**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DE UMA
TOPOSSEQUÊNCIA INFLUENCIANDO O DESENVOLVIMENTO
RADICULAR E O RENDIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR
(*Saccharum* spp L.)**

JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **GODOFREDO CESAR VITTI**

**Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura “Luiz de Queiroz”,
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de Concentra-
ção: Solos e Nutrição de Plantas.**

**PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO
dezembro 1995**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Favarin, José Laércio

Atributos químicos e físicos de solos de uma topossequência in
fluenciando o desenvolvimento radicular e o rendimento da cana-de-
açúcar (*Saccharum spp* L.). Piracicaba, 1995.

98p. ilus.

Tese - ESALQ.

Bibliografia.

1. Alumínio em cana-de-açúcar - Toxidez 2. Calagem 3. Cana-de-açúcar
Efeito da calagem 4. Cana-de-açúcar - Raiz - Desenvolvimento 5. Cana-de-
açúcar - Rendimento 6. Solo - Propriedade físico-química I. Escola Superior
de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.61

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DE UMA
TOPOSSEQUÊNCIA INFLUENCIANDO O DESENVOLVIMENTO
RADICULAR E O RENDIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR
(*Saccharum spp* L.)**

JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN

Aprovada em: 20/12/1995.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti	ESALQ/USP
Prof. Dr. Antonio Luiz Fancelli	ESALQ/USP
Prof. Dr. Jairo Antonio Mazza	ESALQ/USP
Prof. Dr. José Carlos Rolim	CCA/UFSCar
Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz	FZEA/USP

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti
Orientador

Aos meus pais

Ovídio e Cecília,

por terem indicado um caminho seguro na vida

OFEREÇO

Aos meus queridos filhos *Junior e Felipe*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À DEUS, o *Grande Arquiteto* de nossas vidas.

Ao Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti, pela orientação dispensada no presente trabalho.

À Universidade de São Paulo (USP), à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), e ao Departamento de Agricultura pela oportunidade de realização do Curso de Pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Leonel Libardi, pelo apoio e auxílio prestados nas várias etapas do trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Agricultura, em especial, ao Hodair, Marcelo, Adriana, Lucia, Osmair e Jair, pela compreensão e auxílio com os seus conhecimentos.

Ao colega Oscar pelo imprescindível auxílio e informações prestadas.

Aos senhores professores, membros da Comissão Julgadora, pelas críticas e sugestões apresentadas.

Finalmente, a todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a consecução do objetivo final.

*Pedras raras, preciosas
Brilham mais se lapidadas.
Também as almas
Fulgem mais se torturadas. (...., 1979)*

*As emoções e lembranças terrenas
estão conosco sempre, em todos os
lugares, nunca em lugar nenhum;
por isso estão constantemente presentes
sem nunca serem realmente encontradas. (...., 1988)*

*A vida é dar e receber.
Dar o que pode sem cobrança.
E quando errar sem perceber
mantenha firme a esperança. (...., 1979)*

*Múltiplos são os cursos d'água
que formam os caudalosos rios.
Assim, também na vida, muitos são
os eventos que tecem a trama de
nossa existência. (...., 1980)*

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vii
SUMMARY.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Localização e descrição da área experimental.....	15
3.2. Caracterização e classificação dos solos da topossequência.....	23
3.3. Delineamento Experimental e Tratamentos utilizados.....	25
3.4. Instalação e condução do experimento.....	29
3.5 Parâmetros avaliados.....	31
3.5.1. Rendimento agrícola (colmos, t/ha).....	31
3.5.2. Determinação do peso da matéria seca de raízes.....	32
3.5.3. Atributos químicos do solo.....	33
3.5.4. Atributo físico do solo.....	33

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1.Atributos químicos do solo.....	37
4.1.1 Índice pH CaCl_2	37
4.1.2 Íon Sulfato.....	44
4.1.3. Cálcio.....	49
4.1.4. Magnésio.....	54
4.1.5. Saturação por bases.....	60
4.1.6. Saturação por alumínio e desenvolvimento de raízes.....	66
4.2. Atributo Físico do solo.....	72
4.2.1. Teor de água disponível e distribuição de raízes.....	72
4.3. Rendimento agrícola.....	83
5. CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DE UMA
TOPOSSEQUÊNCIA INFLUENCIANDO O DESENVOLVIMENTO
RADICULAR E O RENDIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp L.)**

Autor: José Laércio Favarin

Orientador: Godofredo Cesar Vitti

RESUMO:

Com a finalidade de avaliar as influências de atributos químicos e físicos de solos de uma topossequência, particularmente do alumínio, sobre o rendimento agrícola da cana-de-açúcar, o desenvolvimento das raízes, e o teor de água disponível do solo, foi instalado um experimento na fazenda Areão, município de Piracicaba, São Paulo.

Na topossequência constituída de solos álicos no topo, Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico (PEL); distróficos na meia-encosta, Terra Roxa Estruturada distrófica (TRd); e eutróficos no fim-de-encosta, Terra Roxa Estruturada eutrófica (TRe), onde foram implantados três tratamentos: testemunha, calcário e calcário combinado com gesso, exceto no solo TRe.

A dose de calcário usada foi calculada visando elevar a saturação por bases (V%) a 60%, utilizando uma dose igual de gesso para os tratamentos onde eram

aplicados os dois insumos. O uso do gesso tinha como objetivo promover alterações nos atributos químicos do solo, por isso o critério de aplicar a mesma dose que o calcário.

A análise e interpretação dos resultados do experimento permitiram concluir que o efeito do calcário e do gesso, no rendimento da cultura da cana-de-açúcar, é função do teor de cátions básicos contidos no solo. A consideração do teor de alumínio, isoladamente, não é suficiente para determinar menor desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar; bem como ficou caracterizado que a maior quantidade de raízes não promoveu maior rendimento agrícola.

**INFLUENCE OF THE SOILS CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF
A TOPOSEQUENCE ON THE ROOT DEVELOPMENT AND THE
SUGARCANE (*Saccharum spp L.*) PRODUCTIVITY**

Author: José Laércio Favarin

Adviser: Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti

SUMMARY

An experiment was conducted at the Agricultural Research Station of the University of São Paulo in Piracicaba, in order to evaluate the influence of soil chemical and physical attributes of a toposequence, particularly aluminium, on the productivity and root development of sugarcane and soil water content.

The toposequence presents aluminium saturated soils on the summit, Rhodic Kandiudox; dystrophic soils on the backslope, Rhodic Kandiudox and eutrophic soils on the footslope, Kandiudalfic Eutradox. On it three treatments were implanted: control, lime and lime plus phosphogypsum, except on the Kandiudalfic Eutradox. The lime dosis that was used was calculated to elevate the base saturation up to 60% using the same dosis of phosphogypsum for the treatments where both were applied. The objective of the use of phosphogypsum was to promote the modification of the soil's chemical attributes, so that is why the same dosis of lime was used.

The analysis and interpretation of the results allowed us to conclude that the effect of lime and phosphogypsum on the productivity of sugarcane, is related to the basic cations tenor in the soil. Taking into consideration only the aluminium content, it is not sufficient to determine a lower sugarcane root development; it also remained clear that a higher quantity of roots didn't promote a higher productivity.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar, como qualquer outra, viabiliza sua participação no processo produtivo agrícola através do seu germoplasma ou potencial genético, o qual está na dependência dos demais componentes envolvidos no processo.

O ambiente, através do clima e do solo, e o manejo adotado interagem com o potencial genético da planta condicionando a expressão do mesmo, estimado comumente pelo rendimento agrícola.

Em relação ao clima, um dos elementos de grande importância é a precipitação pluvial, sendo que na maior parte das regiões agrícolas brasileiras existem duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. A ocorrência do período seco na região sudeste e centro-oeste é muito importante, particularmente para a cana-de-açúcar, pois a baixa umidade favorece maior acúmulo de sacarose, entretanto, a ocorrência de deficiência hídrica podem também afetar a sua brotação.

A ocorrência de veranicos, e a ausência de precipitação na estação chuvosa, comum naquelas regiões, é prejudicial à maioria das culturas, pois compromete

o seu desenvolvimento. Nestas condições, o acúmulo de matéria seca é afetado, devido a diminuição na taxa fotossintética. Portanto, o veranico poderá se constituir num fator limitante à agricultura, se não houver uma alternativa à menor oferta de água no período.

Ressalte-se que esse fato tem seus efeitos ampliados quando o mesmo é geralmente combinado com a pequena capacidade de armazenamento de água dos diferentes tipos de solos.

Nestas condições a agricultura é submetida aos riscos inerentes ao clima, representado pelos veranicos, e inerentes ao solo, pela limitação dos mesmos quanto a disponibilidade de água. Uma alternativa para sua compensação seria o aumento da quantidade de raízes, em profundidade, explorando maior volume de solo.

Como a agricultura depende fundamentalmente da interação entre os componentes solo x planta x clima, particularmente do binômio solo x raízes, as alterações no arranjo estrutural que diminuam a sua porosidade, afetarão diretamente o desenvolvimento das raízes, as trocas gasosas, a taxa de infiltração e a quantidade de água disponível.

É frequentemente abordado que, nos solos ácidos, a presença de alumínio livre em níveis tóxicos e a deficiência de cálcio são fatores que também interferem no binômio solo x raízes, pois prejudicam o desenvolvimento das mesmas, estressam a cultura e comprometem a expressão do seu potencial.

O crescimento e a eficiência das raízes das plantas nos horizontes subsuperficiais são frequentemente prejudicados devido a sua sensibilidade à toxidez por alumínio, cuja ação é direta nas raízes, podendo levar até a sua morte. A importância do alumínio afetando a produção agrícola é tão acentuada que o mesmo foi, e ainda é, para algumas regiões, critério para a recomendação de calcário.

As considerações feitas representam impedimentos à expressão do potencial da cultura e, conseqüentemente, à produção agrícola, particularmente durante os períodos de estiagens ou veranicos, quando a água disponível na camada arável é

reduzida pela elevada evapotranspiração, combinada com a baixa retenção pelo solo. É comum, na literatura, afirmações que o alumínio afeta as culturas, entretanto há controvérsias sobre sua ação fitotóxica para a cultura da cana-de-açúcar.

Assim, este projeto de pesquisa propõe avaliar as influências dos atributos químicos e físicos de solos de uma topossequência, com especial atenção o alumínio, sobre o desenvolvimento radicular e o rendimento da cultura de cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A cultura da cana-de-açúcar é cultivada aproximadamente em 4 milhões de hectares (ROLIM, 1995), os quais estão distribuídos nas diferentes regiões brasileiras, estando em uma grande variabilidade de solos. Nas últimos anos, particularmente na década de 70, com a criação do PROÁLCOOL, a fronteira agrícola avançou em direção às terras de cerrado, "que até há 20 anos atrás eram consideradas marginais para a agricultura" (LOPES & GUILHERME, 1991).

Independente da cultura é inquestionável que a sua economicidade é bastante afetada pelos atributos químicos dos solos, principalmente daqueles recém ocupados, sabidamente de baixa fertilidade, considerando que a produtividade das novas variedades de cana-de-açúcar, ricas em sacarose, são muito exigentes (IAA/PLANALSUCAR 1982 e 1983).

O Brasil apresenta extensas áreas de solos ácidos onde a presença do alumínio, em níveis tóxicos, nos horizontes subsuperficiais, é responsável pelo baixo rendimento agrícola (OLMOS & CAMARGO, 1976).

Os efeitos mais típicos da fitotoxicidade do alumínio ocorrem nas raízes, com inibição da elongação do eixo principal, ficando as raízes engrossadas, de coloração castanha, quebradiças e, ocasionalmente, com manchas necróticas. Nas plantas afetadas pelo alumínio há emissão de raízes próximas ao ponto de crescimento da raiz principal e inibição do crescimento de raízes laterais. O sistema radicular é desprovido de raízes finas, e apresenta reduzido tamanho (FOY, 1984 e MALAVOLTA et al. 1989).

Segundo WIERSUM (1961) uma planta possui milhões de raízes explorando menos de 5% do volume do solo, sendo que destas, apenas uma pequena parte consegue absorver água e nutrientes (RUSSEL, 1961). Daí a necessidade de garantir condições favoráveis ao seu pleno desenvolvimento e exploração do solo em toda sua extensão.

A importância das raízes, na exploração de maior volume de solo, fica evidenciada através das unidades como: mm de água/cm de solo, e $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ de solo para os nutrientes, revelando que ambos dependem do volume considerado.

A importância do crescimento radicular e sua relação com o rendimento da cultura é há muito conhecida (PHILLIPS & KIRKHAM, 1962), e a falta de nutrientes em profundidade ou o elevado teor de alumínio podem atuar como barreiras de natureza química, bloqueando o desenvolvimento radicular. Tal fato é responsável, pelo pequeno volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas, influenciando negativamente na produtividade das culturas em geral.

Muitos pesquisadores concluíram que há relação entre o desenvolvimento da parte aérea e o sistema radicular, e que se houver comprometimento no crescimento das raízes, a absorção de água e nutrientes poderão ser prejudicadas e, obviamente, a parte aérea também (BARDER & SILBERBUSH, 1984). Alguns fisiologistas afirmam existir um certo controle hormonal do tipo “feed-back”, entre o sistema radicular e a parte aérea do vegetal, conforme citado por BOHM (1979).

O desenvolvimento radicular nos solos ácidos é deficiente não só pela toxicidade do alumínio, mas também, pelos baixos teores de cálcio e fósforo. Quando o teor de cálcio é muito baixo poderá, inclusive, ocorrer morte das raízes (HAYNES & ROBBINS, 1948). Nos estudos de RITCHEY et al. (1981 e 1983) os autores associaram a deficiência de cálcio com a dificuldade de enraizamento das plantas nas camadas mais profundas do solo.

RITCHEY et al. (1981) detectaram nos solos com alta saturação por alumínio, ou baixo teor de cálcio, que as raízes se concentram na camada superficial, e que há uma correlação positiva entre o teor de cálcio no solo e o crescimento radicular. Assim, em um Latossolo Vermelho Amarelo, com saturação de alumínio praticamente nula, na camada de 50-60 cm de profundidade, foi a falta de cálcio o fator determinante do pequeno desenvolvimento radicular nesta região. Todavia, os resultados obtidos por CAMARGO (1984 e 1987) contradizem tais afirmações, pois, segundo o autor, existe dificuldade para se afirmar que o cálcio apresenta efeito direto no crescimento radicular, uma vez que a atividade de alumínio também diminui, acompanhando o aumento da atividade de cálcio no solo.

As adições de cálcio e magnésio em substratos contendo alumínio, podem inibir os efeitos negativos do mesmo no crescimento das raízes (KINRAIDE & PARKER 1987). É, portanto, difícil, afirmar que o cálcio ocasiona melhorias no desenvolvimento das raízes, pois a atividade do alumínio diminui acompanhando os aumentos na atividade desse nutriente. Adições crescentes desse cátion promoveram significativos aumentos na força iônica da solução, devendo ser essa a principal causa da diminuição da atividade do alumínio e, obviamente, da sua ação fitotóxica.

Para PAVAN (1981), BERTON (1989), CAMARGO & FURLANI (1989) e FURLANI & BERTON (1992), o aparecimento de sintomas de fitotoxicidade de alumínio nem sempre está correlacionado com a sua concentração crítica. Só o nível de alumínio não é responsável pelo estresse à cultura; outros fatores como o pH;

formação de precipitados insolúveis; efeitos protetores de outros íons; força iônica da solução; presença de quelatos e genótipo vegetal, podem também atuar modificando a resposta da planta ao mesmo.

A cana-de-açúcar foi considerada tolerante à acidez (SCHMEHL & HUMBERT, 1964 e CORDEIRO, 1978); entretanto, são relatados ganhos de rendimento pela calagem, a qual além do fornecimento de cálcio, magnésio e do aumento na disponibilidade de outros nutrientes (MARINHO & ALBUQUERQUE, 1983), promove também a insolubilização do alumínio.

SAMUELS (1969) relata que para a cana-de-açúcar, o alumínio promove danos nas raízes que acabam afetando sua capacidade de absorção e, de acordo com KAMPRATH & FOY (1971), o alumínio afeta também a absorção de magnésio devido ao antagonismo que se verifica entre ambos, evidenciando-se assim, mais um aspecto negativo que se soma ao efeito tóxico desse elemento.

