

ALEXANDRE TAVARES DA ROCHA

GESSO MINERAL NA MELHORIA DO AMBIENTE RADICULAR DA
CANA-DE-AÇÚCAR E IMPLICAÇÕES NA PRODUTIVIDADE
AGRÍCOLA E INDUSTRIAL

RECIFE
PERNAMBUCO – BRASIL
2007

ALEXANDRE TAVARES DA ROCHA

GESSO MINERAL NA MELHORIA DO AMBIENTE RADICULAR DA
CANA-DE-AÇÚCAR E IMPLICAÇÕES NA PRODUTIVIDADE
AGRÍCOLA E INDUSTRIAL

Tese apresentada à Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como parte das exigências do
Programa de Pós – Graduação em Ciência do
Solo para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador

Prof. Fernando José Freire, D.Sc.

Conselheiros

Prof. Mário de Andrade Lira Júnior, Ph.D.

Prof. Clístenes Williams Araújo do Nascimento, D.Sc.

RECIFE - 2007

(FALTA REGISTRO NA BIBLIOTECA/UFRPE)

Foi pedida por e-mail, e deve ser impressa no verso da pág. anterior

Catálogo na Fonte
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

R f Rocha, Alexandre Tavares da
Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial/ Alexandre Tavares da Rocha. – 2007.
69f. : il.
Orientador: Fernando José freire
Tese (Doutorado em Ciência do Solo)– Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.
Inclui referencias bibliográficas e anexo.

CDD

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
6. Solo – Fertilidade
- I. Freire, Fernando José
- II. Título

ALEXANDRE TAVARES DA ROCHA

GESSO MINERAL NA MELHORIA DO AMBIENTE RADICULAR DA
CANA-DE-AÇÚCAR E IMPLICAÇÕES NA PRODUTIVIDADE
AGRÍCOLA E INDUSTRIAL

Tese apresentada à Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como parte das exigências do
Programa de Pós – Graduação em Ciência do
Solo para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Tese aprovada no dia 27 de abril de 2007

Prof. Gustavo Pereira Duda, Ph.D

Prof. Rômulo Simões C. Menezes, Ph.D

Prof. Gilson Moura Filho, D.Sc

Prof. Clístenes Williams A. do Nascimento, D.Sc

Prof. Fernando José Freire, D.Sc

ORIENTADOR

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de formação e de firmção na vida acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao PROMATA/FACEPE por proporcionar a realização deste trabalho.

A Usina Trapiche, e principalmente ao Eng^o Agr^o Cauby Pequeno Figueiredo Filho, pelo apoio e parceria na realização das atividades de campo.

A mineradora SUPERGESSO pelo apoio fornecimento do gesso mineral.

Ao professor Fernando José Freire pela orientação, confiança, e pela ousadia do “Progessocana”, projeto de pesquisa que certamente marcará a vida profissional de seus orientados.

Aos conselheiros, Professores Mário de Andrade Lira Júnior e Clístenes Williams Araújo do Nascimento, pela amizade e assistência prestada em todas as etapas do doutoramento.

Aos companheiros mestres, mestrandos, agrônomos e agronomandos do “Progessocana”, pela dedicação e alegria nos árduos trabalhos de campo e nas intermináveis horas de laboratório.

Aos Amigos Eduardo Saldanha, Alexandre Campelo e Emídio Cantídio, pela parceria e motivação desde os primeiros eventos do “Progessocana”.

Aos Amigos José Fernando Lima (Zeca) e Djalma Euzébio pela iniciação no universo da cultura da cana-de-açúcar.

Aos Amigos da turma de doutorado de 2003 e demais colegas do programa de pós-graduação em Ciência do solo, pela troca de experiências nos últimos anos.

Aos Professores da área de solos da UFRPE pelo exemplo e pela dedicação na formação de seus alunos.

Aos Funcionários da UFRPE, Maria do Socorro, Severino (Sr Noca), Josué e Camilo pelo carinho e apoio.

A minha esposa Janaína e ao meu filho Pedro pelo incentivo permanente e incondicional.

E ao meu Pai, Carlos Tavares da Rocha, pelo esforço investido na formação de “um filho doutor...”.

OBRIGADO.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO	1
REFERENCIAL TEÓRICO	4
I. Síntese histórica e importância da cana-de-açúcar no Brasil e em Pernambuco	4
II. Gesso mineral	5
III. A gessagem em solos ácidos	7
IV. Dinâmica de gesso em solos ácidos	9
V. Avaliação do Sistema Radicular	11
MATERIAL E MÉTODOS	12
I. Caracterização da área e do solo estudado	12
II. Caracterização do gesso mineral	15
III. Classificação das variedades de cana-de-açúcar testadas	17
IV. Definição dos tratamentos e procedimento experimental	18
V. Análises químicas	21
VI. Análise estatística	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
I. Prospecção do uso do gesso mineral em cana-de-açúcar	23
II. Avaliação da aplicação de doses de gesso mineral em solos cultivados com cana-de-açúcar.	30
i. Correção da acidez do solo com a utilização de gesso mineral	30
ii. Indicação da dose de gesso mineral recomendável para correção da acidez trocável em subsuperfície	34
iii. Movimentação de cátions e ânions no perfil do solo	34
iv. Nutrição da cana-de-açúcar e indicadores de produção agrícola e industrial	40
CONCLUSÕES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXO – Análises de variância	55

RESUMO

ROCHA, Alexandre Tavares, D.Sc, Universidade Federal Rural de Pernambuco, abril de 2007. **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular de cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial.** Orientador: Fernando José Freire; Conselheiros: Mario de Andrade Lira Júnior e Clistenes Williams Araújo do Nascimento.

O objetivo deste trabalho foi estudar a utilização do gesso mineral do Araripe em solos álicos, observando seus efeitos no ambiente edáfico e as implicações nutricionais e produtivas para a cana-de-açúcar. Para tanto, foi conduzido um experimento em área agrícola da Usina Trapiche, Zona da Mata Sul de Pernambuco, em um Latossolo Amarelo. O gesso foi proveniente de jazida de gipsita do pólo gesseiro do Araripe, em Pernambuco. O experimento foi arranjado em esquema fatorial, sendo testadas doses e granulometrias de gesso em solo cultivado com duas variedades de cana-de-açúcar. Inicialmente foram estudados efeitos provocados no solo pela aplicação isolada de gesso, calcário e pela mistura dos dois insumos. Paralelamente, foram observadas alterações causadas pelas aplicações de doses de gesso e suas interações com a granulometria para cada uma das variedades de cana-de-açúcar estudadas. O gesso mineral foi eficaz em fornecer cálcio em subsuperfície, não sendo registradas, na magnitude das doses de gesso mineral utilizadas, perdas de potássio e magnésio. Com a aplicação de doses de até $3,42 \text{ Mg ha}^{-1}$, foi possível reduzir em 39% a saturação por alumínio do solo estudado. As granulometrias do gesso mineral não se diferenciaram quanto a atuação no solo. A variedade SP78-4764 respondeu melhor a associação calcário/gesso mineral, com produtividade da ordem de $98,4 \text{ t ha}^{-1}$ e a variedade SP78-4764 foi mais responsiva as doses de gesso. O gesso mineral proporcionou ainda incremento de Açúcares Totais Recuperáveis - ATR da ordem de $9,2 \text{ kg ton}^{-1}$.

ABSTRACT

ROCHA, Alexandre Tavares, D.Sc, Universidade Federal Rural de Pernambuco, april of 2003. **Mined gypsum in amelioration of sugarcane root environment and agricultural and industrial productivity implications.** Adviser: Fernando José Freire; Committee members: Mario de Andrade Lira Júnior and Clistenes Williams Araújo do Nascimento.

This work aimed to study the use of mined gypsum in alic soils, observing, under field conditions, its effects on the soil environment, and its nutritional and productive implications on sugarcane. An experiment was conducted in agricultural área of Trapiche Mill, South Forest Zone of Pernambuco, in a Yellow Oxisol. The gypsum was obtained from gypsite mine of the gypsum pole of Araripe, Pernambuco. The experiment was on a factorial arrangement, testing gypsum doses and particle sizes applied to soil under two sugarcane cultivars. Initially isolated effects of each factor were studied. At the same time, effects of gypsum doses and its interactions with particle size for each of the sugarcane cultivars were studied. In a prospective perspective, mineral gypsum was efficient to supply sub superficial calcium. The combination of lime and gypsum enhanced sugarcane root environment. Mined gypsum reduced sub superficial aluminum saturation, at the 3.42 Mg.ha⁻¹. No potassium and magnesium lixiviation was observed, at the applied doses. Mined gypsum particle size did not have a major effect on its soil behavior. Sugarcane cultivars responded differently to soil correction. Cultivar SP 78-4764 had higher response to lime/mined gypsums, with yields of 98.4 Mg.ha⁻¹. Mined gypsum increased ATR by 9.2 Mg kg⁻¹.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é plantada no Brasil há quase 500 anos e hoje o país é o maior pólo sucroalcooleiro do planeta. O cultivo da cana-de-açúcar tem chamado à atenção do mundo, principalmente diante do impacto ambiental causado pela utilização de combustíveis fósseis, desde a revolução industrial, e pelo fato do álcool da cana-de-açúcar ser uma das biotecnologias mais acessíveis para a geração de energia limpa em substituição ao petróleo, em um futuro próximo.

Apesar da presença histórica e de compor um dos setores produtivos mais importantes de Pernambuco, as pesquisas em fertilidade do solo aplicadas a cultura da cana-de-açúcar no Estado e no Brasil não evoluíram, restringindo-se aos anos do PROÁLCOOL, programa governamental que ao ser extinto nos anos 90, praticamente cessou os estudos de solo com a cultura em Pernambuco.

Por outro lado, desde junho de 2002, um convênio firmado entre o Estado de Pernambuco e o Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID, injetou no Estado os recursos necessários para o estabelecimento do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Sustentável a Zona da Mata de Pernambuco – PROMATA, ação governamental que, no âmbito regional, promove ações que apóiam a diversificação econômica e o manejo sustentável dos recursos naturais da região. Entre as ações está o incentivo à pesquisa, possibilitando a retomada de estudos envolvendo a cultura da cana-de-açúcar, que incluem o desenvolvimento de novas e a revisão de velhas estratégias de manejo de solo, que são decisivas na exploração econômica da cultura em solos de baixa fertilidade natural.

Entre os problemas de solo para o desenvolvimento da cultura está a acidez, consequência do processo natural de intemperismo, que por sua vez tem ação intensiva em áreas como a Zona da Mata de Pernambuco, região com condições climáticas próprias dos trópicos e que propiciam elevada lixiviação de bases, resultando em acidificação progressiva dos solos. Nessas condições, um dos fatores que têm limitado o aumento de produtividade da cultura é o pequeno volume de solo explorado pelo sistema radicular, devido à presença de uma barreira química provocada por elevada saturação por alumínio em subsuperfície, impedindo o desenvolvimento das raízes. Em solos de baixa fertilidade, sabe-se que o sistema radicular da cana-de-açúcar explora efetivamente 0,6 m de solo, embora existam

resultados experimentais mostrando que a cana-de-açúcar é capaz de explorar profundidades de até 2 m, quando não houver a presença de barreiras químicas ou físicas.

Na correção da acidez são utilizados comumente calcários, ou melhor, corretivos químicos compostos por carbonatos de cálcio e de magnésio. Contudo, devido à baixa solubilidade e a aplicação localizada dos calcários, a correção limita-se a profundidade de 0,1 a 0,2 m, não solucionando os problemas causados por barreiras químicas situadas em subsuperfície.

Já nos anos 70, resultados experimentais apontavam para o gesso como alternativa para a correção dos teores de alumínio tóxico em subsuperfície, devido a sua solubilidade, 145 vezes maior que o calcário. Desde então, o insumo tem mostrado eficácia como corretivo dos teores de alumínio trocável em profundidade e como fonte de cálcio e de enxofre para as culturas, estabelecendo-se como condicionador de solos. Por outro lado, foram apresentados problemas relacionados à aplicação de gesso, como possíveis perdas de magnésio e potássio decorrentes da aplicação desse insumo.

A maior parte das pesquisas realizadas até hoje no Brasil foram conduzidas com a gipsita secundária, que é um sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) obtido como subproduto da fabricação de adubos fosfatados, conhecido como fosfogesso. Os minérios de gipsita, mais especificamente, a gipsita (sulfato de cálcio), chamada de gesso mineral em função da denominação mais adotada em trabalhos científicos realizados fora do Brasil, ou seja, “mined gypsum”, não tem sido utilizada na correção de solos álicos em nosso país, apesar de apresentar mesma capacidade corretiva do fosfogesso e de ser quimicamente mais pura. Nestes trabalhos, o gesso mineral tem sido comumente utilizado como padrão de comparação com outras formas resíduas de gesso, também obtidas como subprodutos da produção mineral, que são aplicadas nos solos para a correção de problemas diversos, como por exemplo, na redução de teores de alumínio e manganês, na redução da saturação por alumínio, e no aumento da capacidade da adsorção de cádmio, cobre e chumbo.

A utilização do fosfogesso na correção de solos, principalmente no centro-sul do país, se justifica pela proximidade das unidades onde esses são gerados e os principais pólos agrícolas do país. Já no Norte-Nordeste não há disponibilidade desse insumo, o que limitou e, ou, impediu que esse produto fosse utilizado nessas regiões. Já o gesso mineral, apesar de Pernambuco produzir 95% de todo gesso

mineral utilizado no país, apenas cerca de 1% é utilizado na agricultura. Parte da causa da baixa utilização agrícola está na falta de comprovações da eficácia desse insumo na correção de solos.

O uso do gesso na correção de solos ácidos tem apresentado resultados controversos. Normalmente os efeitos são bem percebidos em condições de laboratório, quando os tratamentos são dispostos em colunas de solo, mas, quando os tratamentos são lançados em campo, nem sempre são obtidas respostas da aplicação do insumo. Existem várias formas de recomendar gesso, utilizando características de solo diversas, como matéria orgânica, teor de argila, de cálcio, de alumínio, P-remanescente e necessidade de calagem. Contudo, critérios não foram ainda claramente definidos, fazendo com que as doses aplicadas em campo cheguem a mais de 20 t ha⁻¹ em alguns trabalhos.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo geral estudar a utilização do gesso mineral, observando as alterações no ambiente edáfico provenientes da sua aplicação. Especificamente, foi verificada a eficácia do produto na correção do alumínio trocável e da saturação por alumínio em solo ácido, a ocorrência de lixiviação de bases, as relações entre nutrientes no solo, os reflexos nutricionais ocorridos na cana-de-açúcar causados pelo condicionamento do solo com gesso e, ainda, as influências da utilização do insumo na produtividade e no rendimento industrial da cana-planta.

REFERENCIAL TEÓRICO

I. Síntese histórica e importância da cana-de-açúcar no Brasil e em Pernambuco

A cana-de-açúcar é um gramínea semi-perene pertencente ao gênero *Saccharum*, própria de climas tropicais e subtropicais, possivelmente originária do sudeste da Ásia. Atualmente são cultivados apenas híbridos interespecíficos de *Saccharum spp*, desenvolvidos para aliar a rusticidade de espécies como *S. spontaneum* às qualidades das variedades nobres de *S. officinarum* (GOMES & LIMA, 1964).

A cana-de-açúcar chegou ao Brasil no início do século XVI, procedente da ilha da madeira e introduzida por Martin Afonso de Souza na primeira expedição colonizadora do Brasil, sendo, portanto, uma das primeiras atividades de importância econômica do País. A introdução se deu inicialmente na capitania de São Vicente em 1532, atual Estado de São Paulo, e foi trazida na mesma época para capitania de Pernambuco por Duarte Coelho Pereira, onde se desenvolveu principalmente nos Estados de Pernambuco, Paraíba e Alagoas, sendo este último, o maior produtor do nordeste brasileiro na atualidade (ROSA et. al., 2005).

Nos estados nordestinos, praticamente toda área plantada com cana-de-açúcar foi área de Mata atlântica (JACOMINE et al., 1973), comprometendo seriamente o ecossistema natural da região, até então, representada principalmente por floresta subperenifólia, com uma formação densa, alta, rica em variadas espécies e que ainda hoje ocupa uma área representativa da zona úmida costeira.

Em Pernambuco a cultura ocupa uma área de 12 mil km², 12,6 % do território estadual, denominada Zona Canavieira. Próxima ao oceano Atlântico, é formada por solos com elevados potenciais para a agricultura, não está sujeita a secas prolongadas e é uma das raras regiões do Estado que dispõem de rios perenes. Nela estão localizados 56 dos 184 municípios de Pernambuco. Após a Região Metropolitana do Recife, a Zona Canavieira de Pernambuco é a região que apresenta a maior densidade demográfica: 212 habitantes por km² (para o conjunto dos Estados essa densidade é de 72 hab/km²).

A cultura compõe o mais antigo setor agroindustrial do País, traz inúmeros benefícios para o Brasil, gera açúcar e álcool para o mercado interno e externo. Colabora ainda com a produção de papel, plásticos e de produtos químicos, além de fornecer energia elétrica. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, cultura que ocupa uma área de 5,9 milhões de hectares e movimentada intensamente o agronegócio brasileiro, sendo responsável por 8 % do PIB agrícola nacional e 14 % dos empregos gerados no país (CONAB, 2006). Pernambuco apresenta mais de 360 mil hectares plantados e na safra 2005/2006 a produção de cana-de-açúcar no Estado foi de mais de 17 milhões de toneladas (ROSA et. al., 2005).

