

EFEITO DA CALAGEM NA DISPONIBILIDADE DO BORO, NOS SOLOS LR E PVP, PARA A CULTURA DA CANA-DE-ACUCAR.

ANTONIO CARDOSO

Orientador : VALDOMIRO CORREA BITTENCOURT.

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro, 1978

À Dulcinēa, Ana Julia, ao
saudoso Toninho e aos meus
pais,

·DEDICO.

A G R A D E C I M E N T O S

- Ao Dr. VALDOMIRO BITTENCOURT pelos conhecimentos transmitidos, bem como pela dedicação e interesse demonstrado por ocasião de meus estudos Pós-Graduados;
- Ao Prof. HILKIAS BERNARDO DE SOUZA, Chefe do Departamento de Química da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, pelo apoio, confiança e incentivo;
- Ao Prof. FRANCISCO BARREIRA PEREIRA, Diretor da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, pela oportunidade concedida ao Corpo Docente da FCAP, ao qual me incluo, no sentido de cada vez mais aperfeiçoar os seus conhecimentos científicos;
- Ao PEAS/FCAP, na pessoa do seu Coordenador Prof. JOSÉ RIBAMAR FERREIRA DOS SANTOS, pela bolsa concedida;
- Ao colega ANTONIO CARLOS RIBEIRO pela amizade, sugestões e colaborações;
- Aos colegas DOMÍCIO ALVES CORDEIRO e LAURENTINO FERNANDES BATISTA, pela amizade profunda;
- Às laboratoristas do CENA, em especial a VITALINA NEIDE BELOTO, pelas análises;
- Aos colegas da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará;
- À todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

I N D I C E

	Página
1. RESUMO	01
2. INTRODUÇÃO	03
3. REVISÃO DE LITERATURA	06
3.1. Alguns Aspectos da Calagem e seus efeitos na Cultura da Cana-de-Açúcar	06
3.2. O comportamento do Boro no Solo e Fatores que Afetam a sua Disponibilidade às Plantas	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1. Procedimento Experimental	22
4.2.1. Ensaio de Campo	22
4.2.2. Ensaio Biológico	25
4.2.3. Ensaio de Laboratório	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Ensaio de Campo	28
5.2. Ensaio Biológico	38
5.3. Ensaio de Laboratório	48
6. CONCLUSÕES	53
7. SUMMARY	55
8. LITERATURA CITADA	57

1. RESUMO

Ensaíos de campo com cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), de casa de vegetação com girassol (*Heliantus annus L*) e de laboratório foram conduzidos com a finalidade de avaliar o efeito da calagem na disponibilidade do boro em dois solos (LR e PVP) da região de Piracicaba, os quais têm sido continuamente cultivados com cana-de-açúcar.

No experimento de campo adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro níveis de calcário dolomítico (0, 1, 2 e 3 t/ha), dois níveis de boro na forma de bórax (0 e 36 kg/ha) e quatro repetições. A variedade de cana utilizada foi a NA 56-79, detentora de excelentes qualidades agronômicas e sensível a deficiência de boro.

Tanto o bórax como o calcário não proporcionaram aumentos significativos ($p > 0,01$) nas produções de colmo e de açúcar. As concentrações de boro e de cálcio na folha + 3 mantiveram-se constantes mesmo variando-se os teores desses nutrientes nos solos. No período de maior estiagem ocorreram sintomas generalizados de deficiência de boro na cana-de-açúcar, provavelmente motivados pela não liberação do boro, visto que as condições ambientais não foram favoráveis para a mineralização da matéria orgânica.

Mesmo quando cultivada em solos com diferentes teores de alumínio trocável (LR = 1,15 emg; PVP = 0,3 emg) a var. NA 56-79 não teve a sua produção afetada apesar de ter observado diferencialmente esse elemento, (LR = 351 ppm; PVP = 152 ppm) conforme a sua maior ou menor disponibilidade no solo.

Nos ensaios de laboratório e de casa de vegetação constatou-se que a calagem não afetou a disponibilidade do boro nos solos em estudo. As concentrações de 0,51 ppm para o LR e 0,24 ppm para a PVP, extraídas com água quente, podem ser consideradas boas para o perfeito desenvolvimento e produção da cana-de-açúcar.

2. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da agricultura de uma região está condicionado a uma série de parâmetros, difíceis de isolar, que no todo tornam os sistemas cada vez mais complexos, chegando mesmo a desafiar os mais audazes à solução de seus problemas.

As plantas terrestres têm no solo o seu principal substrato mineral de sobrevivência. Este, por si só, é extremamente heterogêneo, variando em propriedades físicas, químicas e biológicas, de acordo com a região de localização. Quando o associamos a uma cultura, o grau de complexidade do sistema, agora formado, aumenta substancialmente a ponto de se ter a necessidade de subdividi-lo a fim de melhor estudar os seus problemas.

A crescente avidez de tornar o país detentor da maior produção mundial de açúcar, aliada a necessidade de minimizar a dívida externa brasileira decorrente da importação de petróleo, fizeram da cana-de-açúcar uma cultura eminentemente energética, visto que, é fonte de carboidratos, de álcool carburante e de outros subprodutos fornecedores de energias imprescindíveis ao homem.

É evidente que para suprir essas exigências, a produção da cana-de-açúcar deverá situar-se num nível que assegure o perfeito provimento de matéria prima para produção

do açúcar e do álcool. Para atingir esses objetivos, dispõe-se de duas alternativas: ampliar a área cultivada (os solos aráveis disponíveis no Brasil são extensos e de desmedidas possibilidades) ou aumentar a produtividade através da introdução dos fatores de produção, dentre os quais se incluem os adubos e corretivos.

As teorias agronômicas, os experimentos de campo e de casa de vegetação têm provado que o adequado e racional uso de fertilizantes, aumenta consideravelmente os rendimentos das culturas. Porém, muitos advogam que sem a prévia correção da acidez do solo ou dos fatores que a determinam, podem surgir resultados inferiores aos esperados.

O efeito da calagem sobre a acidez do solo, capacidade de troca iônica, toxicidade de alumínio e manganês, matéria orgânica, estrutura, atividade microbiana além de outras propriedades tem sido alvo de muitas contestações dentro do campo da ciência do solo. Evidentemente não se pode negar os efeitos positivos decorrentes do seu adequado uso, contudo, problemas como diminuição da produção de culturas devido a manifestação de deficiência de micronutrientes, têm sido comprovados principalmente quando os corretivos são usados em quantidades excessivas.

No Estado de São Paulo a calagem, apesar de ser empregada com frequência na cultura da cana-de-açúcar, não tem trazido resultados econômicos satisfatórios. Aliado a esse fato, sintomas de deficiência de boro foram constatados em vários canaviais e também em experimentos conduzidos em casa de vegetação, sendo que tais deficiências foram atribuídas à calagem ou a fatores pertinentes aos solos.

Pesquisas relativas ao efeito do boro na produção da cana-de-açúcar são escassas tanto na literatura brasileira quanto na estrangeira, apesar de ter sido evidenciado que esse micronutriente desempenha papel preponderante na fi-

siologia vegetal como regulador do metabolismo de carboidratos. Além desse, outros papéis atribuídos ao boro e altamente significativos para o perfeito desenvolvimento das plantas estão em vias de elucidação através estudos bioquímicos.

Objetivando estudar as possíveis interações calagem X boro no solo e seus efeitos sobre a produção da cana-de-açúcar, este trabalho procurou evidenciar através de ensaios de campo, de casa de vegetação e de laboratório, a extensão de dependência da calagem na disponibilidade do boro nos solos LR e PVP e seus efeitos na produção da cana-de-açúcar, var. NA 56-79.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. *Alguns Aspectos da Calagem e seus Efeitos na Cultura da Cana-de-Açúcar.*

Com a finalidade precípua de eliminar a acidez do solo e ou os elementos que causam problemas de toxicidade às plantas como o alumínio e o manganês, a calagem é uma prática comum nas regiões tropical e subtropical pois, em ambas, predominam fatores que propiciam a acidificação dos solos.

Os solos tropicais de clima úmido, sujeitos a temperaturas elevadas durante todo o ano e excesso de chuvas em relação a evapotranspiração, têm como característica comum o avançado estado de intemperização, se considerarmos a composição de sua fração mineral (LAROCHE, 1966). Em solos bem drenados, a baixa saturação de bases e a elevada atividade dos íons hidrogênio é função da quantidade de chuva.

Como aspectos negativos da acidez dos solos, LAROCHE (1966) cita:

- a) baixo teor de bases;
- b) alto poder de fixação de fósforo na forma de fosfatos de Fe e Al, devido a predominância de espécies iônicas desses elementos;
- c) deficiência de molibdênio por fixação semelhante a do fósforo;

- d) alumínio e manganês em quantidades tóxicas, e
e) pequena atividade de microrganismos.

A prática da calagem resulta numa série de modificações na reação do solo, afetando em grande parte as propriedades físicas, químicas e biológicas dos mesmos. Dentre os processos que ocorrem no complicado sistema solo-fertilizante-planta destacam-se os efeitos benéficos da calagem como agente recuperador do complexo de troca iônica, estabilizador dos agregados devido o favorecimento da produção de maiores quantidades de matéria orgânica, diminuição dos teores de ferro, alumínio e manganês, aumento do cálcio e magnésio trocáveis, aumento da disponibilidade de fosfatos e molibdatos, etc.

LAROCHE (1966), citando vários autores, mostra que o limite máximo da quantidade de calcário é função das reais necessidades da planta e das características do solo. Plantas como o chá dependem de altas quantidades de alumínio para um perfeito desenvolvimento, chegando a acumular até 1,6% nas folhas enquanto que a alfaça exige mais cálcio e magnésio. AYRES (1961) verificou que a cana-de-açúcar tolera de 0,2 a 0,3% de alumínio trocável no solo, quantidades extraíveis em KCl 1N.

A eficiência da calagem na produção da cana-de-açúcar é variável de região para região. Segundo Venet (1933), citado por DAVIDSON (1965), dezenove experimentos sobre calagem no Havaí mostraram pouca ou nenhuma evidência de que essa prática favorecia a produção da cana-de-açúcar, sendo que na maioria dos casos os teores de sacarose foram mais baixos nas parcelas que receberam calcário. Porém, LANDRAU e SAMUELS (1956) relataram aumentos de produtividade da cana-de-açúcar quando a calagem foi feita em solos de Porto Rico com pH abaixo de 5,5, entretanto nenhuma resposta foi obtida em solos com pH acima de 6,0.