Segundo os autores (WUTKE et al. 1960; WUTKE & ALVAREZ, 1968; GUIMARÃES et al. 1975 e COPERSUCAR, 1977), a cana-de-açúcar responde mais ao fornecimento de cálcio e ou magnésio que a neutralização da acidez e a eliminação do alumínio. Essa constatação não deve, entretanto, ser considerada de aplicação geral, pois. VIANA et al. (1983) encontraram grande variação entre os cultivares de cana-de-açúcar quanto a sua tolerância à acidez. Além disso, AZEVEDO et al. (1981) afirmaram que somente nos solos onde os teores de cálcio e ou de magnésio fossem insuficientes para atender as necessidades de cana-de-açúcar, independentes do teor de alumínio dos mesmos, haveria possibilidades de se obter resultados com a calagem. Para os mesmos autores esses níveis seriam inferiores a 8mmol_c de cálcio/ dm^3 de solo e inferiores a 6mmol_c de magnésio/ dm^3 de solo.

A influência do cálcio (RITCHEY et al. 1980, 1981, 1983; RIOS & PEARSON, 1964; HAYNES & ROBBINS, 1948), e do alumínio (ADAMS & LUND, 1966; MARTINS & EVANS, 1964 e PAVAN & BINGHAM, 1982), sobre o

desenvolvimento do sistema radicular são conhecidas e responsáveis, em parte, pelo menor rendimento da cultura (OLMOS & CAMARGO, 1976) inclusive, pelo maior risco que a atividade agrícola é submetida quando ocorrem períodos de seca prolongada.

É inquestionável a dependência da agricultura em relação clima (ORTOLANI & CAMARGO, 1987), sendo o estresse hídrico fator limitante da produção agrícola, devido à participação efetiva da água em todas as reações metabólicas que ocorrem no interior das plantas, particularmente, a fotossíntese, que é sensivelmente afetada pelo estresse hídrico, demandando algum tempo para retornar a taxa normal, mesmo com o reumedecimento do solo próximo à capacidade de campo.

Considerando a realidade brasileira quanto à ocorrência do veranico, bem como a baixa capacidade do solo em armazenamento de água, frequentemente inferior a 1,0mm/cm de solo (RANZANI, 1971), torna imprescindível uma maior eficiência no aproveitamento da água, permitindo às raízes a exploração do solo em toda sua plenitude.

É muito comum na literatura citações afirmando que as culturas sensíveis, que se desenvolvem em solos ácidos, não aproveitam eficientemente a água e os nutrientes das camadas subsuperficiais (PAVAN & VOLKWEISS, 1986), devido ao não estabelecimento de raízes nesse ambiente, comprometendo a reciclagem dos mesmos.

O alumínio atua essencialmente sobre as raízes modificando sua anatomia, interferindo nas reações, e alterando a absorção e o transporte de água bem como de nutrientes (FOY, 1966 e 1992), reduzindo os níveis encontrados nas plantas (FOY et al. 1978; MUGWIRA, 1980; CALBO & CAMBRAIA, 1980). Pequenas quantidades de alumínio poderão inibir a elongação das raízes em poucos dias (WAGATSUMA et al. 1987). Com o crescimento limitado das raízes, a absorção de água e nutrientes serão menores, afetando o rendimento das culturas, principalmente nos solos com pouca umidade e de baixa fertilidade; pois, este elemento afeta a estrutura da membrana plasmática alterando sua permeabilidade (CAMBRAIA, 1989).

Segundo ALAM & ADAMS (1979), a toxicidade do alumínio em aveia afeta o seu crescimento devido ao desenvolvimento anormal das suas raízes, as quais apresentam pequenas ramificações, restringindo a utilização dos diversos nutrientes pela culturas.

Os resultados obtidos por ZAMBELLO JUNIOR & ORLANDO FILHO (1981) são semelhantes àqueles encontrados por MARINHO & ARAÚJO FILHO (1981) e MARINHO et al. (1981), os quais indicam que 40% de saturação com alumínio corresponde a 90% da produção relativa. Valor idêntico foi encontrado por KOFFLER & DONZELLI (1987), onde a saturação de alumínio (m%) foi limitante para a cultura da cana-de-açúcar a partir de 43%.

Entretanto, na região dos cerrados, no Brasil Central, RODELLA et al. (1984) obtiveram como níveis críticos, a partir do qual não havia resposta da cana-de-açúcar, os seguintes valores: $6,5 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ de solo de cálcio 1,7 a $3,45 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ de solo de magnésio; e 25% para saturação de alumínio.

Com relação ao peso de raízes, BILSKI & FOY (1987) verificou que ocorria uma redução de 30% no peso de raízes de aveia, 65% para o trigo e 85% para a cevada, quando a concentração de alumínio da solução aumentava de 0 para 7ppm.

Frequentemente é relatada influência do alumínio sobre o peso das raízes as quais ficam curtas e grossas. Tal ocorrência poderá, dentro de limites, compensar o peso das mesmas influenciando a avaliação da sua ação sobre as plantas. De acordo com o trabalho desenvolvido por LANDELL (1989), o comprimento total da raiz foi mais sensível para determinar o efeito tóxico do alumínio, seguido do peso da matéria seca de raízes e, finalmente do peso da parte aérea.

De acordo com ZOTARELLI (1992) a diminuição do teor de alumínio em profundidade foi acompanhado pelo aumento das bases trocáveis e do sistema radicular, bem como do incremento no rendimento da cana-de-açúcar.

RITCHEY et al. (1980) verificaram que o gesso contido no superfosfato simples diminuiu a saturação de alumínio até 90cm de profundidade, permitindo o desenvolvimento das raízes de milho nesta região, o que representou maior absorção de água e resistência à seca pela cultura.

Efeito semelhante foi constatado por DURING & COOPER (1974) em solo rico em alofanos e com alta capacidade de retenção de sulfatos. Nesta condição, a aplicação de gesso resultou na maior resistência do trevo à baixa umidade em um verão muito seco.

Os trabalhos desenvolvidos por PAVAN & VOLKWEISS (1986), BORKERT et al. (1987), COUTO et al. (1979) e COSTA (1980), relatam que quanto maior o pH da solução do solo, menor é a sua capacidade de retenção do íon sulfato. De acordo com COSTA (1980) as quantidades retidas variam conforme o horizonte, sendo 0,2 a 0,9mg de $S-SO_4^{-2}/dm^3$ de solo e de 0,6 a 1,3mg de $S-SO_4^{-2}/dm^3$ de solo, nos horizontes Ap e B, respectivamente.

RITCHEY et al. (1980), utilizando várias fontes de cálcio ($CaCl_2$, $CaSO_4$ e $CaCO_3$), observaram que a movimentação do sulfato no perfil do solo foi mais eficiente no transporte de cálcio até 60cm de profundidade, sem, entretanto, proporcionar uma movimentação excessiva como ocorreu com o cloreto. Considerando que existe a complexação do alumínio pelo sulfato, o aumento de cálcio em profundidade, favorecerá o enraizamento nesta região.

DAL BÓ (1985) realizou um trabalho analisando também diferentes fontes de cálcio ($CaCO_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ e $CaCl_2$), e não observou movimentação de cálcio no perfil quando foi utilizado o calcário ($CaCO_3$). Contudo o uso do gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) proporcionou maior movimentação do mesmo, quando comparado ao carbonato ($CaCO_3$) e menor, quando se usou o cloreto de cálcio ($CaCl_2$). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por RITCHEY et al. 1980. Entretanto, segundo DAL BÓ (1985), apesar de haver sensível redução na saturação de alumínio em

profundidade, tal elemento, não se constituiu em obstáculo ao aprofundamento das raízes das variedades de cana-de-açúcar NA-5679 e CP 51-22.

A presença de íons sulfato (SO_4^{2-}), na solução de solos contendo alumínio é reconhecido como uma forma de diminuir a atividade do alumínio tóxico, pois sua adição aumenta a força iônica, diminuindo as concentrações do Al^{3+} e de $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, aumentando a concentração de $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$, forma não tóxica aos vegetais, que nos estudos de PAVAN et. al. (1987) representou 48% do alumínio total.

MORELLI et al. (1987), constataram que a baixa produção da cana-de-açúcar era consequência do pouco enraizamento em profundidade, pois, nas áreas com melhor desenvolvimento radicular obtiveram diferenças de até 16 t/ha de colmo e as amostragens de raízes, 27 meses após a aplicação dos insumos, revelaram maior quantidade das mesmas neste ambiente. Ainda, verificou-se que a ação do calcário é mais efetiva na camada arável, onde atuam os implementos convencionais de preparo do solo para a cana-de-açúcar, como as grades aradora e niveladora. Assim, o uso do gesso é uma alternativa para a diminuição do alumínio em profundidade e para a elevação do teor de cálcio do solo.

A localização do calcário na camada arável, não permite, em curto prazo, corrigir os problemas de baixo pH, baixa CTC, proporções, inadequadas de bases e a alta saturação de alumínio em profundidade. Isto resulta na concentração das raízes na zona corrigida pelo calcário, não se aprofundando, diminuindo a resistência das culturas às estíagens (FERREIRA et al. 1987).

NASCIMENTO et al. (1983) estudando os efeitos da calagem, sobre os atributos químicos do solo, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, 30 dias após a sua aplicação, detectaram que os valores de pH na camada superficial foram significativamente diferentes em função dos tratamentos. Entretanto, na camada de 20-40cm não houve diferença, o mesmo acontecendo com o alumínio, enquanto os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ não diferiram nas duas profundidades.

VARGAS (1989) verificou que o aumento na profundidade de incorporação do calcário promoveu influências positivas na produção da cana-de-açúcar, aumentando o peso das raízes das plantas, melhorando suas qualidades tecnológicas, bem como os atributos químicos do solo.

De acordo com VITTI (1987) e FERREIRA et al. (1987), a associação do gesso com o calcário é uma prática apropriada para a correção dos solos com elevada concentração de alumínio em subsuperfície. Porém, DEMATTÊ (1992), ressalta que os solos onde tem-se obtido resposta ao uso do gesso são aqueles de baixa CTC, distróficos ou mesmo álicos, porém de argila de baixa atividade.

MAZZA (1993) constatou que a utilização de doses elevadas de gesso agrícola melhorou os atributos químicos de um solo Podzólico, entretanto o rendimento agrícola da cana-de-açúcar foi prejudicado. Em um Latossolo, o gesso aumentou o rendimento da cana-de-açúcar no primeiro e segundo cortes, sendo, entretanto, inferior ao uso de calcário quanto ao efeito residual. Tal constatação de certa maneira são concordantes com a afirmação anterior, onde DEMATTÊ (1992) relaciona a resposta ao uso de gesso com a atividade de argila.

Nos estudos de MORELLI et al. (1987) e LORENZETTI et al. (1992) o uso do gesso combinado com calcário melhorou a distribuição do cálcio, do magnésio e das raízes no solo, bem como, aumentou a saturação por bases, reduziu a saturação de alumínio e aumentou o rendimento agrícola. O uso do gesso foi responsável pelo aumento de 10 a 15% na produção, além de proporcionar maior longevidade da soqueira (LORENZETTI et al. 1992), o que pode estar associado ao maior desenvolvimento das raízes.

FERREIRA et al. (1987) durante a renovação do canavial, em um Latossolo Vermelho Amarelo, combinaram a aplicação de calcário dolomítico com gesso incorporado à 20 cm. Como resultado obtiveram a elevação da saturação por bases

até 80 cm de profundidade e a redução da saturação de alumínio de 60% para 1 a 2%; nos primeiros 20cm e de 76% para 24 a 43%, na camada de 50 a 80cm.

Embora a toxidez de alumínio possa limitar o crescimento e o desenvolvimento das plantas nos solos ácidos, tem-se que destacar o comportamento diferencial ao estresse devido à variabilidade genética (FURLANI, 1989).

De acordo com Evans¹, citado por DILLEWIJN (1952), determinadas variedades de cana-de-açúcar produziram bem, mesmo com poucas raízes, enquanto outras variedades apresentaram produções semelhantes apesar do abundante sistema radicular. Evidentemente que, além do fator genético já abordado por FURLANI (1989), outros de natureza ambiental e química atuam de forma diversa em diferentes órgãos da planta.

Para KOFFLER (1986), no Brasil, de um modo geral, as culturas anuais exploram efetivamente cerca de 20cm de solo, chegando a 60cm na cana-de-açúcar. Entretanto, a literatura internacional apresenta valores muito superiores como 50 a 70cm para feijão, 100 a 170cm para o milho e 120 a 200cm para a cana-de-açúcar. Nesse contexto o autor faz a seguinte indagação: "estaria a nossa agricultura apoiada sobre uma situação patológica condicionada por problemas edáficos" ?

Como a cultura canavieira tem-se desenvolvido e ampliado suas fronteiras predominantemente, em solos com baixa saturação por bases, pode-se inferir que o seu rendimento dependerá do manejo do solo. É fundamental a recuperação dos atributos químicos, e que não sejam alterados demasiadamente os atributos físicos, pois poderiam ficar comprometidos os fluxos do ar e da água, e o desenvolvimento das raízes, conseqüentemente, todo o sistema produtivo.

Verifica-se, portanto, que para a cultura da cana-de-açúcar há consenso sobre a importância dos nutrientes como o cálcio e magnésio para o seu rendimento.

¹ EVANS, H. Investigation on the course of growth in a virgin or plant, crop of sugarcane. Sugarcane Res. Sta., Mawritius, 1935, Bull. 7, 36p.

Entretanto, com relação a ação fitotóxica do alumínio, bem como a sua importância para o desenvolvimento radicular e a sua influência no rendimento agrícola da cultura não são conclusivos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e descrição da área experimental

O experimento foi instalado na Fazenda Areão, em área pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo no município de Piracicaba, Estado de São Paulo.

A região de Piracicaba, no Estado de São Paulo, está localizada a 22° 42'30'' de latitude sul, 47°38'0'' de longitude oeste e a 546m de altitude. É uma região caracterizada por apresentar verão quente e úmido, com temperatura média anual de 24,1°C e inverno relativamente seco, onde os meses mais frios são maio, junho e julho, com temperaturas médias de 17,6°C; 16,8°C e 17,2°C, respectivamente. O índice pluviométrico é aproximadamente 1247mm, com a estação seca ocorrendo entre os meses de maio a setembro, sendo o mês de julho, normalmente, o de menor precipitação (26mm).

O regime de umidade do solo é classificado como údico e o regime de temperatura como hipertérmico (OLIVEIRA, et al. 1976).

As características climáticas dessa região, são bastante favoráveis ao desenvolvimento e a produção da cultura da cana-de-açúcar. Segundo a classificação de KÖEPPEN, a região de Piracicaba, no Estado de São Paulo, apresenta o clima do tipo

Cwa, ou seja, clima subtropical, isotérmico, com verão quente e chuvoso e inverno seco, o qual contribui para o enriquecimento em sacarose pela cultura.

Durante o período de duração do experimento de 1993 a 1995, foram realizados os balanços hídricos climatológicos conforme THORNTHWAITE & MATHER (1955), tendo sido adotado 125mm como a capacidade de água disponível, os quais encontram-se representados pelas figuras 1, 2 e 3. Para cada balanço hídrico foram sumarizados os seguintes parâmetros climáticos: temperatura média (T), evapotranspiração potencial (ET_o), precipitação pluvial (P), evapotranspiração real (ET_r), deficiência hídrica (DH) e excedente hídrico (EH), cujos dados estão nas tabelas 1, 2 e 3.

Figura 1. Balanço hídrico climatológico, ano 1993, Piracicaba, São Paulo.
CAD = 125 mm.

Tabela 1. Dados climáticos de Piracicaba, São Paulo, referentes ao balanço hídrico do ano de 1993.Latitude: 22°42’.

mês	T	ET _o	P	ET _r	DH	EH
janeiro	25,3	111,5	179,9	111,5	0,0	68,4
fevereiro	23,8	90,0	232,1	90,0	0,0	142,1
março	24,7	115,7	155,9	115,7	0,0	40,2
abril	23,3	101,7	57,7	94,8	6,9	0,0
maio	19,7	71,1	119,7	71,1	0,0	11,5
junho	18,2	59,2	47,0	58,6	0,6	0,0
julho	19,1	64,3	13,7	51,4	12,8	0,0
agosto	18,4	58,2	51,8	55,6	2,6	0,0
setembro	21,1	76,4	154,4	76,4	0,0	24,9
outubro	23,7	100,8	73,4	98,0	2,8	0,0
novembro	25,3	109,5	91,6	105,0	4,5	0,0
dezembro	24,8	104,5	146,4	104,5	0,0	3,9
ano	22,3	1063,0	1323,6	1032,7	30,3	290,9

Figura 2. Balanço hídrico climatológico, ano 1994, Piracicaba, São Paulo.
CAD = 125 mm.