II. Gesso mineral

O gesso mineral, termo adaptado do nome mais conhecido internacionalmente, "mined gypsum", pertence à classe dos sulfatos e é obtido a partir das rochas gipsíferas, que ocorrem associadas a quantidades menores de anidrita, calcita, dolomita, halita, enxofre, quartzo e minerais de argila. Tais rochas são designadas de minérios de gipsita sempre que os teores de sulfato ou de gipsita atendem as exigências do mercado consumidor (ACCIOLY & SCHULZE, 2003). Usualmente ocorre na forma dihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), embora os sulfatos naturais possam ser encontrados e utilizados em formas menos hidratadas como a bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) ou gesso argamassa (VILELA et al., 1995) e ainda na forma anidra (CaSO_4), a anidrita (PORTA, 1997).

O minério de gipsita se origina em bacias sedimentares por evaporação, constituindo depósitos em forma de camadas, lentes ou bolsões, intercalados em seqüências sedimentares, cujas idades geológicas podem variar do Paleozóico ao Cenozóico. O nome gipsita vem do grego *gypsos*, dado mais especificamente ao mineral calcinado. Embora o sulfato de cálcio possa ocorrer em três formas de hidratação, o gesso mineral de utilização agrícola normalmente é a gipsita (ACCIOLY & SCHULZE, 2003).

O Estado de Pernambuco possui na região do Pólo Gesseiro uma produção de 2,6 milhões de toneladas ano⁻¹, representando 95 % de todo o gesso mineral brasileiro; entretanto, menos de 1 % deste total é utilizado para fins agrícolas (NASCIMENTO, 2003).

A maior parte das pesquisas realizadas com o uso do gesso na agricultura no Brasil trata de resultados obtidos com a gipsita secundária ou química, gerada como subproduto da fabricação de ácido fosfórico, que recebe o nome de fosfogesso (“phosphogypsum”), ou, simplesmente gesso agrícola (SALDANHA et. al., 2007). Somente no Brasil, cerca de 4,5 milhões de toneladas de fosfogesso são produzidas anualmente (VITTI, 2000). Outras possibilidades de gesso-resíduo são testadas em outros países, como no caso do “coal-gypsum”, proveniente da dessulfurização de gases combustíveis; o “Red-gypsum”, da fabricação de dióxido de titânio; “fluor-gypsum”, do ácido hidrófluídrico; “lacto-gypsum”, de ácido láctico e lactatos; “boron-gypsum”, do ácido ortobórico; e o “organo-gypsum”, oriundo da obtenção de sais orgânicos (AMEZKETA, et al., 2005). Tanto o gesso mineral quanto os resíduos da indústria têm, predominantemente, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em sua composição e são comumente chamados apenas de gesso.

Quanto à utilização das fontes de gesso, trabalhos como GARRIDO et al. (2003), ILLERA et. al. (2004a) e AMEZKETA et. al. (2005) comumente confrontam o gesso mineral e os gesso-resíduos, observando a semelhança dos efeitos das fontes no solo. Economicamente, há um aproveitamento da disponibilidade dos resíduos que se acumulam nas indústrias, além de considerar-se, ainda, a relação entre o custo e a disponibilidade do gesso mineral, como ocorre em alguns países. No entanto, há restrições ambientais para o uso das formas resíduas de gesso visto a possibilidade de liberação de elementos nocivos ao ambiente como urânio e cádmio, conforme apresentado no trabalho de AL-MASRI et al. (2004).

O gesso, seja a forma mineral ou as formas resíduas, tem mostrado eficiência quando aplicado em solos, como foi comprovado na redução de teores de alumínio e manganês (ILLERA, et al. 2004a), na redução da saturação por alumínio (BAKKER, et al., 1999), na redução da acidez em profundidade (QUAGGIO, 2000; FARINA et al., 2000; OLIVEIRA & PAVAN, 1996), no fornecimento de cálcio e enxofre (CAÍRES, et al., 2002), na recuperação de solos salino-sódicos (BARROS, et al. 2004), no aumento capacidade de adsorção de cádmio, cobre e chumbo (ILLERA et al., 2004b), e na redução da compactação do solo (BORGES et al., 1997).

III. A gessagem em solos ácidos

De modo geral, a cana-de-açúcar produz sob condições edáficas muito diversas (FREIRE, 2002). No Brasil estima-se que 70 % das áreas cultivadas com cana-de-açúcar encontram-se em solos ácidos, com baixa disponibilidade de bases trocáveis e elevados teores de alumínio trocável (KOFFLER, 1986).

A acidez do solo limita a produção agrícola em várias partes do mundo (SUMMER et. al, 1986). O processo de intemperismo, aliado ou não a alterações antrópicas do ambiente, provoca a acidificação dos solos que ocorre principalmente em regiões tropicais úmidas, e deve-se à substituição de cátions alcalinos e alcalinos terrosos por íons hidrogênio e alumínio no complexo de troca. Esta substituição resulta da percolação da água, absorção de cátions básicos pelas plantas e, também, pelo uso de fertilizantes de caráter ácido.

O alumínio tóxico reduz o crescimento radicular (ADAMS & PEARSON, 1970; PAVAN et al., 1982), especialmente o ápice das raízes (KOCHIAN, 1995) que, inicialmente, tornam-se alongadas e, posteriormente, engrossam e não se ramificam normalmente, dificultando o acesso a reservas de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo (CLARKSON, 1967; MCCORMICK & BORDEN, 1972; TANG et. al. 2003). Em solos de baixa fertilidade, constata-se que a cana-de-açúcar explora cerca de 0,6 m de solo, embora resultados experimentais observados por KOFFLER (1986) mostrem que a cana-de-açúcar é capaz de explorar de 1,2 a 2,0 m de solo desde que não hajam barreiras químicas ou físicas ao crescimento de raízes.

O cálcio, por outro lado, é um nutriente decisivo no desenvolvimento radicular das plantas (RITCHEY et al., 1982). Segundo QUAGGIO (2000), quando a saturação por cálcio no complexo de troca é inferior a 20%, há forte restrição ao crescimento de raízes no solo, para a maioria das espécies cultivadas. Ainda segundo o autor, como a absorção de cálcio ocorre nas partes mais novas da raiz, é preciso que haja uma distribuição adequada do nutriente no solo para que a absorção seja contínua. A concentração de cálcio no solo no intervalo de 0,25 a 0,80 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ tem sido indicada como valor crítico para o maior crescimento radicular (ADAMS & MOORE, 1983). RITCHEY et al. (1982) mostraram que 0,1 a 0,15 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio normalizavam o crescimento de raízes. Outros trabalhos, porém, demonstram que soja (ROSOLEM et al., 1995), amendoim (CAIRES &

ROSOLEM, 1991) e milho (ROSOLEM et al., 1994) respondem em crescimento de raízes a teores bem mais elevados de cálcio, da ordem de $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A calagem é a prática mais eficiente para a elevar o pH, teores de cálcio, saturação por bases e reduzir o alumínio trocável em solos, contudo, a reação do calcário restringi-se ao local de aplicação, não atendendo a correção da acidez no subsolo, que por sua vez, depende da percolação de sais (CAÍRES et. al., 2004). Gesso tem sido a mais promissora das alternativas para a redução da acidez trocável no subsolo, por sua maior mobilidade no perfil, atingindo profundidades além da camada arável (SHAINBERG et al., 1989; RITCHEY et al., 1995; SUMNER, 1995; QUAGGIO, 2000).

A aplicação de gesso não provoca alterações significativas no pH do solo, pois, na faixa de pH dos solos agrícolas, o íon sulfato não é um forte receptor de prótons, como os íons bicarbonato e hidroxila, produtos da dissociação do carbonato de cálcio presente nos calcários (ALVAREZ V. & DIAS, 1994). Efeitos positivos do gesso observados nas mais variadas condições de solo e clima são indicativos de que seu emprego pode constituir uma boa alternativa para a melhoria do ambiente radicular em camadas subsuperficiais dos solos (SUMNER, 1995).

Nos estudos com a aplicação de gesso são propostos mecanismos de correção da acidez em profundidade que se baseiam na possibilidade do SO_4^{2-} , proveniente da solubilização do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, movimentar-se no perfil do solo e acumular-se nas camadas mais profundas, neutralizando os efeitos nocivos do Al^{3+} pela formação de AlSO_4^+ , bem como liberação de OH^- da superfície de óxidos e hidróxidos que podem reagir com o alumínio e formar precipitados como o $\text{Al}(\text{OH})_3$ (SALDANHA, et. al., 2007). A formação desse par iônico resultará na redução da saturação por alumínio (m) nas camadas subsuperficiais, permitindo o desenvolvimento do sistema radicular e um melhor aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas.

Vários trabalhos têm mostrado a eficiência do gesso, mineral ou resíduo, em reduzir os teores de alumínio trocável e ou aumento dos teores de cálcio em profundidade (RITCHEY et al., 1980; SUMNER et al., 1986; PAVAN et al., 1987; CHAVES et al., 1988; SHAINBERG et al., 1989). Resultados obtidos por CAÍRES et al. (1999), mostraram que houve redução dos teores de alumínio trocável nas camadas 0,4 – 0,6 e 0,6 – 0,8 m por meio da aplicação de doses de gesso e que essas doses elevaram os teores de cálcio trocável em todo o perfil do solo. Os

reflexos na produção foram favoráveis, uma vez que resultou em aumentos na produção da ordem de 1,1 t ha⁻¹ de colmos de milho.

IV. Dinâmica do gesso em solos ácidos

O íon cálcio fornecido na aplicação de gesso, uma vez na solução do solo, pode reagir no complexo de troca do solo, deslocando cátions como alumínio, potássio e magnésio para a solução do solo, que podem, por sua vez, reagir com o sulfato formando $AlSO_4^+$ (menos tóxico às plantas) e os pares iônicos neutros: $K_2SO_4^0$ e $MgSO_4^0$, além do $CaSO_4^0$. Em função da sua neutralidade, os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil, ocasionando uma descida de cátions para as camadas mais profundas do solo (SOPRANO & ALVAREZ V., 1989).

Dentre os cátions que mais se movimentam de forma associada ao sulfato destacam-se o potássio e o magnésio. De maneira geral, pode-se dizer que diferentes fatores condicionam maior ou menor movimentação dos cátions de caráter básico pelo perfil do solo, entre eles destacam-se: quantidade de gesso aplicado ao solo; capacidade de troca catiônica do solo; condutividade elétrica da solução do solo; capacidade do solo em adsorver sulfato; textura do solo; e volume de água que se aporta ao solo (ALVAREZ V. & DIAS, 1994).

A lixiviação de potássio e magnésio tem sido resposta freqüente nos estudos com aplicação de gesso em solos (QUAGGIO et al., 1982; MAYS & MORTVEDT, 1986; FARINA & CHANNON, 1988; SYED-OMAR & SUMNER, 1991), principalmente a lixiviação apenas de magnésio trocável (CARVALHO et al., 1986; SYED-OMAR e SUMNER, 1991; OLIVEIRA e PAVAN, 1996, CAÍRES, et. al., 2004). WADT & WADT, (1999) recomendam que quando a aplicação de gesso for realizada em doses elevadas no solo, devem ser desenvolvidas estratégias para minimizar as perdas de magnésio trocável. Por essa razão o uso isolado do gesso não tem sido recomendado e sim em conjunto com o calcário.

Segundo CAÍRES et, al. (2001) a aplicação de gesso contribuiu para melhorar a distribuição relativa de raízes de cevada em profundidade, principalmente quando se realizou a calagem. DAL BÓ et al. (1986), estudando o efeito da adição de calcário e gesso sobre a movimentação de bases em colunas de solo, mostraram que nos tratamentos com apenas gesso, o deslocamento de magnésio em

profundidade foi muito mais acentuado do que o do cálcio, provavelmente, porque a associação do sulfato com o magnésio é mais solúvel do que a associação do sulfato com o cálcio. Resultados obtidos por FARINA & CHANNON (1988b) e SHAMSHUDDIN & ISMAIL (1995) sugeriram que o cálcio move-se no solo na forma de nitrato de cálcio. Neste mesmo trabalho, o deslocamento de potássio também se apresentou bastante acentuado. Foi possível também, constatar que nos tratamentos com a aplicação de gesso de forma isolada houve elevado aumento da relação cálcio/magnésio nas camadas superficiais do solo, esse efeito pode causar um desequilíbrio entre cálcio e magnésio na planta e constituir-se em um sério problema (CAÍRES et al, 2001).

MORELLI et al. (1992), mostraram que a aplicação de doses combinadas de calcário e gesso em solo cultivado com cana-de-açúcar, resultaram em aumentos de produção, com incrementos da ordem de 18 t ha⁻¹ em cana planta. Os dados de produção indicaram que ao longo de quatro cortes, as melhores produções obtidas foram com a associação calcário/gesso devido ao reflexo das melhores condições químicas do solo em subsuperfície.

MEDINA & BRINHOLI (1998), estudando os efeitos da aplicação de gesso e calcário no comprimento e diâmetro médio dos colmos, no número de colmos e na produção de cana-de-açúcar, constataram que os maiores incrementos de produção são obtidos com a associação gesso/calcário. Os resultados mostraram, ainda, que as menores produtividades foram obtidas quando se fez uso apenas de gesso. O efeito negativo sobre a produtividade das culturas se dá pela movimentação descendente de sulfato no perfil tem como conseqüência a lixiviação de bases trocáveis (SINGH et al., 1980; RAIJ, 1988),

Por outro lado, melhores resultados com as associações calcário/gesso nem sempre são observadas, ocorrendo, conforme observado por SUN et al. (2000), que o efeito da combinação dos insumos é igual à soma dos efeitos da aplicação isolada de calcário e gesso, indicando que a interação entre esses corretivos pode não ser tão importante quanto tem sido divulgado em alguns trabalhos (PAVAN et al., 1984; PAVAN et al., 1987).

Efeitos positivos da aplicação de gesso como fonte de enxofre foram obtidos em várias culturas: soja (MIYASAKA et al., 1964), tomate (KAYAMA, 1968), trigo (CAMARGO et al., 1975; SOARES & IGUE, 1976; CAÍRES et al., 2002), capim swannee-Bermuda (FREITAS & JORGE, 1982), sorgo sacarino (MALAVOLTA,

1982), café (GUIMARÃES et al., 1983; ALVAREZ V. et al., 1987), cevada (CAÍRES et al., 2001) e cana-de-açúcar (VIATOR et al., 2002).

A adição de cálcio e enxofre pelo gesso provoca uma série de efeitos paralelos que afetam a disponibilidade de nutrientes no solo. Aumentos do pH no subsolo, por meio da aplicação de gesso, têm sido verificado em alguns trabalhos (RIRIE et al., 1952; QUAGGIO et al., 1982a; BELKACEM & NYS, 1997; CARVALHO & RAIJ, 1997; CAIRES et al., 1999), graças à reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o sulfato deslocando oxidrilas e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez (REEVE & SUMNER, 1972).

Na subsuperfície, onde as propriedades eletroquímicas dos minerais de argila predominam sobre as propriedades dos colóides orgânicos, a adsorção específica do ânion sulfato, ao transferir sua carga à superfície adsorvente, gera novos sítios para adsorção de cátions, promovendo assim aumentos na Capacidade de Troca de Cátions (CTC), na CTC efetiva, e o abaixamento do Ponto de Efeito Salino Nulo (PESN) (SHAMSHUDDIN & ISMAIL, 1995; WADT, 2000).

V. Avaliação do Sistema Radicular

Vários trabalhos têm demonstrado a importância do estudo do sistema radicular de diferentes plantas, apresentando também vários métodos para caracterização de raízes, levando em conta custo, precisão e tempo de análise. Na escolha do método a ser utilizado em um levantamento, além de sua precisão, devem ser considerados os objetivos da pesquisa e quais os parâmetros que devem ser quantificados (JORGE et al., 1996).

Para a cultura da cana de açúcar, VASCONCELOS et al. (2003), estudando cinco diferentes métodos de avaliação do sistema radicular, recomendaram o método de abertura de perfis ou trincheiras como a obtenção de imagens analisadas pelo Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura de Solo - SIARCS (EMBRAPA, 1996). Esse método, além de permitir mensuração da distribuição de parte do sistema radicular na área amostrada de modo não-destrutivo, apresentou os menores coeficientes de variação quando em comparação com os outros métodos em estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

I. Caracterização da área e do solo estudado

Para avaliar os efeitos da aplicação de gesso mineral em solo cultivado com cana-de-açúcar, foi conduzido, no período de junho de 2004 a novembro de 2005, um experimento em área agrícola da Usina Trapiche, localizada no município de Sirinhaém, Litoral Sul de Pernambuco, em solo classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico coeso, de textura argilosa/muito argilosa. De acordo com o sistema de Köppen, o clima dominante é o Ams', tropical chuvoso de monção com verão seco, com precipitação média anual da ordem de 2.295,5 mm (KOFFLER et al., 1986). Entre a aplicação dos tratamentos e a última coleta a precipitação acumulada foi de 2 883 mm (Figura 1)

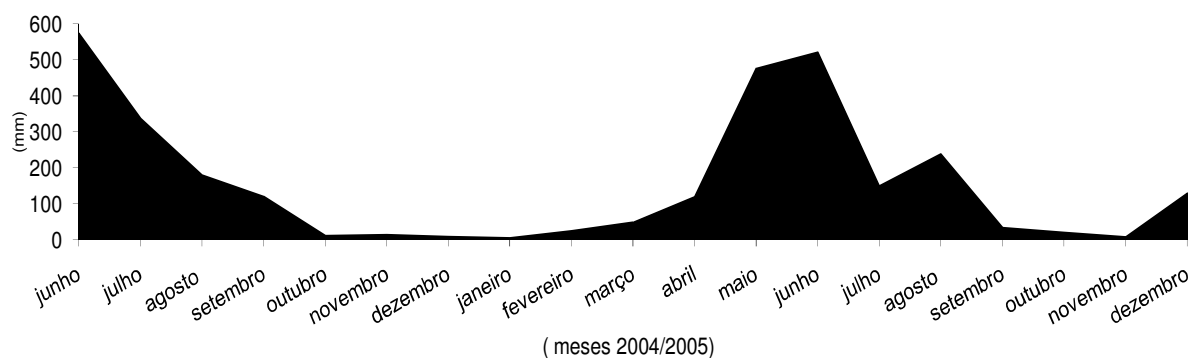


Figura 1. Pluviometria do período de junho de 2004 a dezembro de 2005 no município de Sirinhaém, Litoral Sul de Pernambuco.