Segundo AYRES (1961) no Havaí os aumentos na produção da cana-de-açúcar, resultantes da calagem, estão mais relacionados com a correção da deficiência de cálcio do que

com a elevação do pH do solo. Aplicações de gesso, o qual nenhum poder de neutralização da acidez possui, provocaram ganhos de produção idênticos aos obtidos com a calagem, sendo que esta só foi efetiva quando os solos apresentavam-se pobres em cálcio. Com isto, concluiu o autor afirmando que os aumentos na produção devido a calagem estão inversamente relacionados com o nível inicial de cálcio no solo. Estabeleceu ainda que maiores probabilidades de respostas à calagem em termos de produção de cana são serão possíveis quando os níveis de cálcio e de magnésio trocáveis no solo forem inferiores a 1,12 e 0,12 meq x 10⁻²g. de terra, respectivamente.

Nas Filipinas a calagem é praticada em solos com pH entre 6,0 e 6,5 e contendo uma percentagem de saturação de cálcio elevada, apesar disso, aumentos significativos na produção de cana têm sido observados. Segundo HUMBERT (1963) é possível, devido aos altos teores de matéria orgânica dos solos daquela região, que o nitrogênio liberado da fração orgânica pela calagem, seja parcialmente responsável por tais aumentos.

Aumentos de produção de cana no Havaí, em decorrência de grandes aplicações de calcário (11,2 e 44,8 t/ha) foram raros e em muitos casos houve decréscimo na produção de cana e de açúcar (HUMBERT, 1965). Nesses solos a percentagem de saturação em bases é baixa chegando mesmo a alcançar valores inferiores a 1%. Quando 44,8 t/ha de calcário foram apli cadas, o balanço de nutrientes no solo foi perturbado e em decorrência, decresceram as produções. Aplicações de pequenas doses de calcário (560 e 1120 kg/ha), nesses mesmos solos, provocaram acrêscimos tanto na produção de cana quanto na de açúcar. Para esse autor, pequenas quantidades de calcário levaram ao solo teores de cálcio realmente requeridos pela cana, não provocando desequilíbrios no balanço dos demais nutrientes.

Fassbender e Molina (1969) citados por KAMPRATH (1973) obtiveram aumento na produção da cana-de-açúcar quando

quantidades moderadas de calcário foram aplicadas a solos ácidos derivados de cinzas vulcânicas. Em doses mais elevadas os rendimentos diminuíram.

A produção da cana-de-açúcar em Porto Rico foi unicamente de 25 t/ha quando a saturação do alumínio trocável era maior do que 70%. A produção chegou a alcançar 100t/ha quando essa saturação foi menor do que 30% (ABRUNA e CHANDLER, 1967).

No Brasil poucos foram os pesquisadores que procuraram estudar o efeito da calagem na produção da cana-de-açúcar. WUTKE et alii (1960) e WUTKE e ALVAREZ (1968) trabalhando com solos originalmente depauperados, encontraram uma significativa resposta à aplicação da calagem. Entretanto, os resultados obtidos por GUIMARÃES et alii (1975), ao trabalharem em um Latossol Roxo da região de Piracicaba, permitiram concluir que a calagem não teve influência sobre as produções de cana e de açúcar, mostrando que a cultura da cana-de-açúcar, em solos que tenham suficientes teores de cálcio e magnésio trocáveis em pH acima de 5,0 e baixo teor de alumínio trocável, dificilmente apresentará respostas econômicas à aplicação de calcário. Esses mesmos autores concluíram ainda que a calagem não teve influência sobre a germinação da cana, mesmo quando aplicada em grandes quantidades, pouco antes do plantio.

Dados obtidos em alguns experimentos no Estado de São Paulo pela Divisão Técnica Agrônômica da Copersucar mostraram que solos com $2,1 \text{ meq Ca} \times 10^{-2} \text{ g}$ de terra, não respondem a aplicação de calcário (Bol. Copersucar, 1976). Com base nesse fato a recomendação atual da Copersucar é de se aplicar quantidades bem menores de calcário, as quais são determinadas pela seguinte equação:

$$t \text{ (calcário)/ha} = (1,5 - \text{Ca}^{2+}) + (\text{Al}^{3+} \cdot 1,5),$$

onde Ca^{2+} e Al^{3+} representam os teores de cálcio e de alumínio trocáveis do solo. Ainda nesse mesmo boletim a Copersucar recomenda não aplicar calcário quando: o teor de Ca trocável dos solos estiver entre 1,5 e 2,0 meq $\times 10^{-2} \text{ g}$ de terra e o Al troc

cãvel for menor do que $0,5 \text{ meq} \times 10^{-2} \text{ g}$ de terra; o teor de Ca trocável for maior do que $2,0 \text{ meq} \times 10^{-2} \text{ g}$ de terra e o Al for menor do que $1,0 \text{ meq} \times 10^{-2} \text{ g}$ de terra.

Pelo visto nota-se que atualmente há uma grande tendência por parte dos edafologistas em considerar a calagem não como meio de elevar o pH do solo até 7 (pH considerado ótimo para a maioria das culturas) mais sim como prática agrônômica que vise diminuir o efeito tóxico do alumínio e também fornecer cálcio e magnésio às plantas. Em termos de cana-de-açúcar, os solos do Estado de São Paulo apresentam características pelas quais será difícil a essa cultura responder economicamente à calagem. Para corroborar essa assestiva cita-se o trabalho de VENEMA (1961) que após analisar vários experimentos sobre calagem em diversas regiões concluiu que em solos ácidos, tropicais e subtropicais, a adição de calcário será recomendável apenas onde o cálcio tenha se tornado fator limitante da produção.

3.2. O Comportamento do Boro no Solo e Fatores que Afetam a sua Disponibilidade às Plantas.

Como uma das conseqüências da comprovação da essencialidade do B às plantas, feita por Warington em 1923, destaca-se o grande número de trabalhos publicados que evidenciam aumentos na produção de várias culturas quando da aplicação de fertilizantes a base de boro. Entretanto alguns fatores inerentes ao solo podem afetar a disponibilidade desse nutriente às plantas a ponto de influir na produção final: O decréscimo da disponibilidade do boro pode ser atribuído, em parte, ao reduzido fluxo desse micronutriente para as raízes das plantas. Devido ao estreito intervalo que há entre os níveis causadores de sintomas de deficiência e de toxicidade, o conhecimento da velocidade de deslocamento do boro para as raízes, é de fundamental importância quanto ao aspecto da fertilização dos solos (SULAIMAN e KAY, 1962). BARBER (1962) propôs dois mecanismos

pelos quais um nutriente pode ser transportado para a superfície das raízes: difusão e convecção ou fluxo de massa. OLIVER e BARBER (1966), observaram que o fluxo de massa foi o mecanismo dominante no transporte do boro para as raízes da soja.

Estudos relativos à fixação do boro no solo têm ajudado a esclarecer os fatores determinantes do baixo aproveitamento desse nutriente pelas plantas. Nem todos os solos possuem a mesma capacidade de fixar o boro da solução do solo. Troca aniônica, precipitação química e adsorção molecular como ácido bórico, foram considerados por Eaton e Wilcox (1939), citados por HATCHER e BOWER (1957), como alguns dos possíveis mecanismos pelos quais o boro é fixado no solo. Concluíram também que todos os três tipos de fixação podem ocorrer simultaneamente, mas não conseguiram identificar qual mecanismo foi dominante num solo em particular.

Para HATCHER e BOWER (1957) a fixação do boro no solo ocorre mais facilmente do que a sua remoção por lixiviação, evidenciando com isso que a fixação é um fator importante na nutrição da planta em relação a esse elemento.

Os resultados obtidos por BIGGAR e FIREMAN (1960) mostraram que os solos não somente variam nas suas capacidades de fixar como também na energia com que retém o boro. Esses dois fatores afetam a habilidade do solo em liberar o boro e mantê-lo em solução.

OKAZAKI e CHAO (1968) chegaram à conclusão de que o boro provavelmente forme, durante o processo de adsorção, mais de um tipo de produto de reação, isto porque a liberação do boro adsorvido mostrou a não reversibilidade do processo de adsorção. A dessorção do boro foi influenciada pelo período de aquecimento da suspensão, pela relação solo-água e pelo número de extrações. Segundo esses autores longos períodos de aquecimentos, elevadas relações solo-água e maior número de extrações tendem a aumentar a recuperação do boro nativo

ou do boro adicionado ao solo. Com isso, eles contestaram o fato de a quantidade de boro extraída uma única vez com água quente ser considerada como a disponível para as plantas. Quando muito, essa extração libera uma porção de boro que pode não ser proporcional à quantidade total disponível presente na solução do solo. Para eles, seria mais significativo considerar a quantidade de boro extraída em uma única extração com água quente, como indicadora do fator intensidade e, o boro total disponível ou o liberado em repetidas extrações como indicador do fator capacidade.

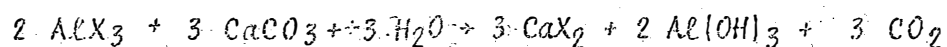
PARKS e SHAW (1941), sob condições de laboratório e usando sistemas químicos puros, estabeleceram que o boro pode ser precipitado em combinação com diversos elementos, particularmente silício e alumínio. A presença do cálcio tende, geralmente, a aumentar a quantidade de boro no precipitado. Segundo os mesmos autores, a fixação desse elemento no solo, onde se encontra em pequenas quantidades, pode ocorrer no interior dos complexos de cálcio com silício ou alumínio, e também nos produtos de síntese de silicatos de cálcio-alumínio como substituinte de íons alumínio. A química do boro e do alumínio é muito similar a ponto de se acreditar nessas hipóteses. Ambos possuem em comum a valência 3^+ , sendo que o boro na tabela periódica se situa na terceira coluna e imediatamente acima do alumínio. O hidróxido de alumínio, $Al(OH)_3$, é anfótero, enquanto que o de boro, $B(OH)_3$ ou H_3BO_3 , se comporta como um ácido fraco. Ambos formam óxidos estáveis do tipo X_2O_3 e também sulfatos, haletos e outros sais com fórmulas análogas. Para Latimer e Hildebrand (1928), citados por PARKS e SHAW (1941), a diferença no raio iônico ($Al^{3+} = 0,50 \text{ \AA}$; $B^{3+} = 0,20 \text{ \AA}$) poderá justificar em parte a grande estabilidade de um alumínio silicato comparativamente a um complexo no qual o boro deslocou alguns átomos de alumínio. Lacroix e Gramont (1921), também citados por PARKS e SHAW (1941), foram os primeiros a surgirem a substituição do boro pelo alumínio nos minerais primários do solo. À luz dessas evidências e dos seus resultados, PARKS e SHAW ...

[1941] acreditam ser lógico que o boro possa existir em grande número de minerais primários e secundários do solo, nos mais variados graus de estabilidade e solubilidade.