Tabela 2. Dados climáticos de Piracicaba, São Paulo, referentes ao balanço hídrico do ano de 1994. Latitude: 22°42'.

mês	T	ET _o	P	ET _r	DH	EH
janeiro	24,8	105,2	134,8	105,2	0,0	29,6
fevereiro	26,6	120,1	154,4	120,1	0,0	34,3
março	24,1	107,6	222,7	107,6	0,0	115,1
abril	22,8	94,7	114,9	94,7	0,0	20,2
maio	20,9	80,8	56,2	78,5	2,3	0,0
junho	17,6	51,9	36,7	48,5	3,5	0,0
julho	18,8	59,4	24,7	46,8	12,7	0,0
agosto	19,7	67,3	0,0	28,7	38,6	0,0
setembro	22,3	86,6	0,5	20,5	66,1	0,0
outubro	25,3	118,8	126,8	118,8	0,0	0,0
novembro	24,6	101,1	249,2	101,1	0,0	51,3
dezembro	25,8	115,5	260,8	115,5	0,0	145,3
ano	22,8	1109,0	1381,7	985,9	123,1	395,8

Figura 3. Balanço hídrico climatológico, ano 1995, Piracicaba, São Paulo.
CAD = 125 mm.

Tabela 3. Dados climáticos de Piracicaba, São Paulo, referentes ao balanço hídrico do ano de 1995. Latitude: 22°42'.

mês	T	ET_o	P	ET_r	DH	EH
janeiro	26,2	122,0	197,3	122,0	0,0	75,3
fevereiro	25,0	102,0	415,6	102,0	0,0	313,6
março	24,5	113,0	194,6	113,0	0,0	81,6
abril	22,6	93,4	85,7	93,2	0,2	0,0
maio	19,8	71,1	64,2	70,6	0,6	0,0
junho	18,7	62,6	23,5	53,3	9,2	0,0
julho	19,8	69,7	59,1	65,7	4,0	0,0
agosto	21,7	88,4	1,2	38,7	49,7	0,0
setembro	21,5	79,5	37,6	48,2	31,3	0,0
outubro	22,1	83,5	190,2	83,5	0,0	8,3
novembro	23,7	92,1	156,3	92,1	0,0	64,2
dezembro	24,5	100,9	222,2	100,9	0,0	121,3
ano	22,5	1078,3	1647,5	983,3	95,1	664,2

3.2. Caracterização e classificação dos solos da topossequência

Os experimentos foram instalados em uma topossequência ocupando as seguintes posições no relevo: topo (1), meia encosta (2) e fim-de-encosta (3), cujos solos são classificados respectivamente como Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico álico (PEL), Terra Roxa Estruturada distrófica (TRd) e Terra Roxa Estruturada eutrófica (TRe), cujas características químicas e físicas constam das tabelas 4 e 5. A distância entre a posição topo (1) e a meia encosta (2) é de aproximadamente 150 m e desta para o fim-de-encosta (3) ao redor de 250 m.

A figura 4 indica a localização dos experimentos e dos respectivos solos de cada local na topossequência.

Figura 4. Disposição dos experimentos na topossequência.

Tabela 4. Atributos químicos originais dos solos da topossequência, dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3).

Posição	Prof.	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S	T	V	m
(cm)		CaCl ₂	g/kg	mg/dm ³									
mmol _c /dm ³													
%													
1	0-25	4,1	28	16	1,9	25	17	98	12	44	142	31	21
	25-50	3,7	19	6	0,5	5	2	166	34	8	174	5	81
	50-75	3,5	16	6	0,4	5	1	185	32	6	191	3	84
2	0-25	4,5	26	11	3,2	31	14	64	6	48	112	43	11
	25-50	4,4	17	4	0,8	22	7	42	5	30	72	42	14
	50-75	4,8	14	3	0,6	20	8	34	2	29	63	46	6
3	0-25	4,9	25	23	3,9	72	13	52	2	89	141	63	2
	25-50	5,0	16	21	1,4	84	13	47	1	98	145	68	1
	50-75	5,0	16	26	1,1	69	11	34	0	81	115	70	0
1 = topo ;					2 = meia-encosta;					3 = fim-de-encosta			

Tabela 5. Granulometria e densidade aparente dos solos da topossequência relativo a área do experimento.

Local	Prof. (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Dens.(g/cm ³)*
Topo (1)	0 -25	18	13	69	1,18
	25-50	20	10	70	1,18
	50-75	13	11	76	1,04
Meia encosta (2)	0 -25	4	21	75	1,44
	25-50	4	15	81	1,37
	50-75	2	10	88	1,27
Fim de encosta (3)	0 -25	22	19	59	1,48
	25-50	18	17	65	1,38
	50-75	19	15	60	1,29

(*) determinado no último ano do experimento

3. 3. Delineamento Experimental e Tratamentos utilizados

De acordo com o objetivo do projeto de pesquisa, visando a avaliação dos atributos químicos e físicos de solos de uma topossequência, sobre o desenvolvimento radicular e o rendimento da cultura da cana-de-açúcar, foi instalado o presente experimento constituído de 3 tratamentos e 5 repetições para o local topo (1) e meia-encosta (2), sendo adotado: testemunha (A), calcário (B), e calcário combinado com gesso (C). No local fim-de-encosta (3), havia apenas a testemunha (A) com o mesmo número de repetições, pois, o teor de alumínio do solo era muito baixo (tabela 4).

Os dados obtidos dos tratamentos referentes aos atributos químicos do solo e o rendimento agrícola foram analisados segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso para cada posição da topossequência, considerando apenas os locais topo e meia-encosta, onde havia todos os tratamentos, com as 5 repetições, totalizando

15 parcelas para cada local. A posição fim-de-encosta , também foi constituída por 5 repetições apenas do tratamento testemunha (3A), devido às excelentes características químicas do solo local, totalizando apenas 5 parcelas, não sendo possível a sua análise estatística.

Para verificar a significância estatística entre os tratamentos para cada posição da topossequência ,exceto no fim-de-encosta, foi considerado o teste F e, para a comparação das médias dos tratamentos, utilizou-se o teste de TUKEY, ao nível de 5% de probabilidade.

Causas de variação	Graus de liberdade
Blocos	4
Tratamentos	2
Resíduo	8
Total	14

Com relação às raízes os tratamentos foram analisados em blocos casualizados e em parcelas inteiramente casualizadas, para cada posição da topossequência, exceto para a posição fim-de-encosta, pelos motivos já expostos anteriormente.

Causas de variação	Graus de liberdade
Tratamentos	2
Resíduo	33
Total	35

Da mesma maneira a significância estatística entre os tratamentos, foi realizada considerando o teste F, e para a comparação das médias dos tratamentos, utilizou-se o teste de TUKEY, ao nível de 5% de probabilidade.

Cada parcela experimental foi constituída por 7 linhas de cana-de-açúcar de 10m de comprimento, espaçadas de 1,40m entre as mesmas, perfazendo uma área total de 98m². As 5 linhas centrais representaram a área útil da parcela equivalendo a 70m², onde foram avaliadas: (a) atributos químicos do solo; (b) atributo físico do solo; (c) peso da matéria seca de raízes; e (d) rendimento agrícola (colmo, t/ha).

As características físico-químicas dos insumos utilizados, como o calcário e o gesso agrícola, estão resumidas na tabela 6, onde são indicados os teores percentuais de CaO, MgO, S, PN (poder de neutralização), PRNT (poder relativo de neutralização total) e a umidade.

Tabela 6. Teores percentuais de CaO, MgO, S, PN e PRNT e umidade dos insumos utilizados no presente experimento.

Insumos	CaO	MgO	S	Umidade	PN	PRNT
	%					
Calcário	24,6	22,6	-	-	90,5	68,3
Gesso	28,0	-	15,9	33,3	-	-

A representação dos tratamentos foram realizadas utilizando números para cada posição da topossequência, como: topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3); seguido de uma letra maiúscula para designar o tratamento propriamente dito. Assim, o local topo da topossequência apresentava os seguintes tratamentos: 1A (testemunha), 1B (calcário) e 1C (calcário combinado com gesso agrícola).

A necessidade de calcário foi calculada pelo método da elevação da saturação por bases a 60% (RAIJ,1991), utilizando calcário com 68,3 % de PRNT (tabela 6); e o fator 1,25 para a correção da profundidade, foi adotado considerando que o cálculo foi realizado com os dados originais de solo obtidos na profundidade de 0-25cm (tabela 4).

Portanto, como consequência das características do solo no local topo, as parcelas referente ao tratamento onde foi aplicado calcário (1B), receberam uma dose de 7,5 t/ha de calcário, e para o tratamento (1C) além desta dose de calcário foi complementado com uma dose igual de gesso agrícola. A dose de gesso utilizada tinha como objetivo promover alterações nos atributos químicos do solo, por isso adotou-se o critério de aplicar a mesma dose que o calcário.

O calcário por se tratar de um corretivo de superfície, principalmente quando incorporado com grade aradora, como foi realizado neste experimento, foi utilizado uma dose de gesso igual, com o intuito de corrigir principalmente o alumínio em subsuperfície, tendo sido ambos incorporados concomitantemente com grade aradora. Assim o tratamento que combinou calcário com gesso foi adotado para obter as alterações desejadas nos atributos químicos, e que o alumínio não fosse fator limitante para a cultura nos parâmetros avaliados.

No solo localizado na meia-encosta da topossequência foram instalados os mesmos tratamentos, tendo variado apenas a dose dos insumos utilizados, em função das suas características, de acordo com a mesma metodologia. As representações dos tratamentos implantados, conforme as normas anteriores, foram: 2A (testemunha), 2B (calcário) e 2C (calcário combinado com gesso).

Considerando os dados do solo TRd da meia-encosta (tabela 4) as parcelas dos tratamentos (2B), neste local da topossequência, receberam uma dose de 3,5t/ha de calcário, enquanto as parcelas do tratamento (2C), além da dose de calcário, recebeu também uma dose igual de gesso agrícola (3,5t/ha), pelos motivos já expostos

anteriormente. Devido aos atributos químicos do solo do fim-de-encosta, classificado como Terra Roxa Estrutura eutrófica, não foi necessário a aplicação de calcário e gesso agrícola, pois a saturação de bases ($V_2\%$) e a saturação de alumínio (m%) apresentaram os seguintes valores 63% e 2%, respectivamente, na profundidade de 0-25cm (tabela 4). Portanto, os tratamentos constaram apenas de 5 parcelas representando as repetições do tratamento testemunha, ou seja, as condições originais do solo desta posição quando da instalação do experimento, representado por 3A (testemunha).

A tabela 7 apresenta os tratamentos, o número de repetições para cada posição da topossequência, as doses do calcário, do gesso agrícola, e as representações que serão utilizadas para os respectivos tratamentos quando citados no texto.

Tabela 7. Tratamentos adotados, número de repetições, dose dos insumos utilizados no experimento e as representações dos tratamentos.

Local	Tratamentos	Representação	dose t/ha	Repetições
Topo (1)	Testemunha (A)	1A	-	5
	Calcário (B)	1B	7,5	5
	Calcário + gesso (C)	1C	7,5 + 7,5	5
Meia Encosta (2)	Testemunha (A)	2A	-	5
	Calcário (B)	2B	3,5	5
	Calcário + gesso (C)	2C	3,5 + 3,5	5
Fim-de-Encosta (3)	Testemunha (A)	3A	-	5

3.4. Instalação e condução do experimento

O preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar foi realizado com uma aração, usando o arado de aivecas à 30 cm de profundidade, seguido

de duas gradeações. A primeira foi realizada com a grade aradora entre 15 a 18 cm de profundidade, complementada pela grade niveladora, no dia 14 de outubro de 1992.

A aplicação dos insumos, calcário e gesso agrícola, foram realizadas manualmente e à lança, nos mesmos dias, 13 e 14 de outubro de 1992, sendo, logo em seguida incorporadas com a grade aradora.

Posteriormente, fez-se a sulcação na profundidade de 30 a 40 cm, espaçadas de 1,40m nos dias 14 e 15 de outubro de 1992 para todas as posições da topossequência.

Após a abertura do sulco foi colocado no fundo do mesmo, para todos os tratamentos a adubação de plantio, usando 600kg/ha da formula 5:25:25, correspondente ao fornecimento de 30kg de N, 150kg de P_2O_5 e 150kg de K_2O por hectare, nos dias 15 e 16 de outubro de 1992.

Foi utilizada a variedade de cana-de-açúcar RB72454, devido a sua ampla utilização, na atualidade, pelas indústrias do setor sucro-alcooleiro.

O sistema de plantio adotado foi a combinação de dois colmos de cana cruzadas e remontadas (pé com ponta) para garantir 14 a 15 gemas por metro linear, gastando-se aproximadamente 16 t/ha de mudas, com 12 meses de idade. Esta operação foi efetuada no dia 15 e 16 de outubro de 1992.

Realizou-se, também, o controle preventivo do cupim com o inseticida organo-clorado com concentração de 40g/kg para o seu controle e de outras pragas de solo, com uma diluição de 20 kg do produto comercial/ha, aspergido sobre as mudas. Em seguida procedeu a sua picação em toletes de 30-40cm com, aproximadamente, 5 a 7 gemas, tendo sido o recobrimento das mesmas de forma manual com, aproximadamente 5 cm de terra, usando enxada, no dia 16 de outubro de 1992.

Durante o desenvolvimento da cultura foi realizada uma adubação de cobertura, manual, em todos os tratamentos, aproximadamente, aos 4 meses após o

plantio, conforme as condições climáticas. Para tanto utilizou-se 367 kg/ha de uma mistura de 300kg/ha da fórmula 20:5:20, com 67kg/ha de cloreto de potássio, que correspondem ao fornecimento de 60kg de N, 15kg de P_2O_5 e 100kg de K_2O por hectare. Para as adubações das soqueiras foi utilizada a mesma mistura e dose por hectare para todos os tratamentos. Ressalte-se que a época da sua realização dependia muito das condições climáticas, porém ocorria em torno de 4 meses após cada corte, e também era feito de forma manual.

Para completar os tratos culturais foi realizado o controle manual das plantas daninhas, sempre que necessário, para evitar a competição, principalmente, da água, pois seu teor era objeto de avaliação. Tal procedimento foi o mesmo para todos os tratamentos durante a condução do experimento, não apresentando intervalos pré-estabelecidos para sua execução.

3.5. Parâmetros avaliados

3.5.1. Rendimento agrícola (colmos, t/ha)

Foram obtidos os rendimentos agrícolas da cana-de-açúcar durante 3 colheitas. O primeiro corte foi realizado, aproximadamente, 12 meses após o plantio, entre os dias 18 e 25 de outubro de 1993, o segundo e o terceiro cortes, após 11 meses, no período de 9 a 16 de setembro de 1994 e 11 a 18 de agosto de 1995, respectivamente. Imediatamente após o corte de cada parcela, os toletes de cana-de-açúcar foram transportados até o Departamento de Agricultura da ESALQ/USP, para a obtenção do peso de colmos.

3.5.2. Determinação do peso da matéria seca de raízes

As raízes da cultura foram coletadas com trado, nas profundidades de 0-25cm, 25-50cm, 50-75cm e 75-100cm, sendo que as amostragens das raízes foram realizados com trado de caneca de 4”.

A coleta de raízes foi realizada somente no terceiro ano do experimento, ao lado dos tubos de condução da sonda de neutrons e, aproximadamente, 20cm do centro da linha da soqueira (fotografia 1). Tal coleta se deu em duas épocas, uma no dia 22 março de 1995 e outra no dia 17 de junho de 1995.

As amostras vindas do campo, eram pesadas, obtendo-se o peso de terra e raízes (T+R). Em seguida, após uma secagem à sombra e em ambiente ventilado, cada amostra era submetida à peneiramento. Inicialmente, foi utilizado uma peneira grosseira, com malha de 4mm, onde era feito um destorroamento à seco, que também servia para separar as raízes maiores das demais.

O resto da amostra, com torrões finos e pequenos, era submetido a um conjunto de peneiras, sendo uma sobreposta à outra, com gradiente de malhas. A maior era constituída de malhas de 3mm, e a menor de malhas de 2mm, as quais completavam a separação das raízes mais finas.