. A caracterização química e física do solo (Quadro 1) foi realizada em quatro profundidades ao longo do perfil em camadas de 0,2 m até a profundidade de 0,8 m, sendo as determinações de pH em água, carbono (C), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al³⁺), potássio (K⁺), fósforo (P), e ainda, a análise granulométrica, e as determinações de densidade do solo (ds), densidade das partículas (dp), capacidade

de campo (cc), ponto de murcha permanente (pmp) e condutividade hidráulica (k), realizadas de acordo com os métodos propostos pela EMBRAPA (1997).

Quadro 1. Caracterização química e física do solo em quatro profundidades

CARACTERÍSTICA	PROFUNDIDADE (m)			
	0,0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8
C (g kg ⁻¹)	2,00	1,39	0,35	<x ⁽¹⁾
pH (H ₂ O 1:25)	4,60	4,30	4,50	4,70
pH (KCl 1 mol L ⁻¹ , 1:25)	4,00	4,01	3,95	4,05
ΔpH ⁽²⁾	- 0,60	- 0,29	- 0,55	- 0,65
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	6,28	5,82	5,18	5,17
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,00	1,20	1,10	1,10
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,10	0,25	0,10	0,10
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,75	0,10	0,05	0,08
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,18	0,05	0,08	0,10
T ⁽³⁾ (cmol _c dm ⁻³)	8,88	6,12	5,41	5,45
P (mg dm ⁻³)	2,70	<Ld	<Ld	<Ld
SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	23,29	40,67	43,67	37,06
Prem (mg L ⁻¹)	15,99	10,66	6,02	2,35
Ca/Mg	2,57	2,71	3,67	2,15
Ca/K	14,88	31,97	19,46	20,08
V ⁽⁴⁾ (%)	24	6,50	9	11,5
m ⁽⁵⁾ (%)	33	75	82	79
Areia (g kg ⁻¹)	448	328	308	288
Silte (g kg ⁻¹)	66	56	26	26
Argila (g kg ⁻¹)	486	616	666	686
Ds ⁽⁶⁾ (g cm ⁻³)	1,11	1,14	1,12	1,11
Dp ⁽⁷⁾ (g cm ⁻³)	2,60	2,60	2,67	2,63
Cc ⁽⁸⁾ (g 100g ⁻¹)	28,88	31,53	33,23	34,94
Pmp ⁽⁹⁾ (g 100g ⁻¹)	17,45	19,04	20,42	20,77
k ⁽¹⁰⁾ (cm h ⁻¹)	7,36	9,88	8,53	13,12

⁽¹⁾<Ld: Abaixo do limite de detecção. ⁽²⁾ΔpH = pH_{KCl}-pH_{água}; ⁽³⁾T: Capacidade de Troca de Cátions; ⁽⁴⁾V: saturação por bases; ⁽⁵⁾m: saturação por alumínio; ⁽⁶⁾Ds: densidade do solo; ⁽⁷⁾Dp: densidade das partículas; ⁽⁸⁾Cc: capacidade de campo; Pmp: ⁽⁹⁾ponto de murcha permanente; ⁽¹⁰⁾condutividade hidráulica.

Além dessas, a determinação de sulfato (SO_4^{2-}) foi realizada conforme ALVAREZ V. et al. (2001). O pH em KCl e o cálculo do ΔpH , foram obtidos de acordo com OLIVEIRA (2000). O fósforo remanescente (Prem) foi determinado conforme método proposto por ALVAREZ V. et al. (2000).

A difratometria de raios-X da fração argila desferrificada (Figura 2), também foi realizada em 4 profundidades e mostra a dominância da caulinita na fração argila, mineral comum e principal representante dos silicatados em latossolos e argissolos, além dos óxidos de ferro.

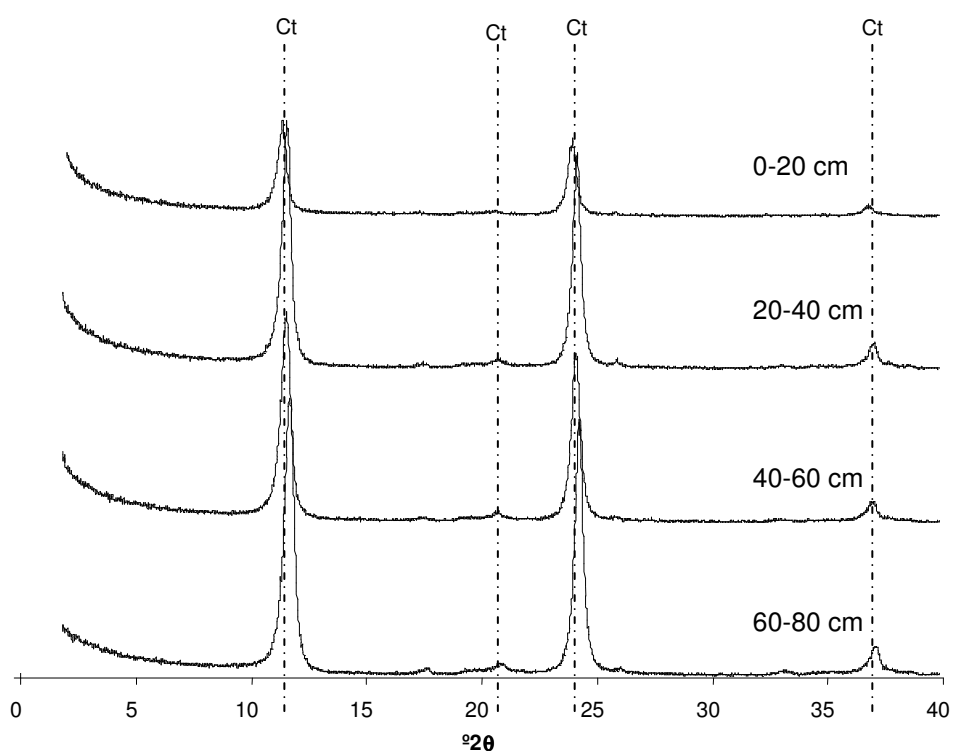


Figura 2. Espectros de difratometria de raios-X ($\text{Cu-K}\alpha$) das argilas desferrificadas, para as profundidades estudadas. Ct = caulinita.

II. Caracterização do gesso mineral

O gesso utilizado no experimento foi proveniente de jazidas de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) do pólo gesseiro do Araripe em Pernambuco. Foram utilizadas duas frações granulométricas diferentes, ou seja, um gesso “fino” (ABNT 10 – 99,02%; ABNT 20 – 90,13% ; ABNT 50 – 60,09%) e outro “grosso” (ABNT 10 – 87,09; ABNT 20 – 57,13; ABNT 50 – 22,75%), conforme caracterização granulométrica recomendada para calcário e adotada neste trabalho como critério não-visual de diferenciação das granulometrias pesquisadas. Os valores percentuais representam à quantidade da amostra que passa nas respectivas peneiras, que no caso do calcário a legislação exige que 100% do material passe na peneira ABNT 10 com uma tolerância de até 5%, pelo menos 70% passe na ABNT 20 e pelo menos 50% passe na ABNT 50, (Portaria nº 66 de 5 de abril de 1994 – Ministério da Agricultura).

A caracterização química e física do gesso mineral foi realizada pelo Instituto tecnológico de Pernambuco (ITEP), que, por sua vez, segue procedimentos e normas de análise de gesso para construção civil (ABNT, 1991) (Quadro 2). Foram realizadas, também no ITEP, as análises de microscopia eletrônica de varredura (Figura 3) e fluorescência de raios-X (Figura 4), com o objetivo de caracterizar o gesso mineral micromorfológicamente, além de uma análise química qualitativa de sua composição.

Quadro 2. Características físicas e químicas do gesso mineral

Característica	dag kg ⁻¹
Insolúveis em HCl e Sílica	5,40
Água combinada a 230 °C	16,85
Perda ao fogo 1000 °C	4,63
Oxido de Cálcio (CaO)	35,24
Oxido de Magnésio (MgO)	0,33
Sulfato (SO ₄)	43,95
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	0,57

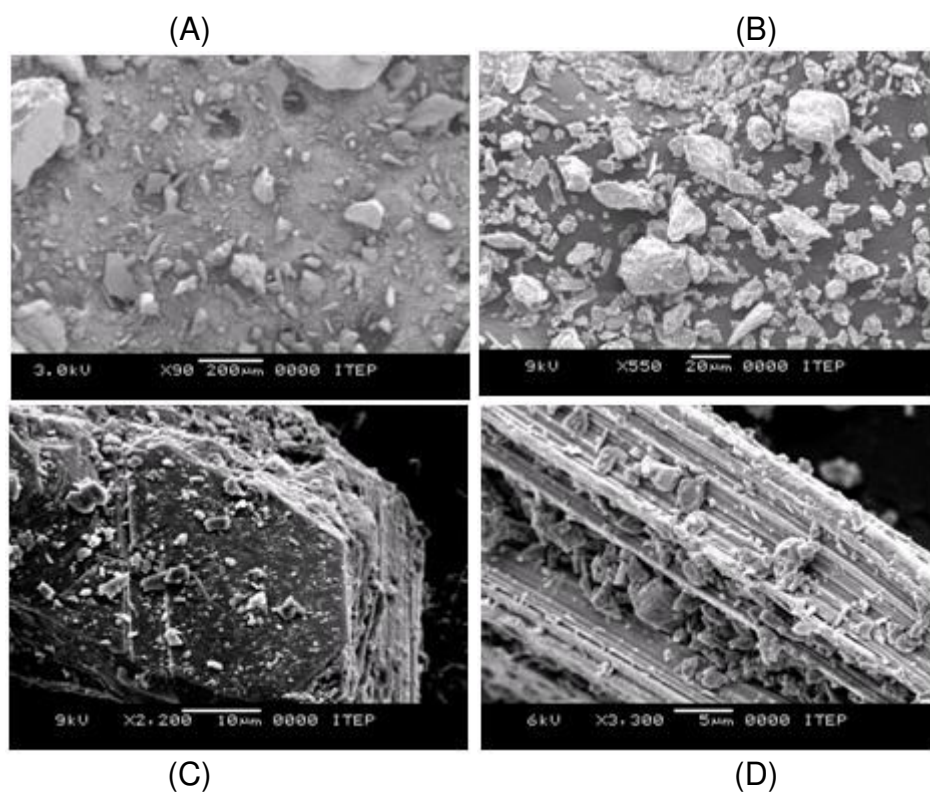


Figura 3. Imagens da microscopia eletrônica de varredura do gesso mineral. Ampliação de 90 x (A), 550x (B), 2200x (C) e 3300x (D).

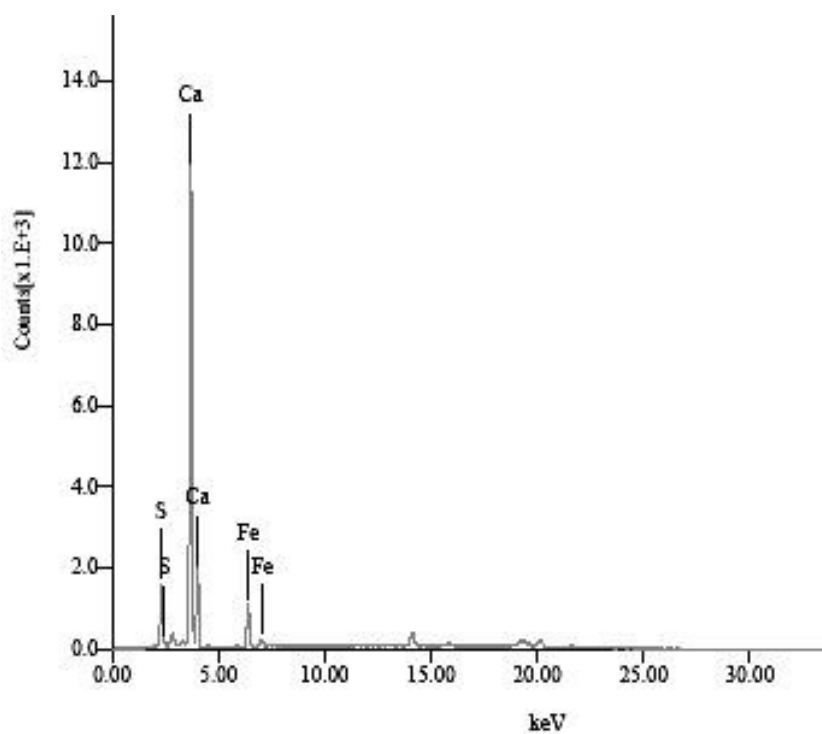


Figura 4. Análise qualitativa do gesso mineral por fluorescência de raios-X.

III. Caracterização das variedades de cana-de-açúcar

As variedades SP79-1011 e SP78-4764 foram indicadas pelas Comissão Regional do Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose no Estado de Pernambuco - CRSPCTS/PE (Quadro 3), considerando a representatividade dessas variedades no setor sucroalcooleiro regional e pela área plantada na Zona da Mata Sul de Pernambuco.

Quadro 3. Caracterização botânica e agroindustrial das variedades SP79-1011 e SP78-4764

VARIEDADE	BOTANICA	AGROINDUSTRIAL
S P 7 9 - 1 0 1 1 (NA76-79 X Co775)	Variedade com hábito de crescimento ereto, capitel médio com quantidade de folhas pequena, comprimento e largura média de cor verde-claro, o porte reto com margens serrilhadas Agressivas, a ponta tem afinamento longo, o colar é de forma triangular com margem inferior horizontal de cor verde arroxeada; a lígula é deltóide pouco inclinada dos dois lados com poucos cortes, à aurícula é deltóide, bainha de comprimento longo, com pouca cera, de cor verde. O colmo é de forma cilíndrica, com coloração roxo-esverdeada quando exposto, e amarelo-arroxeada sob palha. O comprimento dos entrenós é médio e diâmetro do colmo também, apresentando-se em ziguezague, com rachaduras muito raras.	Variedade que tem produção agrícola e teor de sacarose alto, maturação precoce, Período Útil de Industrialização (PUI) longo, teor de fibra e florescimento médios, boa brotação de socas, perfilhamento bom, baixa exigência quanto aos tipos de solos, e é resistente à ferrugem. Seu plantio é recomendado para chãs, encostas, mecanizáveis ou não, do Litoral Norte, Mata Norte e Mata Sul; bem como nos tabuleiros do Litoral Norte e Mata Norte. Produtividade esperada > 70 t ha. ⁻¹
S P 7 8 - 4 7 6 4 (H66-6254 X ?)	Variedade de porte semi-ereto, capitel médio, com regular quantidade de folhas, de comprimento médio, coloração verde-escuro e pontas com afinamento longo. Palmito médio. Apresenta bainha longa com pouca cera, de coloração verde-amarelada e ausência de pelos. O colmo, com alinhamento em leve ziguezague apresenta internódios de forma conoidal, diâmetro médio, sem rachaduras, e coloração variando de roxo-esverdeada nas áreas expostas, a verde arroxeada nas áreas sob palha. As gemas têm forma pentagonal, achatada, tamanho médio e são largas, tocando o anel de crescimento.	Apresenta boa germinação, perfilhação e brotação de socas, justificando sua elevada produtividade agrícola. Teor de sacarose médio a alto, médio teor de fibra e maturação média/tardia; dificilmente floresce, mostra baixa exigência a solos. Despalha regularmente. Em relação a doenças de importância na região, é altamente resistente à ferrugem da cana-de-açúcar e intermediária à escaldadura das folhas. A variedade é recomendada para cultivo na região edafoclimática do Litoral Sul, seu cultivo tem apresentado bons resultados nas condições de chãs e encostas, mecanizáveis ou não, do Litoral Norte, Mata Norte, Litoral Sul e Mata Sul; bem como nos tabuleiros do Litoral Norte. Produtividade esperada > 80 t ha. ⁻¹

IV. Definição dos tratamentos e procedimentos experimentais

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, distribuídos em arranjo fatorial (2x2x5), sendo as parcelas constituídas por 2 (duas) variedades de cana-de-açúcar combinadas com 2 (duas) granulometrias do gesso mineral e 5 (cinco) doses do corretivo em 3 (três) repetições. Na composição dos tratamentos se utilizou 3 (três) parcelas adicionais compostas por uma testemunha absoluta, o uso isolado de calcário, e o uso isolado de gesso mineral.