A literatura indica que os três maiores sítios inorgânicos de adsorção do boro no solo são: hidróxidos de ferro e alumínio presentes como revertimento ou associados aos minerais de argila; óxidos de ferro e alumínio e minerais de argila tipo micáceo. Baseados nessas informações RHOADES et alii [1970] levantaram a hipótese de que outros minerais presentes nas frações silte e argila do solo, afóra as argilas de camadas silicatadas possam também ter a capacidade de adsorverem o boro em quantidades apreciáveis. Ao testarem essa premissa, os autores verificaram que realmente os ortos e "chain" silicatos (olivinas, enstatita, diopsídio, augita e tremolita) tiveram uma maior capacidade e/ou afinidade de adsorverem o boro (por unidade de peso) do que os minerais silicatados (clorita, muscovita, flogopita, vermiculita e biotita). Todos os minerais de camadas não silicatadas que apresentam elevada capacidade de sorção do boro são do tipo comumente designados como minerais ferromagnesianos. Esses minerais são mais facilmente intemperizados nos solos e contem mais Fe e Mg do que os de estrutura silicatadas que manifestaram baixa capacidade de sorverem o boro. Esses autores demonstraram também que o $Mg(OH)_2$ tem uma apreciável capacidade de remover o boro da solução e, exceto para curtos períodos de reação (1 hora), sua capacidade não é afetada pelo envelhecimento. Esta última propriedade do $Mg(OH)_2$ contrasta com os dados obtidos por HATCHER et alii [1967] e SIMS e BINGHAM [1968] com relação ao $Al(OH)_3$ e ao $Fe(OH)_3$ que mostraram um decréscimo na capacidade de sorção do boro, com o envelhecimento.

Embora os resultados obtidos por HATCHER et alii [1967] não esclareçam se o boro é adsorvido nos solos na forma molecular ou iônica, o certo é que, devido a influência da superfície específica e do $Al(OH)_3$ formado quando da aplicação

de calcário, esse mecanismo (adsorção) é mais provável ocorrer do que outros fenômenos de retenção como, formação de complexos orgânicos, precipitação de boratos insolúvel com alumínio e sílica ou mesmo penetração do boro na estrutura dos minerais de argila. Segundo esses autores, quando solos ácidos são tratados com CaCO_3 , a reação que ocorre é a seguinte:



onde X representa o sítio de troca. Embora o aumento do pH do solo, segundo a reação acima, possa intensificar a adsorção do boro, o efeito dominante é um decréscimo na concentração do B da solução do solo devido sua adsorção pelo Al(OH)_3 precipitado.

Para SCHALSCHA et alii (1973) a fixação do boro sob condições ácidas parece ser resultante de um processo de adsorção molecular do B(OH)_3 , enquanto que em condições alcalinas há uma adsorção aniônica do B(OH)_4^- oriundo de alcalinização ou dissociação protônica do ácido bórico. Além disso houve uma alta correlação entre a quantidade de B adsorvida e alofanos, Al_2O_3 amorfo e superfície específica. Nenhum consistente efeito competitivo sobre a adsorção de B foi notado no sistema contendo K_2SO_4 ou KH_2PO_4 .

CATANI et alii (1971) ao avaliarem a capacidade de retenção do boro em solos de Piracicaba-São Paulo, evidenciaram que a quantidade de B adsorvida aumenta com a concentração desse elemento na solução de equilíbrio e cresce à medida que se eleva o pH.

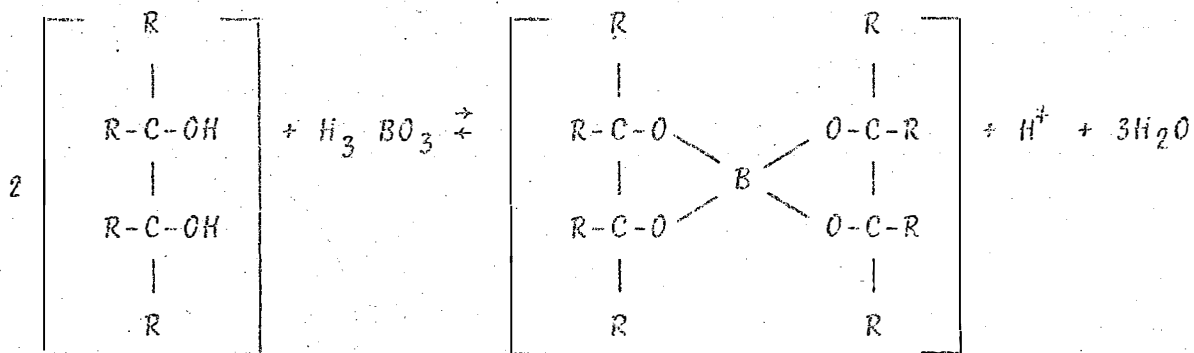
RIBEIRO (1974) estudando o comportamento físico-químico do boro em solos da região tropical verificou que a adsorção desse elemento se condicionou ao pH do solo, com valor máximo (5,3 e 34 mg de B/kg de solo) ocorrendo na faixa alcalina. Além do mais, o cálcio teve participação ativa na retenção do boro. O mesmo autor constatou que o boro adsorvido não se correlacionou com os teores de argila, matéria orgânica e óxido livres de ferro e alumínio.

Segundo estudos feitos por BERGER e TRUOG (1945), o boro disponível no solo aumentou quando o pH situou-se na faixa de 4,7 e 6,7 e diminuiu quando o pH se situou entre 7,1 e 8,1. Correlações positivas foram encontradas entre o B disponível e o conteúdo de matéria orgânica do solo. Nesse trabalho, todos os solos que continham menos que 2% de matéria orgânica e significativas quantidades de cálcio, apresentaram invariavelmente baixo teor de boro disponível.

SINS e BINGHAM (1968) fizeram estudos intensivos sobre a adsorção do boro por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. A adsorção foi muito dependente do pH, com máxima adsorção ocorrendo em pH 8-9 para hidróxido de ferro e pH 7 para o hidróxido de alumínio. O pH máximo de adsorção, conjuntamente com outros experimentos, sugerem que a adsorção é do ion borato.

Para ELSON e BERGER (1946), o boro fixado no solo devido a elevação do pH, pode se tornar novamente disponível pela diminuição do pH ao valor primitivo, indicando a reversibilidade das reações e que estas ocorrem de maneira rápida. Esses mesmos investigadores concluíram que a oxidação da matéria orgânica dos solos causa um aumento significativo no teor de boro assimilável, com a conseqüente diminuição do B potencialmente fixado.

A matéria orgânica é considerada como uma das fontes responsáveis pelo suprimento de boro às plantas. Em solos argilosos onde o seu teor é maior, comparativamente aos solos arenosos, as deficiências de boro são menos frequentes do que nestes. Sêcas prolongadas também podem provocar a redução do teor de boro disponível devido a não mineralização da matéria orgânica (TISDALE e NELSON, 1956 pag. 107), a qual tem influência na retenção do elemento devido a formação de complexos organoboratos, conforme pode ser visto pela reação seguinte:



Esse fato foi evidenciado por PARKS e WHITE (1952) que também constataram que um estímulo na atividade microbiana pode induzir uma maior formação do grupamento diol e tornar o boro indisponível para as plantas por um longo período.

Um grande número de investigadores tem verificado uma aparente relação entre o cálcio nos solos e a disponibilidade do boro às plantas. Para muitos a calagem excessiva, em certos tipos de solo, pode causar o aparecimento de sintomas de deficiência de boro nas plantas sendo que, em muitos casos, esse efeito depressivo não ocorre quando são feitas aplicações de boro.

FOX (1968) estudando o efeito do cálcio e do pH na absorção do boro pelo algodoeiro e alfaça, cultivados em solução nutritiva, observou que em pH elevado e em altas concentrações de cálcio e ausência do boro pelas plantas foi reduzida em 50%.

SCOTT et alii (1975) ao estudarem o efeito da calagem sobre a absorção e o transporte do boro pelo algodoeiro, cultivado em solos de textura limo-siltosa, concluíram que o aumento da quantidade de calcário e diminuição do conteúdo de água nos solos, provocaram decréscimo na difusividade do boro. A adição de calcário aumentou a adsorção do boro, bem como reduziu o crescimento e a taxa de desenvolvimento do algodoeiro quando cultivado em casa de vegetação.

Os resultados obtidos por NAFTEL (1937) mostraram que as plantas cultivadas em solos onde foram aplicadas altas

doses de calcário apresentaram sintomas de deficiência de boro, nos quinze dos vinte solos estudados. Essas deficiências foram parcial e totalmente eliminadas por aplicação de boro às plantas. A diminuição do teor de boro solúvel em água foi diretamente proporcional às doses de calcário aplicadas. Esse mesmo autor verificou que, em solos incubados e esterelizados o boro solúvel em água foi muito maior do que em solos não esterelizados. Esses resultados e outros dados obtidos pelo mesmo autor indicam que a fixação do boro pode ser de natureza biológica, embora os mecanismos não tenham sido elucidados.

O efeito da calagem sobre a fixação de boratos em vários solos, foi estudado por MIDGLEY e DUNKLER (1959). Doses crescentes de calcário provocaram sensível fixação de boratos, sendo que 90% do boro adicionado foi retido quando da adição de doses maciças de CaCO_3 . Também foram constatadas severas lesões nas plantas de linho, provocadas por insuficiência de boro. Outros materiais corretivos de acidez dos solos, como CaO , BaCO_3 , MgCO_3 e Na_2CO_3 apresentaram idênticas capacidades de fixação de boratos. Segundo esses autores, a fixação do boro é de natureza química e não biológica conforme proposta por NAFTAL (1937).

GUPTA (1972) concluiu que para solos com menos de 0,6 ppm de boro disponível, a adição de calcário para aumentar o pH acima de 5,8 poderá agravar a deficiência desse elemento tendo como consequência um decréscimo na produção de grãos de cevada. Por outro lado, o calcário deve ser aplicado a solos com mais de 2,4 ppm de boro a fim de sustar injúrias a plantas de cevada provocada pela toxidez desse elemento. A relação Ca/B de 180 foi relacionada com a máxima produção de grãos. Relações Ca/B de 540 e 45 estão relacionadas, respectivamente, com deficiência e toxidez de boro na cevada.

Máximos rendimentos foram obtidos para alfafa e trevo quando 0,25 e 1,00 ppm de B foram adicionados ao solo (GUPTA, 1972). A aplicação de calcário a fim de elevar o pH do solo para 5,8 - 6,7, aumentou a produção, embora a pH 6,8

houvesse um declínio na produção do trevo. A deficiência de boro nessas culturas foi mais severa em pH elevado do que em pH baixo. A calagem provocou uma diminuição da concentração de boro nas plantas, com um menor decréscimo na alfafa.

