 , foram observados os maiores números de folhas para os níveis B_{25} , que deveriam conter concentrações de boro na solução, presumivelmente tóxicas. Tais efeitos, não foram dados pela elevação dos números relacionados com B_{25} , e sim devido a uma diminuição nos números dados por B_0 e B_1 .

4.1.1.2 - Folhas inferiores

Pêso do material sêco - Os efeitos de interação entre cálcio e boro, foram desdobrados como segue:

<u>Causas de variação</u>	<u>Valores de F</u>
Boro em presença de Ca_1	7,65 **
Boro em presença de Ca_5	7,00 **
Cálcio em presença de B_1	18,82 **

Quadro 5 - Pêso do material sêco das fôlhas inferiores em gramas.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	4,00		4,20		5,40	13,60
			(30,76**)			
Ca ₁	6,00	(14,18**)	9,80	(7,71*)	7,00	22,80
			(0,24)			
Ca ₅	5,70	(12,71**)	9,30	(7,71*)	6,50	21,50
TOTAIS	15,70		23,30		18,90	57,90

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Como pode ser observado pelo quadro 5, a concentração de boro na solução nutritiva que deu maior pêso de material sêco das fôlhas inferiores, foi a do tratamento B₁, quando em presença de cálcio no substrato. Houve efeitos depressivos para os tratamentos B₀ e B₂₅.

Houve aumento no pêso do material sêco, devido ao cálcio, quando em presença de B₁, e quando se variou a concentração do mesmo, do nível Ca₀ para Ca₁. Não houve efeito -- significativo, para o aumento de concentração de cálcio, desde o tratamento Ca₁ até o Ca₅.

Quantidade - As interações entre cálcio e boro, interpretadas pelo número de fôlhas inferiores, aparece abaixo:

<u>Causas de variação</u>	<u>Valores de F</u>
Boro em presença de Ca ₁	26,78 **
Boro em presença de Ca ₅	5,10 *
Cálcio em presença de B ₀	34,75 **

Quadro 6 - Número de folhas inferiores

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	22,0 (57,45**)		31,0		26,0	79,0
Ca ₁	51,0 (13,39**)		37,0 (13,39**)		23,0	111,0 (46,17**)
Ca ₅	25,0 (4,37)		33,0 (9,84**)		21,0	79,0
TOTAIS	98,0		101,0		70,0	269,0

() Valores de \bar{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

O quadro 6, mostra que o boro influenciou no número de folhas inferiores, quando em presença dos tratamentos em que era fornecido cálcio, nas concentrações dadas por Ca₁ e Ca₅.

Para o tratamento B₀ não se observa o efeito -- provável de deficiência de boro, aparecendo contudo, o efeito - depressivo das altas concentrações do micronutriente.

O cálcio, quando em presença do tratamento B₀, apresentou efeitos semelhantes aos de deficiência, para os tratamentos Ca₀ e de toxidez, para os tratamentos Ca₅. Os maiores números de folhas inferiores foram os dos tratamentos Ca₁, nos quais, as concentrações de cálcio, correspondiam àquela dada pela solução de HOAGLAND & ARNON (1950).

4.1.1.3 - Caules

Pêso do material seco - Resultaram também para os caules, efeitos de interação entre cálcio e boro, como segue:

<u>Causas de variação</u>	<u>Valores de F</u>
Boro em presença de Ca ₁	18,00 **
Boro em presença de Ca ₅	21,07 **
Cálcio em presença de B ₀	3,78 *
Cálcio em presença de B ₁	33,14 **
Cálcio em presença de B ₂₅	7,71 **

Quadro 7 - Pêso do material sêco dos caules em gramas.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	4,50 (7,44*)		4,70 (56,68**)		4,10 (8,05*)	13,30
Ca ₁	7,00 (1,44)	(25,22**)	11,60 (1,19)	(28,57**)	6,70 (3,05)	25,30
Ca ₅	5,90	(26,30**)	10,60	(36,01**)	5,10	21,60
TOTAIS	17,40		26,90		15,90	60,20

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Pelo quadro 7, verifica-se que o cálcio afetou significativamente os pesos do material sêco dos caules. Houve aumento dêsses pesos, quando se elevou a concentração de cálcio da solução nutritiva, desde o nível dado pelo tratamento Ca₀, até o do tratamento Ca₁. Devido à interação com o boro, através dos efeitos depressivos das concentrações dadas por B₀ e B₂₅, o aumento foi mais significativo, em presença do tratamento que continha boro na concentração dada por B₁.

Houve ainda efeito significativo do boro, no pêso do material sêco dos caules, quando em presença dos tratamentos Ca₁ e Ca₅. Essa interação ocorreu provavelmente devido a deficiência de cálcio, dada pelo tratamento Ca₀, limitando os efeitos dos tratamentos relativos ao boro. As concentrações de

boro que deram maior pêsco de material sêco, foram as dos tratamentos B_1 . Tanto os tratamentos B_0 como B_{25} , afetando a zona terminal de crescimento, prejudicaram o desenvolvimento dos caules, dando menor pêsco de material sêco. O comportamento do boro, foi semelhante, tanto em presença de Ca_1 , como de Ca_5 .

Comprimento - Foram encontrados alguns efeitos de interação entre cálcio e boro, no estudo dos comprimentos dos caules, conforme se segue:

<u>Causas de variação</u>	<u>Valores de F</u>
Boro em presença de Ca_1	12,94 **
Boro em presença de Ca_5	6,48 **
Cálcio em presença de B_1	17,92 **

A influência do boro apareceu, quando em presença de cálcio na solução nutritiva, através de uma diminuição dos comprimentos dos caules, devidos aos efeitos prováveis de deficiência e toxidez das concentrações dadas pelos tratamentos B_0 e B_{25} , conforme quadro 8.

Quadro 8 - Comprimentos dos caules em centímetros

	B_0		B_1		B_{25}	TOTAIS
Ca_0	69,0		74,5		76,0	219,5
			(32,39**)			
Ca_1	86,0	(21,49**)	136,5	(17,06**)	91,5	314,0
			(1,54)			
Ca_5	87,0	(10,92**)	123,0	(8,36**)	91,5	301,5
TOTAIS	242,0		334,0		259,0	835,0

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

O efeito do cálcio, só foi verificado, em presença dos tratamentos B_1 . Foi possível notar, o efeito de defi

ciência de cálcio, prejudicando os comprimentos dos caules, enquanto que as altas concentrações do elemento, não provocaram efeitos de toxidez.

4.1.1.4 - Raízes

Pêso do material sêco - O cálcio afetou o pêso do material sêco das raízes, com significância estatística, ao nível de 1% de probabilidade, como pode ser observado pelo quadro 9.

Quadro 9 - Pêso do material sêco das raízes em gramas

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	2,50	2,70	3,10	8,30 (19,00**)
Ca ₁	3,50	4,50	4,00	12,00 (0,35)
Ca ₅	4,10	4,60	3,80	12,50
TOTAIS	10,10	11,80	10,90	32,80

() Valores de \bar{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Houve uma diminuição no pêso do material sêco - das raízes, quando em presença dos tratamentos Ca₀, devido provavelmente a deficiência do elemento. As concentrações elevadas - devido aos tratamentos Ca₅, não prejudicaram as plantas.

Embora não houvesse efeito estatisticamente significativo ao nível mínimo de 5% de probabilidade para o boro, foi observada uma tendência de toxidez para os tratamentos B₂₅, e de deficiência para os tratamentos B₀.

Comprimentos - Embora não houvesse significância estatística ao nível mínimo de 5% de probabilidade, os dados relativos aos comprimentos das raízes, estão mais ou menos em concordância com os dados referentes aos pesos do material seco.

4.1.1.5 - Plantas inteiras

Pêso do material seco - Foi possível notar as seguintes interações entre cálcio e boro, no pêso do material seco das plantas:

<u>Causas de variação</u>	<u>Valores de F</u>
Boro em presença de Ca ₁	14,21 **
Boro em presença de Ca ₅	14,61 **
Cálcio em presença de B ₀	9,18 **
Cálcio em presença de B ₁	36,13 **

O quadro 10, mostra o pêso do material seco das plantas, em função dos tratamentos.

A influência do boro no crescimento das plantas, fêz-se notar, mostrando os efeitos de deficiência para a concentração dada pelos tratamentos B₀, e de toxidez, dada pelos tratamentos B₂₅, quando em presença de cálcio na solução nutritiva. Para os tratamentos Ca₀, não houve efeito significativo, devido ao efeito altamente depressivo da falta de cálcio, impedindo que as plantas submetidas aos tratamentos B₁ (concentração de boro normal, para HOAGLAND & ARNON, 1950) se diferenciassem das demais. Ainda para os tratamentos Ca₀, os dados, embora não significativos, indicaram que a maior severidade de deficiência, seria a conjunta de cálcio e boro. Passando para os tratamentos B₁, haveria um ligeiro aumento no pêso do material seco, enquanto que as concentrações dadas pelos tratamentos B₂₅ dariam pesos ainda maiores, indicando uma provável substituição

parcial do cálcio, em deficiência, pelo boro, em excesso.

Quadro 10 - Pêso do material sêco das plantas inteiras em gramas.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	16,00 (15,51**)		18,00 (59,44**)		19,90	53,90
Ca ₁	25,50 (0,16)	(21,18**)	36,60 (0,34)	(22,33**)	25,20	87,30
Ca ₅	24,50	(19,67**)	35,20	(23,93**)	23,40	83,10
TOTAIS	66,00		89,80		68,50	224,30

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

O cálcio influenciou de maneira altamente significativa no crescimento das plantas, quando em presença e ausência do elemento, diante dos tratamentos B₀ e B₁. Houve indicação da deficiência de cálcio, para os tratamentos Ca₀. As concentrações elevadas, devido aos tratamentos Ca₅, não aumentaram ou diminuíram os pesos das plantas.

Os pesos do material sêco, foram máximos, para os tratamentos Ca₁B₁, que correspondem as concentrações normais dadas por HOAGLAND & ARNON (1950).

4.1.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro

As influências dos diversos tratamentos, no crescimento das plantas, são dadas pelo quadro 11.

Quadro 11 - Crescimento do cafeeiro.