As raízes separadas eram acondicionadas em saquinhos de celofane, para a obtenção do peso da matéria seca. Para tanto, foram colocados em estufa a 65°C durante 72 horas, e após o resfriamento, determinava-se o peso da matéria seca de raízes (PS).

Para facilidade e uniformidade dos dados, os pesos da matéria seca de raízes foram transformados, considerando uma amostragem de (T+R) constante de 5kg de terra, conforme a fórmula:

$$\text{Matéria seca (gramas)} = \frac{PS \times 5000}{(T + R)}$$

3.5.3. Atributos químicos do solo

Ao 6 meses após o plantio, e depois no final de cada corte da cana-de-açúcar foram retiradas com trado, 8 subamostras sendo 2 de cada entrelinha da área útil da parcela, perfazendo uma amostra composta, nas profundidades de 0-25cm, 25-50cm, 50-75cm e 75-100cm. As amostras compostas foram submetidas às determinações de pH, M.O, P, K, Ca, Mg, (H+Al), S-SO₄²⁻ e Al, conforme metodologia em uso no Laboratório de análise de solo do Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP.

As amostragens foram realizadas com o intuito de acompanhar as alterações de atributos químicos devido ao uso dos insumos, aos 6 meses; 12 meses; 24 meses e 36 meses após a aplicação dos mesmos, e sua influência no desenvolvimento radicular e no rendimento da cultura da cana-de-açúcar.

3.5.4. Atributo físico do solo

Durante o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar foi determinado o teor de água disponível (v/v) em cada profundidade do solo, tendo sido estimado através do uso da sonda de neutrons, e da curva característica de retenção de água de cada solo, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm. Os dados para a determinação da curva de retenção de água dos solos da topossequência, e a quantidade de água disponível, encontram-se na tabela 8.

Fotografia 1. Detalhe do tubo para introdução da sonda de neutrons entre as placas de madeira, locais onde foram coletadas as amostras para determinação de raízes.

Tabela 8. Teor de água disponível (cm^3/cm^3) obtida entre as pressões de 0,1atm e 15atm para cada solo da topossequência, nas profundidades de 0-25cm e 25-100 cm.

Solo	Camada (cm)	Pressão							A.D.*
		sat.	10cm	50cm	0,1atm	0,33atm	1,0atm	15atm	
PEL	0-25	0,44	0,43	0,35	0,31	0,29	0,22	0,19	0,12
	25-100	0,59	0,56	0,41	0,35	0,32	0,26	0,20	0,15
TRd	0-25	0,33	0,33	0,29	0,28	0,27	0,24	0,22	0,06
	25-100	0,39	0,36	0,32	0,30	0,29	0,27	0,23	0,07
TRe	0-25	0,29	0,27	0,23	0,21	0,20	0,17	0,15	0,06
	25-100	0,35	0,32	0,28	0,26	0,25	0,22	0,21	0,05

(*) Água disponível

As leituras com a sonda de neutrons foram realizadas nos dias 13 de dezembro de 1994; 28 de dezembro de 1994; 12 de janeiro de 1995; 27 de abril de 1995; 15 de maio de 1995; 25 de maio de 1995; e, 7 de junho de 1995.

Considerando como água disponível a água existente entre as pressões de 0,1atm e 15atm, toda as estimativas, durante o desenvolvimento da cultura, que estivesse entre as referidas pressões eram contabilizadas. Assim, por exemplo, no solo PEL, na profundidade de 0-25cm, quando o teor de água estimado fosse maior ou igual a 0,31 cm^3/cm^3 (pressão 0,1atm), foi contabilizado 0,12 cm^3/cm^3 . Se o tor de água estimado fosse menor (0,25 cm^3/cm^3) contabilizava-se apenas a diferença entre 0,25 e 0,19 cm^3/cm^3 , ou seja, 0,06 cm^3/cm^3 . Para o solo PEL, na referida profundidade, 0,19 cm^3/cm^3 é

o teor de água retido à 15atm, por tanto, estimativas iguais ou menores que o referido valor não foram contabilizados.

Para a obtenção da curva de calibração da sonda de neutrons foram realizadas leituras e coletas de amostras de solo para determinação da umidade pelo método gravimétrico, nas profundidades de 0-20cm; 20-40cm; 40-60cm; 60 a 80cm e 80 a 100cm junto com as leituras da sonda, em várias condições; quais sejam: com solo seco, solo úmido e com umidades intermediárias, possibilitando a obtenção da sua calibração, através da contagem relativa na profundidade intermediária em: 10cm, 30cm, 50cm, 70cm e 90cm, para cada local do experimento (topo, meia-encosta e fim-de-encosta, na topossequência) .

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Atributos químicos do solo

Dos atributos químicos do solo que foram determinados utilizou-se para discussão dos resultados os dados de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, S-SO_4^{-2} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , V% e m%.

4.1.1. Índice $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$

Aos 6 meses após a aplicação dos insumos o calcário já tinha iniciado sua reação , como revelam os dados do tratamento 1B, o qual apresenta diferença estatisticamente significativa em relação à testemunha, na profundidade de 0-25cm (tabela 9). Para esta época a ação do calcário limitou-se aos primeiros 25cm de profundidade, enquanto para o tratamento 1C, houve diferença estatisticamente significativa até o profundidade de 50-75cm, exceto nos primeiros 25cm. A correção em subsuperfície pelo tratamento 1C evidencia que a combinação calcário e gesso foi eficiente em profundidade. Esses resultados corroboram aqueles encontrados por VITTI, (1987); e FERREIRA et al. (1987).

Para os tratamentos 2B e 2C não houve diferença estatisticamente significativa em relação à testemunha 2A, independentemente da profundidade devido, provavelmente, ao uso de menor dose de insumos (3,5t/ha), ao maior pH do solo originalmente (tabela 4), à gênese do solo local (TRd) com horizonte B textural mais denso (tabela 5), e à incorporação superficial dos insumos (fotografia 2) que contribuiu para diminuir a ação dos mesmos. Esta constatação se verificou também aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação dos insumos.

Tabela 9. Resultados da análise dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para pH_{CaCl2}, aos 6 meses após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	4,54b	3,72b	3,60b	3,62a
1B	5,22a	3,92ab	3,70ab	3,76a
1C	5,02ab	4,06a	3,78a	3,80a
F	4,58*	5,44*	8,41*	3,67 ^{ns}
DMS	0,66	0,30	0,12	0,20
CV%	7,41	4,20	1,88	2,96
2A	4,84a	4,82a	4,98a	4,90a
2B	5,04a	4,38a	4,56a	4,54a
2C	5,30a	4,66a	4,80a	4,74a
F	1,00 ^{ns}	1,99 ^{ns}	3,40 ^{ns}	1,48 ^{ns}
DMS	0,93	0,64	0,46	0,60
CV%	10,21	7,64	5,35	7,02
3C	4,74	4,86	5,08	5,06

Fotografia 2. Detalhe da localização superficial do insumo, nos primeiros 12 cm de profundidade.

Decorridos 12 meses após a aplicação dos insumos (tabela 10), a ação do calcário (tratamento 1B), foi verificado em todas as profundidades, e embora apresentasse valores estatisticamente diferente da testemunha, eram índices que revelaram acidez elevada, exceto na profundidade de 0-25cm. Quanto ao tratamento 1C, o mesmo superou estatisticamente a testemunha (1A) até a profundidade de 50-75cm, não diferindo entretanto do tratamento 1B.

Tabela 10. Resultados da análise dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para pH C_{aCl_2} , aos 12 meses após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	4,50b	3,62b	3,62b	3,58b
1B	5,38a	3,96a	3,86a	3,84a
1C	5,08a	3,94a	3,76a	3,70ab
F	15,84**	29,51**	20,76**	4,70*
DMS	0,45	0,14	0,11	0,24
CV%	5,04	2,04	1,60	3,62
2A	4,52a	4,54a	4,46a	4,70a
2B	5,24a	4,66a	4,50a	4,66a
2C	5,18a	4,54a	4,52a	4,72a
F	2,56 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}
DMS	1,0	0,86	0,70	0,78
CV%	11,17	10,43	8,63	9,30
3C	4,72	4,98	5,20	5,18

A partir dos 24 meses após aplicação dos insumos (tabela 11 e 12), não havia mais diferença entre os tratamentos 1B e 1A até 100cm de profundidade, revelando que a ação do calcário ocorreu até esta profundidade e até 12 meses após sua aplicação. Ressalte-se, entretanto, que apesar das diferenças observadas aos 12 meses, em relação à testemunha, a acidez era muito alta ($\text{pH} < 4,3$), exceto nos primeiros 25cm de profundidade, onde a elevação do índice de pH, reduziu a acidez para valor médio ($\text{pH} 5,1-5,5$). Esta constatação confirma os dados encontrados na literatura (NASCIMENTO et al. 1983; MORELLI et al. 1987 e FERREIRA, 1987), onde a ação do calcário é superficial, principalmente quando incorporado com grade, como ocorreu no experimento. Com relação ao tratamento 1C, as diferenças existiram somente em relação ao tratamento 1B, nas profundidades de 50-75cm e 75-100cm ratificando que a combinação calcário e gesso foi eficiente em profundidade, embora a acidez fosse muito alta.

No final dos 36 meses da aplicação dos insumos (tabela 12), como já tinha ocorrido aos 24 meses, não houve mais diferença estatisticamente significativa entre e os tratamentos até 100cm de profundidade. Entretanto, nos primeiros 25cm de profundidade, o pH era superior ao pH original (tabela 4), com nível de acidez alta, como também ocorrera aos 24 meses.

Esta observação confirma que a ação do calcário foi efetiva até 12 meses da sua aplicação, na camada superficial, enquanto que com a combinação calcário e gesso, foi observada até 24 meses, com nível de acidez média, na mesma profundidade.

Para o tratamento 3A, no solo TRe, no fim-da-encosta, os índices de pH foram muito semelhantes, em relação aos índices originais (tabela 4), para todas as épocas e profundidades.

Tabela 11. Resultados da análise dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, aos 24 meses após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	4,64a	4,12a	3,92ab	3,82ab
1B	4,86a	4,12a	3,72b	3,68 b
1C	5,14a	4,44a	4,22a	3,88a
F	1,60 ^{ns}	2,74 ^{ns}	6,55*	5,64*
DMS	0,80	0,45	0,40	0,17
CV%	9,10	5,91	5,60	2,60
2A	4,76a	4,82a	4,92a	4,94a
2B	5,06a	4,68a	4,98a	4,62a
2C	5,16a	4,76a	4,66a	4,70a
F	1,31 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,26 ^{ns}
DMS	0,74	0,72	0,65	0,60
CV%	8,15	8,40	7,40	7,00
3A	4,68	5,10	5,30	5,40

Tabela 12. Resultados da análise dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, aos 36 meses após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

Tratamentos	PROFUNDIDADES (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	4,40 a	3,68 a	3,50 a	3,56 a
1B	4,58 a	3,76a	3,44a	3,60 a
1C	4,66a	3,80a	3,68a	3,58a
F	0,47 ^{ns}	0,71 ^{ns}	3,06 ^{ns}	0,15 ^{ns}
DMS	0,79	0,29	0,29	0,21
CV%	9,60	4,32	4,51	3,30
2A	4,62a	4,66a	4,84a	4,70a
2B	4,64a	4,64a	4,54a	4,64a
2C	4,92a	4,70a	4,76a	4,64a
F	1,61 ^{ns}	0,05 ^{ns}	4,04 ^{ns}	0,30 ^{ns}
DMS	0,53	0,55	0,31	0,26
CV%	6,25	6,53	5,70	3,05
3A	4,76	5,02	5,14	5,24

4.1.2. Íon Sulfato

Os resultados analíticos para o íon sulfato, aos 6 meses após a aplicação dos insumos (tabela 13), revelaram diferenças estatisticamente significativas para os tratamentos 1C e 2C até 50-75cm de profundidade, em ambos os solos, devido ao uso do gesso.

Tabela 13. Resultados da análise dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para $S-SO_4^{2-}$ (mg/dm^3) aos 6 meses, após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	63,09b	97,43b	83,32b	70,90a
1B	37,52b	73,07b	59,63b	41,72b
1C	203,90a	210,59a	114,34 a	77,18a
F	42,13 **	22,58 **	15,58 **	9,55 *
DMS	57,14	62,38	26,44	24,73
CV%	31,16	27,18	17,06	21,64
2A	68,87b	67,02b	61,66b	77,38a
2B	72,25b	85,60b	70,12b	77,75a
2C	274,52a	197,07a	106,03a	90,92a
F	14,73 **	68,10 **	28,51 **	0,62 ^{ns}
DMS	123,96	34,43	17,82	46,26
CV%	49,52	16,35	12,44	31,74
3A	65,74	62,07	47,53	46,84

Aos 12 meses após a aplicação dos insumos (tabela 14), as diferenças foram estatisticamente significativas, sendo que para o tratamento 1C foi evidenciado até 100cm de profundidade, no solo (PEL) localizado no topo da topossequência, enquanto para o solo (TRd) da meia-encosta, ocorreu apenas até 25-50cm, para o tratamento 2C.

Tabela 14. Resultados da análise dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para $S-SO_4^{2-}$ (mg/dm^3) aos 12 meses, após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	53,57b	97,41b	81,68b	67,36b
1B	30,04b	77,00b	65,61b	47,61c
1C	190,10a	228,70a	160,29a	89,30a
F	41,63 **	35,56 **	79,45 **	43,74 **
DMS	54,11	55,77	22,96	12,74
CV%	32,83	22,97	12,40	10,36
2A	74,92b	79,19b	79,33a	89,37a
2B	60,61b	83,52b	75,65a	91,36a
2C	185,86a	173,86a	103,46a	99,80a
F	78,63 **	30,94 **	3,04 ^{ns}	0,70 ^{ns}
DMS	31,23	38,82	35,00	26,67
CV%	16,14	19,15	22,49	15,78
3A	65,20	45,02	35,25	45,02

Depois de 24 meses, (tabela 15), ocorreu uma inversão, no solo PEL, onde a diferença estatisticamente significativa do tratamento 1C foi verificado até 50-75cm de profundidade. No solo TRd, como tinha ocorrido aos 6 meses, a diferença foi verificada também até 50-75cm, para o tratamento 2C.

Tabela 15. Resultados da análise dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para $S-SO_4^{2-}$ (mg/dm^3) aos 24 meses, após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	32,39b	57,89b	49,78b	35,75a
1B	51,00b	72,16b	54,92b	40,74a
1C	234,91a	200,21a	138,81a	65,92a
F	8,75 **	42,97 **	20,14 **	3,33 ^{ns}
DMS	152,87	48,30	44,99	35,82
CV%	79,74	24,28	30,68	41,77
2A	39,90b	41,57b	47,23b	50,15a
2B	41,89b	56,54b	55,99b	70,40a
2C	171,98a	165,54a	100,87a	82,79a
F	6,27 *	20,79 **	14,74 **	3,17 ^{ns}
DMS	122,15	59,95	30,27	37,39
CV%	79,92	37,76	24,63	30,53
3A	11,57	10,55	14,00	16,26

Pode-se afirmar que tal fato evidencia uma mobilidade diferenciada do sulfato, em função do tipo de solo, pH e quantidade de chuva.

Apesar da maior dose de gesso do tratamento 1C (7,5t/ha) em relação ao tratamento 2C (3,5t/ha), a movimentação inicial do íon sulfato, da profundidade de 0-25cm para 25-50cm, entre 6 e 12 meses após a aplicação do insumo, foi de 7% e 32% para o solo PEL e TRd, respectivamente. A maior rapidez de deslocamento do íon sulfato, no solo TRd, nos primeiros 25cm de profundidade deve-se provavelmente à menor capacidade de retenção desses íons, devido ao maior pH do solo na época da aplicação dos insumos (tabela 4). Esta observação concorda com os trabalhos de PAVAN & VOLKWEISS (1986), BORKERT & PAVAN (1987), COUTO et al. (1979) e COSTA (1980).

Com a passar do tempo, aos 36 meses após a aplicação dos insumos (tabela 16), os dados revelam que houve um aumento do íon sulfato de 6,3%, 100% e 251% nas profundidades de 25-50cm, 50-75cm e 75-100cm respectivamente, em relação ao 24 meses, para o tratamento 1C. É nítida, portanto, a tendência do movimento continuar, atingindo maiores profundidades, no solo PEL, o qual apresenta horizonte B latossólico de menor densidade (tabela 5).