Experimentos conduzidos por HILL e MORRILL (1975)† com o fim de avaliar as interações entre B, Ca (gipsita) e K sobre a qualidade e rendimento do amendoim revelaram que, sob condições de casa de vegetação, houve significativa interação entre Ca e B. Em altas doses de cálcio e na ausência de boro, houve aumento de produção, menor percentagem de frutos sadios e ocorrência em grau acentuado, de danos internos nos frutos em decorrência da deficiência de boro. Nenhuma eficiência significativa em termos de produção foi observada para aplicações de B e Ca, sob condições de campo. Esses autores observaram também, interações significativas entre B e K, sendo que a aplicação desses dois elementos, conjuntamente, resultou num aumento de produção, exceto em doses elevadas de ambos quando então o rendimento foi reduzido.

Baseados na premissa de que a absorção do B pelas plantas dá idéia da quantidade desse elemento disponível no solo, PETERSON e NEWMAN (1976) chegaram a conclusão de que o rendimento da *Testuca arudinacea* (gramínea forrageira) não foi afetado pelo pH e nem tão pouco pelas doses de B aplicadas, apesar da quantidade de B absorvida ter variado de 8 a 739 ppm. Percentagens de recuperação de 30 a 50%, relativas às quantidades de B adicionadas, indicaram que houve uma fixação do boro pelo solo. Uma marcante redução da concentração de B na planta foi observado quando o pH do meio atingiu 7,4, comparativamente e níveis inferiores de pH (4,7; 5,3; 5,8 e 6,3). Essa redução foi de 2,5 vezes em relação ao pH 6,3.

A calagem teve um efeito significativo na produção de tomate, pepino e milho, embora o B só tivesse efeito nas duas primeiras culturas (PRASAD e BYRNE, 1975). A absorção de boro por essas três espécies vegetais foi na seguinte ordem: pepino > tomate > milho. O milho embora seja uma monocotiledonêa,

não parece ser particularmente vulnerável a toxidez do boro. Também esses mesmos autores verificaram que todas as culturas estudadas absorveram menos B, quando da aplicação de doses crescentes de calcário. Além do mais, o valor limite da quantidade de boro necessária para a manifestação de toxidez tende a aumentar com o aumento do teor de calcário.

O estudo feito por JONES e SCARSETH (1944) visando observar o comportamento da alfafa, aveia e tabaco frente aos teores de cálcio e boro, comprovou que as plantas extraem quantidades diferentes desses dois nutrientes de acordo com as suas disponibilidades no solo. As plantas analisadas parecem ter diferentes necessidades de Ca e B, porém, o intervalo de variação é grande nessas culturas. Segundo esses mesmos autores, a planta terá um desenvolvimento normal quando existir um certo equilíbrio na absorção do cálcio e do boro. Se esse equilíbrio for desfeito motivado por uma pequena absorção de cálcio, tal como ocorre em solos ácidos, a planta terá uma maior tolerância ao boro. Em solos fortemente ácidos que possuem quantidades pequenas de cálcio trocável, pequenas doses de borax aplicadas ao solo podem ocasionar injúrias às plantas. Em solos de região árida que têm apreciáveis conteúdos de cálcio, semelhante aos solos alcalinos e aos com excesso de calagem, as plantas necessitam de mais boro do que normalmente exigido em solos ácidos. Naqueles solos, o equilíbrio da relação Ca/B tende a ser desfeito devido ao excesso de cálcio absorvido pelas plantas. Nessas condições o boro pode e deve ser adicionado em grandes quantidades sem que surjam sintomas de toxidez nas plantas, comparativamente aos solos ácidos.

No que se refere ao efeito do boro na cana-de-açúcar, poucos são os trabalhos encontrados na literatura mundial, principalmente no Brasil. A primeira demonstração de que o B é essencial à cana-de-açúcar resultou de um trabalho de Van den Honest, em 1932, quando foi constatado que 0,1 ppm de boro era suficiente para recuperar as plantas que se apresentavam defi-

cientes nesse micronutriente (BOWEN, 1969).

Em nenhum dos experimentos conduzidos por LANDRAU e SAMUELS (1956) em solos de Porto Rico houve aumento significativo na produção de cana-de-açúcar. Entretanto em um desses experimentos ocorreu redução no rendimento final de cana quando da aplicação de 112 kg de bórax por hectare. Martin (1934) citado por esses autores, estabeleceu que embora a deficiência de boro possa acontecer na cana-de-açúcar, crescendo em solução nutritiva, somente 0,22 ppm de B são necessários para prevenir tais deficiências. Borden (1944), ainda citado por LANDRAU e SAMUELS (1956), não obteve nenhum aumento de produção na cana-de-açúcar ao aplicar o boro na forma de ácido bórico nas doses de 31 e 125 kg de B por hectare. Com 125 kg de B por hectare houve diminuição da produção.

Tcores elevados de B na folha (580 ppm), na bainha (160 ppm) e nas extremidades de crescimento (180 ppm) foram encontrados por HUMBERT et alii (1970) quando a cana-de-açúcar foi cultivado num solo que continha 10,5 ppm de B. Sintomas de toxidez na cana podem ocorrer quando o nível de B no solo estiver ao redor de 50 ppm. A distribuição do B na folha, segundo esses autores, não é homogênea; Os níveis mais elevados (890-1850 ppm) ocorreram nos tecidos marginais mortos, os níveis intermediários (390 - 440 ppm) ocorreram nos tecidos cloróticos, enquanto que os níveis mais baixos (100-170 ppm) foram encontrados nos tecidos verdes, próximos à nervura principal. Ainda esses autores ao aplicarem 1, 10 e 50 ppm de B verificaram, após 4 meses da aplicação, acentuada coloração avermelhada nas margens das folhas, além de ligeira necrose.

Segundo BOWEN (1969), o meristema contém altos níveis de boro (11 - 57 ppm) e é mais sensível a variações na concentração desse nutriente, sendo portanto o tecido que melhor se prestaria para avaliar o estado nutricional da cana-de-açúcar em relação ao B.

Para HUBBERT (1970), são ocasionalmente se observa deficiência de boro na cana-de-açúcar, sendo que o nível crítico de B na folha é de 1 ppm. Na concentração de 2 a 30 ppm de B, a cana não apresentará sintomas de deficiência desse elemento. Por sua vez GALLO et alii (1968) estabeleceram que a faixa de carência para as variedades CB 41 - 76 e Co 419 se situa entre 3 e 10 ppm. Nesse intervalo foram encontrados 9% dos canaviais do Estado de São Paulo. Esses mesmos autores ainda verificaram que a cana-de-açúcar apresentava teores de B que variavam de 5 a 37 ppm, não havendo diferença significativa entre as variedades estudadas.

Nenhum efeito positivo do boro na produção de colmos, (var. CB 41-14) e no teor de açúcar foi observado por ESPIRONELLO (1972), ao estudar o comportamento do B através da sua adição a seis solos do município de Piracicaba. A análise foliar revelou teores elevados de B, indicando um suprimento desse elemento no solo acima do normal. Não houve resposta das plantas, à aplicações de doses crescentes de B no solo.

BATISTA (1976), constatou sintomas de deficiência de boro na cana-de-açúcar (var. NA 56-79) cultivada em solos do Estado de São Paulo. Os sintomas apareceram indistintamente nos tratamentos onde o cálcio fora aplicado tanto na forma de sulfato quanto na forma de carbonato. Nos tratamentos a base de sulfato de cálcio houve maior incidência da deficiência, comparativamente aos tratamentos à base de carbonato. CORDEIRO et alii (1976) também constataram, na mesma variedade, sintomas de deficiência de B em experimento conduzido em casa de vegetação que objetivava estudar a relação $(Ca + Mg)/K$ na cana-de-açúcar.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Solos

Todos os estudos contidos neste trabalho foram feitos em dois solos do Estado de São Paulo, região de Piracicaba os quais têm sido continuamente plantados com cana-de-açúcar. Assim sendo, foi usado um Latossol Roxo (LR) e um Podzol Vermelho Amarelo Variação Piracicaba (PVP), ambos situados na Estação Experimental de Cana da COPERSUCAR, cujas características químicas e físicas são apresentadas na tabela 1.

Para os estudos realizados em casa de vegetação e no laboratório, os solos supra referenciados foram coletados a uma profundidade de 0 a 30 cm, e em seguida secos, destorroados e peneirados.

4.2. Procedimento Experimental

4.2.1. Ensaio de Campo

Para este ensaio foi adotado o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro níveis de calagem (0, 1, 2 e 3 t/ha), dois níveis de boro (0 e 36 kg de bórax/ha), e quatro repetições.

TABELA 1 - Características químicas e físicas dos solos LR e PVP onde foram realizados os vários ensaios constantes neste trabalho.

SOLO	pH	P — ppm —	K —	Ca — mg/100g solo —	Mg —	Al —	H —	C —	Fe ₂ O ₃ —	Al ₂ O ₃ —	Argila %	Silte —	Argila —	Classe Textual	
LR	4,6	3,8	17	50	1,5	0,5	1,75	7,5	1,7	7,9	0,7	37	14	49	Argila
PVP	5,1	4,2	10	66	1,9	1,1	0,3	5,7	1,5	5,1	0,5	52	12	36	Argilo-Atenuoso

O calcário utilizado foi o dolomítico, que continha 26,5% de CaO e 12,3 % de MgO. A aplicação desse material foi realizado com 40 dias de antecedência ao plantio, sendo que após distribuição na parcela, foram feitas as operações de aração e gradagem, respectivamente.

As parcelas ou canteiros constaram de cinco linhas de cana, espaçadas entre si de 1,40 m e com 10 m de comprimento. As duas linhas externas constituíram a bordadura e não foram computadas para efeito de produção final.

O nitrogênio, o fósforo e o potássio foram aplicados, em todas as parcelas, no sulco e por ocasião do plantio, nas doses de 100, 120 e 120 kg de N, P_2O_5 e K_2O por hectare. Como fontes desses nutrientes foram empregados a uréia (45 % de N), o fosfato diamônio (17 % de N e 45 % de P_2O_5) e o cloreto de potássio (60 % de K_2O).

O boro, na forma de tetraborato de sódio (borax) e com 11 % de B, foi aplicado no sulco e também por ocasião do plantio.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a NA 56-79, detentora de excelentes qualidades agrônomicas sendo atualmente muito empregada na região açucareira do Estado de São Paulo. Além do mais a literatura consultada mostrou ser essa variedade sensível a deficiência de boro, pelo menos quando cultivada em casa de vegetação (BATISTA, 1976 e CORDEIRO et alii, 1976).

A cana para plantio proveio de viveiros com 12 meses de idade sendo que nesses os toletes sofreram um prévio tratamento térmico, a fim de evitar a incidência de "naquitismo". Abertos os sulcos de 25 cm de profundidade, os toletes com 3 gemas foram aí depositados e cobertos com uma pequena camada de terra.