TRATA- MENTOS	PESOS DO MATERIAL SÉCO (g)				NÚMERO DE		COMPRIMENTOS (cm)	
	Folhas Superi- ores	Folhas Inferi- ores	Caules	Raízes	Folhas Superi- ores	Folhas Inferi- ores	Caules	Raízes
K ₀ B ₀	3,20	1,90	2,70	1,20	8,0	7,0	28,5	15,0
	3,70	1,70	2,90	1,20	12,0	6,0	32,5	23,0
	3,50	2,80	3,20	1,20	13,0	10,0	35,0	21,0
K ₀ B ₁	3,20	2,70	3,20	1,30	10,0	10,0	38,5	20,0
	3,00	1,90	2,20	1,50	8,0	10,0	30,0	29,0
	4,20	2,50	4,30	1,40	14,0	9,0	39,0	27,0
K ₀ B ₂₅	2,80	2,60	2,80	1,20	8,0	11,0	35,5	16,0
	3,70	2,20	3,10	1,20	12,0	9,0	35,0	15,0
	3,20	1,60	3,00	1,50	12,0	3,0	32,0	12,0
K ₁ B ₀	3,30	2,20	2,60	1,60	16,0	16,0	28,5	16,0
	2,30	0,80	1,50	0,20	14,0	12,0	29,5	17,0
	2,30	0,20	1,10	0,20	17,0	11,0	26,5	17,0
K ₁ B ₁	1,40	2,10	1,60	0,80	17,0	11,0	29,0	17,0
	1,50	2,40	1,90	1,10	14,0	12,0	30,0	20,0
	1,40	1,80	1,40	0,50	21,0	10,0	28,0	15,0
K ₁ B ₂₅	0,50	1,90	1,60	0,10	4,0	6,0	35,0	23,0
	1,20	2,90	2,00	0,50	14,0	9,0	36,5	25,0
	2,30	2,10	0,70	0,40	6,0	9,0	30,0	16,0
K ₅ B ₀	0,50	1,90	0,60	0,10	13,0	11,0	26,5	16,0
	0,80	2,50	0,90	0,20	14,0	15,0	30,0	23,0
	0,40	1,60	0,70	0,10	10,0	10,0	27,0	17,0
K ₅ B ₁	1,60	3,60	3,10	0,50	15,0	12,0	45,0	24,0
	2,10	3,10	2,70	0,80	18,0	22,0	44,0	21,0
	0,90	1,50	0,90	0,20	7,0	12,0	30,5	14,0
K ₅ B ₂₅	2,10	2,80	2,00	0,20	26,0	12,0	44,0	20,0
	0,40	1,80	1,10	0,20	7,0	6,0	32,0	13,0
	0,50	1,50	0,70	0,50	6,0	8,0	25,0	17,0

Quadro 12 - Valores de F (1)

CAUSAS DE VARIACÃO	PESOS DO MATERIAL SÊCO (g)				NÚMEROS DE		COMPRIMENTOS (cm)	
	Folhas Superiores	Folhas Inferiores	Caules	Raízes	Folhas Superiores	Folhas Inferiores	Caules	Raízes
K	** 37,12	-	** 15,62	** 21,16	-	-	-	-
B	0,96	-	1,82	1,64	-	-	-	-
K x B	2,85	-	1,14	0,56	-	-	-	-
TRATAMENTOS	** 10,94	1,33	** 4,93	** 6,00	0,94	2,38	1,93	2,19

(1) Valores de F, significativos a 5% (*) e 1% (**).

4.1.2.1 - Fôlhas superiores

Pêso do material sêco - Houve efeito do potássio no pêso do material sêco das fôlhas superiores, conforme quadro 13.

Quadro 13 - Pêso do material sêco das fôlhas superiores em grammas.

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
K ₀	10,40	10,40	9,70	30,50 (32,46**)
K ₁	7,90	4,30	4,00	16,20 (7,57*)
K ₅	1,70	4,60	3,00	9,30
TOTAIS	20,00	19,30	16,70	56,00

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

O pêso do material sêco das fôlhas superiores decresceu quando se aumentou a concentração de potássio no substrato. Pela indicação dos dados, a concentração de potássio dada pelos tratamentos K_1 , já se encontrava em condições de ex_ucesso do elemento. A quantidade do nutriente que se encontrava nas plantas na forma de reserva, foi suficiente para que as fôlhas superiores desenvolvessem de forma satisfatória, nos tratamentos K_0 , aos quais não foi fornecido potássio na solução nutritiva.

4.1.2.2 - Caules

Pêso do material sêco - Os caules sofreram efeitos do potássio, no pêso do material sêco, conforme quadro 14.

Quadro 14 - Pêso do material sêco dos caules em gramas.

	B_0		B_1		B_{25}	TOTAIS
K_0	8,80		9,70		8,90	27,40 (20,41**)
K_1	5,20		4,90		4,30	14,40 (0,35)
K_5	2,20		6,70		3,80	12,70
TOTAIS	16,20		21,30		17,00	54,50

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Foi também nesse caso, observado o efeito de_upressivo do aumento de concentração do potássio no substrato, no pêso do material sêco dos caules. Os maiores pesos foram alcançados com os tratamentos K_0 , nos quais o potássio apareceu apenas como reserva da própria planta.

4.1.2.3 - Raízes

Pêso do material sêco - O potássio influiu no crescimento das raízes de maneira semelhante à verificada com os caules, notando-se os efeitos tóxicos das concentrações -- mais elevadas do elemento, como pode ser observado pelo quadro 15.

Quadro 15 - Pêso do material sêco das raízes em gramas.

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
K ₀	3,60	4,20	3,90	11,70 (20,09**)
K ₁	2,00	2,40	1,00	5,40 (3,45)
K ₅	0,40	1,50	0,90	2,80
TOTAIS	6,00	8,10	5,80	19,90

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

4.1.2.4 - Plantas inteiras

Pêso do material sêco - O potássio provocou - variações significantes no pêso do material sêco das plantas , conforme quadro 16.

Quadro 16 - Pêso do material sêco das plantas inteiras em gramas.

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
K ₀	29,20	31,80	28,90	89,90 (21,71**)
K ₁	18,30	17,90	16,20	52,40 (0,76)
K ₅	10,30	21,00	13,80	45,10
TOTAIS	57,80	70,70	58,90	187,40

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

O potássio, quando fornecido nas concentrações dadas pelos tratamentos K₁ e K₅, prejudicou o desenvolvimento das plantas, indicando um efeito tóxico do elemento. A concentração de potássio fornecido pela reserva da própria planta, e correspondente aos tratamentos K₀, resultou em maior crescimento do vegetal. Embora a diferença entre K₁ e K₅ não tenha sido significativa, notou-se claramente, tendência dos dados em indicar um efeito mais prejudicial para os tratamentos K₅.

O efeito do boro não foi significante, mas interpretando os resultados pela tendência dos números, foi possível notar que a melhor concentração de boro, seria a fornecida pelos tratamentos B₁, cujas plantas, apresentaram maior peso do material sêco. Dessa maneira, o melhor tratamento correspondeu a K₀B₁, em que a concentração de potássio foi dada apenas pela reserva do cafeeiro, e a concentração de boro, foi a dada pela solução de HOAGLAND & ARNON (1950).

4.2 - Sintomas morfológicos e alterações anatômicas

4.2.1 - Ensaio sôbre as relações cálcio/boro

4.2.1.1 - Deficiência de boro

Os sintomas de deficiência de boro se manifestaram na porção terminal das plantas, com as seguintes características:

a) Necrose do limbo, no par terminal de fôlhas (bem novas).

b) Morte da gema terminal e brotamento das gemas axilares.

c) As fôlhas do segundo par eram bem desenvolvidas, porém com alterações na forma e na superfície, além de apresentarem numerosas manchas, amarelas, transparentes, com distribuição irregular, todavia mais concentradas na zona média no inferior do limbo. As manchas apareceram como uma depressão no limbo, em ambas as faces.

d) Com exceção do terceiro par, cujas fôlhas, no momento do exame, aparentaram normalidade, os demais que se seguiram, revelaram contra a luz, algumas áreas verde claro. Talvez constituíssem a fase que precede o aparecimento posterior das manchas assinaladas no segundo par de fôlhas.

Comprovou-se ao exame microscópico (figura 2), que na área correspondente a mancha, o limbo estreitava-se, como se houvesse ocorrido uma compressão. Em consequência, os cortes exibiram estrangulamentos esparsos. As alterações citológicas, iniciavam no parênquima paliçádico, e se manifestaram, principalmente nos cloroplastos, que se apresentavam modificados na forma e na coloração (clorose). As células paliçádicas, que normalmente eram altas, bem unidas entre si, perpendiculares a epiderme, à medida que se aproximavam da mancha, iam se achatando, acabando por perder completamente as suas características morfológicas, na região dos sintomas. O parênquima esponjoso, por seu turno, mostrava-se comprimido, com suas células e lacunas deformadas. O conteúdo das células do paliçádico, e o da primeira camada do lacunoso, era pardo escuro, transformando-se, as respectivas camadas celulares, em fitas escuras. Nas células do lacunoso, de permeio com os cloroplastos ainda normais,

ocorriam outros, já modificados. Das observações feitas, concluiu-se que, no paliádico, as transformações estruturais eram mais acentuadas que no lacunoso. Os corpúsculos de matéria graxa (identificados pelo Sudan IV) eram frequentes, havendo células com mais de um corpúsculo. Nas áreas próximas às manchas, onde os sintomas eram mais pronunciados, trechos da membrana, bem como os espaços intercelulares, ostentavam coloração parda. O conteúdo pardacento apareceu também em muitas células do floema da nervura principal.

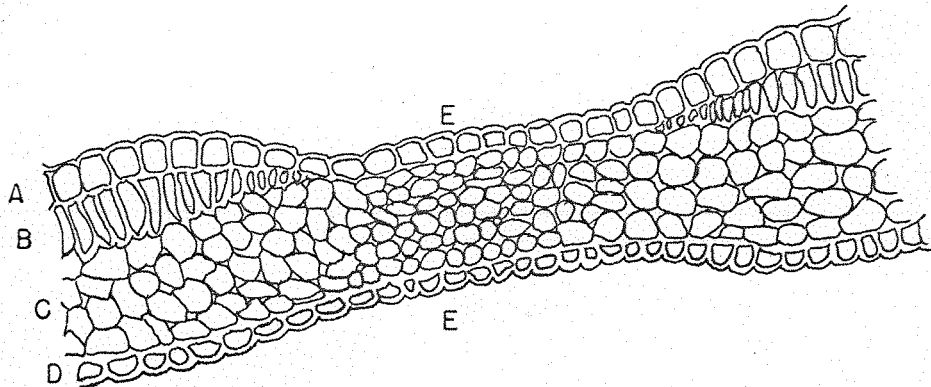


Fig. 2 - Corte microscópico do limbo de fôlha afetada por deficiência de boro. A - epiderme superior; B - camada paliádica; C - parenquima lacunoso; D - epiderme inferior; E-E - região comprimida correspondente à mancha.