Cada parcela foi constituída por seis linhas de cana-de-açúcar espaçadas de um metro entre si e com 10 (dez) metros de comprimento, totalizando 60 (sessenta) metros quadrados. A área útil da parcela foi constituída pelas duas linhas centrais, representada por 20 (vinte) metros quadrados.

Os solos das parcelas, exceto na testemunha absoluta e no uso isolado do gesso, foram corrigidos com calcário conforme a Necessidade de Calagem (NC) da camada 0-0,2 m de profundidade, utilizando-se o método da neutralização do alumínio trocável ou elevação dos teores trocáveis de cálcio + magnésio (CAVALCANTI et al. 1998), que correspondeu a uma dose de 4,55 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, com PRNT de 89%.

As doses de gesso mineral foram definidas pelos seguintes níveis da NC: 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,50. A NC que definiu as doses de gesso foi calculada pelo método da neutralização do alumínio trocável ou elevação dos teores trocáveis de cálcio + magnésio (CAVALCANTI et al. 1998) na camada 0,4-0,6 m de profundidade. Assim as doses de gesso foram: 1,11; 2,31; 3,46; 4,62 e 6,93 Mg ha⁻¹, calculadas com base nos teores de alumínio trocável e cálcio + magnésio presentes na caracterização química do solo.

Os tratamentos adicionais foram definidos da seguinte forma: um tratamento onde foi utilizado apenas calcário permaneceu apenas com a dose deste insumo adicionada na calagem, ou seja, 4,55 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico; um tratamento onde foi utilizado apenas gesso, sendo aplicada a dose de 4,62 Mg ha⁻¹ de gesso e a testemunha absoluta, onde nenhum dos insumos foi aplicado.

O calcário e o gesso foram aplicados a lanço e em área total com os sulcos já abertos. Trinta dias após a aplicação realizou-se o plantio da variedade de cana-de-açúcar. Todas as parcelas receberam adubação de

fundação (20 kg ha⁻¹ de N, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 35 kg ha⁻¹ de K₂O. Aos 60 dias após o plantio aplicou-se em cobertura 20 kg ha⁻¹ de N e 35 kg ha⁻¹ de K₂O. Empregaram-se nessas adubações fosfato monoamônico (MAP), uréia (CONH₂) e cloreto de potássio (KCl).

Aos 30, 150 e 480 dias após a aplicação das doses de gesso e calcário, foram coletadas amostras de solos nas parcelas experimentais, para as profundidades: 0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m, com auxílio de trado tipo holandês. As perfurações para obtenção das amostras foram feitas a 0,2 m de distancia da linha de plantio da cana-de-açúcar.

Aos 150 dias foi avaliado, também, o estado nutricional da cana-de-açúcar por meio da coleta da folha-índice (+3), contada a partir do “top visible dew-lap” (TVD), coletando-se o terço médio da folha, excluindo-se a nervura central (GALLO et al., 1968). Cada amostra foi constituída de 20 folhas, coletadas, aleatoriamente, dentro da área útil das parcelas.

Aos 480 dias a cana foi colhida, e, em cada parcela, foram separados folhas e colmos para a análise de nutrientes e colmos para a análise tecnológica. Para a coleta das folhas e colmos destinadas a análise nutricional, foi realizada uma adaptação dos métodos de análises múltiplas tipo “Stalk-log” e “Crop-log”, respectivamente, desenvolvidos por BURR, (1955), e CLEMENTS, (1939), citados por ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JÚNIOR, (1983). Esses métodos definem quais e como as folhas e colmos devem ser coletadas. Desse modo, foram coletadas as folhas+bainhas correspondentes às folhas +1, +2, +3, +4 e + 5, e, a parte do colmo que contem o 8º, 9º e 10º entrenó, de cinco plantas da área útil de cada parcela.

Os colmos destinados à análise tecnológica foram conduzidos para o laboratório da Usina para determinação das variáveis relacionadas ao rendimento industrial e qualidade da matéria-prima (açúcar).

Após a coleta da cana e limpeza da área, queima e requeima dos restos culturais, foram abertas trincheiras para a avaliação do desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, seguindo as recomendações metodológicas de VASCONCELOS et al. (2003). Esses autores recomendam o método da trincheira ou parede do perfil, inicialmente descrito por BÖHM (1979), que consiste em abrir uma trincheira ao lado da planta e remover uma fina camada da parede do perfil, de modo a expor as raízes para contagem e registro das imagens (Figura 5).

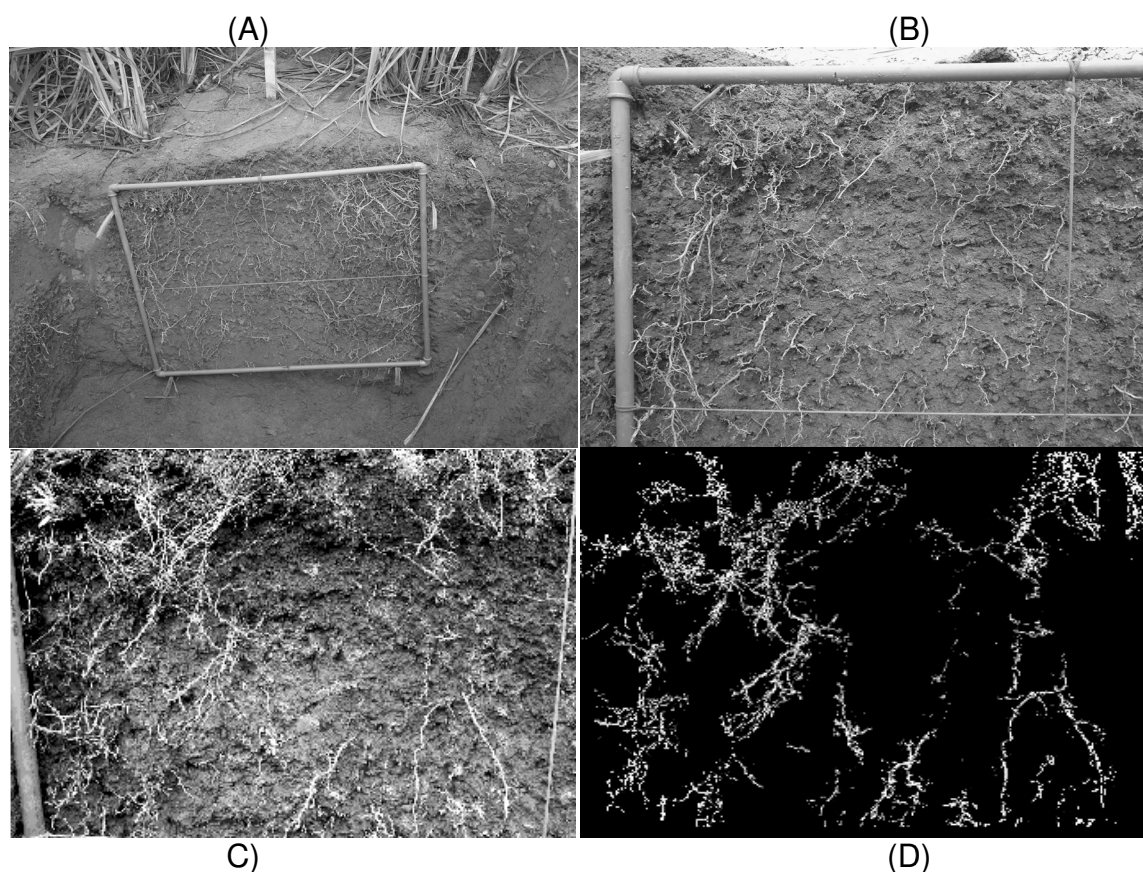


Figura 5. Imagem do Perfil cultural no campo (A e B) e preparado para digitalização (C) e após a digitalização e tratamento da imagem pelo Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura de Solo (D)

As imagens foram capturadas por câmera digital e analisadas utilizando-se o software SIARCS - Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (EMBRAPA, 1996) para determinação da distribuição percentual de raízes por camadas (Figura 4). Visando a qualidade das imagens, cada perfil cultural – 1 m de largura por 0,8 m de altura - foi dividido em quadrantes de 0,4 x 0,5 m (Figura 4 A e B), e as análises realizadas por quadrante em cada um dos tratamentos estudados. Desse modo, na avaliação da distribuição percentual por profundidade, foi tomada a média da distribuição percentual no par de quadrantes de cada profundidade, ou seja, para a distribuição de raízes nos primeiros 0,4 m, se utilizou a média da distribuição percentual dos quadrantes superiores e, para a camada 0,8 m, a média da distribuição percentual dos quadrantes inferiores.

O trabalho foi dividido em dois ensaios que ocorreram simultaneamente e na mesma área experimental. No primeiro, (I) Prospecção do uso do gesso mineral em cana-de-açúcar, foram estudados os efeitos da aplicação de gesso nos tratamentos adicionais, ou seja, testemunha, somente gesso e somente calcário e ainda no tratamento calcário+gesso, que continha a 4,55 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico somado a 2,31 Mg ha⁻¹ de gesso mineral. Neste ensaio, foram observados os efeitos no solo em cada data de avaliação e a distribuição percentual de raízes por tratamento no final do experimento.

No ensaio II, foram estudados os efeitos da aplicação de doses de gesso mineral, sendo todas as parcelas corrigidas pela calagem. Nesse caso, foram estudados tanto os efeitos no solo em cada data de avaliação quanto os reflexos nutricionais, produtivos e o rendimento industrial da cana-de-açúcar.

V. Análises químicas

As amostras de solo coletado em cada data de coleta foram secas ao ar, destorroado e tamisadas em malha de 2 mm. Em seguida, procedeu-se a determinação do pH em água (1:2,5), acidez potencial, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, potássio e fósforo, conforme EMBRAPA (1997). O pH foi obtido por potenciometria, a acidez potencial e o teor de alumínio trocável foram obtidos por volumetria, o cálcio e o magnésio trocáveis foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica, e o potássio por espectrometria de chama. Com base nesses valores, foram calculadas as relações cálcio/magnésio, cálcio/potássio, saturação por bases e saturação por alumínio. O nitrato e amônio extraídos do solo, foram separados por destilação e determinados por volumetria, conforme métodos propostos por EMBRAPA (1999).

As folhas-índice (+3), coletadas aos 150 dias, as folhas+bainhas e os colmos coletados aos 480 dias, foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até peso constante. Após secas, foram moídas em moinho “tipo Wiley” e acondicionadas em frascos de vidro com tampa de plástico para posterior análise. O nitrogênio foi mineralizado por digestão sulfúrica, e o fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre por digestão nitroperclórica (BATAGLIA et al., 1983). O fósforo foi determinado por

espectrometria ótica, cálcio e magnésio por espectroscopia de absorção atômica, potássio por espectrometria de chama de acordo com BATAGLIA et al. (1983), e o enxofre por turbidimetria de acordo com ALVAREZ V. et al. (2001).

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar em Tonelada de Colmos por Hectare (TCH) foi avaliada por pesagem feita no campo logo após a colheita da cana-de-açúcar. As demais variáveis, ou seja, Açúcares Redutores (AR), Açúcares Redutores Totais Recuperáveis (ATR), BRIX da cana, Açúcares Polarizáveis (POL), percentual de POL na cana (PC), Pureza, Fibras e Tonelada de Açúcar por Hectare (TAH) foram analisadas pelo laboratório da própria Usina, o qual é credenciado e fiscalizado pela CRSPCTS/PE.

VI. Análise estatística

Os dados das variáveis de solo, planta e variáveis tecnológicas foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 5\%$); na ausência de interação com as doses, as variáveis qualitativas, granulometria e variedade, foram diferenciadas pelo teste F. Para avaliar o efeito das doses sob as variáveis de solo, planta e de produção, realizou-se análise de regressão simples, obtendo-se modelos ajustados, escolhidos a partir da esperança biológica do ajuste e o maior coeficiente de determinação. No caso de interação entre doses, granulometrias e variedades, foram feitas decomposições, buscando-se modelos de regressão simples distintos para cada granulometria em cada uma das variedades estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

I. Prospecção do uso de Gesso Mineral em Cana-de-açúcar

Decorridos 30 dias do início do experimento, os efeitos da aplicação de gesso mineral puderam ser percebidos na movimentação inicial de bases no perfil de solo, sendo marcante a diferença de efeitos nas profundidades observadas (Quadro 4).

Em superfície foram obtidas diferenças entre os tratamentos nos teores de K^+ e SO_4^{2-} (ANEXO). Pode-se observar reduções nos teores de K^+ em função, principalmente, da aplicação isolada de gesso (Quadro 4), onde, apesar de ainda não ocorrer aumento nos teores de K^+ em profundidade, a perda do elemento na camada superficial, pode indicar o início do processo de percolação. Esse processo de tem sido resposta freqüente nos estudos com aplicação de gesso em solos (QUAGGIO et al., 1982; DAL BO et al. 1986; MAYS & MORTVEDT, 1986; FARINA & CHANNON, 1988; SYED-OMAR & SUMNER, 1991; ILLERA et al, 2004).

Em relação aos teores de Mg^{2+} (Quadro 4), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, corroborando com resultados encontrados por RAIJ et al. (1998) em pesquisa realizada em Latossolo álico cultivado com milho, que encontraram pouca lixiviação de Mg^{2+} com o uso isolado de gesso.

Para as variáveis relacionadas diretamente a acidez, ou seja, pH, $(H+Al)$, Al^{3+} e m, não foram observados diferenças significativas entre os tratamentos, mesmo se tratando da camada arável e comparando com o tratamento onde foi aplicado apenas calcário, que deveria reduzir a acidez nessa camada (Quadro 4). Contudo, considerando que a incorporação dos insumos foi realizada no momento do plantio, é possível que apenas 30 dias após a aplicação não tenha sido suficiente para a correção da acidez, mesmo tendo havido uma elevada incidência pluviométrica no período (Figura 1). Por outro lado, segundo AZEREDO et. al., (1981), não há resposta a calagem se o solo apresentar mais de $0,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$ de Ca^{2+} , como é o caso da camada superficial do solo da pesquisa (Quadro 1). Com os teores de Ca^{2+} elevados em superfície, não houve diferença significativa entre as fontes de cálcio, como também nas relações Ca/Mg e Ca/K na profundidade até 0,2 m.

Quadro 4. Teor de potássio (K⁺) e cálcio (Ca²⁺) trocáveis, teor de sulfato (SO₄²⁻) e relação cálcio/potássio (Ca/K) aos 30 dias, por tratamentos e profundidades estudadas

Tratamento	K ⁺ -----cmol _c dm ⁻³ -----	Ca ²⁺ -----	SO ₄ ²⁻ mg dm ⁻³	Ca/K
0 – 0,2 m				
Testemunha	0,13 c	1,43 a	23,29 a	8,55 a
Calcário	0,19 a	1,73 a	32,48 a	8,03 a
Gesso	0,12 d	1,65 a	44,66 a	12,56 a
Calcário+gesso	0,14 b	1,56 a	37,41 a	13,44 a
C.V.(%)	22,81	47,65	33,67	53,35
0,2 – 0,4 m				
Testemunha	0,06 a	1,07 a	40,67 a	14,16 a
Calcário	0,09 a	1,18 a	30,30 a	11,74 a
Gesso	0,12 a	1,28 a	62,67 a	12,69 a
Calcário+gesso	0,10 a	0,89 a	56,89 a	17,25 a
C.V.(%)	36,70	55,73	41,55	90,65
0,4 – 0,6 m				
Testemunha	0,05 a	0,49 b	43,67 b	11,90 b
Calcário	0,07 a	0,60 b	36,35 c	8,68 b
Gesso	0,07 a	1,40 a	71,79 a	19,05 a
Calcário+gesso	0,07 a	0,78 b	71,62 a	10,54 b
C.V.(%)	205,31	46,86	38,52	49,49
0,6 – 0,8 m				
Testemunha	0,05 a	0,47 c	37,06 b	13,53 b
Calcário	0,04 a	0,48 c	41,61 c	10,02 b
Gesso	0,04 a	1,32 a	64,37 a	27,82 a
Calcário+gesso	0,03 a	0,71 b	61,05 a	15,32 b
C.V.(%)	51,50	47,54	34,22	56,13

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. C.V. coeficiente de variação.

Apesar dos maiores teores de SO₄²⁻ acrescentados ao solo pelo tratamento com aplicação isolada de gesso, não foram observadas diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos na camada superficial (Quadro 4), possivelmente pela presença de SO₄²⁻ proveniente de adubações anteriores.

A partir dos 0,4 m de profundidade pode-se perceber diferença entre tratamentos para os teores de Ca²⁺, SO₄²⁻ e relação Ca/K (Quadro 4). A elevação dos teores de Ca²⁺ em subsuperfície tem sido resposta freqüente nos trabalhos com a aplicação de gesso (RIRIE et al., 1952; QUAGGIO et al., 1982, SHAINBERG et al., 1989; ALVA & GASCHO, 1993; SUMNER, 1993; BELKACEM & NYS, 1997; GARRIDO et. al., 2003; RITCHEY et. al., 2004). Observando as três variáveis conjuntamente percebe-se que houve movimento descendente de Ca²⁺ e SO₄²⁻ para

os tratamentos com gesso, de modo mais evidente no tratamento com gesso isoladamente.