No solo da meia-encosta (TRd), os teores do íon sulfato diminuem no tempo com maior rapidez, para cada profundidade, podendo ser consequência da menor dose utilizada (3,5 t/ha) e da sua menor retenção, em pH maior, conforme discutido anteriormente. Pode-se inferir pelos resultados da tabela 16 que a movimentação do íon sulfato se deu nos primeiros 75cm de profundidade, em função da menor dose utilizada, e pela gênese do solo local (com horizonte B textural superficial e de maior densidade) conforme observado na tabela 5. Tal constatação é uma indicação da menor eficiência do gesso nesses solos, concordando com DEMATTÊ (1992) e MAZZA (1993).

Era esperado a movimentação dos íons sulfato (RITCHEY et al. 1980) e, conseqüentemente, haveria a sua concentração, em profundidade, como ficou evidenciado no solo PEL, no tratamento 1C, concordando com PAVAN &

VOLKWEISS (1986), e BORKERT & PAVAN (1987), onde predominavam colóides com cargas positivas.

Tabela 16. Resultados da análise dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para $S-SO_4^{2-}$ (mg/dm^3) aos 36 meses, após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

Tratamentos	PROFUNDIDADES (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	70,02b	138,75a	110,35ab	83,65ab
1B	63,77b	94,16a	69,45b	62,35b
1C	134,77a	212,87a	278,19a	231,33a
F	6,32 *	2,12 ^{ns}	4,99 *	4,88 *
DMS	63,18	166,35	200,09	168,27
CV%	39,06	61,96	72,54	74,05
2A	56,55a	68,15a	65,10a	72,01a
2B	56,38a	68,05a	63,53a	68,19a
2C	44,88a	81,18a	81,40a	67,41a
F	0,52 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,08 ^{ns}
DMS	37,62	54,98	49,16	35,29
CV%	39,58	42,0	38,87	28,22
3A	32,57	31,68	24,31	27,12

4.1.3 Cálcio

Após 6 meses da aplicação dos insumos (tabela 17) os aumentos nos teores de cálcio ocorreram efetivamente até 50cm de profundidade para ambos os solos, apresentando diferenças estatisticamente significativas, entre os tratamento 1C e 1A , e 2C e 2A.

Tabela 17. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para Ca^{2+} ($\text{mmol } \text{dm}^{-3}$), aos 6 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Tratamentos	PROFUNDIDADES (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	33,0b	11,0b	7,4a	7,0a
1B	51,2ab	15,4b	10,4a	6,6a
1C	75,2a	25,2a	11,6a	8,0a
F	12,34**	11,15**	2,25 ^{ns}	0,55 ^{ns}
DMS	24,3	8,8	5,8	3,9
CV%	25,36	28,30	32,91	30,06
2A	36,8b	18,6b	17,0a	13,2a
2B	35,4b	21,4ab	15,2a	13,8a
2C	63,2a	29,4a	18,2a	15,4a
F	7,17 *	7,23*	0,51 ^{ns}	1,86 ^{ns}
DMS	23,6	8,4	8,6	3,4
CV%	28,98	20,15	28,22	13,17
3A	55,2	57,4	56,0	49,4

A maior quantidade de cálcio nos tratamentos 1B e 1C, em relação aos tratamentos 2B e 2C, nos primeiros 25cm de profundidade deve-se a maior dose de insumos utilizadas 7,5t/ha e 3,5t/ha, respectivamente (calcário e gesso). Nas camadas mais profundas os tratamentos 2B e 2C superaram os tratamentos 1B e 1C, provavelmente consequência do maior teor original do solo da meia-encosta (TRd) como evidencia os dados da tabela 4.

Para os primeiros 50cm de profundidade somente os tratamentos 1C e 2C apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação as testemunhas 1A e 2A, devido ao maior fornecimento de cálcio contido no referido tratamento, o qual combinou calcário e gesso, e a maior solubilidade do gesso, cuja reação e liberação do cátion é mais rápida que o calcário, nos tratamentos 1B e 2B.

Depois de 12 meses da aplicação dos insumos (tabela 18) os teores de cálcio no solo continuaram aumentando significativamente nos tratamentos 1B, 1C, 2B e 2C nos primeiros 25cm de profundidade, devido a reação dos insumos. Nas demais profundidades sobressaíram apenas os tratamentos 1C e 2C, favorecidos pela presença do íon sulfato, contribuindo para sua lixiviação.

Decorridos 24 meses após a aplicação dos insumos (tabela 19), as diferenças estatisticamente significativas ocorreram até 50cm de profundidade, para o cálcio, entre os tratamentos 2C e 2A, no solo da meia-encosta (TRd) ; enquanto no solo do topo (PEL), foi observado diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos 1C e 1A até 100cm de profundidade, devido aos atributos físicos do referido solo, favoráveis a movimentação do íon.

A partir desta época, os teores de cálcio do solo nos primeiros 25cm diminuíram, exceto no tratamento 2B, evidenciando a ocorrência da sua lixiviação para camadas mais profundas para ambos os solos, assim como devido a extração e exportação pela cultura, nos dois últimos cortes, na colheita da cana-de-açúcar. Ressalte-se que a presença de grande quantidade de cálcio ao 24 meses no tratamento 1B, na profundidade de 25-50cm, atingindo o teor de 29,8 mmol c/dm^3 de solo, significou um

aumento de 91% em relação à época anterior. Esta constatação resultou da movimentação do íon cálcio do que do carbonato, pois o pH do solo (tabela 11) praticamente não se alterou entre estas épocas (12 e 24 meses após a aplicação do insumo).

Tabela 18. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para Ca^{2+} ($\text{mmol } \ell^{-1} \text{ dm}^{-3}$), aos 12 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Tratamentos	PROFUNDIDADES (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	37,8 b	12,6b	10,2b	9,8a
1B	56,6b	15,6b	11,8b	10,8a
1C	94,4a	37,4a	22,8a	12,6a
F	28,43**	111,26**	26,09**	1,46 ^{ns}
DMS	21,8	5,2	5,4	4,7
CV%	19,21	13,12	20,11	23,74
2A	38,0a	30,8a	22,2a	17,4a
2B	40,6a	24,2a	16,0 a	21,0a
2C	67,2a	37,2a	22,0a	18,4a
F	3,38 ^{ns}	1,89 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,88 ^{ns}
DMS	35,4	19,1	10,6	8,0
CV%	40,41	34,42	29,30	23,43
3A	60,6	69,2	75,4	67,0

Aos 36 meses da aplicação dos insumos (tabela 20) o tratamento 1C, ainda apresentava diferença estatisticamente significativa em relação a testemunha

1A, até 100cm de profundidade. Por tanto, não há dúvida sobre a importância da combinação calcário e gesso para correções em profundidade (VITTI, 1987; e FERREIRA et al. 1987). Este comportamento foi facilitado pelo menor pH do solo, reduzindo a retenção dos íons sulfato, combinado com a maior dose de insumo, favorecendo a lixiviação do cálcio. Tal constatação foi também auxiliada pela gênese do solo local (PEL), com horizonte B latossólico e menor densidade (tabela 5).

Tabela 19. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para Ca^{2+} ($\text{mmol } \ell^{-1} \text{ dm}^3$), aos 24 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	35,2b	22,8b	15,2b	10,4b
1B	51,8b	29,8ab	16,4b	13,6ab
1C	77,2a	46,4a	26,2a	17,4a
F	12,09**	8,30*	6,94*	4,58*
DMS	24,6	17,0	9,2	6,6
CV%	24,85	28,50	26,58	26,52
2A	37,8b	30,2b	25,2a	14,8a
2B	44,4b	25,6b	24,6a	16,8a
2C	61,6a	39,8a	25,2a	20,2a
F	13,78**	12,27**	0,01 ^{ns}	1,26 ^{ns}
DMS	13,4	8,3	10,6	9,8
CV%	15,44	14,51	23,60	31,51
3A	55,6	67,4	62,6	61,0

Quando foi comparado as épocas 24 e 36 meses após a aplicação dos insumos (tabelas 19 e 20), ficou evidenciada acentuada redução do teor de cálcio, dos primeiros 25cm de profundidade, de 36% e 38% para os tratamentos 1C e 2C respectivamente, indicando que na presença do gesso sua lixiviação foi elevada. Os valores semelhantes para lixiviação, mesmo tendo sido aplicado uma dose menor de insumo (3,5t/ha) no tratamento 2C, deveu-se a menor retenção dos íons sulfato no solo TRd, da meia-encosta, devido ao pH mais elevado.

Tabela 20. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para Ca^{2+} ($\text{mmol } \ell^{-1} \text{ dm}^{-3}$), aos 36 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	22,6b	11,0b	5,0b	3,8b
1B	38,6ab	11,8b	7,2b	8,8a
1C	49,4a	21,2a	15,8a	12,6a
F	10,51**	8,52*	30,35**	13,95**
DMS	16,8	7,8	4,2	4,8
CV%	25,22	29,61	24,82	31,46
2A	15,0b	2,60a	12,8b	11,2a
2B	29,2a	26,8a	13,6b	13,0a
2C	38,0a	30,0a	26,0a	16,8a
F	17,02**	0,47 ^{ns}	9,30**	3,40 ^{ns}
DMS	11,4	12,4	9,8	6,3
CV%	22,96	24,92	31,07	25,38
3A	60,8	65,4	65,4	61,6

4.1.4. Magnésio

Para o cátion magnésio, os teores encontrados no solo aos 6 meses após a aplicação dos insumos (tabela 21), não houve diferença estatística entre os tratamentos 1B e 1C, no solo do topo (PEL), e, entre, os tratamentos 2B e 2C, no solo da meia-encosta (TRd), para os primeiros 25cm de profundidade, diferindo estatisticamente apenas das respectivas testemunhas 1A e 2A.

Na profundidade de 25-50cm, as diferenças estatísticas ocorreram somente nos tratamentos que combinaram calcário e gesso (1C e 2C), em relação aos demais tratamentos, favorecidos pela presença do íon sulfato que contribuiu para sua lixiviação. A partir desta profundidade não houve diferenças entre os tratamentos independente do solo.

Aos 12 meses após a aplicação dos insumos (tabela 22) foi verificado aumentos nos teores de magnésio em todas as profundidades e em ambos os solos. No solo do topo (PEL) houve diferenças estatisticamente significativas entre todos os tratamentos, nas profundidades de 25-50cm e 50-75cm; enquanto para os primeiros 25cm e na profundidade de 75-100 cm, os tratamentos 1B e 1C não diferiram entre si, apenas da testemunha 1A. Para o solo da meia-encosta (TRd), as diferenças estatisticamente significativa foram verificadas para o tratamento 2C em relação a testemunha e até 50cm de profundidade, devido provavelmente ao elevado teor de magnésio original do solo (tabela 4), ao magnésio fornecido pelo calcário, e ao íon sulfato carreando-o em profundidade.

Decorridos 24 meses após a aplicação dos insumos (tabela 23) houve diferenças estatisticamente significativas dos tratamentos 1B e 1C, e em relação à testemunha, até 50cm de profundidade, não diferindo, entretanto, entre si. Na profundidade 50-75cm apenas o tratamento 1C diferiu estatisticamente da testemunha. Novamente percebe-se a contribuição do gesso para correção em profundidade, a qual se

verifica até aos 36 meses após aplicação do insumo, na profundidade de 75-100cm. Nos tratamentos 2B e 2C os teores de magnésio não diferiram estatisticamente nos primeiros 25cm de profundidade, diferindo somente da testemunha 2A. Na profundidade de 25-50cm apenas o tratamento 2C diferiu da testemunha.

Tabela 21. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para Mg^{2+} (mmol / dm^3), aos 6 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	5,0 b	5,8b	3,4a	3,0a
1B	36,0a	10,0b	4,6a	3,6a
1C	29,2a	14,0a	4,4a	3,2a
F	4,79**	12,80**	1,19 ^{ns}	1,22 ^{ns}
DMS	15,6	4,6	2,4	1,1
CV%	30,68	25,80	31,85	18,95
2A	11,2b	8,0b	4,2a	3,4a
2B	19,2ab	8,2b	4,6a	3,8a
2C	24,6a	13,0a	4,0a	4,4a
F	9,11**	8,77**	0,28 ^{ns}	36,2 ^{ns}
DMS	9,0	3,9	2,3	1,1
CV%	27,24	21,95	29,95	15,30
3A	8,6	7,2	5,8	4,8

Tabela 22. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para Mg^{2+} (mmol / dm³), aos 12 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	5,8b	7,4c	5,0c	4,0b
1B	42,8a	11,8b	8,0b	6,8a
1C	33,0a	17,6a	12,0a	6,2ab
F	12,11**	26,89**	27,41**	4,76*
DMS	12,2	4,0	2,7	2,7
CV%	20,75	71,98	18,0	26,67
2A	11,0b	8,8b	6,2a	4,4a
2B	23,0ab	11,4ab	7,0a	7,0a
2C	26,4a	16,0a	6,2a	6,4a
F	6,42*	14,61**	0,46 ^{ns}	3,68 ^{ns}
DMS	12,9	5,2	2,7	2,9
CV%	35,45	24,81	23,54	26,74
3A	13,0	11,4	12,6	9,8

A partir dos 24 meses o teor de magnésio nos primeiros 25cm de profundidade, como também havia ocorrido com o cálcio, diminuiu, indicando que estava ocorrendo lixiviação para as camadas mais profundas, em ambos os solos; bem como extração e exportação com as colheitas.

Aos 36 meses da aplicação dos insumos (tabela 24) não foi verificado diferenças entre os tratamentos 2A, 2B e 2C, em toda as profundidades, no solo da meia-encosta (TRd) , possivelmente devido a menor dose de insumo aplicado

(3,5t/ha). As diferenças estatisticamente significativas ocorreram com o tratamento 1C nas profundidades de 50-75cm e 75-100cm, enquanto nos primeiros 25cm os tratamentos 1B e 1C não diferiram entre si, mas em relação a testemunha.

Tabela 23. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para Mg^{2+} (mmol ℓ^{-1} dm³), aos 24 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Tratamentos	PROFUNDIDADES (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	6,4b	8,4b	7,0b	4,4a
1B	31,8a	15,6a	7,8b	6,2a
1C	28,8a	20,4a	13,4a	7,4a
F	48,32**	19,07**	7,32*	3,20 ^{ns}
DMS	8,1	5,6	5,2	3,4
CV%	19,99	20,90	30,65	31,48
2A	10,8b	8,2b	6,4a	4,2a
2B	18,6a	8,8b	8,2a	5,2a
2C	18,2a	13,6a	7,4a	6,2a
F	10,37**	18,38**	1,23 ^{ns}	2,86 ^{ns}
DMS	5,5	2,8	3,3	2,4
CV%	19,22	15,13	24,83	25,44
3A	11,4	11,4	10,2	9,4

Dos 24 meses após a aplicação dos insumos para 36 meses (tabelas 23 e 24), a redução do teor de magnésio nos primeiros 25 cm de profundidade, dos tratamentos 1C e 2C, foram de 26% e 25% respectivamente. Entre as mesmas épocas

para a profundidade de 25-50cm, foram de 56% e 25% para os mesmos tratamentos, sugerindo que as condições do solo do topo (PEL), favoreceram muito a lixiviação dos cátions, além da maior dose de insumo aplicado (7,5t/ha).

Tabela 24. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para Mg^{2+} ($mmol \text{ } \ell^{-1} \text{ } dm^3$), aos 36 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Tratamentos	PROFUNDIDADES (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	6,0b	7,4a	3,8b	2,8b
1B	28,4a	7,0a	5,4b	6,2ab
1C	21,4a	9,0a	12,2a	8,8a
F	9,42**	1,22 ^{ns}	11,30**	7,96*
DMS	15,1	3,9	5,4	4,3
CV%	44,80	27,50	41,59	40,18
2A	10,6a	8,6a	4,2a	3,2a
2B	13,0a	7,4a	4,4a	5,0a
2C	13,6a	10,2a	6,8a	4,8a
F	3,58 ^{ns}	2,61 ^{ns}	3,34 ^{ns}	3,79 ^{ns}
DMS	3,4	3,5	3,2	2,1
CV%	15,12	22,27	34,48	26,14
3A	11,0	10,2	8,6	7,6

Uma análise conjunta da evolução dos teores de cálcio e magnésio em função do tempo (tabela 25), adotando os teores encontrados aos 12 meses após a aplicação dos insumos como 100 %, constatou-se que o íon magnésio, foi o mais

lixiviado no solo do topo (PEL), tratamento 1C, atingindo aos 36 meses, na profundidade de 75-100cm, um teor 42% maior que o encontrado aos 12 meses, concordando com MORELLI et al.(1987). No solo da meia-encosta (TRd) , tratamento 2C, a maior lixiviação foi do cálcio apresentando um teor 18% superior ao obtido aos 12 meses na profundidade de 50-75cm e, aproximadamente, um teor 10% superior para o magnésio na mesma profundidade.