4.2.1.2 - Deficiência de cálcio

As plantas deficientes em cálcio, mostraram desenvolvimentos menores que aquelas com deficiência de boro, sendo que a planta examinada, mostrava apenas quatro pares de fôlhas. O limbo do par superior, quase que totalmente necrosado, permanecia verde apenas na porção basal. Os mesmos sintomas, observa-se nos brotos que nasciam das axilas do segundo par de fôlhas. Os sintomas de deficiência, bem nítidos, apareciam no limbo do segundo par de fôlhas, e se caracterizavam pela presença de manchas bronzeadas, internervais (limitadas pelas nervu--

ras principal e secundárias). A coloração era mais acentuada nas manchas da região mediano inferior das fôlhas. O limbo, contudo, conservava forma normal.

Internamente, os efeitos de deficiência de cálcio, manifestavam-se com mais intensidade nas células da camada paliçádica. Traduziam-se por modificações dos cloroplastos, afetando-lhes a forma, o tamanho, a disposição, e sobretudo a coloração que se tornava esmaecida; daí as manchas no limbo.

Do exame microscópico (figura 3) dos cortes transversos do limbo, notou-se, a partir da área pouco afetada, para a área dos sintomas, que os cloroplastos se aglomeravam, em graus diversos, mostravam-se descolorados, culminando com a formação de uma massa amorfa, pardacenta. O conteúdo celular, nessa fase das alterações, também era pardo escuro. Os cloroplastos das células do tecido lacunoso, mostravam alterações menos pronunciadas que as do paliçádico. Ocorriam cloroplastos fragmentados, cujos grânulos estavam, ora reunidos, ora separados. As alterações mais acentuadas, verificavam-se nas próximas à epiderme inferior; o conteúdo celular, em algumas delas, era pardacento. Na região central, o mesófilo mostrava-se menos afetado, o que levava a crer, que os sintomas progrediam a partir da camada subepidérmica, em direção à região central. Em numerosas células do lacunoso, podia-se identificar nos cloroplastos, a presença de amido (pelo reativo de Lugol), bem como corpúsculos de matéria graxa, se bem que em menor quantidade que nas plantas deficientes em boro.

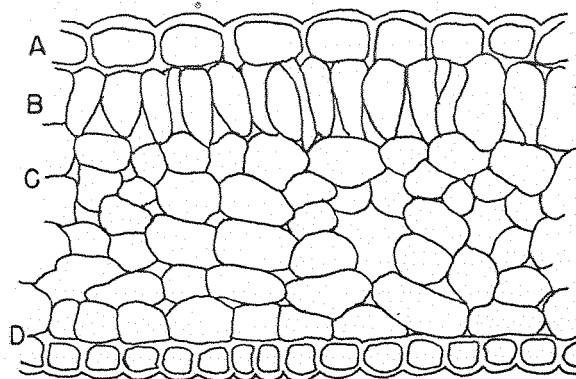


Fig. 3 - Corte microscópico do limbo de fôlha afetada por deficiência de cálcio.

A - epiderme superior; B - camada paliçádica; C - parênquima lacunoso; D - epiderme inferior.

4.2.1.3 - Toxidez de boro

A planta cultivada com excesso de boro (12,5 ppm), em confronto com a que foi cultivada em ausência daquele elemento, apresentava-se mais vigorosa, e mais desenvolvida, tendo produzido nove pares de fôlhas. A sua porção terminal, incluindo os quatro primeiros pares de fôlhas, acusava um processo clorótico que contrastava nitidamente com o restante da planta. Não houve brotamento das gemas axilares. Apareciam manchas cloróticas de intensidades diversas, conforme a idade da fôlha, sendo todavia, mais pronunciadas nas fôlhas mais novas, e apenas identificadas por transparência, nas mais maduras. Eram internervais, de forma e tamanho, irregulares. As que se avizinhavam dos bordos, eram mais pronunciadas, notadamente nas fôlhas do segundo par. Tôdas estavam inclinadas para a base da planta, e os limbos do segundo e terceiro par, apresentavam-se conchoides, com as nervuras recurvadas.

As apreciações anatômicas foram feitas nas

áreas dos sintomas do segundo, terceiro e quarto par de fôlhas, exibindo as fôlhas mais novas, sintomas mais acentuados. Verificou-se que o mesófilo se compõe de dez camadas de células, no máximo, ao passo que o parênquima paliçádico, contudo, consta de um só extrato de células. Nas regiões onde os sintomas são mais acentuados, estas mostravam-se alteradas na forma e reduzidas na altura. As transformações mais importantes, manifestaram-se nos cloroplastos, especialmente do tecido paliçádico, e constavam, além da clorose já mencionada, de modificações na forma, no tamanho, bem como no agrupamento dos grãos, que chegavam a formar nos casos mais avançados, massas amorfas, de coloração pardacenta. Essas alterações, contudo, foram menos acentuadas que aquelas registradas para a deficiência de boro.

4.2.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro

As plantas não mostravam alterações visuais que se pudesse atribuir à omissão de potássio, ou a seu fornecimento em dose excessiva. Os sintomas de deficiência de boro apareceram, entretanto, quando êsse micronutriente deixou de ser fornecido. Foram também, registrados sintomas de toxidez de boro, devido a altas concentrações do elemento (12,5 ppm). O quadro sintomatológico foi semelhante àquele já descrito para o ensaio cálcio/boro.

4.3 - Composição química

4.3.1 - Ensaio sôbre as relações cálcio/boro

A composição mineral média, das diversas partes do cafeeiro, em função dos diversos níveis de cálcio e de boro na solução nutritiva, é dada pelo quadro 17.

4.3.1.1 - Fôlhas superiores

Cálcio - As concentrações do elemento, nas fôlhas superiores, fornecidas pelo quadro 18, aumentaram quando se elevaram as concentrações do mesmo na solução nutritiva, de maneira altamente significativa, quando se compara os tratamentos Ca_0 e Ca_5 (valor de $F = 22,91^{**}$). No confronto dos tratamentos Ca_0 e Ca_1 , bem como Ca_1 e Ca_5 , os valores de significância, não atingem o limite mínimo de 5% de probabilidade, mas observa-se forte tendência, na mesma direção.

Quadro 17 - Composição mineral média dos cafeeiros

Tratamentos	Partes da Planta	Elementos %							B ppm
		N	P	K	Ca	Mg	S		
Ca ₀ B ₀	Raiz	3,25	0,55	3,35	0,65	0,82	1,15	31	
	Cãule	1,68	0,41	3,00	0,67	0,46	0,71	19	
	Fôlhas inferiores	3,02	0,53	3,40	1,20	0,59	0,77	77	
	Fôlhas superiores	3,47	0,27	2,90	0,80	0,49	0,60	41	
Ca ₀ B ₁	Raiz	4,10	0,49	3,25	0,67	0,88	1,15	44	
	Cãule	2,30	0,47	3,00	0,65	0,44	0,60	27	
	Fôlhas inferiores	3,81	0,47	3,25	0,95	0,63	0,71	82	
	Fôlhas superiores	4,10	0,26	2,95	0,60	0,55	0,55	51	
Ca ₀ B ₂₅	Raiz	2,80	0,41	2,50	0,50	0,62	2,36	122	
	Cãule	2,13	0,34	2,80	0,60	0,34	0,38	70	
	Fôlhas inferiores	2,91	0,38	3,25	0,85	0,57	1,76	595	
	Fôlhas superiores	4,14	0,32	3,40	0,80	0,60	0,93	385	
Ca ₁ B ₀	Raiz	2,91	0,48	3,15	0,65	0,62	1,26	33	
	Cãule	2,30	0,36	2,85	0,87	0,29	0,33	21	
	Fôlhas inferiores	4,14	0,40	3,35	1,49	0,35	0,82	47	
	Fôlhas superiores	3,69	0,30	2,85	1,21	0,32	0,82	24	
Ca ₁ B ₁	Raiz	3,47	0,57	3,30	0,83	0,71	1,10	40	
	Cãule	1,85	0,27	2,65	0,89	0,40	0,71	22	
	Fôlhas inferiores	3,86	0,31	3,60	1,71	0,32	0,93	89	
	Fôlhas superiores	4,20	0,32	3,75	1,05	0,63	0,77	49	

Tratamentos	Partes da Planta	N	P	K	Ca	Mg	S	B ppm
Ca ₁ B ₂₅	Raiz	2,01	0,54	2,55	0,85	0,22	0,82	127
	Caulo	1,74	0,33	2,50	0,70	0,30	0,55	71
	Folhas inferiores	2,86	0,35	3,25	1,22	0,31	0,55	490
	Folhas superiores	3,92	0,30	3,25	0,92	0,62	0,66	322
Ca ₅ B ₀	Raiz	4,20	0,99	2,65	1,81	0,25	0,88	42
	Caulo	2,57	0,47	3,00	1,01	0,20	0,66	24
	Folhas inferiores	3,36	0,33	2,85	2,65	0,17	0,60	34
	Folhas superiores	2,74	0,29	2,90	1,21	0,48	0,77	22
Ca ₅ B ₁	Raiz	4,20	0,61	2,90	0,77	0,18	0,44	35
	Caulo	1,64	0,22	2,55	0,75	0,16	0,77	24
	Folhas inferiores	4,10	0,23	2,85	1,51	0,17	0,71	75
	Folhas superiores	3,92	0,28	2,90	1,46	0,23	1,10	49
Ca ₅ B ₂₅	Raiz	3,70	0,70	3,15	1,65	0,62	1,11	137
	Caulo	2,01	0,42	3,00	0,70	0,17	0,80	68
	Folhas inferiores	3,86	0,30	3,20	1,86	0,13	0,55	525
	Folhas superiores	4,20	0,33	3,60	1,35	0,15	0,82	318

Quadro 18 - Teor percentual de cálcio nas fôlhas superiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	0,80		0,60		0,80	2,20 (6,64)
Ca ₁	1,21		1,05		0,92	3,18 (4,88)
Ca ₅	1,21		1,46		1,35	4,02
TOTAIS	3,22		3,11		3,07	9,40

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Boro - As concentrações de boro nas fôlhas superiores aumentaram quando se elevaram as concentrações do elemento no substrato, desde o nível B₁ até o B₂₅, de maneira altamente significativa, embora a tendência permanecesse para a elevação do nível B₀ ao B₁, conforme quadro 19.