O aumento nos teores Ca^{2+} em profundidade reflete a maior percentagem de raízes em subsuperfície (Figura 6) nos tratamentos com gesso, principalmente a partir de 0,4 m de profundidade, onde os teores de Al^{3+} e sua saturação eram originalmente elevados (Quadro 1).

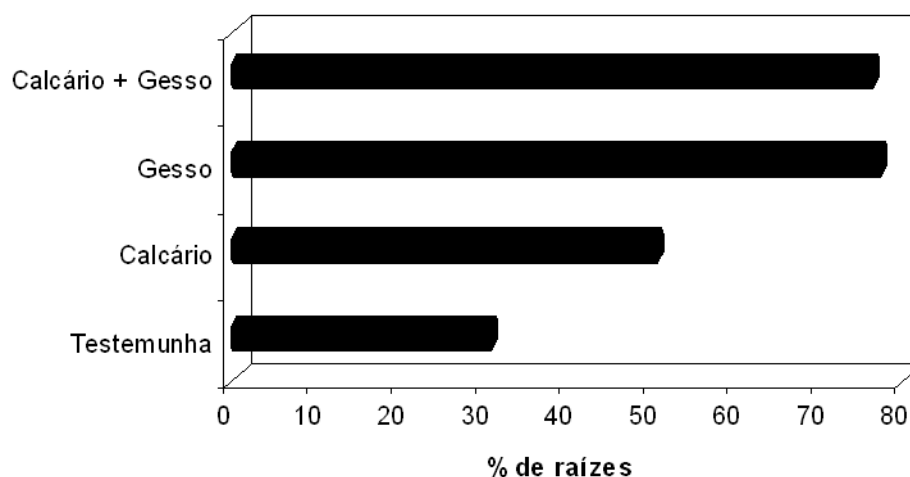


Figura 6. Percentagem de raízes da variedade SP78-4764 presentes na camada 0,4-0,8 m de profundidade em função dos tratamentos aplicados.

Esse aspecto favorável ao desenvolvimento radicular com o uso de gesso permite as plantas de cana-de-açúcar uma exploração maior do ambiente (Figura 7) e, conseqüentemente, otimização do uso da água e de nutrientes. A imagem que representa o tratamento em que se utilizou apenas gesso aponta uma distribuição mais uniforme do sistema radicular e raízes, aparentemente, mais finas (Figura 7D).

A presença de Ca^{2+} e SO_4^{2-} em profundidade justifica-se pela descida dos elementos na forma de CaSO_4^0 , assim como ocorrido no trabalho de SUN et al. (2000). Nesse mesmo trabalho, os autores, que estudaram com especiação de íons em colunas de solo, observaram que até 30% do cálcio em profundidade estava na forma de CaSO_4^0 . Assim, os teores de Ca^{2+} , SO_4^{2-} e a relação Ca/K alcançaram maiores valores no tratamento onde o gesso foi aplicado isoladamente, em que a proporção de sulfato de cálcio é maior que nos demais tratamentos. A descida

predominante do CaSO_4^0 se deu porque os insumos, calcário, gesso e calcário+gesso, foram aplicados antes da adubação, portanto não havia magnésio e potássio passíveis de lixiviação, associada a maior estabilidade do par iônico CaSO_4^0 frente aqueles formados com magnésio e potássio (BOHN et al.,1979), e ainda à elevada incidência pluviométrica ocorrida entre esses dois eventos.

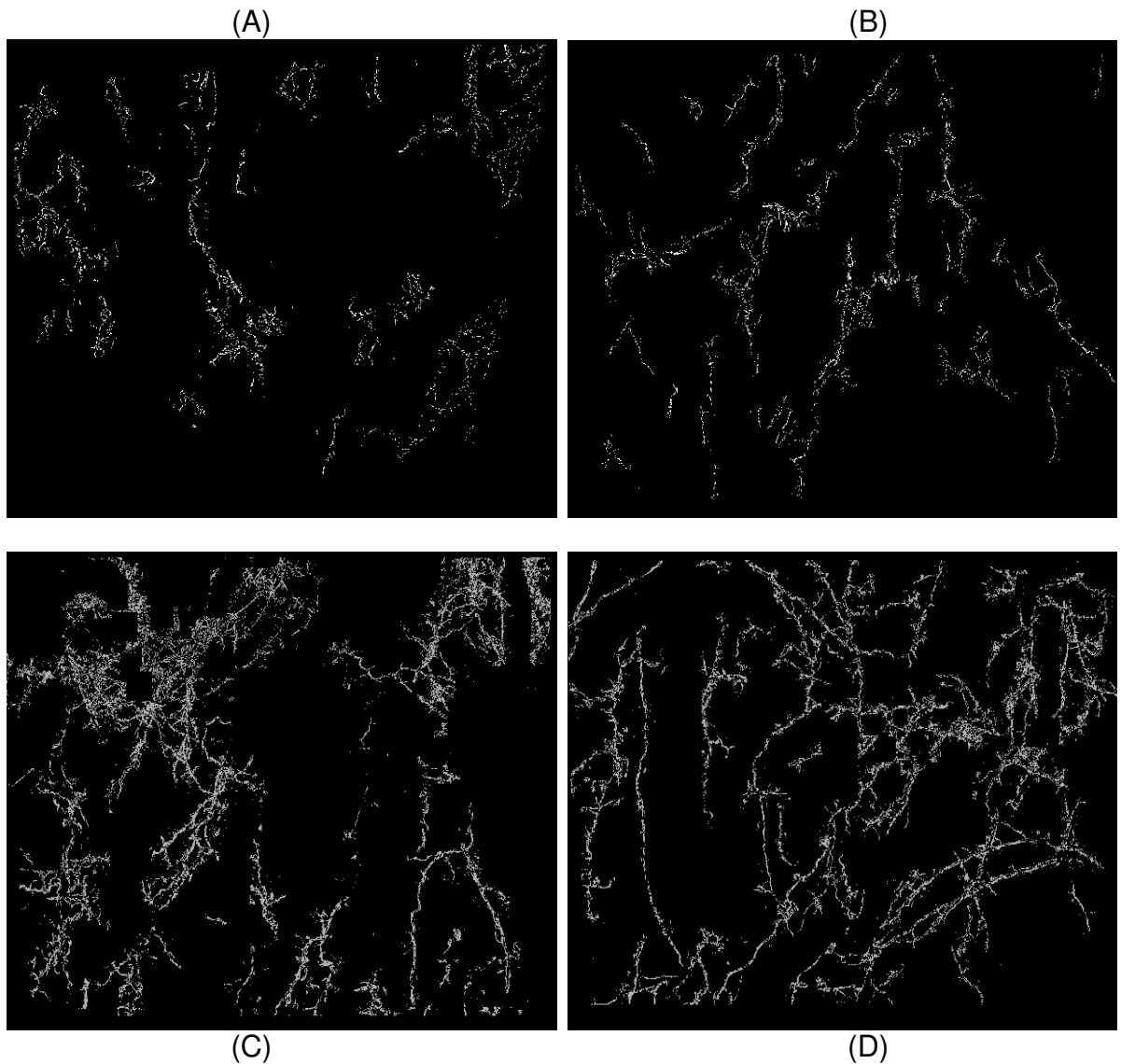


Figura 7. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar na profundidade 0,4-0,8 m após a aplicação dos tratamentos: testemunha (A); somente calcário (B); calcário+gesso (C) e somente gesso (D).

Na avaliação realizada aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos, os resultados indicaram diferenças entre tratamentos em superfície para as variáveis pH, Al^{3+} , (H+Al), Mg^{2+} e SO_4^{2-} (ANEXO).

Na elevação dos valores de pH, na redução de (H+Al) e nos teores de Al^{3+} em superfície, o tratamento calcário+gesso foi mais eficiente que os demais, principalmente em função da presença do calcário, visto que no tratamento com somente gesso não foi observado nenhum efeito (Quadro 5), corroborando resultados encontrados por WADT (2000). Como o calcário foi o agente das alterações em superfície e sua movimentação limita-se a essa camada, não houve diferença estatística entre tratamentos para as variáveis nas demais profundidades estudadas.

Quadro 5. Valores de pH e teores de alumínio (Al^{3+}) e magnésio trocáveis (Mg^{2+}), acidez potencial (H+Al) e teores de sulfato trocável (SO_4^{2-}), aos 150 dias, por tratamentos e profundidades estudadas

Tratamento	pH	Al^{3+}	Mg^{2+}	(H+Al)	SO_4^{2-}
		----- $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----			mg dm^{-3}
			0 – 0,2 m		
Testemunha	4,9 a	0,73 a	0,77 c	6,28 b	18,27 a
Calcário	5,3 a	0,28 c	1,31 b	6,16 c	20,71 a
Gesso	4,8 a	0,65 b	0,64 d	6,76 a	31,10 a
Calcário+gesso	5,7 a	0,10 d	1,41 a	4,70 d	41,36 a
C.V(%)	9,02	98,27	30,49	18,93	42,97
			0,2 – 0,4 m		
Testemunha	4,7 a	0,73 a	0,56 a	5,89 a	33,11 a
Calcário	4,6 a	0,79 a	0,74 a	6,73 a	36,53 a
Gesso	4,6 a	0,75 a	0,43 a	6,18 a	44,17 a
Calcário+gesso	4,6 a	0,71 a	0,67 a	5,97 a	61,10 a
C.V(%)	9,85	41,22	32,32	23,26	41,08
			0,4 – 0,6 m		
Testemunha	4,6 a	0,75 a	0,46 a	5,51 a	54,68 a
Calcário	4,6 a	0,89 a	0,43 a	5,56 a	32,87 a
Gesso	4,5 a	0,74 a	0,35 a	5,62 a	67,42 a
Calcário+gesso	4,4 a	0,99 a	0,48 a	5,99 a	72,78 a
C.V(%)	5,37	42,82	39,72	13,15	48,72
			0,6 – 0,8 m		
Testemunha	4,6 a	0,67 a	0,44 a	5,27 a	57,72 a
Calcário	4,7 a	0,69 a	0,52 a	4,81 a	45,71 a
Gesso	4,6 a	0,62 a	0,43 a	4,93 a	76,84 a
Calcário+gesso	4,6 a	0,60 a	0,45 a	5,74 a	66,36 a
C.V(%)	4,12	38,32	33,85	16,91	39,06

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. C.V. coeficiente de variação.

Observando a distribuição dos teores de Mg^{2+} (Quadro 5), nota-se que não houve perda desse nutriente com a adição de gesso, visto que os teores no tratamento com gesso isoladamente são semelhantes à testemunha. O fato de esses teores serem inferiores aos tratamentos calcário+gesso e com apenas calcário deve-se a adição de magnésio proveniente do calcário dolomítico aplicado em superfície. Essa hipótese é corroborada quando se observa os teores de Mg^{2+} em subsuperfície (Quadro 5), em que não há diferença entre tratamentos pela pouca movimentação do calcário em profundidade e, conseqüentemente, pouca migração de Mg^{2+} no perfil do solo. Esses resultados confirmam aqueles obtidos na avaliação realizada aos 30 dias.

A constatação de que não houve perda de Mg^{2+} , na magnitude da dose utilizada no tratamento com somente gesso, discorda de alguns trabalhos com a aplicação de gesso em solos, que mostram lixiviação predominante de Mg^{2+} (CARVALHO et al., 1986; SYED-OMAR & SUMNER, 1991; OLIVEIRA & PAVAN, 1996, CAIRES et al., 1999; CAÍRES et. al., 2004), por causa da associação preferencial do sulfato com o magnésio, forma mais solúvel do que a associação do sulfato com o cálcio (DAL BÓ et al, 1986). Contudo, nesses trabalhos as doses de gesso são, freqüentemente, mais elevadas do que as utilizadas nessa pesquisa ($4,55 \text{ t ha}^{-1}$), como por exemplo, 9 t ha^{-1} em CAIRES et al., (2004), 12 t ha^{-1} em CAIRES et al (1999), 32 t ha^{-1} em ERNANI (1996), aumentando as possibilidades de lixiviação de bases trocáveis, como o magnésio.

Nas regiões canavieiras do Nordeste, principalmente em solos de Tabuleiros Costeiros, com baixo poder de retenção de sulfato, o uso do gesso deve ser uma prática corretiva a ser aplicada em pequenas doses e em mais de um evento durante o desenvolvimento da cultura antes da renovação do canavial.

Apesar dos tratamentos com gesso adicionarem maiores quantidades de sulfato em todo o perfil (Quadro 5), não foram observadas diferenças estatísticas entre tratamentos, possivelmente por causa da maior variabilidade dos dados observada na avaliação realizada aos 150 dias (Quadros 5 e ANEXO).

Aos 480 dias, os tratamentos se diferenciaram apenas quanto aos teores de SO_4^{2-} e na relação Ca/Mg (Quadros 6 e ANEXO).

Quadro 6. Teores de sulfato trocável(SO_4^{2-}) e relação cálcio/magnésio (Ca/Mg), aos 480 dias, por tratamentos e profundidades estudadas

Tratamento	SO_4^{2-} mg dm^{-3}	Ca/Mg
		0 – 0,2 m
Testemunha	16,57 a	1,36 a
Calcário	17,34 a	1,38 a
Gesso	24,61 a	3,26 a
Calcário+gesso	24,18 a	4,05 a
C.V(%)	35,52	125,63
		0,2 – 0,4 m
Testemunha	31,95 a	1,18 a
Calcário	29,57 a	1,05 a
Gesso	45,74 a	3,04 a
Calcário+gesso	56,80 a	1,47 a
C.V(%)	31,83	77,27
		0,4 – 0,6 m
Testemunha	47,83 c	1,00 a
Calcário	41,70 d	1,23 a
Gesso	62,02 b	3,90 a
Calcário+gesso	92,94 a	2,16 a
C.V(%)	25,81	65,29
		0,6 – 0,8 m
Testemunha	38,62 a	1,24 a
Calcário	58,39 a	2,09 a
Gesso	76,66 a	2,76 a
Calcário+gesso	77,59 a	1,24 a
C.V(%)	21,09	115,06

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. C.V. coeficiente de variação.

A presença de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no perfil do solo aos 480 dias, sugere que existe uma relação preponderante entre esse par iônico, favorecendo sua permanência no perfil. Em solos oxidicos, na presença de Ca^{2+} , há uma possível adsorção específica do cátion e, conseqüente aumento nas cargas positivas de superfície propiciando um incremento na adsorção de sulfato desses solos (BOLAN et al. 1993), favorecendo a permanência do sulfato no perfil. No caso do solo em estudo, pode ter ocorrido coadsorção de Ca^{2+} e SO_4^{2-} , conforme exposto por MARCANO-MARTINEZ & MCBRIDE (1989), para solos de carga líquida nula ou próxima da nulidade.

Nesta pesquisa não se evidência associação preferencial de sulfato por magnésio e sim por cálcio. Sugere-se maiores estudos com adsorção específica de cátions, ânions e relações químicas entre essas espécies para conclusões mais enfáticas.

No caso específico do sulfato, nota-se que nos tratamentos com gesso, houve uma redução nos teores de SO_4^{2-} em superfície e um aumento em profundidade, diferindo significativamente a partir da profundidade 0,2-0,4 m. Nos tratamentos com gesso, o aumento do Ca^{2+} em profundidade percebido na avaliação realizada aos 30 dias e a ausência de perdas de Mg^{2+} verificada aos 150 dias, resultaram, aos 480 dias, no aumento da relação Ca/Mg no perfil do solo (Quadro 6). Trabalhos como os de CAÍRES et al. (1999, 2001) mostraram aumento na relação Ca/Mg em todo o perfil do solo ocasionado pelo uso do gesso.

II. Avaliação da aplicação de doses de gesso mineral em solos cultivados com cana-de-açúcar

i. Correção da acidez trocável do solo

A utilização de gesso para a correção da acidez trocável em subsuperfície tem sido tema de muitos trabalhos publicados desde os anos 80 (RITCHEY et al., 1980; SUMNER et al., 1986; PAVAN et al. 1987; CHAVES et al., 1988; SHAINBERG et al., 1989), e, pela mesma razão, foi a principal motivação para a realização deste trabalho em solos álicos da zona canavieira de Pernambuco. A principal diferença desta pesquisa para as outras é que o gesso utilizado é proveniente da gipsita natural e não do fosfogesso, subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados. Morfologicamente parece ser um produto mais alterado que cristalino (Figura 3) e quimicamente de composição pura com cálcio, enxofre e ferro (Figura 4). Essas características podem conferir maior reatividade com o solo, potencializando suas ações e com a grande vantagem da sustentabilidade química pela pureza do insumo.

Neste estudo com a aplicação de gesso mineral foram observados efeitos sobre as variáveis relacionadas com a acidez do solo, principalmente, Al^{3+} e m em todas as avaliações realizadas, ou seja, aos 30 dias, 150 dias e 480 dias (ANEXO). Também foram avaliados possíveis efeitos sobre os valores de pH e acidez potencial (H+Al), contudo não foram observadas alterações nessas variáveis (ANEXO). Resultados de alguns trabalhos, em que o pH é alterado pela aplicação de doses de gesso (VAN RAIJ & PEECH, 1972; PAVAN et al., 1985, DAL BÓ et al., 1986; CARVALHO & RAIJ, 1997; CAIRES et al., 1999) são atribuídos a uma reação de

troca de ligantes na superfície das partículas do solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, em que o sulfato desloca a hidroxila, fazendo com que haja uma neutralização parcial da acidez (CHANG & THOMAS, 1963). Por outro lado, a não alteração de pH com o uso do gesso deve-se, possivelmente, a característica do sulfato não ser um acceptor de prótons nas condições do solo.

Aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos, foram observados efeitos significativos apenas na saturação por alumínio (ANEXO), que por sua vez, é o indicador criterioso da correção do solo pelo uso do gesso, visto que se trata de uma abordagem relativa da situação do Al^{3+} frente às bases adicionadas pelo gesso no complexo de troca. Os resultados mostram que a aplicação de gesso reduziu consideravelmente a saturação por alumínio (Figura 8), inclusive na camada de maior saturação por alumínio (0,4-0,6 m), baixando seus valores para a faixa dos 30%, condição que, de acordo com a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (1999), é o limite tolerado para a cultura da cana-de-açúcar.

Esses resultados respaldam a aplicação do gesso mineral, visto que resultados semelhantes descrevem uma redução na saturação por alumínio por meio do uso do gesso agrícola em camadas mais profundas (MORELLI et al. 1987; RAIJ et al. 1998; CAIRES et al. 2001). Vale ressaltar que a correção da saturação por alumínio ocorreu nos primeiros 30 dias, fato que pode viabilizar o manejo da gessagem, mesmo com aplicação manual, em superfície, sem incorporação imediata, condição prática de cultivo da cana-de-açúcar nos solos álicos do litoral sul de Pernambuco.

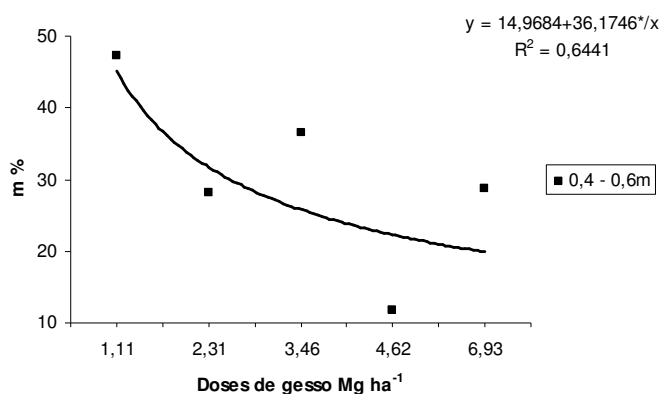


Figura 8. Saturação por alumínio (m) na camada subsuperficial em função das doses de gesso aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos.

Aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos, foram observadas alterações nos teores de Al^{3+} na camada superficial (ANEXO), porém não foi possível ajuste de modelo significativo para as doses de gesso. A impossibilidade de ajuste deve-se a dominância da ação do calcário nesta camada e possível interferência na camada subjacente. No trabalho realizado por SUN et. al. (2000), realizado em colunas de solo que receberam gesso, calcário e calcário+gesso, observou-se que, na aplicação de calcário+gesso o efeito da combinação foi praticamente o mesmo da aplicação isolada dos insumos, indicando que a interação entre os dois corretivos, principalmente em superfície, não é tão completa quanto sugerida por PAVAN et al. (1984, 1987).

A partir dos 0,4 m, confirmando a resposta observada aos 30 dias, detectou-se redução na saturação por alumínio na camada de 0,4-0,6 m e um efeito sobre o Al^{3+} na camada 0,6-0,8 m de profundidade. Nos três casos, os valores da variável oscilam em torno de 30% para a saturação por alumínio (Figura 9 e 10) e entre 0,4 e 0,6 cmolc dm^{-3} , para o Al^{3+} , ou seja, bem inferiores aos valores originais (Quadro 1), indicando progressão da correção realizada já aos 30 dias (Figura 8).

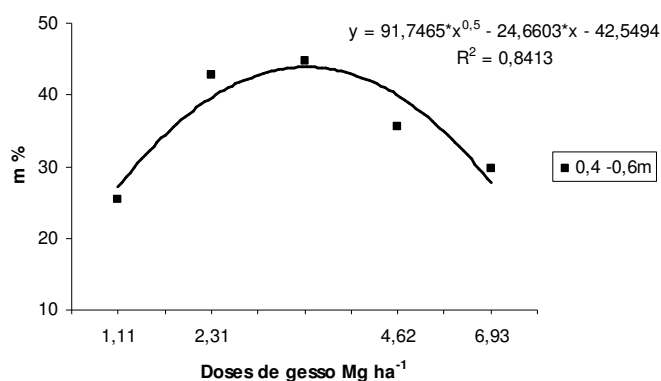


Figura 9. Saturação por alumínio (m) na camada subsuperficial em função das doses de gesso aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos.

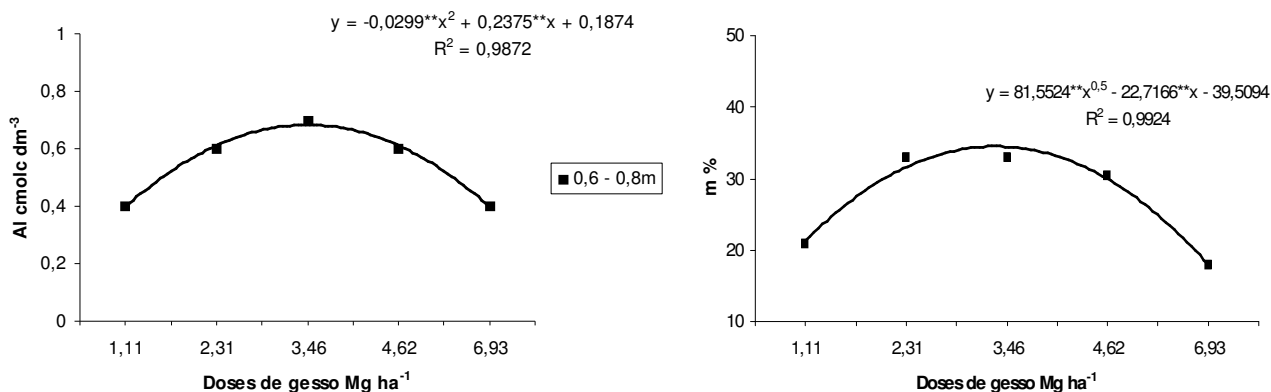


Figura 10. Alumínio trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio (m) na camada subsuperficial em função das doses de gesso aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos.

Os modelos ajustados para as variáveis Al^{3+} e m, independentemente da profundidade amostrada, mostram que houve elevação nos valores dessas variáveis nas primeiras doses, comportamento que pode ser explicado pelo deslocamento do Al^{3+} dos sítios de troca pelo Ca^{2+} , disponibilizando Al^{3+} além do que havia em solução, e, lenta precipitação do alumínio na forma $AlSO_4^+$ pela magnitude das doses iniciais. Resultado semelhante foi encontrado por SUN et al. (2000), que observaram elevação nos teores de Al^{3+} em subsuperfície e, por especiação, verificaram que a formação de $AlSO_4^+$ pode não ser tão expressiva quanto divulgada em estudos por PAVAN et al. (1987) e SUMNER et al. (1986). Os autores mostraram em seu trabalho que 25-57% do Ca^{2+} estava complexado com o SO_4^{2-} e encontraram, ainda, que com a aplicação de calcário+gesso são lixiviadas quantidades significativas de ânions bicarbonato (HCO_3^-), possibilitando, assim como esperado para o calcário em superfície, disponibilização de oxidrilas (OH^-) e, posteriormente, a formação de complexos de alumínio do tipo $Al(OH)SO_4$.

Na última avaliação, ou seja, aos 480 dias, não foram registrados efeitos da aplicação de gesso sobre as variáveis relacionadas com a acidez, possivelmente, pelos efeitos nos tempos anteriores. Há um efeito de variedade sobre o pH, Al^{3+} e (H+Al) (ANEXO). Contudo, tais efeitos podem ser atribuídos a características intrínsecas das variedades e a variações do acaso.

ii. Indicação da dose de gesso mineral recomendável para correção da acidez trocável em subsuperfície

Considerando que intencionalmente se aplicou gesso mineral ao solo para reduzir a saturação por alumínio da camada subsuperficial 0,4-0,6 m do Latossolo álico estudado e, também, considerando que no tempo de 150 dias após a aplicação do corretivo praticamente todas as reações de equilíbrio solo/corretivo estavam satisfeitas, utilizou-se a regressão saturação por alumínio em função de doses de gesso mineral (Figura 9) e obteve-se a dose de 3,42 Mg ha⁻¹ como a dose recomendável para reduzir a saturação por alumínio de 82% (Quadro 1) para um valor máximo estimado de 43%. Essa dose é confirmada nas regressões desenvolvidas para a camada subsuperficial de 0,6-0,8 m (Figura 10), tanto para a redução dos teores de Al³⁺, como para a redução da saturação por alumínio, que foram, respectivamente, de 3,97 Mg ha⁻¹ e 3,20 Mg ha⁻¹.

iii. Movimentação de cátions e ânions no perfil do solo

A aplicação de doses de gesso mineral associadas à calagem mostrou efeito sobre os teores de Ca²⁺ e SO₄²⁻, principalmente aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos (ANEXO). Para Ca²⁺, as alterações ocorreram, principalmente, nas camadas subsuperficiais, mostrando que a ação do insumo é intensificada com o aumento das doses, que nesse caso chegaram a mais de 6 Mg ha⁻¹.

A movimentação inicial de K⁺ em profundidade apresentada no estudo com os tratamentos com aplicação isolada de calcário, gesso e calcário+gesso” (Quadro 4) não foi confirmada com a aplicação das doses, discordando de alguns trabalhos encontrados na literatura que relatam o efeito da perda de potássio das camadas superficiais (QUAGGIO et al., 1982; DAL BO et al., 1986). Apesar do efeito significativo obtido para a camada superficial aos 150 dias para o K⁺ (ANEXO), não foram ajustados modelos significativos das doses em função dos teores dessa variável no solo. MORELLI et al. (1987), em estudo com doses crescentes de gesso não encontraram perdas de K⁺ das camadas superficiais para as subsuperficiais, atribuindo o resultado aos baixos teores do elemento encontrados no solo. BRAGA et al. (1995) afirmaram que a baixa movimentação de K⁺ no solo com o uso de doses

de gesso agrícola, se devia as adubações parceladas de potássio (cobertura) na cultura do eucalipto, que não permitiam que o SO_4^{2-} , proveniente da solubilização do gesso, se combinasse com o potássio oriundo de uma única adubação potássica.

Decorridos 30 dias da aplicação dos tratamentos, os teores de SO_4^{2-} sofreram alterações em todas as profundidades estudadas, refletindo a movimentação predominante do ânion frente a todas as variáveis estudadas. Vale salientar que nessa avaliação, apenas o Ca^{2+} apresentou variações significativas em profundidade juntamente com o SO_4^{2-} (ANEXO), enfatizando a discussão anterior sobre a relação específica entre esses íons, visto que a maior quantidade deste cátion em solução alia-se a maior constante de estabilidade prevista para o par iônico CaSO_4^0 . Foram obtidos modelos lineares crescentes significativos para os teores de SO_4^{2-} em função das doses de gesso mineral a partir dos 0,2 m de profundidade (Figura 11).

A partir de 0,4 m de profundidade, sem interferência da calagem, a descida do Ca^{2+} tendo como ânion acompanhante o SO_4^{2-} expressou-se com a aplicação do gesso mineral e foi facilitada pela solubilização do insumo na camada superficial (Figura 12). Além dessa solubilização, a mobilidade dos cátions acompanhantes do ânion SO_4^{2-} pode ser intensificada por meio de mecanismos que aumentam a eletronegatividade das superfícies adsorventes (WALD, 2000), como a adsorção específica de fosfato (BOLAN et al., 1988) e a elevação do pH do solo decorrente da calagem (KORENTAJER et al., 1983).

CHAO (1964), ao estudar o efeito de 26 ânions sobre a adsorção de sulfato, verificou que seis não interferiram na adsorção (acetato, arsenito, borato, cloreto, nitrato e silicato), dois (bicarbonato e hidroxila) a afetaram indiretamente pela elevação do pH e os dezoito restantes reduziram o sulfato adsorvido pelo solo em diferentes magnitudes. Dos ânions inorgânicos que mais afetaram a adsorção destacaram-se o fosfato > molibdato > fluoreto. A competição exercida pelo fosfato é mais bem documentada e unânime quanto ao efeito negativo que a presença desse ânion exerce sobre a adsorção de sulfato (BOLAN et al., 1988), favorecendo sua manutenção na solução do solo.

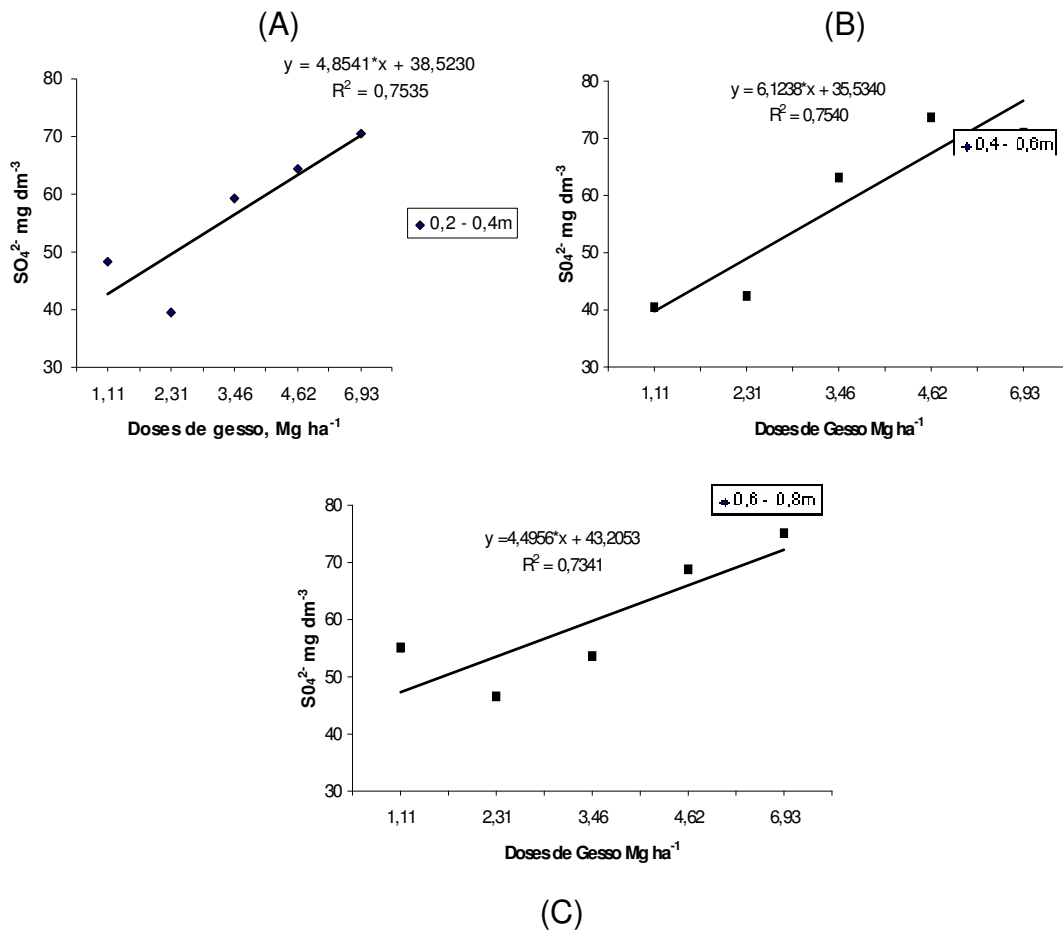


Figura 11. Sulfato trocável (SO_4^{2-}) nas profundidades de 0,2-0,4 m (A), 0,4-0,6 m (B) e 0,6-0,8 m (C) em função das doses de gesso, aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos.

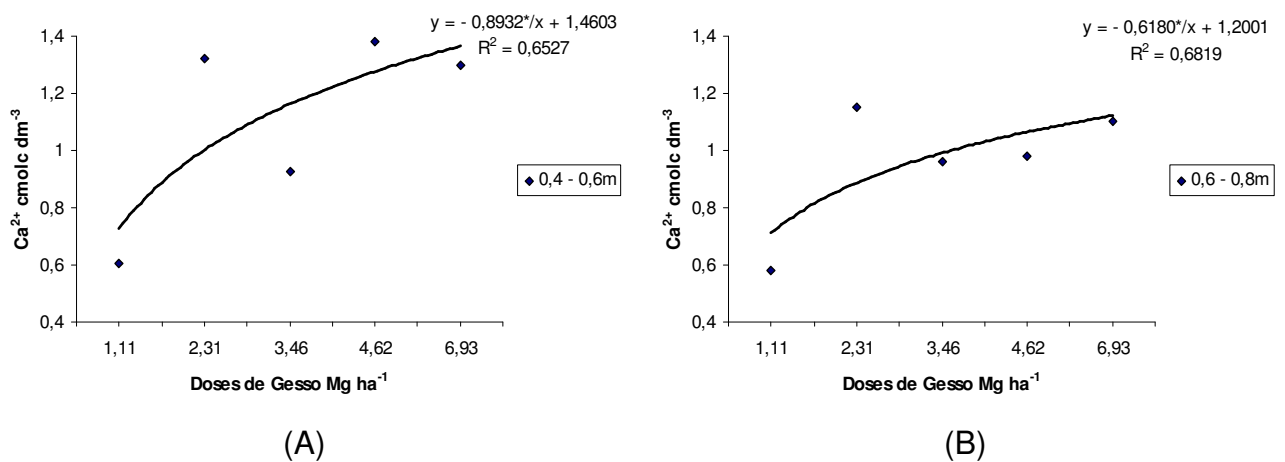


Figura 12. Cálcio trocável (Ca^{2+}) nas profundidades 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m em função de doses de gesso aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos.