O plantio de cana foi feito em 30 de outubro e 8 de novembro de 1976 no IR e PVP, respectivamente. Aos doze meses

de idade a cana foi colhida e pesada para a obtenção de dados de produção. Na oportunidade coletaram-se ao acaso, nas três linhas centrais, 15 colmos de cada parcela que se destinaram às análises tecnológicas (brix, pol, pureza, fibra, açúcares redutores e cinza). Essas determinações foram feitas no laboratório de Análises Tecnológicas da COPERSUCAR.

Aos quatro meses de idade das plantas, efetuou-se a amostragem foliar para as análises de boro e cálcio, tomando-se quinze folhas por parcela, da posição + 3. Excluída a nervura principal, utilizou-se para análise os 20cm centrais de cada lâmina [GALLO et alii 1962].

Depois de amostradas e secas a 60 - 70°C, as folhas foram finamente moídas e acondicionadas em sacos plásticos para posteriores determinações do boro, pelo método colorimétrico da curcumina, segundo DIBLE et alii (1954), e do cálcio, por absorção atômica.

4.2.2. Ensaio Biológico

Concomitantemente aos ensaios de campo com cana-de-açúcar, realizou-se outro em casa de vegetação com a finalidade de estudar o efeito da calagem na disponibilidade do boro nos solos LR e PVP utilizando o método biológico do girassol (*Helianthus annuus* L.). Esse método se baseia na extração intensiva do boro feita por plantas que se desenvolvem num pequeno volume de terra (~500 ml). A idéia de utilizar o girassol como planta-teste surgiu do fato de no trabalho de COLWELL (1943) sobre "um método biológico para determinar o conteúdo relativo de boro em solos" esse autor ter se valido do fato de ser o girassol muito sensível à falta de boro no substrato de desenvolvimento. A carência do boro no solo é revelada através de sintomas de deficiência ou por falta de crescimento das plantas.

De cada solo tomaram-se amostras da camada superficial (30 cm) que foram secas ao ar e tamizadas em peneiras de 5 mm de abertura de malha. Amostras de 2.400 g de solo foram incubadas com quantidades crescentes de carbonato de cálcio correspondentes a 0,00; 0,96; 1,92; 2,88 e 3,84 g. Essas amostras foram mantidas úmidas por 40 dias findo o que cada uma foi dividida em três porções de 500 ml e colocadas em vasos plásticos de igual capacidade. Em cada vaso foram plantadas dez sementes de girassol, var. uruguaí, uniformemente distribuídas e parcialmente enterradas. Cinco dias após a germinação fez-se o desbaste, deixando-se cinco plantas por vaso. Diariamente forneceu-se água aos vasos e, em dias alternados, 10 ml da solução nutritiva de COLWELL (1943), acrescida da solução de micronutrientes de HOAGLAND e ARNON (1943).

Periodicamente foram feitas observações visuais sobre o estado nutricional das plantas, sendo que aos 40 e 70 dias após a germinação efetuaram-se medições individuais das plantas por vaso, tomando-se as suas alturas a partir do colo. Decorridos 70 dias à germinação, colheu-se toda a parte aérea das plantas de cada vaso que em seguida foram secas em estufa à temperatura de 60-70°C e pesadas. Este material foi finamente moído e acondicionado em saco plástico para posterior determinação do boro total absorvido por unidade de massa do solo.

4.2.3. Ensaio de Laboratório

Basicamente este estudo se fundamentou no método proposto por SHUMWAY e JONES (1972) que tenta dar, através da isoterma de sorção do boro, uma estimativa das necessidades de fertilizantes de modo a levar o solo a um nível ótimo em boro.

Tomando-se por base a equação de Langmuir tem-se que:

$$X/M = \frac{ABC}{1+AC} \quad (1)$$

onde

X/M = Quantidade de boro sorbido por grama de solo.

C = Concentração de boro na solução de equilíbrio.

A e B = São constantes.

Visto que a constante A é geralmente pequena, isto sugere que onde a concentração da solução de equilíbrio for menor de que 0,5 ppm, o valor do termo AC na equação de Langmuir será pequeno quando comparado com a unidade. Assim a equação (1) pode ser reduzida para:

$$X/M = ABC \quad (2)$$

e será aproximadamente linear em muitos solos. Um gráfico dessa natureza pode ser usado para prever tanto a quantidade de adubo requerida para ajustar a concentração de boro na solução de equilíbrio, como também para estimar os níveis originais de boro nos solos.

As amostras de solos empregadas neste estudo foram as mesmas do ensaio da casa de vegetação. Vinte gramas de cada amostra foram colocadas em frescos erlenmeyer de 250 ml, e a cada um adicionou-se 100 ml de solução contendo 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 ppm de B, na forma de ácido bórico. O contato solo solução foi mantido por seis dias com periódicas agitações de 30 minutos. Ao fim do sexto dia as amostras foram centrifugadas por 15 minutos a 5.000 rpm e no líquido sobrenadante foi determinada a concentração do boro usando o método colorimétrico da curcumina.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Ensaio de Campo

Os dados relativos a produção de cana (t/ha) obtidos quando da aplicação de diferentes doses de calcário e de boro, juntamente com a análise de variância, são apresentados nas tabelas 2, 3 e 4.

Observa-se, por esses dados, que não houve diferenças significativas com relação às várias fontes de variação, ou seja, as aplicações de 36 kg de bórax e de 1, 2 e 3 t de calcário por hectare nos solos LR e PVP, não conduziram a um aumento na produção da cana-de-açúcar.

No tocante ao efeito do boro, esses resultados vieram confirmar os obtidos por ESPIRONELLO et alii (1976) que apesar de terem trabalhado com outra variedade de cana (CB 41-14) e em condições de vaso, também não obtiveram aumento na produção da cana, e sim efeito depressivo na dose mais elevada (8 ppm), comparada com o tratamento adubação básica completa menos boro (0 ppm de B). Esse efeito depressivo não foi observado nos experimentos constantes deste trabalho, provavelmente porque a dose aplicada (36 kg de bórax/ha) está muito aquém daquela utilizada por esses pesquisadores (189 kg bórax/ha).

TABELA 2 - Produções de cana (t/ha) obtidas em ensaios de campo realizados em dois solos da região de Piracicaba - SP, decorrentes do estudo da interação calagem x boro, na cana-de-açúcar variedade NA 56-79.

Tratamento*	S O L O	
	LR	PVP
0-B	77,0	63,2
	76,0	68,9
0-Ca	55,6	53,2
	56,6	58,8
0-B	52,7	61,3
	64,3	59,4
1-Ca	60,3	69,2
	66,3	61,9
0-B	71,1	58,9
	66,3	58,8
2-Ca	53,2	50,7
	62,3	56,2
0-B	68,5	48,5
	69,0	51,0
3-Ca	61,3	57,3
	61,5	46,8
1-B	70,1	55,0
	62,0	50,0
0-Ca	58,9	54,6
	61,1	60,1
1-B	62,7	53,3
	77,3	53,8
1-Ca	52,6	67,7
	51,8	70,2
1-B	57,7	55,7
	64,9	50,2
2-Ca	63,2	52,5
	50,8	61,1
1-B	68,2	65,1
	87,7	51,9
3-Ca	59,0	55,0
	58,0	67,0

* 0-B e 1-B são equivalentes a 0 e 36 kg de bórax/ha. 0-Ca, 1-Ca, 2-Ca e 3-Ca são equivalentes a 0, 1, 2 e 3 t de calcário dolomítico/ha.

TABELA 3 - Análise da variância, relativa aos dados de produção de cana (t/ha) obtidos no Latossol Roxo (LR).

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	
Calagem (Ca)	3	182,46	60,82	1,27	ns
Boro (B)	1	8,00	8,00	0,17	ns
Ca x B	3	66,60	22,20	0,46	ns
Tratamento	7	257,06	36,72	0,76	ns
Blocos	3	928,95	309,65	6,44	**
Resíduo	21	1009,31	48,06		
T O T A L	31	2195,32			

CV = 13,28 %

ns = Não significativo

** = Significativo a 1 %

TABELA 4 - Análise da variância, relativa aos dados de produção de cana (t/ha) obtidos no Podzol Vermelho Amarelo, variação Piracicaba (PVP).

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	F	
Calagem (Ca)	3	238,87	79,62	2,30	ns
Boro (B)	1	0,02	0,02	$5,76 \times 10^{-4}$	ns
Ca x B	3	240,07	80,02	2,51	ns
Tratamento	7	478,96	68,42	1,98	ns
Blocos	3	91,52	30,51	0,88	ns
Resíduo	21	728,59	34,59		
T O T A L	31	1299,07			

cv = 11,22 %

ns = não significativo

Convém frizar que, quando da condução desses ensaios de campo observou-se, no segundo e terceiro mes de idade das plantas, sintomas típicos de deficiência de boro (folhas mais novas amareladas e enroladas nas extremidades, colmo fino, morte de gema apical e, num estágio mais avançado, morte da planta). Esses sintomas foram encontrados em todas as parcelas, indistintamente, o que descarta a possibilidade de terem sido provocados pela calagem. Contudo observou-se também que esses sintomas apareceram na época de total estiagem, meses de janeiro e fevereiro (ver tabela 5) o que nos levou a hipótese de, sendo a matéria orgânica fonte por excelência de boro para as plantas (TISDALE e NELSON, 1958) a sua não mineralização provavelmente não permitiu que o boro nela contida, sob a forma de complexos orgânicos, (PARKS e WHITE, 1952) se tornasse disponível para as plantas. Essa hipótese foi corroborada pelo fato de aqueles sintomas terem desaparecidos por completo a partir do quarto mes de idade, época em que as chuvas tornaram-se mais constantes e as condições para a mineralização da matéria orgânica foram mais favoráveis.

Com referência ao efeito da calagem na cultura da cana-de-açúcar os resultados obtidos também vieram reforçar a idéia existente entre vários pesquisadores no Estado de São Paulo de que a cana é uma cultura que se desenvolve muito bem em solos de reação ácida ($\text{pH} > 5,0$) e que a aplicação de calcário não traz os benefícios esperados pois, acresce os custos de produção sem contudo provocar um aumento na produtividade.

Nas análises contidas na tabela 1, os solos estudados apresentam teores de cálcio e magnésio que se situam dentro do mínimo permissível para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar, porém, o valor pH está abaixo do considerado ótimo para a maioria das culturas ($\text{pH} = 6,5$), segundo o preconizado por grande número de autores. Além do mais, principalmente no LR, o teor de alumínio trocável é alto (1,15 e mg/100g) o que evidentemente nos levaria a recomendar a calagem nesse

TABELA 5 - Precipitação pluviométrica, no período de novembro de 1976 a setembro de 1977.