Quadro 19 - Teor de boro em partes por milhão nas fôlhas superiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	41		51		385	477
Ca ₁	24		49		322	395
Ca ₅	22		49		318	389
TOTAIS	87	(1,79)	149	(357,25**)	1025	1261

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Relação cálcio/boro - Essa relação, só sofreu influência significativa, quando se variou a concentração de boro do substrato, desde o nível B₀ ao B₂₅ (Valor de F = 25,29**). Não houve influência significativa, quando se comparou os tratamentos B₁ com os B₀ ou B₂₅. Os resultados aparecem no quadro 20.

Quadro 20 - Relação cálcio/boro nas folhas superiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	195		118		21	334
Ca ₁	504		214		29	747
Ca ₅	550		298		42	890
TOTAIS	1249	(7,24)	630	(5,47)	92	1971

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

4.3.1.2 - Folhas inferiores

Fósforo - A concentração de fósforo nas folhas inferiores diminuiu, quando se aumentou a concentração de cálcio no substrato, do nível Ca₀ até o Ca₅, significativamente. Essa diminuição prosseguiu quando se passou do nível Ca₁ para Ca₅, embora nesse caso, a diferença não alcançasse a significância mínima de 5% de probabilidade, conforme podemos observar pelo quadro 21.

Quadro 21 - Teor percentual de fósforo nas fôlhas inferiores.

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	0,53	0,47	0,38	1,38 (8,53*)
Ca ₁	0,40	0,31	0,35	1,06 (3,33)
Ca ₅	0,33	0,23	0,30	0,86
TOTAIS	1,26	1,01	1,03	3,30

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Magnésio - O teor de magnésio nas fôlhas inferiores foi afetado de maneira altamente significante, e em relação inversa, pela concentração de cálcio no substrato, conforme quadro 22.

Quadro 22 - Teor percentual de magnésio nas fôlhas inferiores.

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	0,59	0,63	0,57	1,79 (364,67**)
Ca ₁	0,35	0,32	0,31	0,98 (144,66**)
Ca ₅	0,17	0,17	0,13	0,47
TOTAIS	1,11	1,12	1,01	3,24

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Boro - As fôlhas inferiores comportaram-se de maneira semelhante as superiores, no que se refere as concentrações de boro no vegetal e no substrato. Os dados são fornecidos pelo quadro 23.

Quadro 23 - Teor de boro em partes por milhão nas fôlhas inferiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	77		82		595	754
Ca ₁	47		89		490	626
Ca ₅	34		75		525	634
TOTAIS	158	(1,54)	246	(369,15**)	1610	2014

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

4.3.1.3 - Caules

Magnésio - As concentrações de tal elemento, foram influenciadas pelas concentrações de cálcio na solução, conforme quadro 24.

Quadro 24 - Teor percentual de magnésio nos caules.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	0,46		0,44		0,34	1,24 (4,17)
Ca ₁	0,29		0,40		0,30	0,99 (14,11*)
Ca ₅	0,20		0,16		0,17	0,53
TOTAIS	0,95		1,00		0,81	2,76

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Houve um decréscimo na concentração de magnésio, quando se aumentou a concentração de cálcio no substrato. Embora a diferença entre às concentrações de magnésio para os tratamentos Ca_0 e Ca_1 não tenha sido significativa, a tendência dos números é clara em indicar, uma relação inversa entre as concentrações de cálcio na solução, e de magnésio nos caules.

Boro - A concentração do micronutriente no substrato, influenciou de maneira altamente significativa, no teor de boro nos caules, de acôrdo com o quadro 25.

Quadro 25 - Teor de boro em partes por milhão nos caules.

	B_0		B_1		B_{25}	TOTAIS
Ca_0	19		27		70	116
Ca_1	21		22		71	114
Ca_5	24		24		68	116
TOTAIS	64	(2,00)	73	(440,42**)	209	346

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

A elevação da concentração de boro na solução nutritiva, elevou o teor do elemento nos caules, dentro dos tratamentos B_1 e B_{25} . A variação para os tratamentos B_0 e B_1 não -- foi significativa, embora a direção de variação dos números fôsse a mesma.

Relação cálcio/boro - As variações das relações cálcio/boro, em função das concentrações de boro no substrato, aparecem no quadro 26.

Quadro 26 - Relação cálcio/boro nos caules.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	353		241		86	680
Ca ₁	414		405		99	918
Ca ₅	421		313		103	837
TOTAIS	1188	(2,12)	959	(18,22*)	288	2435

() Valores de \underline{F} entre tratamentos significativos a 5% (*) e a 1% (**).

4.3.1.4 - Raízes

Nitrogênio - As concentrações do nutriente nas raízes, sofreram efeitos significativos do cálcio e do boro adicionados à solução nutritiva. Os resultados aparecem no quadro 27.

Quadro 27 - Teor percentual de nitrogênio nas raízes.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	3,25		4,10		2,80	10,15 (6,05)
Ca ₁	2,91		3,47		2,01	8,39 (28,86**)
Ca ₅	4,20		4,20		3,70	12,10
TOTAIS	10,36	(3,88)	11,77	(20,74*)	8,51	30,64

() Valores de \underline{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Houve uma elevação no teor de nitrogênio nas raízes, quando o cálcio foi fornecido em concentrações altas (Ca₅). Quando a concentração de boro foi aumentada para o nível B₂₅, a concentração de nitrogênio caiu, nas raízes, sendo os teores mais elevados do macronutriente, encontrados nos tra-

tamentos B₁.

Boro - As concentrações do micronutriente nas raízes das plantas, cresceram à medida que se aumentou as concentrações de boro no substrato. Embora as diferenças das concentrações de boro nas raízes, entre os tratamentos B₀ e B₁, não tenham sido significativas, a tendência dos dados, foi de uma maior concentração para os tratamentos B₁. Os teores aparecem no quadro 28.

Quadro 28 - Teor de boro em partes por milhão nas raízes.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	31		44		122	197
Ca ₁	33		40		127	200
Ca ₅	42		35		137	214
TOTAIS	106	(0,66)	119	(276,33**)	386	611

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Relação cálcio/boro - Houve efeito significativo na relação cálcio/boro das raízes, apenas para os tratamentos B₀ e B₂₅ (valor de F = 16,59*). Pela tendência dos dados, há um de crescimento na relação cálcio/boro, quando se aumenta a concentração do micronutriente no substrato, conforme quadro 29.

Quadro 29 - Relação cálcio/boro nas raízes

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
Ca ₀	210		152		41	403
Ca ₁	197		208		67	472
Ca ₅	431		220		120	771
TOTAIS	838	(2,97)	580	(5,52)	228	1646

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

4.3.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro

O quadro 30, mostra a composição mineral média das diversas partes das plantas, submetidas às diversas concentrações de potássio e de boro nas soluções nutritivas.

4.3.2.1 - Fôlhas superiores

Nitrogênio - As fôlhas superiores tiveram os teores de nitrogênio afetados pelos tratamentos relativos ao potássio. Houve aumento da concentração de nitrogênio, quando a concentração de potássio era elevada no substrato. Entretanto, o fato só foi significativo, quando a concentração de potássio aumentou desde o tratamento K₀ ao K₅ (valor de $F = 20,29^*$). O quadro 31 apresenta os dados.

Quadro 30 - Composição mineral média dos cafeeiros

Tratamentos	Partes da planta	Elementos %							B ppm
		N	P	K	Ca	Mg	S		
K ₀ B ₀	Raiz	2,91	0,52	0,75	0,75	1,22	1,29	39	
	Cáule	1,51	0,29	1,12	0,60	0,44	0,55	27	
	Folhas inferiores	3,02	0,29	0,52	1,77	0,80	0,71	60	
	Folhas superiores	3,36	0,27	1,35	0,96	0,64	0,82	31	
K ₀ B ₁	Raiz	3,36	0,53	0,67	1,02	1,22	0,96	45	
	Cáule	1,68	0,25	0,82	0,57	0,38	0,55	30	
	Folhas inferiores	3,08	0,31	0,37	1,47	0,91	0,68	85	
	Folhas superiores	3,13	0,31	1,05	1,05	0,75	0,74	61	
K ₀ B ₂₅	Raiz	2,24	0,59	0,82	0,87	1,24	1,20	157	
	Cáule	1,51	0,23	0,82	0,54	0,41	0,57	66	
	Folhas inferiores	3,75	0,31	0,60	1,65	0,60	0,65	498	
	Folhas superiores	3,02	0,31	0,90	0,96	0,70	0,74	314	
K ₁ B ₀	Raiz	4,03	0,34	3,60	0,51	1,01	1,04	40	
	Cáule	2,85	0,28	2,92	0,54	0,40	0,63	26	
	Folhas inferiores	3,19	0,32	3,37	1,71	0,60	0,79	57	
	Folhas superiores	3,41	0,20	2,92	0,69	0,39	0,60	29	
K ₁ B ₁	Raiz	3,58	0,53	4,12	0,84	0,96	1,04	45	
	Cáule	2,13	0,30	4,35	0,60	0,32	0,60	32	
	Folhas inferiores	3,81	0,22	3,52	1,41	0,54	0,68	91	
	Folhas superiores	3,64	0,22	3,07	0,51	0,56	0,57	49	
K ₁ B ₂₅	Raiz	1,73	0,50	3,00	0,72	0,81	0,93	110	
	Cáule	1,79	0,34	3,82	0,54	0,33	0,75	85	
	Folhas inferiores	2,85	0,21	4,27	0,99	0,52	0,73	442	
	Folhas superiores	3,98	0,26	4,35	0,81	0,44	0,71	326	

Tratamentos	Partes da planta	N	P	K	Ca	Mg	S	B ppm
K ₅ B ₀	Raiz	2,97	0,36	5,55	0,51	0,71	1,04	80
	Cãule	1,85	0,32	4,50	0,51	0,26	0,65	61
	Fôlhas inferiores	3,36	0,20	5,25	0,66	0,24	0,63	85
	Fôlhas superiores	4,20	0,24	5,70	0,42	0,36	0,70	75
K ₅ B ₁	Raiz	3,64	0,51	4,87	0,69	0,92	0,97	101
	Cãule	1,68	0,17	4,35	0,39	0,19	0,55	95
	Fôlhas inferiores	3,30	0,15	5,77	0,69	0,38	0,73	91
	Fôlhas superiores	4,09	0,25	5,25	0,36	0,33	0,57	120
K ₅ B ₂₅	Raiz	3,36	0,41	5,47	0,57	0,99	1,00	186
	Cãule	1,62	0,23	4,34	0,39	0,20	0,58	79
	Fôlhas inferiores	3,47	0,28	6,30	0,63	0,33	0,60	586
	Fôlhas superiores	3,97	0,30	5,55	0,48	0,32	0,62	294

Quadro 31 - Teor percentual de nitrogênio nas folhas superiores.