Na amostragem realizada aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos, foi detectado efeito significativo das doses de gesso sobre os teores de Mg^{2+} na camada de 0,4-0,6 m (ANEXO), inclusive com ajuste de modelo significativo decrescente em função das doses (Figura 13). Essa diminuição dos teores de Mg^{2+} motivada pelas doses de gesso, apesar de refletir uma perda defendida por vários trabalhos (CARVALHO et al., 1986; SYED-OMAR & SUMNER, 1991; OLIVEIRA & PAVAN, 1996, CAÍRES, et. al., 2004) não foi registrada acumulação ou variação de seus teores na camada subsequente, indicando, possivelmente, um efeito favorável de distribuição do nutriente em profundidade, não representando, necessariamente, uma perda, visto que nessa profundidade poderá ser absorvido pela cultura.

A granulometria do gesso mineral não foi determinante sua ação, tendo apresentado resultados significativos apenas na movimentação de Mg^{2+} aos 150 dias e Ca^{2+} aos 480 dias, sugerindo maior eficácia da granulometria fina. Trabalho realizado por BARROS et al. (2004) com gesso mineral em quatro granulometrias, (2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,3 e < 0,3 mm) na correção de solo salino-sódico, observaram que quando o gesso foi aplicado nas texturas mais finas, apresentou melhor desempenho na lixiviação de bases. Desse modo, a maior eficiência na atuação do gesso, seja para solos alcalinos ou ácidos, é mais pronunciada nas granulometrias mais finas em função da maior reatividade com o solo e sua solubilização.

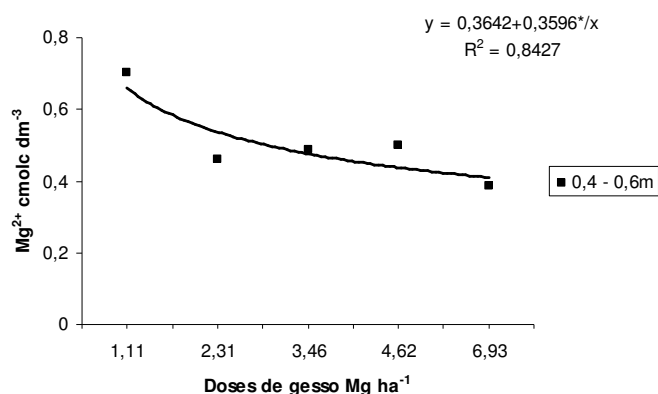


Figura 13. Magnésio trocável (Mg^{2+}) na profundidade 0,4-0,6 m em função de doses de gesso aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos.

Foram observadas, também, alterações nas relações Ca/Mg e Ca/K em diferentes profundidades (ANEXO). Para a relação Ca/Mg, como os modelos obtidos foram sempre crescentes (Figuras 14 e 15) e não acompanharam as variações ocorridas para Mg^{2+} e K^+ , os aumentos verificados nas relações se deram, possivelmente, pela descida do Ca^{2+} ao longo do perfil, observada já na primeira amostragem do experimento (Quadros 11).

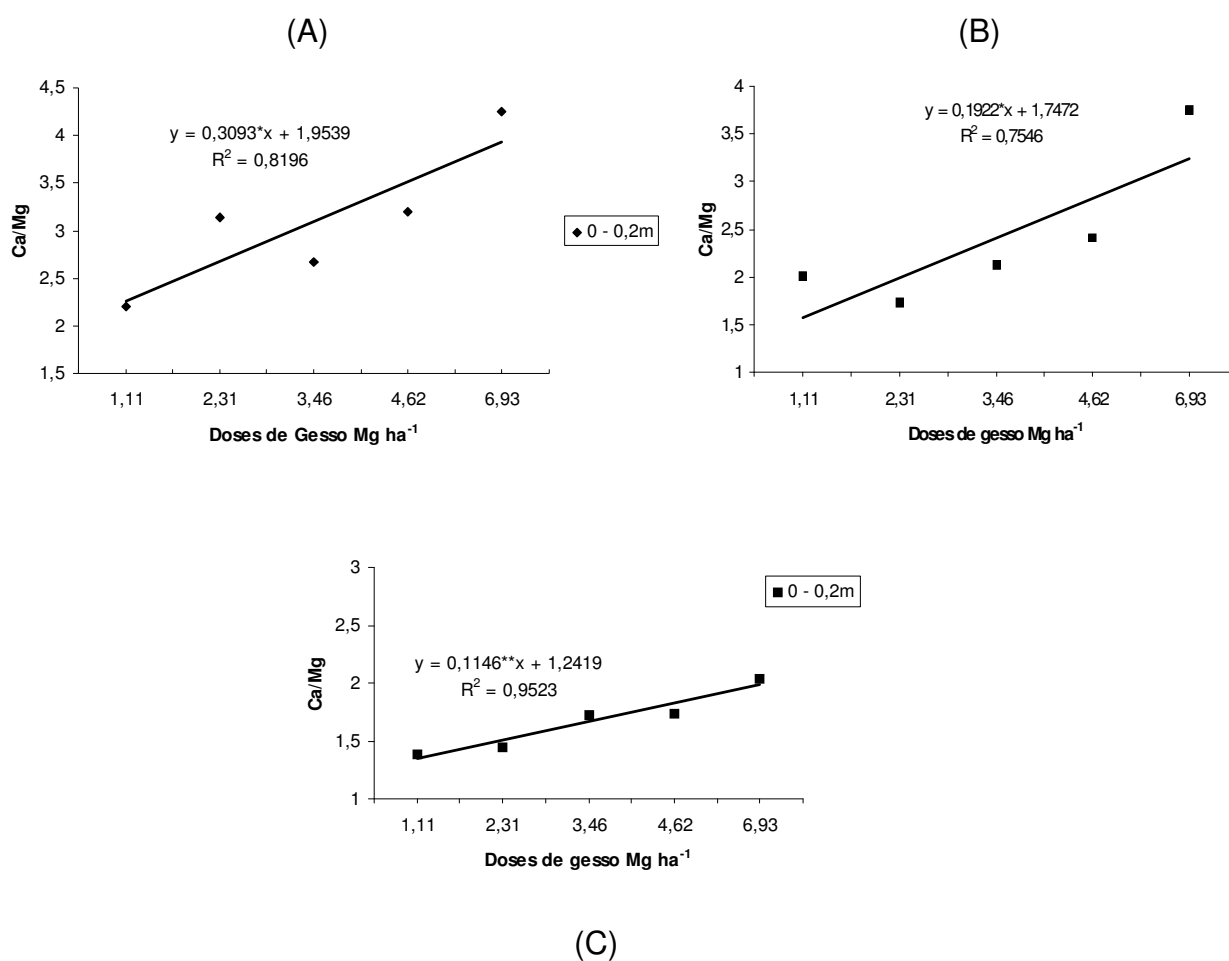


Figura 14. Relações cálcio/magnésio (Ca/Mg) em superfície em função das doses de gesso aos 30 dias (A), 150 dias (B), e 480 dias (C) após a aplicação dos tratamentos.

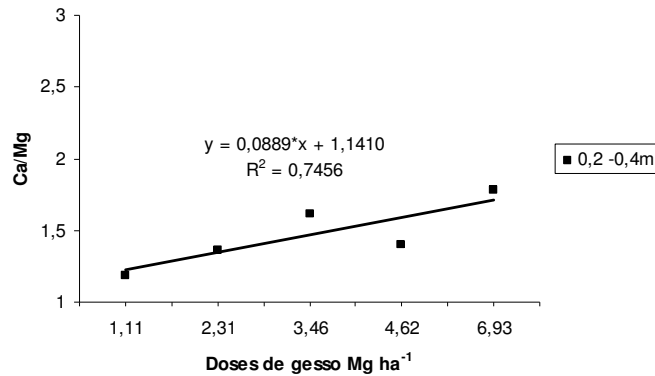


Figura 15. Relação cálcio/magnésio (Ca/Mg) na profundidade 0,2-0,4 m em função das doses de gesso aos 480 dias após a aplicação dos tratamentos.

Para a relação Ca/K, por causa dos elevados coeficientes de variação observados para essa variável em todos os tempos de amostragem, foram obtidos modelos significativos apenas para a camada de 0,4-0,6 m aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 16), que, por sua vez, mostra uma relação crescente motivada, também, provavelmente, pelo incremento dos teores de Ca²⁺ em profundidade.

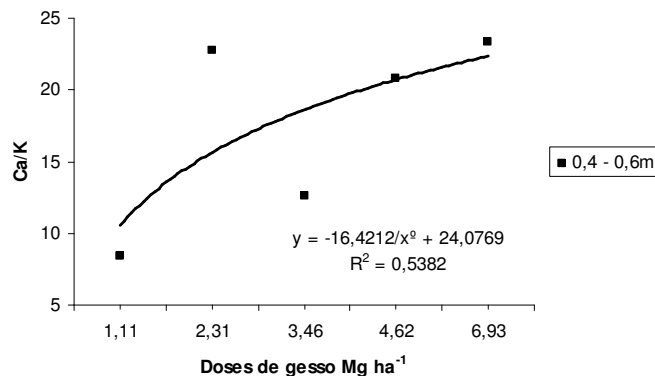


Figura 16. Relação cálcio/potássio (Ca/K) na profundidade 0,2-0,4 m em função das doses de gesso aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos.

Aos 480 dias após a aplicação dos tratamentos foram determinados os teores de nitrato e amônio nas camadas de solo do perfil estudado (ANEXO). Apesar da indicação de alguns trabalhos (FARINA & CHANNON, 1988; SHAMSHUDDIN &

ISMAIL, 1995) de que parte da movimentação do Ca^{2+} poderia estar relacionada com o nitrato de cálcio, nessa pesquisa a participação do nitrato parece ter sido mínima, por não acompanhar, em nenhuma das amostragens os teores de Ca^{2+} .

Para o amônio que foi adicionado na adubação da cana-de-açúcar, havia uma expectativa de uma possível movimentação com o sulfato, comportamento que não foi, também, observado nessa pesquisa (ANEXO).

iv. Nutrição da cana-de-açúcar e indicadores de produção agrícola e industrial

Com o objetivo de avaliar a influencia da aplicação do gesso mineral no estado nutricional da cana-de-açúcar, foi realizada uma análise dos nutrientes cálcio, magnésio, potássio, fósforo e nitrogênio na folha-índice (+3) da cultura aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos (ANEXO). Nessas análises, até o nível de significância utilizado no trabalho, não foram obtidos efeitos significativos das doses de gesso para os nutrientes estudados.

Alguns pesquisadores já obtiveram respostas significativas, como SOUSA e RITCHEY (1986), que obtiveram efeitos sobre os teores de nitrogênio em milho; (RAIJ et al., 1988) tiveram resposta, também, para nitrogênio em sorgo; MORELLI et al. (1987) e VIATOR et al. (2002) observaram influencia sobre os teores de cálcio em cana-de-açúcar e; SORATO et al. (2003), que verificaram efeitos sobre os teores de potássio em arroz. Assim, a ausência de respostas nessa pesquisa pode ter sido motivada pela ineficiência da folha-índice (+3) de representar o estado nutricional por estar condicionada, entre outros fatores, ao ambiente, que em caso de stress hídrico, por exemplo, pode alterar a época em que essa amostragem deve ser feita.

Na amostragem realizada aos 480 dias, foram obtidos efeitos significativos para doses de gesso nos nutrientes enxofre, cálcio e potássio (ANEXO). Nas amostras de folhas+bainhas, o procedimento de amostragem pode ter sido determinante para não permitir ajustes significativos para as doses de gesso, visto que foram coletadas as folhas+bainhas referentes as posições +1, +2, +3, +4 e +5, ou seja, foram misturadas partes da planta correspondentes a reservatórios diferentes, diluindo os efeitos do nutriente acumulado pela adição das doses de gesso. Portanto, para essa parte da planta não foram ajustados modelos matemáticos significativos.

Para os teores de enxofre nos colmos foi ajustado modelo significativo em função das doses de gesso (Figura 17). Este efeito está relacionado ao aumento nos teores de SO_4^{2-} na solução do solo, resultante da dissociação do gesso, confirmando assim, o efeito nutricional desse insumo no fornecimento de enxofre para as plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por CAIRES et al. (1999), em estudo com plantas de cevada, em que constatou aumentos nos teores foliares destas plantas quando submetidas ao uso de doses crescentes de gesso.

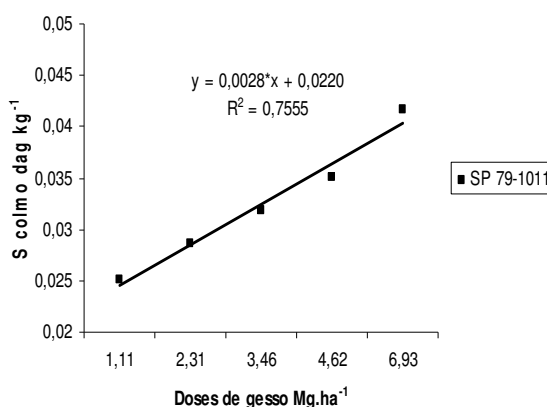


Figura 17. Enxofre (S) em colmos de cana-de-açúcar variedade SP 79-1011 em função da aplicação de doses de gesso aos 480 dias após a aplicação dos tratamentos.

Por outro lado, o modelo foi obtido apenas para a variedade SP79-1011 e, ainda, ajustado, exclusivamente, para a granulometria grossa, possivelmente pela maior permanência do enxofre no perfil do solo, em função da solubilização mais lenta dessa granulometria.

Para as variáveis relacionadas à produção agrícola e industrial avaliadas nesse trabalho, principalmente, tonelada de cana por hectare (TCH) e tonelada de açúcar por hectare (TAH), não foram obtidos efeitos significativos para a aplicação das doses de gesso mineral (ANEXO). Resultados desse tipo são possíveis quando se trata da correção de solos, visto que há uma intervenção indireta em vários fatores ao mesmo tempo, como por exemplo, acréscimo, perda, disponibilização de nutrientes e reação do solo, resultando em respostas esporádicas, inclusive para a calagem, conforme registrado por ROSSETTO et al., (2004).

Por outro lado, embora a análise da variância não tenha mostrado efeito para doses de gesso mineral em TCH, ajustou-se um modelo quadrático significativo, quando se adicionou a dose com ausência de gesso e aplicação isolada de calcário (Figura 18). Assim, há uma resposta muito significativa à aplicação de gesso na avaliação da cana planta, principalmente para variedade SP78-4764. Trabalhos em campo com a utilização de gesso agrícola costumam ser avaliados por 3 (CAÍRES, et. al., 2004), 5 (BAKKER, 1999) e até 8 anos (FARINA et. al., 2000).

Calculando-se a dose que corresponde à máxima produção agrônômica de cana-de-açúcar, encontrou-se 5,64 Mg ha⁻¹ e uma produção máxima estimada de 98,4 t ha⁻¹. Observa-se um incremento de produção da ordem de 22,7 t ha⁻¹, quando se utiliza apenas calcário isoladamente.

Em discussão anterior, mostrou-se que a dose de 3,42 Mg ha⁻¹ era suficiente para reduzir a saturação por alumínio em subsuperfície. No entanto, essa dose só proporcionaria uma produção de 89,5 t ha⁻¹ e, portanto, um incremento de apenas 13,7 t ha⁻¹. Há uma indicação de que parte significativa do ganho de produção do uso de gesso em cana-de-açúcar deve ser atribuída não somente a redução da saturação por alumínio em subsuperfície, mas, também, ao input de cálcio no sistema, interferindo substancialmente no ambiente radicular e melhorando a eficiência nutricional e hídrica das relações da planta com o solo.

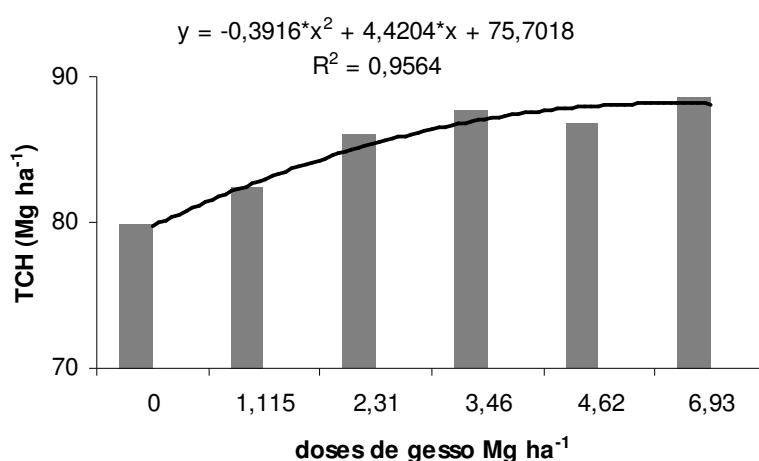


Figura 18. Produção de cana-de-açúcar (TCH) da variedade SP78-4762 em função das doses de gesso aos 480 dias após a aplicação dos tratamentos.