Tabela 25. Evolução dos teores de cálcio e magnésio (%) após 36 meses da aplicação dos insumos em função do tempo, utilizando como referência os valores obtidos aos 12 meses (100%).

Tratamentos	Profundidades (cm)							
	0-25		25-50		50-75		75-100	
	Ca ²⁺ %	Mg ²⁺ %	Ca ²⁺ %	Mg ²⁺ %	Ca ²⁺ %	Mg ²⁺ %	Ca ²⁺ %	Mg ²⁺ %
1B	68,2	66,0	75,6	59,0	61,0	67,5	81,5	94,0
1C	52,0	64,8	56,7	51,0	69,0	101,6	100,0	142,0
2B	71,9	56,5	110,7	64,9	85,0	62,8	61,9	71,0
2C	56,5	51,5	80,6	63,7	118,2	109,7	91,3	75,0

A dinâmica dos cátions no solo foi variável sendo maior nos tratamentos que combinaram calcário e gesso (1C e 2C), excessão para o tratamento 2B onde verificou-se um acúmulo de aproximadamente 11% , na profundidade de 25-50cm para o cálcio. No solo da meia-encosta (TRd) , o acúmulo observado foi maior até a profundidade de 50-75cm para cálcio e magnésio no tratamento 2C, e , na profundidade de 25-50cm, para o cálcio, no tratamento 2B. A presença do horizonte B textural localizado próximo à superfície, o pH mais elevado, a maior densidade do solo, e a incorporação superficial dos insumos, bem como a menor dose do mesmo podem ser enumerados como responsáveis por tal ocorrência. A lixiviação de cátions observada

devido ao uso do gesso concorda com ZOTARELLI (1992); RITCHEY et al. (1987) ; DAL BÓ (1985); MORELLI et al. (1987); VITTI (1987); FERREIRA et al.(1987) e LORENZETTI et al. (1992).

4.1.5 Saturação por bases

Os dados de saturação por bases aos 6 meses após aplicação dos insumos (tabela 26), revelaram que os mesmos apresentaram comportamento diferenciado em função do tipo de solo. No solo do topo (PEL), a reação foi mais rápida apresentando as maiores diferenças dos tratamentos em relação à testemunha 1A, devido provavelmente a menor saturação de bases inicial e a maior acidez do solo (tabela 4). Os tratamentos 1B e 1C não diferiram entre si, mas apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação a testemunha 1A nos primeiros 50cm de profundidade, enquanto o tratamento 1C apresentou diferenças até 75cm de profundidade. No solo da meia-encosta (TRd) , os dados de saturação por bases dos tratamentos 2B e 2C diferiram estatisticamente nas profundidades de 25-50cm e 75-100cm, não o sendo , entretanto, em relação a testemunha 2A.

Aos 12 meses após aplicação dos insumos (tabela 27), ocorreram algumas mudanças, principalmente no solo da meia-encosta (TRd) , onde o tratamento 2C apresentou diferenças estatisticamente significativas, em relação à testemunha, nos primeiros 50cm de profundidade. O solo do topo (PEL), apresentou comportamento semelhante àquele apresentado aos 6 meses, com excessão para a profundidade de 75-100cm onde houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos 1B e 1A.

As variações observadas nos dados de saturação por bases nos primeiros 12 meses, deveu-se principalmente a liberação mais rápida de cálcio pelo gesso, devido sua maior solubilidade, e a movimentação de cátions no perfil do solo,

haja visto que praticamente não houve variação no índice de pH (tabelas 9 e 10), exceto nos primeiros 25cm de profundidade onde foram incorporados os insumos.

Tabela 26. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para saturação de bases (V%), aos 6 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	35,80b	11,20b	6,20b	5,80a
1B	68,60a	22,40a	10,80ab	8,20a
1C	73,00a	30,00a	13,40a	9,00a
F	14,01**	15,95**	4,85*	3,83 ^{ns}
DMS	21,94	9,57	6,69	3,44
CV%	20,53	24,97	36,55	24,80
2A	59,00a	43,40ab	43,60a	38,20ab
2B	57,80a	35,20b	35,40a	30,80b
2C	75,40a	55,20a	42,80a	42,00a
F	3,63 ^{ns}	5,90*	1,37 ^{ns}	4,74*
DMS	20,85	16,72	15,62	10,56
CV%	18,01	20,75	21,30	15,81
3A	51,60	56,00	60,00	58,00

Tabela 27. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para saturação por bases (V%), aos 12 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Tratamentos	PROFUNDIDADES (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	39,20b	11,80b	7,60b	8,40b
1B	77,40a	27,60a	18,20a	15,00a
1C	72,40a	28,20a	19,40a	11,40ab
F	98,80**	57,92**	52,28**	6,95*
DMS	8,44	4,94	3,63	5,06
CV%	7,41	12,13	13,33	24,15
2A	51,40b	37,80b	40,60a	35,20b
2B	68,80ab	49,80ab	42,40a	48,60a
2C	74,00a	54,80a	43,80a	43,00ab
F	5,59*	5,25*	0,28 ^{ns}	5,44*
DMS	20,23	15,41	12,19	11,63
CV%	17,30	18,00	15,96	15,27
3A	57,00	65,00	70,20	67,40

Decorridos os 24 meses após a aplicação dos insumos (tabela 28), foi observado que o solo do topo (PEL) apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos 1C e os demais até 100cm de profundidade, exceto nos primeiros 25cm, onde os tratamentos 1B e 1C não diferiram entre si, mas sim da testemunha 1A. Tal fato, demonstra a maior mobilidade dos cátions no referido solo, como ficou caracterizado na tabela 25, e a importância da combinação de calcário e gesso nas correções em profundidade conforme constatado por RITCHEY et al. (1980);

VITTI (1987); e MORELLI et al. (1987). No solo da meia-encosta (TRd) devido a sua gênese e aos atributos físicos, já discutidos anteriormente, bem como da menor quantidade de água disponível (tabelas 36, 37 e 38) , o mesmo apresentou uma menor movimentação de cátions. Portanto, apresentou diferenças estatisticamente significativas apenas nos primeiros 25cm de profundidade dos tratamentos 2B e 2C em relação à testemunha 2A . Esta observação também foi constatada aos 36 meses após a aplicação dos insumos.

Tabela 28. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para saturação por bases (V%) aos 24 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Tratamentos	Profundidades(cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	41,80b	26,20b	17,40b	11,60b
1B	60,00a	30,40b	16,00b	11,20b
1C	70,80a	49,40a	30,60a	21,40a
F	24,42**	9,36**	11,17**	11,75**
DMS	11,98	16,33	9,74	6,81
CV%	11,53	25,57	25,26	25,58
2A	51,00b	50,40a	49,20a	35,80a
2B	64,60a	50,40a	52,00a	42,40a
2C	68,80a	52,80a	45,40a	45,00a
F	8,44*	0,22 ^{hs}	1,20 ^{hs}	2,27 ^{hs}
DMS	12,94	11,95	12,24	12,73
CV%	11,65	12,92	13,86	17,15
3A	55,60	67,40	70,00	72,20

Finalmente, ao 36 meses da aplicação dos insumos (tabela 29), como adiantado, não foi observado mudanças no comportamento da saturação por bases no solo da meia-encosta (TRd) em relação a época anterior. Entretanto, quanto ao solo do topo (PEL), houve alterações, como as diferenças estatisticamente significativas observadas entre os tratamentos 1C e a testemunha 1A na profundidade de 25-50cm, e, diferenças não significativas estatisticamente entre os tratamentos 1B e 1C, o que não tinha ocorrido anteriormente, diferindo apenas da testemunha 1A na profundidade de 75-100cm.

Tabela 29. Resultados da análise química dos solos dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para saturação de bases (V%), aos 36 meses após a aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

PROFUNDIDADES (cm)				
Tratamentos	0-25	25-50	50-75	75-100
1A	21,20b	11,20b	5,40b	4,20b
1B	49,80a	13,60ab	7,60b	9,40a
1C	52,20a	19,40a	14,80a	13,80a
F	25,51	23,38	25,00	29,41
DMS	18,93	6,22	4,18	4,85
CV%	13,55**	7,49*	22,52	16,00**
2A	36,80b	45,00a	37,40a	30,60a
2B	50,20a	51,20a	34,00a	37,40a
2C	54,60a	49,20a	47,80a	38,20a
F	8,75	14,10	20,13	12,67
DMS	7,46	12,34	14,45	8,10
CV%	25,21**	11,07 ^{ns}	4,04 ^{ns}	4,33 ^{ns}
3A	54,00	63,80	67,80	68,40

O rendimento da cana-de-açúcar depende muito dos atributos químicos do solo principalmente dos cátions básicos, como revelam os dados de saturação por bases da tabela 30, onde, em média, o solo TRe (fim-de-encosta) e TRd (meia-encosta) foram 27 % e 14% superiores respectivamente em relação ao solo PEL (topo) no primeiro corte; 24% e 25% no segundo corte; e, 19% e 45% superior no terceiro corte. O menor rendimento do solo TRe, no terceiro corte, pode ser explicado pela grande infestação de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) ocorrida nesta época combinada com o excedente hídrico do ano de 1995 (tabela 3 e figura 3), que se verificou nos primeiros meses do desenvolvimento da cultura.

Tabela 30. Saturação por bases (V%) dos solos da topossequência, média de 100 cm de profundidade, no primeiro, segundo e terceiro cortes da cana-de-açúcar, comparado com o rendimento agrícola (t colmo /ha)

Tratamentos	1º Corte / 93		2º Corte / 94		3º Corte / 95	
	V%	t/ha	V%	t/ha	V%	t/ha
1A	16,75	125,7	24,25	115,7	10,50	76,4
1B	34,55	124,6	29,40	115,6	20,10	75,9
1C	32,85	131,1	43,05	115,0	25,00	81,4
M	28,00	127,1	32,00	115,4	18,50	77,9
2A	41,25	145,2	46,60	138,1	37,45	111,4
2B	52,40	143,9	52,35	144,3	43,20	112,0
2C	53,90	147,2	53,00	150,2	47,45	115,6
M	49,20	145,4	50,65	144,2	42,70	113,0
3A	64,90	161,5	66,30	143,1	63,50	92,8

4.1.6. Saturação por alumínio e desenvolvimento de raízes

De acordo com a tabela 31, o teor de alumínio livre no tratamento 1A e nas profundidades superiores a 25cm do solo PEL da topossequência, são tóxicos para a maioria das culturas, exceto nos primeiros 25cm de profundidade. No solo TRd a quantidade de alumínio, mesmo na testemunha 2A, não representa risco de fitotoxicidade à cultura.

A interpretação dos dados de rendimento agrícola (tabela 40) revelaram que para a cana-de-açúcar, mesmo os altos teores de alumínio encontrados no tratamento 1A não foram prejudiciais à cultura. Esta observação evidencia que só o nível de alumínio não pode ser responsabilizado pelo estresse da cultura. Outros fatores, como os elevados teores de cálcio e magnésio, comum nos solos do experimento, diminuíram a atividade do alumínio devido ao aumento da força iônica e, conseqüentemente sua fitotoxicidade, concordando com os trabalhos de PAVAN (1981), BERTON (1989), CAMARGO & FURLANI (1989), FURLANI & BERTON (1992) e KINRAIDE & PARKER (1987). Deve ser considerado, também, que o sulfato original do solo 1A, 1B, 2A e 2C, bem como o que foi fornecido pelos tratamentos 1C e 2C, contribuíram para reduzir sua fitotoxicidade através da sua complexação, formando o par iônico $AlSO_4^+$, forma não tóxica, os quais representam 48% do alumínio total, constatado por (PAVAN et al. 1987).

A grande quantidade de alumínio no solo PEL, abaixo dos primeiros 25cm de profundidade, mesmo nos tratamentos que receberam calcário 1B e calcário combinado com gesso 1C, deveu-se, provavelmente, à pequena movimentação do carbonato, o qual ficou limitado na camada superficial, onde efetivamente elevou o pH do solo insolubilizando o alumínio. Ainda a sua acentuada quantidade presente no solo original (tabela 4), também pode ser considerada como a razão porque o gesso do tratamento 1C não apresentou resultados satisfatórios. No solo localizado na meia-

encosta TRd, mesmo na testemunha 2A, os teores de alumínio não foram considerados tóxicos à cultura da cana-de-açúcar.

Conforme a tabela 32, constatou-se diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos 1A e 1C para o peso da matéria seca de raízes, na primeira e segunda época de amostragem, na profundidade de 25-50cm e, apenas para primeira época, na profundidade de 50-75cm. Nas demais, independente do solo, os dados não diferiram estatisticamente.

Os dados da tabela 32 mostram que os maiores pesos da matéria seca de raízes são obtidos no solo PEL, no topo, inclusive na testemunha 1A, seguido do solo TRd da meia-encosta, e finalmente o solo TRe do fim-de-encosta. Neste último, onde a saturação de alumínio (m%) é inferior a 2,2%, o crescimento das raízes e, consequentemente, o peso da matéria seca das mesmas foi inferior aos demais solos. Apesar da inexistência de alumínio livre, neste solo, as raízes cresceram pouco, embora apresentasse cálcio e magnésio em abundância. A explicação para tal observação é obtida através da fotografia 3, a qual revela que este solo apresenta problemas de aeração, devido a menor taxa de drenagem impedindo o desenvolvimento das raízes, além da sua maior densidade (tabela 5).

Os resultados de peso da matéria seca de raízes encontrados no solo TRd, são inferiores aos obtidos no solo PEL, contrariando as afirmações encontradas na literatura (FOY, 1984; MALAVOLTA, 1989; ADAMS & LUND, 1966; e, MARTIN & EVANS, 1964). Tal constatação, deveu-se aos atributos físicos do referido solo, os quais devido sua gênese, são originalmente adensados, como revelam os dados de densidade do solo (tabela 5), além da menor quantidade de água disponível desse solo (tabelas 36, 37 e 38) proporcionando, portanto, maior resistência ao desenvolvimento radicular.

Retornando a tabela 20, apenas os teores de cálcio encontrados nas profundidades de 50-75cm e 75-100cm dos tratamentos 1A e 1B, poderiam significar alguma limitação ao crescimento das raízes, o que de certa forma não foi

confirmado pelas dados de peso da matéria seca de raízes da tabela 32, para os mesmos tratamentos e profundidades. Para tanto, basta verificar o peso da matéria seca de raízes dos tratamentos 2A e 2B, que apresentaram maiores teores de cálcio que os tratamentos 1A e 1B. Do exposto, ficou evidente que a presença de cálcio não foi suficiente para garantir o desenvolvimento radicular. O solo PEL, de maneira geral apresentou teores de cálcio inferiores ao solo TRd, além de possuir as maiores quantidades de alumínio. Tais constatações não contrariam as observações de HAYNES & ROBBINS, (1948); RITCHEY et al. (1981 e 1983); e RIOS & PEARSON, (1964), sobre a influência do cálcio no desenvolvimento radicular, mas indicam que deve existir um teor mínimo a partir do qual cessa seu crescimento e afeta o rendimento, conforme relatado por AZEVEDO et al. (1981).

Finalmente, considerando os dados de rendimento agrícola (tabela 40), foi possível afirmar que a cultura da cana-de-açúcar não foi tão afetada pelo alumínio, respondendo efetivamente ao cálcio e magnésio, os quais não limitaram a produção nos solos do experimento, concordando com WUTKE et al. (1960); WUTKE & ALVAREZ, (1968); GUIMARÃES et al. (1975) e COPERSUCAR (1977).

Do mesmo modo, os dados de saturação de alumínio (tabela 32) não caracterizaram a sua influência sobre as raízes da cana-de-açúcar. A análise dos dados de saturação de alumínio da testemunha 1A e o peso da matéria seca das raízes do mesmo tratamento foi suficiente para justificar tal observação. Portanto, não confirmam os resultados de KOFFLER & DONZELLI (1987), os quais afirmam que a saturação de alumínio, para a cana-de-açúcar, é limitante a partir de 43% e de RODELLA et al. (1984) que encontraram baixa resposta da cultura a partir de 25% de saturação de alumínio. Essa divergência tem como base o fato de que outros fatores devem ser analisados, como o teor de cálcio e magnésio, o que em parte justificaria as observações de RODELLA et al. (1984) os quais trabalharam em solos de cerrado, além do fator genético como destacado por VIANA et al. (1983) e FURLANI (1989).