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
K ₀	3,36	3,13	3,02	9,51 (6,19)
K ₁	3,41	3,64	3,98	11,03 (4,06)
K ₅	4,20	4,09	3,97	12,26
TOTAIS	10,97	10,86	10,97	32,80

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Fósforo - As concentrações desse elemento nas folhas superiores, foram afetadas de maneira significativa pelos tratamentos relativos ao boro e ao potássio. Houve uma concentração mínima de fósforo para os tratamentos K₁. Quando a concentração de potássio foi aumentada pelos tratamentos K₅, ou diminuída, pelos tratamentos K₀, o teor de fósforo aumentou de maneira significativa.

Houve aumento da concentração de fósforo nas folhas, quando a concentração de boro foi elevada na solução nutritiva. Esse aumento, só foi significativo, quando o acréscimo na concentração de boro na solução nutritiva foi dada pela passagem dos tratamentos B₀ para B₂₅ (valor de $F = 21,40^{**}$). Os resultados aparecem no quadro 32.

Quadro 32 - Teor percentual de fósforo nas folhas superiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,27		0,31		0,31	0,89 (36,75**)
K ₁	0,20		0,22		0,26	0,68 (10,10*)
K ₅	0,24		0,25		0,30	0,79
TOTAIS	0,71	(4,10)	0,78	(6,75)	0,87	2,36

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Potássio - Houve relação direta, entre o crescimento da concentração de potássio na solução nutritiva, e o teor do elemento nas folhas superiores. Os dados aparecem no quadro 33.

Quadro 33 - Teor percentual de potássio nas folhas superiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	1,35		1,05		0,90	3,30 (29,99**)
K ₁	2,92		3,07		4,35	10,34 (22,96**)
K ₅	5,70		5,25		5,55	16,50
TOTAIS	9,97		9,37		10,80	30,14

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Cálcio - Houve uma diminuição significativa -- nas concentrações de cálcio nas folhas superiores, quando as concentrações de potássio do substrato aumentaram do nível K₀ - para K₅ (valor de F = 24,37**). Não houve significância para as diferenças entre K₀ e K₁, ou entre K₁ e K₅, que porém, persis--

tiu. O quadro 34, mostra os resultados.

Quadro 34 - Teor percentual de cálcio nas folhas superiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,96		1,05		0,96	2,97 (7,68)
K ₁	0,69		0,51		0,81	2,01 (4,69)
K ₅	0,42		0,36		0,48	1,26
TOTAIS	2,07		1,92		2,25	6,24

() Valores de \bar{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Magnésio - Esse elemento também foi afetado, de maneira a indicar, uma relação inversa entre o teor de potássio no substrato, e a concentração de magnésio nas folhas superiores. Os dados aparecem no quadro 35.

Quadro 35 - Teor percentual de magnésio nas folhas superiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,64		0,75		0,70	2,09 (29,18**)
K ₁	0,39		0,56		0,44	1,39 (8,61*)
K ₅	0,36		0,33		0,32	1,01
TOTAIS	1,39		1,64		1,46	4,49

() Valores de \bar{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Boro - Houve relação direta, entre os aumentos de concentração do micronutriente no substrato, e nas folhas superiores, embora só houvesse significância, para a dife-

rença entre as concentrações de boro nas folhas, dadas pelos tratamentos B₁ e B₂₅, de acordo com o quadro 36.

Quadro 36 - Teor de boro, em partes por milhão, nas folhas superiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	31		61		314	406
K ₁	29		49		326	404
K ₅	75		120		294	489
TOTAIS	135	(1,88)	230	(103,38**)	934	1299

() Valores de \underline{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

4.3.2.2 - Folhas inferiores

Potássio - O aumento do teor de potássio na solução nutritiva, ocasionou aumentos nos teores de potássio das folhas inferiores, em níveis altamente significativos. Os dados aparecem no quadro 37.

Quadro 37 - Teor percentual de potássio nas folhas inferiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,52		0,37		0,60	1,49 (64,35**)
K ₁	3,37		3,52		4,27	11,16 (26,11**)
K ₅	5,25		5,77		6,30	17,32
TOTAIS	9,14		9,66		11,17	29,97

() Valores de \underline{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Cálcio - Com esse elemento, houve queda de con

centração nas folhas inferiores, em função do aumento do teor de potássio na solução, havendo entretanto, significância ao nível mínimo de 5% de probabilidade, apenas para as variações de K_1 a K_5 . A tendência dos números permanece, de forma geral, para todos os tratamentos, conforme quadro 38.

Quadro 38 - Teor percentual de cálcio nas folhas inferiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	1,77		1,47		1,65	4,89 (2,27)
K ₁	1,71		1,41		0,99	4,11 (16,92*)
K ₅	0,66		0,69		0,63	1,98
TOTAIS	4,14		3,57		3,27	10,98

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Magnésio - O comportamento desse elemento, foi semelhante ao do cálcio, conforme pode ser verificado pelo quadro 39.

Quadro 39 - Teor percentual de magnésio nas folhas inferiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,80		0,91		0,60	2,31 (7,26)
K ₁	0,60		0,54		0,52	1,66 (8,66*)
K ₅	0,24		0,38		0,33	0,95
TOTAIS	1,64		1,83		1,45	4,92

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Boro - As concentrações do micronutriente nas -

fôlhas inferiores foram afetadas quando se elevou a concentração de boro no substrato, de maneira altamente significativa, para as variações B₁ a B₂₅, e não alcançando significância ao limite - mínimo de 5% de probabilidade para as variações B₀ a B₁. A tendência dos números, entretanto, permanece na mesma direção, indicando uma relação direta entre as concentrações de boro no substrato, e nas fôlhas inferiores. Os dados são fornecidos pelo -- quadro 40.

Quadro 40 - Teor de boro, em partes por milhão, nas fôlhas inferiores.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	60		85		498	643
K ₁	57		91		442	590
K ₅	85		91		586	762
TOTAIS	202	(0,48)	267	(180,20**)	1526	1995

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

4.3.2.3 - Caules

Cálcio - Houve influência significativa dos tratamentos relativos ao potássio, nas concentrações de cálcio nos caules. Observou-se um decréscimo na concentração de cálcio, -- quando aumentou-se o teor de potássio na solução, do nível K₁ para K₅. Do nível K₀ para K₁, o decréscimo do teor de cálcio, não foi significativo, porém persistiu. Os resultados estão no quadro 41.

Quadro 41 - Teor percentual de cálcio nos caules.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,60		0,57		0,54	1,71 (0,07)
K ₁	0,54		0,60		0,54	1,68 (12,07*)
K ₅	0,51		0,39		0,39	1,29
TOTAIS	1,65		1,56		1,47	4,68

() Valores de \underline{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Magnésio - As concentrações desse elemento nos caules, sofreu influência altamente significativa dos tratamentos relativos ao boro e ao potássio, conforme quadro 42.

Quadro 42 - Teor percentual de magnésio nos caules.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,44		0,38		0,41	1,23 (54,00**)
K ₁	0,40		0,32		0,33	1,05 (267,00**)
K ₅	0,26		0,19		0,20	0,65
TOTAIS	1,10	(74,00**)	0,89	(4,20)	0,94	2,93

() Valores de \underline{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Houve queda do teor de magnésio, sempre que se aumentou o teor de potássio no substrato, e aumento do mesmo, - quando o boro passou do nível B₁ para B₀ ou B₂₅. A variação ocasionada pela passagem do nível B₁ para B₂₅, todavia, não alcançou significância estatística, ao limite mínimo de 5% de probabilidade.

4.3.2.4 - Raízes

Potássio - As concentrações de potássio nas raízes, foram afetadas de maneira significativa, e em relação direta, pelas concentrações do elemento no substrato. Os resultados são dados pelo quadro 43.

Quadro 43 - Teor percentual de potássio nas raízes.

	B ₀	B ₁	B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,75	0,67	0,82	2,24 (56,21**)
K ₁	3,60	4,12	3,00	10,72 (20,89 *)
K ₅	5,55	4,87	5,47	15,89
TOTAIS	9,90	9,66	9,29	28,85

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Cálcio - Os teores de cálcio, sofreram influência significativa, dos tratamentos relativos ao boro e ao potássio. Houve decréscimo da concentração de cálcio nas raízes, conforme se aumentou a concentração de potássio na solução nutritiva.

Com respeito ao boro, houve diminuição da concentração de cálcio nas plantas, quando a concentração de boro na solução nutritiva variou para mais (B₂₅), ou para menos (B₀) - daquela dada pelos tratamentos B₁. Os resultados aparecem no quadro 44.

Quadro 44 - Teor percentual de cálcio nas raízes.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	0,75		1,02		0,87	2,64 (24,64**)
K ₁	0,51		0,84		0,72	2,07 (6,82)
K ₅	0,51		0,69		0,57	1,77
TOTAIS	1,77	(46,09**)	2,55	(11,55*)	2,16	6,48

() Valores de \underline{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Magnésio - A concentração do elemento nas raízes das plantas, sofreu uma diminuição significativa, quando -- foi aumentada a concentração de potássio na solução nutritiva, dos tratamentos K₀ aos K₁. Para a elevação do teor de potássio dos tratamentos K₁ aos K₅, o decréscimo da concentração de magnésio não foi significativa, porém, persistiu, conforme quadro - 45.