Meses	Precipitação * (mm)
Novembro/1976	132,0
Dezembro	181,0
Janeiro/1977	0,0
Fevereiro	0,0
Março	143,7
Abril	106,3
Maió	1,8
Junho	38,7
Julho	5,3
Agosto	24,7
Setembro	116,7
Outubro	40,7

* Dados coletados na Estação Experimental de Cana da Copensucar - Piracicaba.

solo, para eliminar o alumínio tóxico.

Considerando-se esses aspectos os resultados obtidos vieram comprovar que:

1. mesmo aumentando-se o pH, com a aplicação de calcário, a produção manteve-se constante;
2. o alumínio trocável também não influenciou na produção, visto que, nas parcelas onde chegou-se a um mínimo desse elemento, a produção foi idêntica à aquelas onde o seu valor era máximo;
3. apesar dos dois solos apresentarem teores de Al^{3+} trocável bem distintos (1,15 e 0,30 e mg, respectivamente para o LR e o PVP), a produção foi idêntica porém, as quantidades de alumínio absorvidos pelas plantas no quarto mês de idade foram diferentes (351 ppm no LR e 152 ppm no PVP).

Esses fatos sugerem que para a cultura da cana-de-açúcar é mais interessante olhar-se a calagem como fornecedora de cálcio e magnésio do que como simples prática agrícola capaz de elevar o pH e diminuir o alumínio tóxico. Com isto, provavelmente a cana-de-açúcar se comporte muito bem nos solos ácidos da Amazônia e venha a ser uma das culturas de grande rentabilidade econômica na região. Entretanto pesquisas devem ser desenvolvidas a fim de que possamos aceitar ou refutar citada hipótese.

Nas tabelas 6, 7 e 8 constam os dados de produção de açúcar (t/ha) obtidos da cana-planta cultivada nos solos LR e PVP, bem como as respectivas análises de variância. Pelo teste F não houve diferenças significativas entre os tratamentos, ou seja, tanto a administração de boro como a de calcário ao solo, não contribuíram para o aumento na produção de açúcar, o que está de acordo com os resultados relativos à produção de colmos.

TABELA 6 - Dados de produção de açúcar (t/ha) obtidos em ensaios de campo realizados em dois solos da região de Piracicaba - SP, decorrentes dos estudos sobre a interação calagem x boro na cultura da cana-de-açúcar, variedade NA 56-79.

Tratamento *	Solo	
	LR	PVP
	11,77	9,76
0-B	12,53	9,56
0-Ca	8,37	7,95
	8,80	8,77
	8,52	9,37
0-B	10,38	8,94
1-Ca	9,07	9,99
	9,83	9,03
0-B	11,23	8,59
2-Ca	10,29	9,01
	8,08	7,66
	9,28	8,42
0-B	10,93	6,95
3-Ca	11,76	7,64
	9,53	8,29
	9,69	6,73
1-B	10,08	8,30
0-Ca	9,92	6,93
	9,13	7,89
	9,43	8,86
1-B	10,52	8,00
1-Ca	10,82	8,25
	7,30	9,25
	7,29	10,52
1-B	9,60	8,69
2-Ca	10,44	7,03
	9,75	8,20
	8,11	9,33
1-B	10,12	9,92
3-Ca	14,06	7,75
	9,20	7,53
	9,00	10,07

* 0-B e 1-B são equivalentes a 0 e 36 kg de bórax/ha
 0-Ca, 1-Ca, 2-Ca e 3-Ca são equivalentes a 0, 1, 2 e 3 t de calcário dolomítico/ha.

TABELA 7 - Análise da variância, relativa aos dados de produção de açúcar (t/ha) obtidos no Latossol Roxo (LR).

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	
Calagem (Ca)	3	7,66	2,55	2,45	ns
Boro (B)	1	0,89	0,89	0,86	ns
Ca x B	3	0,76	0,25	0,24	ns
Tratamento	7	9,31	1,33	1,28	ns
Bloco	3	33,80	11,27	10,84	*
Resíduo	21	21,91	1,04		
T O T A L	31	65,02			

CV = 14,74 %

ns = não significativo

* = significativo a 1 %

TABELA 8 - Análise da variância, relativa aos dados de produção de açúcar (t/ha) obtidos no Podzol Vermelho Amarelo, variação Piracicaba (PVP).

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	
Calagem (Ca)	3	5,08	1,69	2,14	ns
Boro (B)	1	$4,8 \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-3}$	$6,1 \times 10^{-3}$	ns
Ca x B	3	6,22	2,07	2,62	ns
Tratamento	7	11,30	1,61	2,04	ns
Bloco	3	3,16	1,05	1,33	ns
Resíduo	21	16,49	0,79		
T o t a l	31	30,95			

C V = 11,70 %

n s = não significativo

Os teores médios de boro e de cálcio determinados na folha + 3, aos quatro meses de idade, encontram-se na tabela 9. Conforme pode ser visto não há diferença entre os teores de B encontrados nas plantas cultivadas na parcela testemunha (0-B; 0-Ca) e os existentes nas plantas das demais parcelas. Tal fato também se repete com relação aos teores de cálcio. Com relação aos teores de B aqui encontrados verifica-se que estes se encontram além da faixa de carência (3-10 ppm) estabelecida por GALLO et alii (1962) que, em estudo de levantamento do estado nutricional de canaviais do Estado de São Paulo, constataram a existência de sintomas de deficiência em 9% dos canaviais cujas plantas apresentavam teores de boro dentro dessa faixa.

Os teores de boro obtidos nas folhas estão próximos dos limites propostos por VENEMA (1959). Esse autor estabeleceu entre 5 e 10 ppm o nível ótimo de B nas folhas de cana-de-açúcar, indicando que nessas condições a cultura não necessita ser adubada, com relação ao boro, para melhorar a produção.

5.2. Ensaio Biológico

Inicialmente na tabela 10 encontram-se os resultados referentes aos efeitos da calagem no pH e no teor de alumínio trocável. Como era de esperar o calcário aplicado correlacionou-se positivamente com o pH e negativamente com o alumínio trocável. No PVP eliminou-se praticamente todo o alumínio trocável com a adição de 3 t de calcário enquanto que esta mesma quantidade eliminou o alumínio tóxico no LR. A elevação do pH, com a aplicação do calcário, foi menos pronunciada no LR do que no PVP provavelmente devido ao efeito tampão decorrente de maiores teores de material trocável. Em pH maior do que 5,5 o teor de alumínio presente em ambos os solos situou-se abaixo do valor (0,5 emg/100g) considerado tóxico para a maioria das culturas.

TABELA 2 - Resultados das concentrações de boro (ppm) e cálcio (%) encontrados na folha da cana com 4 meses de idade, quando dos ensaios de campo realizados em dois solos do município de Piracicaba-SP.

Tratamento*	LR		PVP	
	Boro (ppm)	Cálcio (%)	Boro (ppm)	Cálcio (%)
0-B 0-Ca	11,16	0,33	10,13	0,30
0-B 1-Ca	11,48	0,36	10,61	0,34
0-B 2-Ca	11,60	0,34	10,12	0,33
0-B 3-Ca	11,11	0,34	11,48	0,34
1-B 0-Ca	12,58	0,38	12,29	0,30
1-B 1-Ca	10,50	0,36	10,86	0,34
1-B 2-Ca	13,55	0,36	10,99	0,35
1-B 3-Ca	10,62	0,38	11,68	0,33

*0-B e 1-B são equivalentes a 0 e 36 kg de bórax/ha
0-Ca, 1-Ca, 2-Ca e 3-Ca são equivalentes a 0, 1, 2 e 3 t de calcário dolomite/ha.

TABELA 10 - Valores de pH e alumínio trocável (emg/100g de terra) obtidos nos solos LR e PVP quando da aplicação de doses crescentes de carbonato de cálcio (Ensaio biológico em casa de vegetação).

(t calcário/ha)	LR			PVP		
	pH		Al	pH		Al
	H ₂ O	KCl		H ₂ O	KCl	
0	4,45	3,98	1,13	5,02	4,21	0,28
1	4,86	4,17	0,71	5,48	4,47	0,11
2	5,15	4,43	0,65	5,72	4,88	0,07
3	5,51	4,70	0,48	6,08	5,28	0,03
4	5,81	5,06	0,31	6,26	5,63	0,01

Nas tabelas 11, 12 e 13 encontram-se os dados de produção de matéria seca da parte aérea de plantas de girassol, var. uruguai, cultivadas durante 70 dias nos solos LR e PVP após tratamento com diversas doses de carbonato de cálcio, bem como suas respectivas análises de variância.

Apesar da literatura consultada considerar que o aumento do pH do solo concorre para uma menor disponibilidade de B às plantas, tal efeito não foi evidenciado neste experimento quando variou-se o pH de 4,46 a 5,81 no LR e de 5,02 a 6,26 no PVP. Se assim fosse, a produção de matéria seca teria diminuído com o aumento do pH visto que o único elemento que não foi adicionado ao solo, no caso o boro, teria limitado a produção em virtude da adição do calcário.

Os outros parâmetros analisados como, altura das plantas (tabelas 14, 15 e 16) e quantidade total de boro absorvida (tabela 17, 18 e 19) também vieram confirmar o fato de que, nas condições experimentais aqui desenvolvidas o aumento de pH não diminuiu a disponibilidade de boro para a cultura do girassol. Porém, comparando-se os dados obtidos entre os solos verifica-se que, no LR, a quantidade de boro disponível foi maior do que a encontrada no PVP. Isto foi confirmado ao fazer-se a análise do boro solúvel em água quente que acusou valores de 0,51 e 0,24 ppm, respectivamente para o LR e o PVP. A análise do boro total também apresentou um maior valor para o LR (11,72 ppm), comparativamente ao encontrado no PVP (4,98 ppm).

Apesar de no PVP terem sido constatados sintomas de deficiência de boro em todos os tratamentos a partir do quadragésimo dia após a germinação, isto não significa que este solo seja pouco suprido de boro. Pelo critério do "valor idade" adotado por COLWELL (1943), caso os sintomas de deficiência apareçam após 36 dias de idade, tanto nas plantas que crescerem no solo como nas cultivadas no padrão em areia, correspondente a 0,30 ppm de B, o solo será considerado como sendo bem suprido

TABELA 11 - Peso da matéria seca (g) da parte aérea de plantas de girassol, var. uruguai, que vegetou durante 70 dias nos solos LR e PVP tratados com diversas doses de calcário.

Tratamento *	Solo	
	LR	PVP
0-Ca	7,30	6,40
	6,89	6,90
	7,86	6,75
1-Ca	8,49	7,13
	8,76	7,05
	6,86	6,80
2-Ca	6,56	6,90
	8,24	6,85
	6,65	7,00
3-Ca	6,63	7,05
	6,78	6,80
	8,43	6,70
4-Ca	8,65	6,98
	7,44	6,81
	9,15	7,00

* 0-Ca, 1-Ca, 2-Ca, 3-Ca e 4-Ca - são equivalentes, respectivamente, a 0, 1, 2, 3 e 4 t de calcário/ha.