Tabela 31. Resultados da análise química dos solos, dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para o alumínio (mmol dm^{-3}), aos 12, 24 e 36 meses após aplicação dos insumos, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

Tratamentos	0-25cm			25-50cm			50-75cm			75-100cm		
	12	24	36	12	24	36	12	24	36	12	24	36
1A	22,6a	24a	19,0a	29,2a	10,2a	23,6a	30,2a	14,6a	26,0a	29,0a	18,6a	25,4a
1B	0,0b	2,4a	5,4b	11,6c	6,6b	10,6b	16,6c	14,6a	26,0a	18,6b	18,2a	24,4a
1C	1,4b	0,0b	3,8b	16,8b	3,6c	11,4b	25,2b	7,0b	25,0a	26,4a	18,2a	24,2a
F	225,86**	36,00**	268,31**	72,57**	21,69**	94,43**	104,38**	30,24**	0,26 ^{ns}	17,65**	0,05 ^{ns}	0,80 ^{ns}
DMS	3,4	0,9	2,1	4,3	2,9	2,9	2,7	3,2	4,6	5,2	4,0	2,9
CV%	23,55	32,27	12,13	12,36	23,33	10,65	6,27	14,79	9,93	11,68	12,22	6,49
2A	5,6a	4,0a	4,4a	4,8a	3,4a	2,8a	4,0a	0,0c	2,6a	4,8a	2,6ab	2,6a
2B	0,0c	1,0b	1,4b	2,6b	2,8a	2,0a	3,2a	1,6b	2,2a	2,8b	3,4a	2,2a
2C	1,8b	0,0c	1,0b	4,0ab	1,6a	1,4a	4,6a	3,4a	2,4a	2,4b	1,2b	2,8a
F	52,17**	130,0**	49,33**	7,92*	3,76 ^{ns}	3,89 ^{ns}	2,79 ^{ns}	66,77**	0,44 ^{ns}	31,0**	5,55*	1,00 ^{ns}
DMS	1,6	0,7	1,1	1,6	1,9	1,4	1,7	0,8	1,2	0,9	1,9	1,2
CV%	35,88	24,49	26,10	23,29	40,64	38,51	23,89	27,93	27,95	15,49	44,03	26,97
3A	2,2	2,2	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00

Tabela 32. Resultados da análise química dos solos, dos locais topo (1), meia-encosta (2) e fim-de-encosta (3), da topossequência, para saturação de alumínio (m%), aos 36 meses após aplicação dos insumos, comparado com os pesos da matéria seca das raízes (g/5kg de terra), realizadas em duas épocas (22/03/1995 e 17/06/1995), antes da colheita da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100cm.

0-25cm				25-50cm				50-75cm				75-100cm			
Tratamentos		m%	1° E	2° E	m%	1° E	2° E	m%	1° E	2° E	m%	1° E	2° E		
1A		39,4a	1,375a	2,008a	55,4a	1,447a	1,402a	75,2a	0,850a	0,786a	78,8a	0,629a	0,729a		
1B		8,0b	1,357a	1,830a	36,0b	1,067ab	1,158ab	66,8a	0,859a	0,686a	61,8b	0,432a	0,455a		
1C		5,2b	1,797a	1,674a	27,2b	0,908b	0,798b	48,2a	0,451b	0,943a	53,8b	0,467a	0,632a		
F		62,45**	1,70 ^{ns}	0,71 ^{ns}	17,96**	3,76*	5,28*	23,85**	4,90*	1,67 ^{ns}	25,08**	1,14 ^{ns}	0,93 ^{ns}		
DMS		9,71	0,66	0,69	13,75	0,50	0,46	11,43	0,37	0,34	10,3	0,34	0,38		
CV%		30,64	43,81	37,31	19,26	43,39	40,91	9,98	50,68	43,19	8,8	66,95	69,15		
2A		14,0a	0,699a	0,901a	8,2a	0,537a	0,697a	13,8a	0,252a	0,335a	15,4a	0,183a	0,329a		
2B		2,8b	0,762a	0,972a	5,6a	0,702a	0,614a	11,8a	0,407a	0,342a	11,4a	0,244a	0,377a		
2C		1,8b	0,662a	0,968a	3,4a	0,601a	0,930a	7,0a	0,347a	0,512a	12,0a	0,258a	0,341a		
F		89,38**	0,23 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,72 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,45 ^{ns}	2,80 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,92 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,08 ^{ns}		
DMS		2,89	0,36	0,52	5,89	0,30	0,36	8,44	0,25	0,33	6,28	0,27	0,31		
CV%		25,84	50,95	55,06	56,83	49,06	48,54	42,98	75,42	82,56	26,9	118,67	88,13		
3A		2,2	0,826	1,104	0,0	0,292	0,320	0,0	0,094	0,405	0,0	0,077	0,147

Fotografia 3. Solo Terra Roxa Estruturada eutrófica (TRe) localizada no fim-da-encosta da topossequência.

4.2. Atributo físico do solo

4.2.1 Teor de água disponível e distribuição de raízes

As leituras com a sonda de neutrons deveriam ter sido efetuadas em intervalos regulares de, aproximadamente, 15 dias. Entretanto, essa regularidade dependia da sua disponibilidade, o que nem sempre ocorreu devido à problemas técnicos, e nesses casos o retorno as leituras eram imprevisíveis, às vezes muito demoradas.

Os dados das tabelas (33, 34 e 35) revelaram que o teor de água disponível (cm^3/cm^3) do solo PEL (topo); é maior que os teores encontrados nos solos TRd (meia-encosta), tabelas (36, 37 e 38); e, TRe (fim-de-encosta), tabela (39).

A maior quantidade de água disponível do solo PEL (fotografia 4), e a sua gênese, apresentando menor densidade, em relação aos demais solos (tabela 5) devem ter favorecido o maior desenvolvimento radicular apresentado pela cultura. Entretanto, o rendimento agrícola obtido no referido solo foi inferior aos rendimentos obtidos nos demais solos (tabela 30), onde a saturação por bases eram menores. Pode-se inferir que, a cultura compensou a menor disponibilidade de nutrientes com um maior desenvolvimento radicular, favorecido pelas condições dos seus atributos físicos.

Tabela 33. Teor de água disponível (cm^3/cm^3) em diferentes épocas, e peso da matéria seca de raízes (g/5kg terra) do solo PEL (topo), tratamento 1A (testemunha), nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Parâmetros	épocas	PROFUNDIDADES (cm)			
		0-25	25-50	50-75	75-100
AD	13/12/94	0,12	0,12	0,14	0,15
	28/12/94	0,12	0,15	0,15	0,15
	12/01/95	0,12	0,15	0,15	0,15
	27/04/95	0,12	0,12	0,14	0,15
	15/05/95	0,12	0,12	0,15	0,15
	25/05/95	0,12	0,12	0,15	0,15
	07/06/95	0,0	0,0	0,02	0,03
média		0,10	0,11	0,13	0,13
peso raízes		2,008a	1,402a	0,786a	0,729a

(*) água disponível

Tabela 34. Teor de água disponível (cm^3/cm^3) em diferentes épocas, e peso da matéria seca de raízes (g/5kg terra) do solo PEL (topo), tratamento 1B (calcário), nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Parâmetros	épocas	PROFUNDIDADES (cm)			
		0-25	25-50	50-75	75-100
AD*	13/12/94	0,12	0,09	0,15	0,15
	28/12/94	0,12	0,12	0,15	0,15
	12/01/95	0,12	0,14	0,15	0,15
	27/04/95	0,12	0,12	0,15	0,15
	15/05/95	0,12	0,14	0,15	0,15
	25/05/95	0,12	0,15	0,15	0,15
	07/06/95	0,03	0,00	0,04	0,03
média		0,11	0,11	0,13	0,13
peso raízes		1,830a	1,158AB	0,686a	0,455a

(*) Água disponível

Tabela 35. Teor de água disponível (cm^3/cm^3) em diferentes épocas, e peso da matéria seca de raízes (g/5kg terra) do solo PEL (topo), tratamento 1C (calcário e gesso), nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Parâmetros	épocas	PROFUNDIDADES (cm)			
		0-25	25-50	50-75	75-100
AD*	13/12/94	0,12	0,14	0,14	0,15
	28/12/94	0,12	0,15	0,15	0,15
	12/01/95	0,12	0,15	0,15	0,15
	27/04/95	0,12	0,15	0,15	0,15
	15/05/95	0,12	0,15	0,15	0,15
	25/05/95	0,12	0,15	0,15	0,15
	07/06/95	0,04	0,02	0,02	0,05
média		0,11	0,11	0,13	0,14
peso raízes		1,674a	0,798b	0,943a	0,632a

(*) Água disponível

Nos solos TRd e TRe, os atributos físicos como a densidade (tabela 5) e o teor de água disponível (tabelas 36, 37, 38 e 39) eram desfavoráveis ao desenvolvimento das raízes, embora os atributos químicos fossem superiores (tabela 30), o que teria contribuído para a obtenção dos maiores rendimentos agrícolas pela cultura. Tal constatação, indicam que os atributos químicos mostraram-se mais determinantes para o rendimento agrícola do que os atributos físicos. A menor quantidade de água disponível desses solos, combinado com a gênese dos mesmos, fotografias 5 e 3, respectivamente, os quais são adensados naturalmente, representaram maior resistência à exploração de maior volume de solo pelas raízes.

Observou-se também que o teor de água disponível não se alterou, mesmo nos tratamentos com maior desenvolvimento radicular. Por exemplo, devido a maior

quantidade de raízes encontradas nos primeiros 25cm de profundidade, no solo PEL, tratamento 1A, era esperado que o teor de água disponível fosse sensivelmente menor, que os teores obtidos nos tratamentos 1B e 1C, o que não ficou caracterizado.

Com relação a distribuição das raízes no perfil do solo (figuras 5 e 6) ficou evidenciado que a combinação calcário e gesso modificou a redistribuição das mesmas em profundidade, concordando com RITCHEY et al. (1980); MORELLI et al. (1987); LORENZETTI et al. (1992) e VITTI (1989).

A maior concentração de raízes nos primeiros 25cm de profundidade no solo TRe, no fim-de-encosta (tabela 32), foi resultado de problemas de natureza física, principalmente, em relação a sua aeração devido a menor taxa de drenagem, como revelam as cores amareladas e gleizadas constatadas na fotografia 3.

Tabela 36. Teor de água disponível (cm^3/cm^3) em diferentes épocas, e peso da matéria seca de raízes (g/5kg terra) do solo TRd (meia-encosta), tratamento 2A (testemunha), nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Parâmetros	épocas	PROFUNDIDADES (cm)			
		0-25	25-50	50-75	75-100
AD*	13/12/94	0,06	0,07	0,07	0,03
	28/12/94	0,06	0,07	0,07	0,07
	12/01/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	27/04/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	15/05/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	25/05/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	07/06/95	0,03	0,03	0,00	0,00
média		0,06	0,06	0,06	0,05
peso raízes		0,901a	0,697a	0,335a	0,329a

(*) Água disponível

Tabela 37. Teor de água disponível (cm^3/cm^3) em diferentes épocas, e peso da matéria seca de raízes (g/5kg terra) do solo TRd (meia-encosta), tratamento 2B (calcário), nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Parâmetros	épocas	PROFUNDIDADES (cm)			
		0-25	25-50	50-75	75-100
AD*	13/12/94	0,05	0,07	0,07	0,07
	28/12/94	0,06	0,07	0,07	0,07
	12/01/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	27/04/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	15/05/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	25/05/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	07/06/95	0,00	0,01	0,02	0,01
média		0,05	0,06	0,06	0,06
peso raízes		0,972a	0,614a	0,342a	0,377a

(*) Água disponível

Tabela 38. Teor de água disponível (cm^3/cm^3) em diferentes épocas, e peso da matéria seca de raízes (g/5kg terra) do solo TRd (meia-encosta), tratamento 2C (calcário e gesso), nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Parâmetros	épocas	PROFUNDIDADES (cm)			
		0-25	25-50	50-75	75-100
AD*	13/12/94	0,06	0,07	0,07	0,07
	28/12/94	0,06	0,07	0,07	0,07
	12/01/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	27/04/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	15/05/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	25/05/95	0,06	0,07	0,07	0,07
	07/06/95	0,00	0,01	0,01	0,03
média		0,05	0,06	0,06	0,06
peso raízes		0,968a	0,930a	0,512a	0,341a

(*) Água disponível

Tabela 39. Teor de água disponível (cm^3/cm^3) em diferentes épocas, e peso da matéria seca de raízes (g/5kg terra) do soloTRe (fim-de-encosta), tratamento 3A (testemunha), nas profundidades de 0-25cm; 25-50cm; 50-75cm e 75-100 cm.

Parâmetros	épocas	PROFUNDIDADES (cm)			
		0-25	25-50	50-75	75-100
AD*	13/12/94	0,06	0,04	0,05	0,05
	28/12/94	0,06	0,05	0,05	0,05
	12/01/95	0,06	0,05	0,05	0,05
	27/04/95	0,06	0,05	0,05	0,05
	15/05/95	0,06	0,05	0,05	0,05
	25/05/95	0,06	0,05	0,05	0,05
	07/06/95	0,00	0,00	0,00	0,04
média		0,05	0,04	0,04	0,05
peso raízes		1,104	0,320	0,405	0,147

(*) Água disponível

Figura 5. Distribuição relativa das raízes no perfil do solo em função dos tratamentos para o solo PEL, localizado no topo da topossequência.

Figura 6. Distribuição relativa das raízes no perfil do solo em função dos tratamentos para o solo TRd, localizado meia-encosta da topossequência.

Fotografia 4. Solo Podzólico Vermelho-Escuro álico (PEL). Horizonte Bt (18-27 cm) e Bw (+ 27 cm).

Fotografia 5. Solo Terra Roxa Estruturada distrófica (TRd). Horizonte Bt (+ 22 cm).

4.3. Rendimento agrícola

De acordo com os dados apresentados na tabela 40, não houve diferença estatisticamente significativa para o rendimento entre os tratamentos, nas três colheitas da cana-de-açúcar, aos 12, 24 e 36 meses, para o mesmo solo da topossequência.

Para as condições estudadas, independentemente do solo, a cultura da cana-de-açúcar não respondeu ao uso de calcário e, tampouco ao uso do gesso combinado com calcário, embora existisse ligeira tendência de maior rendimento dos tratamentos 1C e 2C.

O rendimento do tratamento 1A, não diferiu dos demais tratamentos 1B e 1C, demonstrando que a cana-de-açúcar é tolerante à acidez e ao alumínio, concordando com SCHMEHL & HUMBERT, (1964); WUTKE et al. (1960); WUTKE & ALVAREZ, (1968); e GUIMARÃES et al. (1975), os quais concluíram que a cultura citada responde mais ao cálcio e magnésio, os quais são encontrados nesses solos em teores mais que suficientes à necessidade da cultura (RODELLA et al. 1984; e AZEVEDO et al. 1981).

De acordo com os dados de rendimento (tabela 40), obtidos pela cana-de-açúcar, nota-se que a cultura pode apresentar elevadas produções, mesmo com um sistema radicular reduzido, o que está de acordo com EVANS (1935) e discordante de BARDER & SILBERBUSH, (1984), bem como de PHILLIPS & KIRKHAM (1962), os quais relacionam a produtividade com desenvolvimento radicular. A justificativa pode ser encontrada em FURLANI (1989), onde não só o fator genético, mas outros de natureza ambiental, físico ou químico, atuam de forma diversa nos diferentes órgãos da planta.

Todavia, os resultados não comprovaram a afirmação de LORENZETTI et al. (1992), de que o uso de gesso (1C e 2C) resulta em maior

longevidade da cultura da cana-de-açúcar, pois o aumento do rendimento do terceiro corte, dos referidos tratamentos apresentaram aumentos de 5 e 4t de colmo/ha, em relação a média obtida entre os tratamentos 1A e 1B; e 2A e 2B, respectivamente. Destaque-se que, provavelmente, os dados de apenas 3 cortes representam tempo insuficiente para a manifestação da longevidade da cultura.