Quadro 45 - Teor percentual de magnésio nas raízes.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	1,22		1,22		1,24	3,68 (9,00*)
K ₁	1,01		0,96		0,81	2,78 (0,29)
K ₅	0,71		0,92		0,99	2,62
TOTAIS	2,94		3,10		3,04	9,08

() Valores de \underline{F} entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

Boro - Os teores de boro nas raízes, aumentaram quando se elevaram as concentrações do micronutriente, ou -

do potássio na solução nutritiva. Para certos limites de variação, que podem ser observados no quadro 46, os efeitos não foram significativos, perdurando todavia, a tendência geral dos números.

Quadro 46 - Teor de boro, em partes por milhão nas raízes.

	B ₀		B ₁		B ₂₅	TOTAIS
K ₀	39		45		157	241 (1,68)
K ₁	40		45		110	195 (23,48**)
K ₅	80		101		186	367
TOTAIS	159	(0,81)	191	(54,48**)	453	803

() Valores de F entre tratamentos, significativos a 5% (*) e a 1% (**).

5 - DISCUSSÃO

5.1 - Crescimento das plantas

5.1.1 - Ensaio sôbre as relações cálcio/boro

Pêso do material sêco - Houve efeito do cálcio no pêso do material sêco de tôdas as partes das plantas estudadas, havendo, no caso das fôlhas inferiores e caules, efeitos de interação com boro. De uma maneira geral, nota-se o efeito benéfico do cálcio, no desenvolvimento do cafeeiro, que mesmo quando em concentrações que poderiam ser consideradas tóxicas, não provocou diminuição significativa no desenvolvimento das plantas, em relação àquela considerada ótima (Ca_1). Os dados concordam com HAAG (1958), ACCORSI & HAAG (1959), HAAG & MALAVOLTA (1960).

Nos casos de interação do cálcio com o boro, notou-se que as variações provocadas no crescimento das plantas pelas variações de concentração de cálcio no substrato, foram muito mais pronunciadas, quando em presença dos tratamentos B_1 , isto é, aquêle que continha concentração de boro, recomendada por HOAGLAND & ARNON (1950). As doses dadas por B_0 e B_{25} , provocaram uma diminuição no pêso do material sêco das plantas, por efeitos de deficiência e toxidez do micronutriente, respectivamente (YAKOVLEVA, 1948; MULLER, 1958; MALAVOLTA, 1963, pág. 143). Embora o comportamento geral dos dados sejam nessa direção, só houve significância, para as fôlhas inferiores e caules. Mesmo nesses dois últimos casos, a significância não se verificou para os tratamentos Ca_0 , e essa interação poderia ser explicada, pelo efeito altamente depressivo da deficiência de cálcio também encontrado por HAAG (1958), implicado diretamente na estrutura celular (CURTIS & CLARK, 1950, pág. 369; MILLER, 1957, pág. 147), impedindo que as plantas, mesmo com doses consideradas normais de boro (B_1), se diferenciasssem de maneira significativa, daquelas com doses deficientes ou tó-

xicas do micronutriente. Tanto o cálcio, como o boro, parecem ter funções semelhantes na constituição das paredes celulares e substâncias intercelulares (Smith, 1944, citado por BERGER, 1949).

Número de fôlhas - O exame dos dados relacionados com o número de fôlhas superiores, indica efeitos de interação entre os tratamentos de cálcio e de boro. Parece haver uma intersubstituição parcial entre boro e cálcio, para os casos de deficiência de um elemento, em presença de doses elevadas do outro, como por exemplo: Ca_0B_{25} . Talvez, tal efeito possa ser explicado pela provável semelhança desses elementos, na constituição celular (Smith, 1944, citado por BERGER, 1949). O mesmo efeito, embora não significativo, pode ser observado no caso do peso do material seco dessas fôlhas.

Os maiores números de fôlhas superiores, foram alcançados quando se usou concentrações de cálcio e de boro, iguais às da solução de HOAGLAND & ARNON (1950).

Para as fôlhas inferiores, o comportamento -- foi um pouco diferente, devido ao problema de difícil translocação do cálcio e do boro, uma vez que, de acordo com Smith -- (1944), citado por BERGER (1949), em aboboreira, 50% do boro, e 70% do cálcio estão imobilizados nas paredes e espaços intercelulares. Considerando esses fatos, as concentrações de boro e de cálcio, nas fôlhas inferiores deverão ser diferentes das concentrações desses elementos nas fôlhas superiores, desde -- que haja variação no suprimento desses nutrientes pela solução. Sob condições de deficiência de boro, não muito severas, como é o caso das fôlhas inferiores, submetidas aos tratamentos B_0 (o boro é fornecido pela reserva do vegetal, imobilizada nessa parte da planta), há um superbrotamento, e formação de fôlhas pequenas, o que não ocorre com as fôlhas superiores submetidas aos mesmos tratamentos, que sob condições de deficiência seve-

ra (MULLER, 1958; MALAVOLTA, 1963, pág. 143), paralizam o crescimento devido à morte da zona terminal. Assim, os tratamentos Ca_1B_0 deram maiores números e menores pesos de fôlhas inferiores do que os tratamentos Ca_1B_1 .

Para os tratamentos Ca_5B_0 , houve decréscimo altamente significativo no número de fôlhas inferiores, e poderia ser explicado também, como ocorreu para as fôlhas superiores, como uma provável substituição parcial do boro pelo cálcio, em algumas funções, deixando portanto de ocorrer superbrotamento e elevação no número de fôlhas.

O boro não afetou o número de fôlhas inferiores, quando em presença dos tratamentos Ca_0 , devido ao efeito altamente depressivo da falta de cálcio. Para os tratamentos Ca_1 , os maiores números de fôlhas, corresponderam aos tratamentos Ca_1B_0 , por motivos discutidos anteriormente. Entretanto, o maior número de fôlhas, provavelmente normais, seria correspondente aos tratamentos Ca_1B_1 .

Comprimentos dos caules - As melhores concentrações de cálcio e de boro no substrato, embora carecendo de significância, parece ser aquelas, dadas pela solução de HOAGLAND & ARNON (1950). As concentrações elevadas de cálcio (Ca_5), não provocaram efeitos de toxidez, nos comprimentos dos caules (HAAG, 1958; ACCORSI & HAAG, 1959; HAAG & MALAVOLTA, 1960).

5.1.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro

Pêso do material sêco - Tôdas as partes das plantas se comportaram de maneira semelhante, ressaltando-se o efeito do potássio no desenvolvimento do cafeeiro. Conforme visto em MATERIAL E MÉTODOS, foram utilizados para o ensaio, cafeeiros com dois meses de idade, cultivados anteriormente em so

lução nutritiva, com concentrações iguais à metade daquelas recomendadas por HOAGLAND & ARNON (1950), e modificadas quanto ao fornecimento de ferro. Quando os tratamentos foram iniciados, a concentração de potássio, dada pelos tratamentos K_1 , veio em detrimento do crescimento do cafeeiro, quando comparada com a dos tratamentos K_0 , na qual o potássio aparecia através da reserva da própria planta. Devido à alta mobilidade do potássio, a eficiência do elemento, acumulado no início do desenvolvimento do cafeeiro, foi elevada, resultando que as plantas nessas condições, alcançaram desenvolvimento superior aos consequentes dos tratamentos K_1 e K_5 , durante o tempo do ensaio. O mesmo efeito tóxico da solução de HOAGLAND & ARNON (1950), foi encontrado -- por WILLIAMS & VLAMIS (1957), com respeito ao boro e manganês, em cevada.

Não houve significância no crescimento das plantas, no que concerne ao boro. Entretanto, a tendência dos dados indicam como melhor concentração para o desenvolvimento do cafeeiro, aquela dada por HOAGLAND & ARNON (1950), ou seja, a dos tratamentos B_1 .

5.2 - Sintomas morfológicos e alterações anatômicas

5.2.1 - Ensaio sobre as relações cálcio/boro

Tanto o boro como o cálcio, afetaram a zona de crescimento das plantas, sendo em muitos casos, motivo da semelhança entre os sintomas de deficiências dos dois nutrientes. -- Tais sintomas morfológicos, descritos em "Resultados", estão de acôrdo com FRANCO & MENDES (1949), MULLER (1958), MALAVOLTA e outros (1961), VALENCIA (1964), BLASER e outros (1967).

O escurecimento encontrado em células das folhas afetadas por deficiência de boro, provavelmente foi ocasionado por substâncias fenólicas, como o explicado por REED (1947), usando oliveiras, afetadas por deficiência do micronutriente. -

Por analogia, considerando a semelhança entre cálcio e boro no aspecto sintomatológico, poderíamos extrapolar a mesma explicação para os casos de toxidez de boro e deficiência de cálcio.

5.2.2 - Ensaio sobre as relações potássio/boro

As plantas desse ensaio, não chegaram a exibir sintomas de deficiência de potássio ou qualquer outra alteração morfológica que pudesse ser atribuída à toxidez do elemento.

Os sintomas de deficiência e toxidez de boro, estiveram de acordo com os já descritos para o ensaio das relações cálcio/boro.

5.3 - Composição química

5.3.1 - Ensaio sobre as relações cálcio/boro

5.3.1.1 - Nitrogênio

As concentrações de nitrogênio, foram afetadas de maneira significativa, apenas para as raízes, devido aos tratamentos relativos ao boro e ao cálcio. As maiores concentrações de nitrogênio nas raízes, foram alcançadas pelos tratamentos B₁. De acordo com BERGER (1949), o boro está relacionado com a síntese de proteínas, que é prejudicada em ausência do elemento. Briggs (1943), citado por BERGER (1949), demonstrou que, em presença de toxidez de boro, a concentração de nitrogênio protéico aumenta, e a de nitrogênio solúvel diminui. É de se supor, portanto, maior translocação do nitrogênio das raízes para a parte aérea, quando em presença de doses elevadas de boro (B₂₅).

Quando a concentração de cálcio aumentou na solução, dos tratamentos Ca₀ para Ca₁, houve decréscimos não significativos para as concentrações de nitrogênio nas raízes, devido provavelmente, ao efeito de diluição, ocasionado pelo aumento--

de material sêco do vegetal. A elevação do teor de cálcio no substrato, dos tratamentos Ca_1 para Ca_5 , provocou um aumento altamente significativo do teor de nitrogênio nas raízes. O cálcio, de acôrdo com MALAVOLTA e outros (1967), tem certo papel no metabolismo do nitrogênio. Em sua ausência, de conformidade com Nightingale (1937), citado por MALAVOLTA e outros (1967), algumas espécies são incapazes de absorver ou assimilar nitratos.