TABELA 12 - Análise de variância, relativa aos dados de produção de matéria seca (g) de plantas de girassol cultivadas no LR.

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	3,63	0,91	1,15 ns
Resíduo	10	7,91	0,79	
T o t a l	14	11,54		

CV = 11,87%

ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 13 - Análise de variância, relativa aos dados de produção de matéria seca (g) de plantas de girassol cultivadas no PVP.

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	0,16	0,04	1,33 ns
Resíduo	10	0,29	0,03	
T o t a l	14	0,45		

CV = 2,61%

ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 14 - Alturas (cm) de plantas de girassol var. uruguaí, que vegetou durante 70 dias nos solos LR e PVP tratados com diversas doses de calcário.

Tratamento ^(a)	solo	
	LR	PVP
0-Ca	73,0	67,6*
	69,4	69,8
	76,0	64,4*
1-Ca	69,8	69,0*
	67,4	72,6
	68,8	64,2**
2-Ca	64,2	68,8*
	57,4	66,4*
	71,4	56,4*
3-Ca	67,4	64,6
	66,2	68,2**
	62,6	66,4*
4-Ca	67,0	67,4**
	69,6	70,0*
	72,8	70,4**

(a) 0-Ca, 1-Ca, 2-Ca, 3-Ca e 4-Ca, são equivalentes a, respectivamente, 0, 1, 2, 3 e 4 t de calcário/ha.

* vaso com 1 (uma) planta apresentando sintomas de carência de boro

** vaso com 2 (duas) plantas apresentando sintomas de deficiência de boro.

TABELA 15 - Análise de variância relativa aos dados de altura (cm) de plantas de girassol cultivadas no LR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	140,19	35,05	2,30 ns
Resíduo	10	152,13	15,21	
T o t a l	14	292,32		

CV = 6,70%

ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 16 - Análise de variância relativa aos dados de altura (cm) de plantas de girassol cultivadas no PVP.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	53,75	13,44	0,90 ns
Resíduo	10	148,56	14,86	
T o t a l	14			

CV = 5,67%

ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 17 - Quantidade total de B absorvido pelas plantas de girassol (mgB/500ml de terra) quando cultivadas nos solos LR e PVP, previamente tratados com doses de carbonato de cálcio.

Tratamento (t de CO ₂ Ca/ha)	Solo	
	LR	PVP
0	258,42	156,99
	286,00	165,05
	270,54	157,42
1	283,99	219,32
	318,69	220,31
	242,84	171,81
2	238,65	192,01
	295,73	186,10
	280,90	181,85
3	289,73	163,49
	339,34	179,32
	318,99	202,81
4	306,21	173,80
	286,96	196,20
	326,11	168,35

TABELA 18 - Análise de variância relativa aos dados de quantidade total de boro absorvido pelas plantas de girassol cultivadas no LR.

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	5045,1	1261,3	1,79 ns
Resíduo	10	7030,3	703,0	
T o t a l	14			

CV = 10,14%

ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 19 - Análise de variância relativa aos dados de quantidade total de boro absorvido pelas plantas de girassol cultivadas no PVP.

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	2.986,26	746,56	3,00 ns
Resíduo	10	2.848,51	284,85	
T o t a l	14	5.834,77		

CV = 11,20%

ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

nesse nutriente. Apesar de neste trabalho não ter sido usado os padrões em areia, o solo em questão apresentava 0,24 ppm de boro disponível e os sintomas de deficiência só apareceram após 40 dias de idade das plantas.

Para corroborar com tudo aquilo que já foi dito, analisou-se as amostras de terra após tratadas com carbonato de cálcio e evidenciou-se novamente a constância nos valores de B solúvel em água quente com relação ao aumento do pH (tabela 20).

Pelo exposto, sendo o girassol uma cultura muito mais sensível a deficiência de boro comparativamente a cana-de-açúcar, estes resultados vieram confirmar aqueles obtidos no campo onde a calagem não afetou a disponibilidade do boro para esta cultura.

5.3. Ensaio de Laboratório

Os dados da tabela 21 conjuntamente com o representado na figura 1 mostram que há uma relação linear entre o boro adicionado e o existente na solução de equilíbrio, tanto para o LK como para o PVP. Portanto esses dados adaptam-se perfeitamente a expressão linear de Langmuir (eq. 2). Resultados semelhantes foram obtidos por HATCHER et alii (1962) e SHUMWAY e JONES (1962) quando trabalharam com baixas concentrações de B na solução de equilíbrio (< 0,5 ppm).

Através do gráfico que represente a relação entre B adicionado por grama de solo e o boro na solução de equilíbrio, pode-se prever a quantidade de adubo a acrescentar ao solo de modo a ter-se uma concentração ótima de B na solução necessária ao bom desenvolvimento vegetal. Além do mais pode-se estabelecer qual o conteúdo original de boro no solo e também se um solo em particular apresenta tendências de fixar esse elemento.

Pela figura 1, fazendo-se $X=0$, verifica-se que os solos em questão já apresentavam, originalmente, uma certa

TABELA 20 - Resultados concernentes ao efeito do p^H na disponibilidade do boro solúvel em água quente.

SOLO	p^H (H_2O)	ppm B
LR	4,46	0,49
	4,86	0,50
	5,15	0,52
	5,51	0,54
	5,81	0,48
PVP	5,02	0,26
	5,48	0,23
	5,72	0,28
	6,08	0,23
	6,26	0,22

TABELA 21 - Valores médios relativos às quantidades de B adicionado, B no equilíbrio e B adsorvido nos solos LR e PVP.

SOLO	B adicionado ($\mu\text{g/g}$ do solo)	B no equilíbrio ($\mu\text{g/ml}$)	B adsorvido ($\mu\text{g/g}$ do solo)
LR	1,25	0,19	0,30
	2,50	0,36	0,70
	3,75	0,53	1,10
	5,00	0,69	1,55
PVP	1,25	0,18	0,35
	2,50	0,32	0,90
	3,75	0,51	1,20
	5,00	0,67	1,65

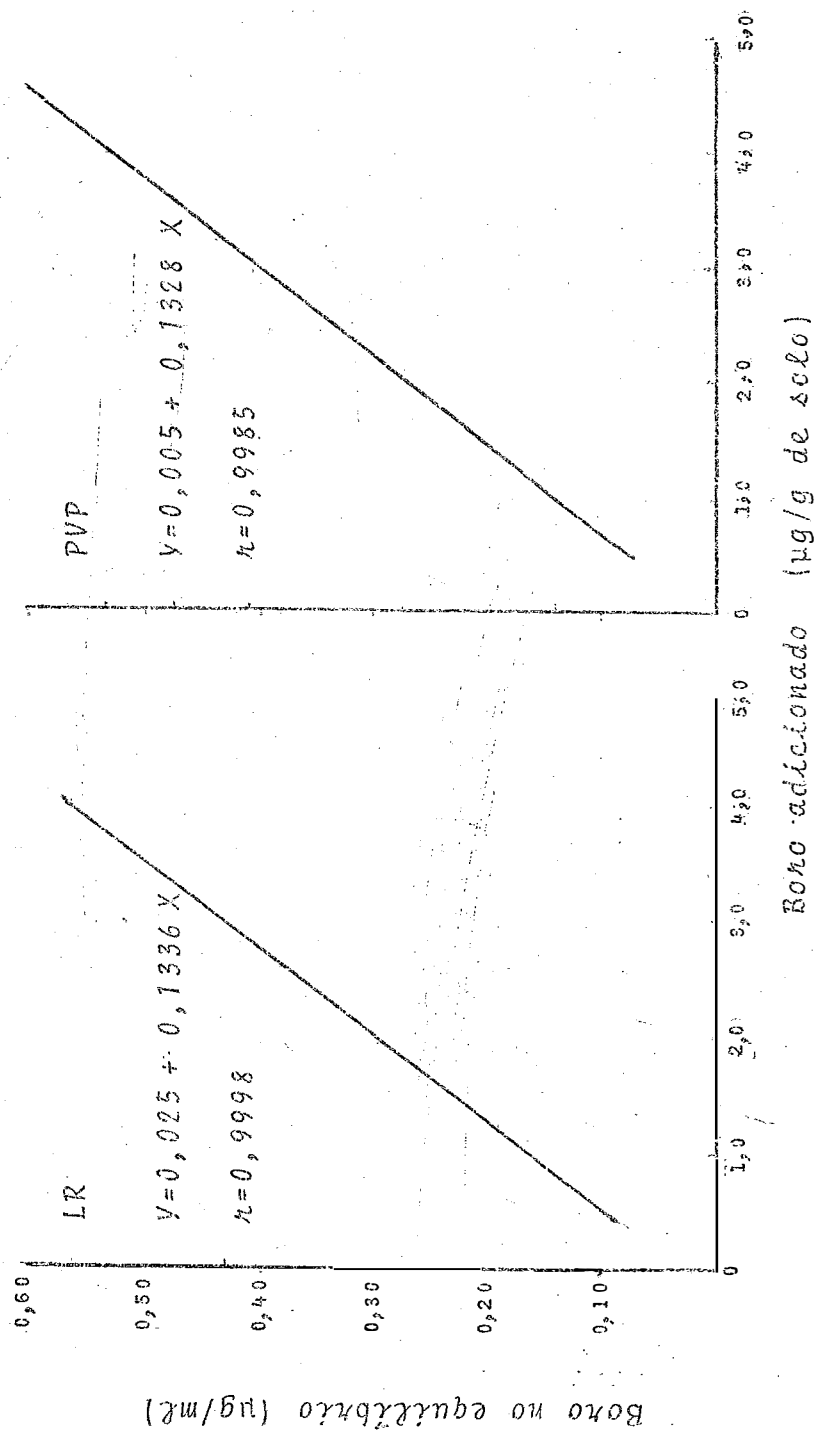


FIGURA 1 - Gráfico do boho adicionado versus concentração de B na solução de equilíbrio, referente aos solos LR e PVP.

quantidade de boro disponível necessária ao desenvolvimento vegetal. Considerando-se que a cultura da cana-de-açúcar se desenvolveu normalmente nesses solos, essas quantidades podem ser considerada como sendo ótimas para essa espécie não necessitando aplicar adubos à base de boro.