Tabela 40. Rendimento da cana-de-açúcar nos solos dos locais topo (T), meia-encosta (E) e fim-de-encosta (F), da topo sequência para o 1º, 2º e 3º cortes.

Tratamentos	1º Corte / 93		2º Corte / 94		3º Corte / 95	
	kg/parcela	t/ha	kg/parcela	t/ha	kg/parcela	t/ha
1A	879,6a	125,7	809,8a	115,7	535,0a	76,4
1B	872,2a	124,6	809,0a	115,6	531,0a	75,9
1C	917,6a	131,1	815,2a	115,0	570,0a	81,4
F	0,94 ^{ns}	—	0,01 ^{ns}	—	1,63 ^{ns}	—
DMS	101,5	—	117,2	—	67,8	—
CV%	6,3	—	8,0	—	6,9	—
2A	1.016,5a	145,2	966,8a	138,1	780,0a	111,4
2B	1.007,2a	143,9	1.010,2a	144,3	784,0a	112,0
2C	1.030,5a	147,2	1.051,8a	150,2	809,0a	115,6
F	0,49 ^{ns}	—	1,74 ^{ns}	—	0,48 ^{ns}	—
DMS	67,7	—	130,2	—	91,7	—
CV%	3,7	—	7,1	—	6,4	—
3A	1.130,60	161,5	1.001,80	143,1	650,00	92,8

Finalmente, considerando os solos dos diferentes segmentos da topossequência, como PEL, TRd e TRe, verificou-se que o rendimento médio dos tratamentos foi crescente na mesma ordem, ou seja: 127t/ha, 145t/ha e 161t/ha, para o primeiro corte. No segundo corte, praticamente se verificou a mesma tendência apresentando maiores produtividades os solos com maior quantidade de cátions básicos; quais sejam: 115t/ha (PEL), 144t/ha (TRd) e 143t/ha (TRe). A inversão que ocorreu no terceiro corte onde o solo TRe apresentou uma produtividade menor (92,8t/ha) em

relação ao TRd (113t/ha), pode ser explicado pela grande infestação de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) que ocorreu nesta época, bem como pela menor taxa de drenagem e aeração dos mesmos (fotografia 3).

A existência de uma tendência de queda no rendimento agrícola do primeiro corte da cana-de-açúcar para os cortes sucessivos, é normal para a cultura, tendo sido ampliado, no presente experimento, possivelmente, pelo aumento da deficiência hídrica que ocorreu do primeiro corte (1993) para o terceiro corte (1995), conforme as tabelas 1,2 e 3; e as figuras 1, 2 e 3.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da pesquisa na topossequência, constituída pelos solos álicos no topo, Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico (PEL); distróficos na meia-encosta, Terra Roxa Estruturada distrófica (TRd); e, eutróficos no fim-de-encosta, Terra Roxa Estruturada eutrófica (TRe); através da análise dos resultados do experimento, permitiram concluir que:

- (1) o efeito do calcário e do gesso no rendimento da cultura da cana-de-açúcar é função do teor de cátions básicos contidos no solo.
- (2) o teor de alumínio do solo, isoladamente, não é suficiente para determinar menor desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar.
- (3) a maior quantidade de raízes na cultura da cana-de-açúcar não promoveu maior rendimento agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; LUND, Z.F. Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. **Soil Science**, v. 101, n.3, p. 193-8, 1966.

ALAM, S. M.; ADAMS, W. A. Effect of aluminum on nutrient composition and yield of oats. **Journal of Plant Nutrition**, n.4, p. 365-75, 1979.

AZEVEDO, D.F. de; GLÓRIA, N. A.da ; MANHÃES, M.S. Efeitos da calagem na cana-planta e nas caracterisitcas químicas de 2 solos do estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB , 2., Rio de Janeiro, 1981. **Anais**. Rio de Janeiro, 1981, v.3/4, p.71-88.

BARDER, S.A.; SILBERBUSH. Plant root morphology and nutrient uptake. In: **SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICAN ROOTS, NUTRIENTS AND WATER INFLUX AND PLANT GROWTH**. v.49, p. 65-89, 1984.

- BERTON, R.S. Especificação iônica da solução do solo, metodologia e aplicação. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. Anais Campinas: Fundação Cargill,. 1989. p.17-41.
- BILSKI, J.J.; FOY,C.D. Differential tolerances of oat cultivars to aluminum in nutrient solutions and in acid soils of Poland. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 2, p. 129-41, 1987.
- BOHM, W. Methods of studying root systems. In: BILLINGS, W.D., ed. **Ecological Studies**, v. 33, p. 1-188, 1979.
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A.; LANTMANN, A.F. Considerações sobre o uso de gesso na agricultura (1). **Informações Agronômicas** POTAFÓS, n. 40, p.1-3, 1987.
- CALBO, A.G.; CAMBRAIA, J. Efeito do alumínio sobre a composição mineral de dois cultivares da sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Revista Ceres**, v. 27, n. 152, p. 369-78, 1980.
- CAMARGO, C.E.O. Tolerância de cultivares de arroz a dois níveis de alumínio em soluções nutritivas contendo diferentes concentrações de sais. **Bragantia**, v. 43, n. 2, p. 381-88, 1984.
- CAMARGO, C.E.O. Trigos: efeito de magnésio combinado com forças crônicas em solução nutritiva na tolerância ao alumínio. **Bragantia**, v. 46, n. 2, p. 191-202,.1987.

- CAMARGO, O.A. FURLANI, P.R. Alumínio no solo: concentração, especiações e efeito no desenvolvimento radicular. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 45-69.
- CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância à toxidez de alumínio em plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 2. , Piracicaba, 1989. **Anais**. Piracicaba: SBFV/ESALQ, 1989. p.85-92.
- CORDEIRO, O. A. Efeito da calagem e da adubação potássica sobre a produção de colmo e o equilíbrio nutricional da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). Piracicaba, 1978. 102p .Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).
- COSTA, C.A.S. Mineralização de enxofre orgânico e absorção de sulfato em solos. Porto Alegre, 1980. 65p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Recomendações de fertilizantes em cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersúcar**, n. 4, p. 7-13, 1977.
- COUTO, W.; LATHWELL, O.J.; BOULDEN, O.R. Sulfate sorption by two oxissols and an alfissol of the thopics. **Soil Science**. v. 127, p. 108-16, 1979.

- DAL BÓ, M.A. Movimentação de bases e crescimento de raízes de cana-de-açúcar em colunas de solo, em função da adição de diferentes sais de cálcio. Viçosa, 1985. 108p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Viçosa.
- DEMATTE, J.L.I. Aptidão agrícola de solos e o uso do gesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. **Anais**. São Paulo: IBRAFOS, 1992. p.307-24.
- DILLEWIJN, C.N. **Botany of sugar cane**. Wagening: Veeman & Zonem, 1952. 371p.
- DURING, C.; COOPER, M. Sulphate nutrition and movement in a soil with high sulphate sorption characteristics. N.Z.J. **Experimental Agriculture**. v.2, p.45-51, 1974.
- FERREIRA, E. da S.; KORNDORFER, G.H.; MARTINS, J; MATTHIELSEN, L.A. Efeitos da aplicação de gesso + calcário sobre algumas características químicas em latossolo vermelho-amarelo. **Boletim Técnico Copersucar**, n.30, p.13-15, 1987.
- FOY, C.D. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. **Plant Physiology**, v.41, p.165-72, 1966.
- FOY, C. D. Effect of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. **The plant root and its environment**. Charlottesville, University Press of Virginia, 1971. p. 601-40.
- FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum, and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F. Ed. **Soil acidity and liming**, 2. ed. Madison: Soil Science. Society. 1984, p. 57-97.

- FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. In: HATFIELD, J. L.; STEWART, B.A. **LIMITATIONS TO PLANT ROOT GROWTH**. New York; Springer-Verlag, 1992. p.97-149.
- FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.29; p.511-66.1978.
- FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. 2., Campinas. 1989. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.73-90.
- FURLANI, P. R.; BERTON, R.S. Atividade de cálcio e alumínio e desenvolvimento radicular. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba. 1992.**Anais**. São Paulo: IBRAFOS, 1992. p.121-138.
- GUIMARÃES, E.; DEGASPARI, I.; GURGEL, M.N.A.; ALONSO, O. Estudos da influência de dois tipos de calcário sobre a acidez do solo e produção de cana-de-açúcar. SEMINÁRIO COOPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇUCAREIRA, 4., Águas de Lindóia, 1975. **Anais**. São Paulo: Copersúcar, 1975. p.279-88.
- HAYNES, J.L.; ROBBINS, W.R. Calcium and boron as essential factors in the root environment. **Journal American Society Agronomy**. v.40, p.795-803, 1948.
- KAMPRATH, E.J.; FOY, C.D. Limefertilizer-plant interaction in acid soils. In: DINAVER, R.C., ed. **Fertilizer tecnology & use**. 2., ed. Madison: Soil Science Society of América,1971. p.105-151.

- KINRAIDE, T. B.; PARKER, D. R. Cation amelioration of aluminum toxicity in wheat. **Plant Physiology**, v.83, n.3, p.546-51, 1987.
- KOFFLER, N.F. A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água as plantas no cerrado: **Informações Agronômicas, POTAFÓS**, 3. 33, 1986.
- KOFFLER, N. F.; DONZELLI, P.L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.19-41.
- LANDELL, M.G. de A. Comportamento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), frente a níveis de alumínio, em solução nutritiva. Jaboticabal, 1989. 117p. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade do Estado de São Paulo.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R.G. **Preservação ambiental e produção de alimentos**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1991. 14p.
- LORENZETTI, J.M.; RODRIGUES, J.C.; MORALES, S.H; DEMATTÊ, J.L.I. **Uso de calcário e gesso em soqueira de cana-de-açúcar**. 1992. 15 p. (mimeografado).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba. Assoc. Bras. Pesq. Potassa e Fosfato, 1989. 201 p.
- MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Calagem. IN: ORLANDO FILHO, J., Coord. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Planalsucar, 1983. p.181-208.

- MARINHO, M. L.; ARAÚJO FILHO, J. T. **Calibração do Al no solo par Cana-de-açúcar em Alagoas**. Piracicaba, IAA/Planalsucar; COONE, 1981. 17 p.
- MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G.A.; ARAÚJO FILHO, J.T. Efeitos da calagem em solo argiloso fortemente ácido em Alagoas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 14., Cuiabá, 1981.
- MARTINS, J.P.; EVANS, H. Nutritional deficiencies and toxicities. In: HUGUER, C.G.; ABBOTT, E.V.; WISMER, C.A., ed. **Sugar cane diseases of world**. Amsterdam: Elsevier, 1964. v.2.
- MAZZA, J. A. Efeitos do calcário e do gesso aplicados no plantio e em soqueiras de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) nos atributos químicos de solos e na produtividade da cultura. Piracicaba, 1993. 141p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e sub-produto**, v.2, p.24-31, 1987.
- MUGWIRA, L. M. Growth and Ca, Mg, K and P uptake by triticale, Wheat and rye at four Al levels. **Journal of Plant Nutrition**, v.2, p.591-606, 1980.
- NASCIMENTO, V. M.; NEPTUNE, A.M.L.; FERNANDES, F. M. Efeitos da calagem sobre algumas características de fertilidade de um latossolo sob vegetação de cerrado. **Científica**, v.11, n.2, p.177-81, 1983.

- OLIVEIRA, J.B.; ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J. Regimes hídricos e térmicos dos solos do Estado de São Paulo. XV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Campinas. 1976. **Anais.** p.359-362.
- OLMOS, I.L.J.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, v.28, n.2, p.171- 80, 1976.
- ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M.B.P.de. Influência dos fatores climáticos na produção. In: **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa da Potássio e Fósforo, 1987, p. 71-100.
- PAVAN, M. A. Toxicity of Al (III) to coffee (*Coffea arabica* L.) IN: Nutrient solution culture and in Oxisols and Ultisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Riverside, 1981. p. Tese (Doutorado) - Universidade da Califórnia.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil Science Society American Journal**. v.46, n.5, p.993-97, 1982.
- PAVAN, M. A.; VOLKWEISS, S.J. Efeitos do gesso nas relações solo-planta: Princípios. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. **Anais**. Brasília: EMBRAPA/DDT, 1986. p. 107-44.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PEREIRA, F.J. Influence of calcium and magnesium salts on acid soil chemistry and calcium nutrition of apple. **Soil Science Society American Journal**, v.51, n.6, p.1526-30, 1987.

PHILLIPS, R. E. & KIRKHAN, D. Soil compaction in the field and corn growth. **AGRONOMY JOURNAL**, v.54, p.29-34, 1962.

PLANALSUCAR/IAA. Super. **Relatório anual**. 1982. Piracicaba. 160 p.

PLANALSUCAR/IAA. Cosul. **Relatório anual da Seção de Solos e Adubação - 1983**. Araras, 1983. 164 p.

PLANALSUCAR Programa Nacional de melhoramento de cana-de-açúcar. **Relatório Anual**. 1985. Piracicaba, 164 p.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Editora Agronômica Ceres Ltda. 1991. 343p.

RANZANI, G. Solos de Cerrado no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 3., São Paulo: Edgard Blücher, 1971, p.26-43.

RIOS, M.A.; PEARSON, E.W. The effect of some chemical environmental factors on cotton root behavior. **Soil Science Society American Proceedings**. v.28, p.232-35, 1964.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; SOUZA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., Salvador. 1981. **Programa e resumos**. Salvador: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. p. 96.

- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; SOUZA, D.M.G. Relações entre o teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. **Revista Brasileira do Solo**, v.7, n.3, p.269-75, 1983.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E., O. CORREA. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, v.72, n.1, p.40-44, 1980.
- RODELLA, A. A.; ZAMBELLO JR., E. & ORLANDO FILHO, J. Calibração de cálcio, magnésio e acidez do solo para a cana-de-açúcar cultivada na região de cerrado. **STAB. Açúcar & Alcool e Subproduto**, v.2, n.3, p.45-8, 1984.
- ROLIM, J. C. Influência de corretivos da acidez e do gesso agrícola em propriedades químicas do solo, na nutrição e produção da cana-de-açúcar. Piracicaba, 1995, 116p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- RUSSEL, E.W. **Soil conditions and plant growth**: 9ed. London: Longmans, 1961. 688 p.
- SAMUELS, G. **Foliar diagnosis of sugarcane**. Puerto Rico, Agriculture Research, 1969. 362 p.
- SCHMEHL, W. R.; HUMBERT, R.P. Nutrient deficiencies in sugarcane crops. In: SPRAGUE, H. B., ed. **Hunger signs in 2 rd. crop**; a symposium. 3. ed. New York: David Mackay. 1964. cap. 12, p.415-50.

- THORNTONWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in Climatology**, 8(1): 1-104, 1955.
- VARGAS, J.T.D. Aplicação de calcário em duas profundidades e seus efeitos no solo e na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba, 1989. 122p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- VIANA, A.R.; ANDRADE, L.A. de B.; A.J. NETTO, Efeito da calagem e tolerância à acidez em cem cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): estudo preliminar. **Ciência & Prática**, v.7, n.2, p.205-15, 1983.
- VITTI, G. C. **Acidez do solo**; calagem e gessagem. Ilha Solteira: UNESP, 1987. (mi). p.
- WAGATSUMA, T.; KANEKO, M.; HAYASAKA, Y. Destruction process of plant root cells by aluminum. **Soil Sci and Plant Nutrition**. v.33, p.161-75, 1987.
- WIERSUM, L. K. Utilization of soil by the plant root system. **Plant & Soil**, v.15, p.189-92, 1961.
- WUTKE, A.C.P.; ALVAREZ, R. Restauração do solo para a cultura da cana-de-açúcar. 8. **Bragantia**, v.27, n.18, p.201-17, 1968.
- WUTKE, A.C.P.; ALVAREZ, R.; GARGANTINI, H.; ARRUDA, H.V. Restauração de solos para cultura de cana-de-açúcar. II. período 1956-1958. **Bragantia**, v.19, n.43, p.675-87, 1960.

ZAMBELLO JUNIOR, E. & ORLANDO FILHO, J. Adubação da cana-de-açúcar na região centro sul do Brasil. **Boletim Técnico PLANALSUCAR**, v.3, n.5, p.5-26,1981.

ZOTARELLI, E. M. M. Calagem e gessagem em uma areia quartzosa cultivada com cana-de-açúcar. Piracicaba, 1992. 73 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.