5.3.1.2 - Fósforo

O conteúdo de fósforo das fôlhas inferiores, foi afetado pelos tratamentos relativos ao cálcio. As outras partes das plantas não apresentaram efeitos significativos, e ao que parece, tais efeitos seriam mais diretamente, ligados à translocação do elemento, dessas fôlhas mais velhas. De acôrdo com Kalckar (1944) e Krishanan (1949), citados por MALAVOLTA e outros (1967), o cálcio funciona como ativador in vitro, para certas fosfatases do tubérculo da batata. Se nas condições do ensaio houver o mesmo efeito, é provável que em condições de concentrações mais elevadas de cálcio, haja uma maior solicitação de fósforo, e uma maior translocação para as zonas de crescimento. HAAG (1958), embora de maneira não significativa, obteve também, uma diminuição na concentração de fósforo nas fôlhas inferiores, quando aumentou a concentração de cálcio no substrato.

5.3.1.3 - Cálcio

Os tratamentos relativos ao cálcio, afetaram as concentrações do mesmo, nas fôlhas superiores. Só houve significância, para as diferenças entre os tratamentos Ca_0 e Ca_5 . Os mesmos resultados, foram encontrados por HAAG (1958). O teor mais elevado de cálcio, ou seja, 1,46%, dado pelo tratamento Ca_5B_1 , não produziu efeitos no cafeeiro, que pudesse ser atribuído à toxidez. Loué (1957-a), citado por HAAG (1958) e CATANI & MORAES (1958), constataram ser o café, bastante exigente -

em cálcio.

Os dados das demais partes das plantas, apresentaram tendência a indicar os mesmos efeitos, sem contudo alcançar significância estatística.

5.3.1.4 - Magnésio

As concentrações de magnésio foram afetadas - de u'a maneira geral pelas concentrações de cálcio no substrato. Entretanto, apenas para os caules e fôlhas inferiores, houve significância estatística. O mesmo resultado, em linhas gerais, foi alcançado por HAAG (1958), que o explicou, citando - Eichinger (1955), através do antagonismo entre cálcio e magnésio.

Os efeitos de maior significância, apareceram nas fôlhas inferiores, provavelmente devido à fácil translocação do magnésio no vegetal (MALAVOLTA e outros, 1967).

5.3.1.5 - Boro e relação cálcio/boro

Procurou-se estabelecer o efeito de maior significância estatística para os tratamentos relativos ao boro, de um lado, estudando a concentração de boro, e de outro lado, estudando a relação cálcio/boro. A concentração de boro nas plantas, representou com maior significância, as variações de boro no substrato. Enquanto a significância para as concentrações de boro nas plantas, em função da concentração do micronutriente no substrato, apresentava valores superiores a 1% de probabilidade, os valores para as relações cálcio/boro não alcançavam esse limite.

Não foi encontrada significância estatística para as variações de concentração de boro, ou das relações cálcio/boro, em função dos tratamentos relativos ao cálcio. Não

foi encontrado portanto, o possível efeito do cálcio na absorção do boro, como recomenda DRAKE e outros (1941) ou REEVE & SHIVE - (1944). Os dados estão de acôrdo com MEDINA & SHIVE (1946), PEREZ e outros (1961), OERTLI (1961).

5.3.2 - Ensaio sôbre as relações potássio/boro

5.3.2.1 - Nitrogênio

Houve aumento na concentração de nitrogênio nas plantas, quando se elevou o teor de potássio no substrato, embora com significância apenas para as fôlhas superiores, e ainda dentro dos limites K_0 e K_5 . Devido às variações de crescimento das plantas, em razão do aumento de potássio no substrato, é lícito supor, um efeito de concentração do nitrogênio, nas plantas que apresentaram menores pesos secos. HAAG (1958), observou também aumento no teor de nitrogênio em plantas submetidas a doses elevadas de potássio, embora de maneira não significativa.

5.3.2.2 - Fósforo

HAAG (1958), verificou diminuição, embora não significativa, nos teores de fósforo das fôlhas superiores, quando aumentou o teor de potássio na solução. No presente ensaio, verificou-se também, uma diminuição da concentração de fósforo das fôlhas superiores, quando se elevou a concentração de potássio no substrato, a partir dos tratamentos K_0 . As maiores concentrações de fósforo, poderiam ser determinadas, por um teor adequado de potássio, uma vez que êste, participa de alguma forma, na fosforilação oxidativa (MALAVOLTA e outros, 1967). Teores tóxicos de potássio, poderiam portanto alterar aquêle mecanismo, dando como consequência, menor demanda de fósforo.

O efeito do boro, na absorção do fósforo, para

as folhas superiores, parece indicar, de acordo com BERGER --- (1949), um efeito indireto do micronutriente, afetando provavelmente a absorção do cálcio ou do nitrogênio.

5.3.2.3 - Potássio

Sempre que se aumentou a concentração do elemento no substrato, a concentração de potássio nos tecidos das plantas, variou na mesma direção. Não houve significância para os caules, embora a tendência permanecesse a mesma.

Considerando as folhas como referência, observou-se que os tratamentos K_1 , que deveriam dar concentrações normais de potássio nas plantas, mostrou-se tóxico, ocorrendo teores mais elevados do que os encontrados por HAAG (1958) e CIBES & SAMUELS (1955). Os tratamentos K_0 , cujo potássio proviu apenas das reservas das plantas, deram concentrações de potássio nos tecidos dos vegetais, maiores do que as doses de deficiência encontradas pelos citados autores.

Ao que tudo indica, a concentração adequada de potássio no substrato, considerando as condições do ensaio, deveria estar entre a concentração dada pelo tratamento K_0 e a dada pelo tratamento K_1 .

5.3.2.4 - Cálcio

O efeito de antagonismo entre potássio e cálcio (MALAVOLTA e outros, 1967), justifica o efeito depressivo das doses elevadas de potássio, na concentração de cálcio nas plantas. HAAG (1958), constatou de u'a maneira geral, uma diminuição, embora não significativa, nos teores de cálcio nos cafeeiros, quando foi elevada a concentração de potássio nas soluções.

5.3.2.5 - Magnésio

As concentrações de magnésio, de u'a maneira geral, baixaram nas plantas, quando se elevaram as concentrações de potássio na solução nutritiva. Essa mesma relação entre os dois elementos, foi encontrada por CIBES & SAMUELS -- (1955) e HAAG (1958), e se deve provavelmente, ao antagonismo entre êsses dois elementos, citado por MULLER (1958) e MALAVOLTA e outros (1967).

Para os caules, houve efeito do boro na concentração de magnésio dos mesmos e parece que também nesse -- caso, tal efeito seja indireto, através do cálcio ou do nitrogênio, de acôrdo com BERGER (1949).

5.3.2.6 - Boro e relação potássio/boro

As concentrações de potássio na solução nutritiva, afetaram de maneira significativa, os teores de boro nas raízes. A elevação do teor do micronutriente nessa parte da planta, talvez se deva ao pequeno desenvolvimento da mesma, sob condições de alta concentração de potássio. É provável ainda, que o efeito do potássio tenha sido indireto, através do antagonismo entre êsse elemento e o cálcio, uma vez que êste último, de conformidade com HAAG (1958), ACCORSI & HAAG (1959) e HAAG & MALAVOLTA (1960), está mais intimamente ligado com o desenvolvimento radicular.

Os teores de boro na solução nutritiva, afetaram as concentrações do mesmo nas partes das plantas, embora não tenha havido significância para os caules.

Houve maior significância, quando se estudava o efeito das concentrações de boro nas soluções, através dos teores do elemento nas plantas, do que através das relações potássio/boro. Não houve portanto, para as condições do

ensaio, acôrdo perfeito com WALLACE & BEAR (1949), WOODRUFF e outros (1960), e sim com OERTLI (1961).

6 - CONCLUSÕES

a. Há aumento do pêso do material sêco das plantas, quando se eleva a concentração de cálcio, na solução nutritiva, até o teor de 25,0 iônios miligramas/litro.

b. As plantas alcançam maiores desenvolvimentos, quando em presença de concentração de boro igual a 0,5 ppm - no substrato. Aparecem efeitos de deficiência, devido à omissão do micronutriente, e de toxidez, quando o teor é aumentado para 12,5 ppm.

c. Aparecem efeitos de interação entre cálcio e boro, quando se estuda o desenvolvimento dos cafeeiros, em função dêsses dois nutrientes.

d. Seis iônios miligramas/litro, de potássio na solução nutritiva, é concentração tóxica para o cafeeiro com dois meses de idade, provocando diminuição no pêso do material sêco, quando comparada com concentrações menores.

e. Os sintomas morfológicos de falta de cálcio e de boro, são semelhantes, no sentido de que aparecem primeiro na zona terminal de crescimento; as fôlhas mostram, entretanto, clorose e alterações diversas.

f. Não há sintomas morfológicos, ou outra alteração qualquer, dentro das condições do ensaio, que se possa atribuir à deficiência de potássio.

g. Para o ensaio sôbre as relações cálcio/boro, os teores do micronutriente nas soluções influem: nas concentrações de nitrogênio nas raízes; nos teores de boro nas raízes, caules, fôlhas inferiores e superiores; nas rela --

ções cálcio/boro nas raízes, caules e fôlhas superiores.

h. Os teores de cálcio nas soluções afetam as concentrações de fósforo nas fôlhas inferiores; cálcio nas fôlhas superiores; e magnésio nos caules e fôlhas inferiores.

i. Para o ensaio das relações potássio/boro, os teores do micronutriente nos substratos influem: nas concentrações de fósforo nas fôlhas superiores; cálcio nas raízes; magnésio nos caules; boro nas raízes, fôlhas inferiores e fôlhas superiores; e nas relações potássio/boro das fôlhas superiores.

j. Os teores de potássio nos substratos provocam alterações: nas concentrações de nitrogênio nas fôlhas superiores; potássio nas raízes, fôlhas inferiores e superiores; cálcio e magnésio nas raízes, caules, fôlhas inferiores e superiores; boro nas raízes; e na relação potássio/boro das fôlhas superiores.