6. CONCLUSÕES

Considerando-se os aspectos abordados neste trabalho tais como, variedade utilizada, condições experimentais, tipos de solos, doses de adubos, etc, concluiu-se que:

- a) A adição do boro e também a calagem não proporcionaram aumentos nas produções de cana e de açúcar na variedade NA 56-79;
- b) A calagem não provocou o aparecimento de sintomas de deficiência de boro na cultura da cana-de-açúcar;
- c) Provavelmente, época prolongada de estiagem (2 meses) tenha ocasionado o surgimento de sintomas generalizados de deficiência de boro na cultura da cana-de-açúcar;
- d) Os solos estudados são bem supridos em boro sendo que o IR apresentou teor mais elevado de B disponível solúvel em água quente (0,51ppm), do que o FVP (0,24ppm);
- e) A cana-de-açúcar, var. NA 56-69, não reduziu a sua produção mesmo quando cultivada em solos com diferentes teores de alumínio trocável, apesar de ter absorvido diferencialmente esse

elemento conforme a sua maior ou menor presença no solo;

- f) Os teores foliares do boro permaneceram constantes mesmo nas parcelas que receberam 36 Kg de borax/ha, sendo que o teor médio encontrado, aos 4 meses de idade, na folha + 3 foi de 11,30 ppm;
- g) Os solos estudados são bem supridos em cálcio visto que a adição de calcário dolomítico não provocou aumentos, na produção da cana-de-açúcar e nem tão pouco da concentração desse elemento na folha.

7. SUMMARY

In this paper are presented the results obtained with experiments in the field with sugar cane, greenhouse with sunflower and laboratory on the effect of lime in the availability of boron in two soils types of Piracicaba-Brazil in a continuous culture with sugar cane.

The experimental design in the field was a randomized blocks with four levels of lime (0, 1, 2 and 3 t/ha), two levels of boron in the form of borax (0 and 36 kg/ha) and four replicates. The variety used was sugar cane NA 56-79, which have excellent qualities and is sensible to boron deficiency.

There was no significant effect ($P > 0,01$) of boron and lime on the weight of sugar straw or sugar production. The levels of boron and calcium in the leaves on position + 3 were not altered with addition of boron and lime to the soil. In the dry season, symptoms of general deficiency of boron occurred in the sugar cane, as a consequence of the boron to be not released, as the environmental conditions were not feasible to the mineralization of the organic matter.

Even though, in soils with different levels of Al exchangeable (LR = 1,15 emg; PVP = 0,3 emg), the sugar variety NA 56-79 production was not affected by the absorption of this

element (LR = 551 ppm; PVP = 152 ppm) according its availability in the soil.

In the laboratory and greenhouse trials, was observed no effect of the lime in the availability of boron in the soils under study. The levels of 0,51 ppm for the LR and 0,24 ppm for PVP extracted with hot water may be considered excellent for the full development and sugar cane production.

8. LITERATURA CITADA

- ABRUNA, F.R. e J.V. CHANDLER, 1967. Sugar cane yields as related to acidity of a humid tropic ultisol. Agronomy Journal. 59: 330 - 332.
- AYRES, A.S., 1961. Liming hawaiian sugar cane soils. Hawaiian Planters Record. 56: 227 - 244.
- BARGER, S.A., 1962. A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. Soil Science. 93: 39 - 49.
- BATISTA, L.F., 1976. Comunicação particular.
- BERGER, K.C. e E. TRUOG, 1945. Boron availability in relation to soil reaction and organic matter content. Soil Science Society American Proceedings. 10: 113 - 116.
- BIGGAR, J.W. e M. FIREMAN. Boron adsorption and release by Soil., 1960. Soil Science Society American Proceedings. 24: 115 - 120.
- BOWEN, J.E., 1969. Some physiological effects of variable boron and zinc levels on sugar cane. Sugar News. 45: 205 - 208.

- CATANI, R.A., J.C. ALCARDE e F.M. KROLL, 1971. A adsorção de boro pelo solo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 28: 189 - 198.
- COLWELL, W.E., 1943. A biological method for determining the relative B content of soils. Soil Science. 56: 71 - 94.
- COPERSUCAR, 1976. Recomendações de fertilizantes em cana-de-açúcar. Boletim Técnico. 3: 7 - 13.
- CORDEIRO, D.A., V.C. BITENCOURT e L.E. BATISTA, 1976. Calagem e adubação potássica induzindo sintomas de deficiência de boro em cana-de-açúcar. Anais de 28a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência.
- DAVIDSON, I.G., 1965. The effects of lime on yields of sugar cane and sugar on acid soils in Louisiana. Proceedings 20 th Congress of International of Society Sugar cane Technology. Porto Rico. 181 - 187.
- DIBLE, W.T., E. TRUOG e K.C. BERGER, 1954. Boron determination in soils and plants. Analytical Chemistry. 26: 418 - 421.
- ESPIRONELLO, A., 1972. Estudos sobre efeitos do boro na cana-de-açúcar (*Saccharum Sp.*) cultivada em alguns solos do município de Piracicaba. Tese de Doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- _____, M.O.C. do B. SOBRINHO e R.S. de MORAES, 1976. Efeitos do boro na cana-de-açúcar cultivada em vasos contendo solo. Bragantia. 35: 259 - 272.
- FOX, R.N., 1968. The effects of calcium and pH on boron uptake from high concentrations of boron by cotton and alfalfa. Soil Science. 106: 435 - 439.

GALLO, J.R. ALVAREZ e E. ABRAMIDES, 1962. Amostragem em cana-de-açúcar para fins de fertilidade. Bragantia. 21: 899 - 921.

_____, R. HIROC e R. ALVAREZ, 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. Bragantia. 27: 365 - 381.

GUITMARÃES, E., I. DE GASPARI, M. GURGEL e O. ALONSO, 1975. Estudo da influência de 2 tipos de calcário sobre a acidez do solo e produção da cana-de-açúcar, III Seminário COPERSUCAR da Agroindústria Açucareira. Águas de Lindóia.

GUPTA, U.C., 1972. Interactions effects of boron and lime on barley. Soil Science Society American Proceedings. 36: 332 - 334.

HATCHER, J.T. e C.A. BOWER, 1957. Equilibria and dynamics of boron adsorption by soils. Soil Science. 85: 319 - 323.

_____, e M. CLARK, 1967. Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminum and surface area. Soil Science. 104: 422 - 426.

HILL, W.E. e L.G. MORRILL, 1975. Boron, calcium and potassium interactions in Spanish Peanuts. Soil Science Society American Proceedings. 39: 80 - 83.

HOAGLAND, D.R. e D.I. ARNON, 1938. The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley, Univ. California Agric. Exp. Sta. 39p.

HUMBERT, R.P., 1963. The growing of sugar cane. Edited Elsevier Publ. Co. Amsterdam.

HUMBERT, R.P., 1965. Nutrient balance in sugar cane nutrition. The Hawaiian Planters Record. 55: 47 - 54.

_____, R.B. BAHME, E.D. FERNANDES e L.I. THOMPSON, 1970. Overcoming boron and salinity problems in growing sugar cane in the Tambo Valley of Peru. Sugar y Azucar. 65: 32 - 34.

JONES, H.E. e E.D. SCARSETH, 1944. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. Soil Science. 57: 15 - 24.

KAMPRATH, E.J., 1973. Acidez del suelo y encalado. In: Sanches, P. A., Ed. Resumen de las investigaciones edafologicas en la America Latina Tropical. North Carolina Agricultural Experiment station Technical. Bulletin n° 219.p. 137 - 150.

LANDRAU JR, P. e G. SAMUELS, 1956. Results of lime and minor element fertilizer research in Puerto Rico, 1949 - 50. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. 40: 224 - 234.

LAROCHE, F.A., 1966. A calagem em solos tropicais de clima úmido. Fitotecnia Latinoamericana. 3: 83 - 97.

MIDGLEY, A.R. e D.E. DUNKLEE, 1939. The effect of lime on the fixation of borates in soils. Soil Science Society American Proceedings. 4: 302 - 307.

NAFTEL, J.A., 1937. The influence of excessive liming on boron deficiency in soils. Soil Science Society American Proceedings. 2: 383 - 384.

OKAZAKI, e; e T.T. CHAO, 1968. Boron adsorption and desorption by some hawaiian soils. Soil Science. 105: 255 - 259.

- OLSON, R.V. e K.C. BERGER, 1946. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content and others factores. Soil Science Society American Proceedings. 11: 216 - 226.
- PARKS, R.Q. e B.T. SHAW, 1941. Possible mechanisms of boron fixation in soil: I. chemical. Soil Science Society American Proceedings. 6: 219 - 223.
- PARKS, W.L. e J.L. WHITE, 1952. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations. Soil Science Society American Proceedings. 16: 298 - 300.
- PETERSON, L.A. e R.C. NEWMAN, 1976. Influence of soil pH on the availability of added boron. Soil Science Society American Journal. 40: 280 - 282.
- PRASAD, M. e E. DYRNE, 1976. Boron source and lime effects on the yield of three crops grown in peat. Agronomy Journal. 67: 553 - 556.
- RHOADS, J.O., R.D. INGVALSON e J.T. HATCHER, 1970. Adsorption of boron by ferromagnesian minerals and magnesium hydroxide. Soil Science Society American Proceedings. 34: 938 - 941.
- RIBEIRO, A.C., 1974. Adsorção de boro pelo solo. Dissertação apresentada a Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do grau de "Magister Scientiae".
- SCHALSCHA, E.B., F.T. BINGMAM, G.G. GALINDO e H.P. GALVAN. 1973. Boron adsorption by volcanic ash soils in southern Chile. Soil Science. 116: 70 - 76.

SCOTT, H.D., S.D. BEASLEY e L.F. THOMPSON, 1975. Effect of lime on boron transport to and uptake cotton. Soil Science Society American Proceedings. 39: 1116 - 1121.

SHUMWAY, J.S. e J.P. JONES, 1972. Boron sorption isotherm: A method to estimate boron fertilizer requirement. Comm. in Soil Science and Plant Analysis. 3: 477 - 485.

SIMS, J.R. e F.T. BINGHAM, 1968. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: II. Sesquioxides. Soil Science Society American Proceedings. 32: 364 - 369.

SULAIMAN, W. e B.D. KAY, 1972. Measurement of the diffusion coefficient of boron in soil using a single cell technique. Soil Science Society American Proceedings. 36: 746 - 752.

TISDALE, S.L. e W.L. NELSON, 1958. Soil fertility and fertilizers. Copyright the Macmillan Company. Printed in the United States of America.

VENEMA, K.C.W., 1961. Some notes on pH lime Status on lime requirements and liming of sub-tropical and tropical Soils. Potash Rev. August. 1 - 13.

WUTKE, A.C.P., R. ALVAREZ, H. GARGATINI e H.V. ARRUDA, 1960. Restauração do solo para a cultura da cana-de-açúcar. II Período, 1956 - 58. Bragantia. 19: 675 - 687.

_____, 1968. Restauração do solo para a cultura da cana-de-açúcar. III Período, 1958 - 61 e considerações gerais. Bragantia. 27: 201 - 217.