7 - RESUMO

Em um ensaio fatorial, foram cultivados cafeeiros, Coffea arabica L. variedade Mundo novo, de dois meses de idade, em solução nutritiva com três níveis, de cálcio (0,0, 5,0 e 25,0 íônios miligramas/litro), e de boro (0,0, 0,5 e 12,5 partes por milhão). Em outro ensaio, as plantas receberam três níveis, de potássio (0,0, 6,0 e 30,0 íônios miligramas/litro), e de boro (0,0, 0,5 e 12,5 partes por milhão). Em ambos os casos, todos os outros macro e micronutrientes, foram fornecidos em concentrações iguais às recomendadas por -- HOAGLAND & ARNON (1950). Durante o transcorrer dos ensaios, foram descritos os sintomas morfológicos e alterações anatômicas ocorridas. Os ensaios tiveram a duração de seis meses, ao fim dos quais, as plantas foram colhidas, e feitas as análises de crescimento e químicas.

As plantas foram afetadas quanto ao desenvolvimento, por deficiência de cálcio e boro (Ca_0 e B_0), bem como por toxidez de potássio e boro (K_1 , K_5 e B_{25}). Desenvolveram-se sintomas morfológicos e anatômicos de deficiências de cálcio e boro, bem como de toxidez do micronutriente. Foram observados ainda, efeitos de interação entre os nutrientes em estudo.

Para o ensaio cálcio/boro, as concentrações do micronutriente nos substratos, afetaram os teores de nitrogênio e de boro nas plantas. Os teores de cálcio nas soluções, influenciaram nas concentrações de fósforo, cálcio e magnésio no vegetal.

Para o ensaio potássio/boro, os teores do último nas soluções nutritivas, influenciaram nas concentrações de -- fósforo, cálcio, magnésio e boro nas plantas. Os níveis de potássio nos substratos, afetaram os teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e boro no cafeeiro.

SUMMARY

Two months old coffee seedlings were grown in nutrient solution, being submitted to a Ca x B 3 x 3 factorial in one trial, and to a K x B 3 x 3 factorial in another independent experiment. Others macro and micronutrients were supplied according to HOAGLAND & ARNON (1950). Deficiency symptoms of Ca and B were described. Anatomical abnormalities induced by lack of Ca and B and excess B were studied. After 6 months plants were harvested and chemically analysed.

Growth was affected by the deficiencies of Ca and B, as well as by toxicity of K and B. Several interactions were also observed.

The concentration of B in the substrate affected the absorption of N, where as that of Ca did affect the uptake of P and Mg; these observations refer to the Ca x B experiment.

In the case of the K x B trial the contents of P, Ca and Mg in the plants were influenced by the level of the micronutrient in the nutrient solution. On the other hand the concentration of K in the substrate affected the tissue content of N, Ca, Mg and B.

9 - LITERATURA CITADA

- ACCORSI, W.R., H.P.HAAG. 1960. Alterações morfológicas e citológicas do cafeeiro (Coffea arabica L., var. Bourbon [B. Rodr.] Choussy) cultivado em solução nutritiva, de correntes das deficiências e excesso dos macronutrientes. Anais da E.S.A."Luiz de Queiroz", 16: 17-36.
- BERGER, K.C. 1949. Boron in soil and crops. In Advances in agronomy I, 321-51.
- BLASER, H.W., C.MARR, D.TAKAHASHI. 1967. Anatomy of boron deficient Thuja Plicata. Am. J. Bot. 54: 1107-1113.
- BRASIL SOBRº, M.O.C. 1965. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Tese. Piracicaba. S. Paulo.
- CATANI, R.A., F.R.PUPO DE MORAES. 1958. A composição química do cafeeiro. Rev.Agr. 33: 45-52.
- CHAPMAN, H.D., G.F.LIEBIG JR., A.P.VANSELOW. 1939. Some nutritional relationship as revealed by a study of mineral deficiency and excess symptoms on citrus. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 4: 196-200.
- CIBES, H., G.SAMUELS. 1955. Mineral deficiency symptoms displayed by coffee trees grown under controlled conditions. Agr.Exp.Sta.Univ. Puerto Rico. Tech. paper nº 14.
- CURTIS, O.F., D.G.CLARK. 1950. An introduction to plant physiology. Mc Graw-Hill Book Company. New York.
- DRAKE, M., D.L.SIELING, G.D.SCARSETH. 1941. Calcium-boron ratio as an important factor in controlling the boron starvation of plants. J.Am.Soc.Agron. 33: 454-462.

- FRANCO, C.M., H.C.MENDES. 1949. Sintomas de deficiências mine-
rais no cafeeiro. *Bragantia* 9: 165-173.
- GISIGER, L. 1950. Deficiencies of minor elements caused by
excesses. In *Trace elements in plant physiology*. --
Waltham. Mass., U.S.A.
- GONZALES, C., C.CAMACHO. 1952. Sintomas de la deficiencia del
boro en el cafeto. *Min.Agr. e Indus. Costa Rica. Bol.*
Tecn. nº 11.
- HAAG, H.P. 1958. Efeitos das deficiências e excessos de macro
nutrientes no crescimento e na composição do cafeeiro-
(*Coffea arabica* L. var. [B.Rodr.] Choussy) cultivado
em solução nutritiva. Tese. Piracicaba. S.Paulo.
- HAAG, H.P., E.MALAVOLTA. 1960. Estudos sôbre a alimentação mi-
neral do cafeeiro. *Separata 20. Rev. do Café Portu--*
guês. Lisboa.
- HOAGLAND, D.R., D.I. ARNON. 1950. The water culture method -
for growing plants without soil. *Calif.Agr.Exp.Sta. -*
Calif.Circ. 347.
- JOHNSON, C.M., A.ULRICH. 1959. Analytical methods *Calif. Agr.*
Exp. Sta. Bull. 766.
- JONES, H.E., G.D.SCARSETH. 1944. The calcium-boron balance in
plants as related to boron needs. *Soil Sci. 57: 15-24.*
- LOTT, W.L., J.P.NERY, J.R.GALLO, J.C.MEDCALF. 1956. A técnica-
da análise foliar aplicada ao cafeeiro. *Inst.Agronômi*
co de Campinas. Bol. nº 79.
- LOUÉ, A. 1957. Studies on the inorganic nutrition of the --
coffee tree in Ivory Coast. Publ. pelo International-
Potash Institute, Berne, Switzerland.

MALAVOLTA, E., T.COURY. 1954. Apostilas de práticas de Química Agrícola. Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz". Piracicaba. S. Paulo.

MALAVOLTA, E. 1957. Práticas de Química Orgânica e Biológica. Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz". Piracicaba. S. Paulo.

MALAVOLTA, E., H.P.HAAG, C.M.JOHNSON. 1961. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. VI. Efeitos das deficiências de micronutrientes em Coffea arabica L. -- var. Mundo Novo, cultivado em solução nutritiva. -- Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz". 18: 147-168.

MALAVOLTA, E. 1963. Nutrição do cafeeiro. Em Cultura e adubação do cafeeiro. Instituto Brasileiro da Potassa. - S. Paulo. 143-190.

MALAVOLTA, E., H.P.HAAG, F.A.F.MELLO, M.O.C.BRASIL SOBRº. 1967. Nutrição mineral de algumas culturas tropicais. Editora da Universidade de São Paulo. S. Paulo.

MEDINA, E.H., J.W.SHIVE. 1946. Calcium-boron relationships in the nutrition of corn and the distribution of these elements in the plant. J.Agr.Univ. Puerto Rico. 30(4) : 251-291.

MEDINA, E.H., M.A.H.LOPEZ. 1958. Effects of calcium-boron relationships on growth and production of the pineapple plant. J.Agr.Univ. Puerto Rico. 42: 207-223.

MILLER, E.V. 1957. Chemistry of plants. Reinhold Publishing-Corporation. New York. U.S.A.

MULLER, L. 1958. II Deteccion y control de deficiencias de elementos esenciales. Progresos en la tecnica de la produccion de café. Inst. Interamericano de Ciencias-Agrícolas. Turrialba. Costa Rica. 97-109.

- OERTLI, J.J. 1961. The effect of potassium and calcium (and others ions of earthalkali) on the boron nutrition of plantas. Z.Pflanzenernahr. Dung. Bodenk. 94: 1-8.
- OERTLI, J.J., H.C.KOHL. 1961. Some considerations about the tolerance of various plant to excessive supplies of boron. Soil Sci. 92: 243-247.
- OUELLETTE, G.J. 1964. The potassium-boron relation in the culture of alfafa. Can.J.Soil Sci. 43: 59-64 (1963). In Chem.Abstacts 60 (9866).
- PAAUW, F. van der, 1954. Potassium fertilizers and boron deficiency. Landbouwk Tijdschr. 66: 32-35. In Chem. Abstracts 49 (7795).
- PEREZ, V.M.L., G.CHAVERRI, E.BORNEMISZA. 1956. Algunos aspectos del abonamiento del cafeto com boro y calcio en las condiciones de la meseta central de Costa Rica. Min. Agr. Indus. Stica. Inf.Tecn. nº 1.
- PIMENTEL GOMES, F. 1963. Curso de estatística experimental. -- Instituto de Genética. E.S.A."Luiz de Queiroz". Piracicaba. S.Paulo.
- REED, H.S. 1947. A physiological study of boron deficiency in plants. Higaradia 17: 337-411.
- REEVE, E., J.W.SHIVE. 1944. Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. Soil Sci. 57: 1-14.
- TOTH, S.J., A.L.PRINCE, A.WALLACE, D.S.MIKKELSEN. 1948. Rapid quantitative determination of eight mineral elements - in plant tissue by a sistematic procedure involving -- use of a flame photometer. Soil Sci. 66: 459-466.
- VALENCIA, A.G. 1964. La deficiencia de boro en el cafeto y su control. Cenicafe 15: 115-125.

- WALLACE, A., F.E. BEAR. 1949. Influence of potassium and boron on nutrient-element balance in the growth of Ranger Alfafa. Plant Phys. 24: 664-680.
- WILLIAMS, D.E., J. VLAMIS. 1957. Manganese and boron toxicities in standard culture solutions. Soil Sci. Am. Proc. 21: 205-209.
- WOODRUFF, C.M., J.L. MCINTOSH, J.D. MIKULCIK, H. SINHA. 1960. How potassium caused boron deficiency in soybeans ... Better crops with plant food 44: 4-11.
- YAKOVLEVA, V.V. 1948. The influence of boron and biochemical changes in the roots and leaves of sugar beet. Chem. Zent. II 1031. In Chem. Abstracts 45 (8091).