Para as variáveis tecnológicas foram observados efeitos significativos para a aplicação das doses de gesso mineral (ANEXO), porém apenas para PC, ATR e POL na variedade SP 79-4764 foram ajustados modelos matemáticos significativos para aplicação das doses de gesso (Figura 19). Para a variável BRIX, possivelmente, pela forma de amostragem e pelo instrumento de medição utilizado (refratômetro de campo) se registrou muitas variações que não permitiram o estudo da variável com clareza necessária para se detecta se diferenças significativas..

Os indicadores PC, ATR e POL se comportaram da mesma forma e, entre eles, o ATR é, particularmente, importante por ser a “moeda” de pagamento da cana-de-açúcar nas Usinas.

Calculando-se a dose de máxima eficiência agrônômica para produção de ATR (Figura 19), encontrou-se $3,71 \text{ Mg ha}^{-1}$, onde, a partir desse valor, as doses elevadas de gesso passam a ser nocivas a produção de açúcar, por causa dos possíveis desequilíbrios de bases provocado pela descida do cálcio, conforme relatado por vários trabalhos (RITCHEY et al., 1980; SUMNER et al., 1986; PAVAN et al., 1987; CHAVES et al., 1988; SHAINBERG et al., 1989; SOPRANO & ALVAREZ V., 1989; CAÍRES et. al., 2002 e 2004; MUPANGWA & TAGWIRA, 2005).

Parece evidente que ganhos em TCH (Figura 18) a partir de doses superiores a $3,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ não proporcionam simultaneamente ganhos em açúcar (ATR) e credencia doses intermediarias como as mais recomendadas para a produção de cana-de-açúcar nas condições experimentais utilizadas nessa pesquisa.

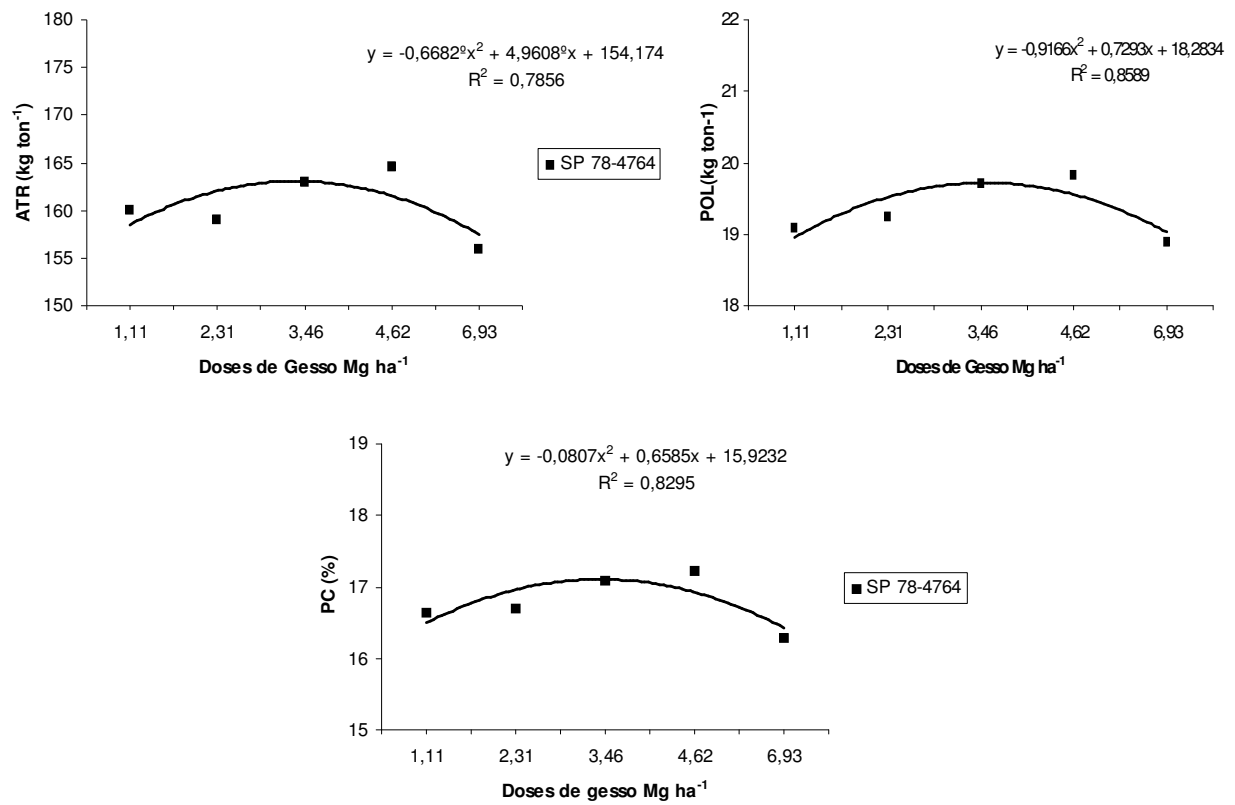


Figura 19. Açúcares Redutores Totais Recuperáveis (ATR), Açúcares polarizáveis (Pol), Pol % de cana (PC) em função das doses de gesso aos 480 dias após a aplicação dos tratamentos

CONCLUSÕES

- I. O gesso mineral foi eficaz em fornecer cálcio em subsuperfície;
- II. A associação calcário/gesso mineral proporcionou melhor desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar;
- III. Na magnitude das doses de gesso mineral utilizadas não se registrou lixiviação de potássio e magnésio;
- IV. O gesso mineral reduziu em 39% a saturação por alumínio na camada de 0,4-0,6m, na dose de 3,42 Mg ha⁻¹;
- V. A granulometria do gesso mineral não foi preponderante em sua atuação no solo;
- VI. A variedade SP78-4764 respondeu melhor a associação calcário/gesso mineral, com produtividade da ordem de 98,4 t ha⁻¹ e a variedade SP78-4764 foi mais responsiva as doses de gesso.
- VII. O gesso mineral proporcionou incremento de Açúcares Totais Recuperáveis - ATR da ordem de 9,2 kg ton⁻¹.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A.C.A.; SCHULZE, S.M.B.B. **Noções de geologia e evolução da Bacia do Araripe**. Recife: UFRPE/Área de Solos, 2003. 9 p. Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE.
- ADAMS, F.; PEARSON, R.W. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. **Agronomy Journal**, v.62, p.9-12, 1970.
- ADAMS, F.; MOORE, B.L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.47, p.99-102, 1983.
- AL-MASRI, M.S.; AMIN, Y.; IBRAHIM, S.; AL-BICH, F. Distribution of some trace metals in Syrian phosphogypsum. **Applied Geochemistry**, v.19, p.747–753. 2004.
- ALVA, A.K. & GASCHO, G.J. Differential leaching of cations and sulfate in gypsum amended soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.22, p.1195–1206, 1991.
- ALVAREZ V., V.H.; FREIRE, F.M.; GUIMARÃES, P.T.G. Concentrações relativas ótimas de nitrogênio, fósforo e enxofre, na adubação do cafeeiro, num Latossolo Vermelho-escuro de Machado, MG. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 22, n.2, p.145-152, 1987.
- ALVAREZ V.H.; DIAS, L.E. **Enxofre**. 1.ed. Viçosa: ABEAS/Universidade Federal de Viçosa, 1994. 106p
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da SBCS**, v. 25, p.27-32, 2000.
- ALVAREZ,V.H.;DIAS,L.E.; JUNIOR,R.; SILVA, E.; SOUSA, B.R.; FONSECA, C.A. **Métodos de Análise de enxofre em solos e plantas**. 1.ed. Viçosa: UFV. 2001. 131p.
- AMEZKETA, E R. A.; GAZO R. Efficiency of Sulfuric Acid, Mined Gypsum, and Two Gypsum By-Products in Soil Crusting Prevention and Sodic Soil Reclamation, **Agronomy Journal**, v. 97, n.2, p.983-987, 2005
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico** NBR 12130. Rio de Janeiro, 1991. 8p.
- AZEREDO, D.F.;GLÓRIA, N.A. ; MANHÃES M.S. Efeitos da calagem na cana-planta e nas características químicas de dois solos do Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Piracicaba: Stab, 1981. p.71-88.

BAKKER, M.R.; NYS, C.; PICARD, J.F. The effects of liming and gypsum applications on a sessile oak (*Quercus petraea* (M.) Liebl) stand at La Croix-Scaille (French Ardennes) I. Site characteristics, soil chemistry and aerial biomass. **Plant and soil**. v. 206, p. 99-108, 1999.

BARROS, M.F.C.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ V, V.H.; RUIZ, H.A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. V.8, n.1, p. 59-64, 2004.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas. Campinas** – SP: Instituto Agrônômico, 1983. 48 p (Boletim Técnico, 78)

BELKACEM, S.; NYS, C. Effects des formes et doses d'amendements et de gypse sur les caractéristiques chimiques et les percolats d'un sol forestier acide. **Annales des Sciences Forestières**, v.54, p.169-180, 1997.

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. New York: John Wiley, 1979. 329p.

BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.W.; SCOTTER, D.R. Effect of liming and phosphate additions on sulphate leaching in soils. **Journal of Soil Science**, v.39, p.493-504, 1988.

BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; SUMNER, M.E. Calcium-induced sulfate adsorption by soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.691-696, 1993.

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊIA, G.F.; COSTA, L.M. Misturas de gesso e matéria orgânica alternada atributos físicas de um latossolo com compactação simulada **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21, p.125 - 130. 1997.

BRAGA, F.A.; VALE, F.R.; MUNIZ, J.A. Movimentação de nutrientes no solo, crescimento e nutrição mineral do eucalipto, em função de doses de gesso e níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p. 69-77, 1995.

BURR, G.O. Plants analyses índices of nutrient availability. **Hawaii Planters Record**, v.55, p.113-28, 1989.

CAIRES, E.F.; ROSOLEM, C.A. **Root growth of peanut cultivars and soil acidity**. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; MURRMANN, R.P. (Eds.). Plant-soil interactions at low pH. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p.239-243.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.315 – 327, 1999.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1029-1040, 2001.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v.60, p.213-223, 2001.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and Gypsum application in the wheat crop. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.357-364, 2002.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAMARGO, C.E.O.; VEIGA, A.A.; PESSINI, A.L. & MONTEIRO, D.A. Adubação do trigo. VII. Experiências com N, P, K e S em diferentes tipos de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.34, p.273-286, 1975.

CARVALHO, L.J.C.B.; GOMIDE, R.L.; RODRIGUES, G.C.; SOUSA, D.M.G.; FREITAS-JÚNIOR, E. Resposta do milho à aplicação de gesso e déficit hídrico em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p.61-83.

CARVALHO, M.C.S.;RAIJ, B.V. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v. 192, p.37-48, 1997.

CAVALCANTI, F.J.A. (coord). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco 2ª aproximação**. 2ª. ed. Recife: IPA, 1998. 198p

CHANG, M.L.; THOMAS,G.L. A suggested mechanism for sulfate adsorption by soils. **Soil Science Society of American Proceedins**. v.27. p.281–283. 1963.

CHAO, T.T. Anionic effects on sulfate adsorption by soils. **Soil Science Society of American Proceedins**., v.28, p.581-583, 1964.

CHAVES, J.C.D., PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M., Redução da acidez subsuperficial em coluna de solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.23, p.469-476. 1988.

CLARKSON, D.T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces cell wall material. **Plant Soil**, Dordrecht, v.27, p.347-355, 1967.

CLEMENTS, H.F. **Sugarcane crop logging and crop control: principles and practices**. Honolulu: University of Hawaii, 1980. 520p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Viçosa, MG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. 359 p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Cana-de Açúcar. Segundo levantamento. [http:// www.conab.gov.br/download/safra](http://www.conab.gov.br/download/safra). 28 set.2006.

DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.;THIÉBAUT, J.T.L. ; NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar: I. Movimentação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.195-198, 1986.

EMBRAPA. Lucio A. C. Jorge e Silvio Crestrana. **Sistema integrado para análise de raízes e coberturas do solo -SIARCS**. Patente BR INPI N.004276 N.5.519111. Dezembro, 1996. São Carlos: CNPDIA. 1996, CD-ROM.

EMBRAPA; **Manual de métodos de análise do solo**. Centro nacional de pesquisas de solos, 2^a ed., Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Centro nacional de pesquisas de solos, 1^a ed., Rio de Janeiro, 1999. 432 p.

ERNANI,P.R. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.10, p.:241-245,1986.

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration: 1. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.175 -180, 1988.

FARINA, M.P.W., CHANNON, P.; THIBAUD, G.R.. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity. II. Long-term soil effects. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.652–658. 2000.

FREIRE, F.J. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de fertilizantes e corretivos para cana-de-açúcar**: Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 127p. Tese de doutorado.

FREITAS, L.M.M.; JORGE, J. P.N. Respostas de capim-swannee-bermuda à aplicação de nitrogênio, fósforo e enxofre em região de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.195-202, 1982.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; ALVAREZ, R. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo pela análise foliar. **Bragantia**. v.27, p.365-382, 1968.

GARRIDO, F., ILLERA, V., VIZCAYNO, C.; GARCIA-GONZALEZ, M.T. Evaluation of industrial by-products as soil acidity amendments: chemical and mineralogical implications. **European Journal of Soil Science**. v.54, p.411–422, 2003.

GOMES, F.P.; LIMA, U.A. **A Cana-de-açúcar no Mundo**. In: MALAVOLTA, E. coord. Cultura e Adubação da Cana-de-açúcar. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. 368 p.

GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C.C.A.; FREIRE, F.M.; PONTE, A.M. Influência do gesso e do calcário como corretivos e fornecedores de cálcio e enxofre para o cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRA, 10, Poços de Caldas, MG, 1983. **Resumos...**Rio de Janeiro, IBC/CERCA, 1983. p.164-165.

ILLERA, V., GARRIDO, F., SERRANO, S.; GARCÍA-GONZALEZ, M.T. Immobilization of the heavy metals Cd, Cu and Pb in an acid soil amended with gypsum- and lime-rich industrial by-products. **European Journal of Soil Science**, v.55, p.135–145. 2004b.

ILLERA, V.; GARRIDO, F.; VIZCAYNO, C.; GARCIA-GONZALEZ M. T. Field application of industrial by-products as Al toxicity amendments: chemical and mineralogical implications **European Journal of Soil Science**, v.55, p.681–692. 2004a.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P. & SILVEIRA, C.O. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, v. I e II, SUDENE-DRN, 1973. 713p. (Boletim Técnico, 26)

KAYAMA, M. **Efeitos de diversos tipos de calcário e sua compatibilidade com bórax e gesso na produção do tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, MILL)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa., 1968 58p. Dissertação de Mestrado.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.237-260, 1995.

KOFFLER, N. F.; LIMA, J.F.W.F.; LACERDA, M.F.; SANTANA, J.F.; SILVA, M.A. **Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil**. 1ª ed. Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR. 1986. 78p.

KORENTAJER, L.; BYERNES, B.H.; HELLMMS, D.T. The effects of liming and leaching on the sulfur-supplying capacity of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.525-529, 1983.

MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. São Paulo, SN Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1982. 52p. (Boletim Técnico, 1).

MARCANO-MARTINEZ, E., MCBRIDE, M.B.,. Calcium and sulfate retention by two Oxisols of the Brazilian cerrado. **Soil Science Society of America Journal**, v.53, p.63– 69. 1989.

MAYS, D.A.; MORTVEDT, J.J. Crop response to soil applications of phosphogypsum. **Journal Environmental**. v.15, p.78-81. 1986.

McCORMICK, L.H.; BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.36, p.799-807, 1972.

MEDINA, C.C.de; BRINHOLI, O. Uso de resíduos agroindustriais na produções de cana de açúcar, açúcar e álcool. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, v.33, p. 1821 – 1825. 1998.

MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & MASCARENHAS, H.A.A. Adubação da soja. III. Efeito de NPK, do enxofre e de micronutrientes em solo de arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. **Bragantia**, v.23, p.65-71, 1964.

MORELLI, J.L.; DEMATÊ,J.L.I.; DALBEN,A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas dos solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB**, n.6, p.24-3,1987.

MORELLI, J.L.; DALBEN, A.E.; ALMEIDA, J.O.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Calcário e gesso na produtividade da cana de açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p. 187 – 194, 1992.

MUPANGWA,W.T.; TAGWIRA, F. Groundnut yield response to single superphosphate, calcitic lime and gypsum on acid granitic sandy soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. n.73, p.161–169, 2005

NASCIMENTO, C.W.A. **Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes**. Recife: UFRPE/Área de Solos, 2003. 9 p. Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, L. B.; **Curso de reciclagem sobre metodologia de análise química do solo**, Recife: UFRPE/Departamento de Agronomia, 2000, 32p.

ORLANDO FILHO,J.; ZAMBELLO JUNIOR,E. Diagnose Foliar. In: **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar**. Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR, 1983. p. 128-131.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃ and CaSO₄. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.1201-1207, 1982.

PAVAN MA, BINGHAM, FT; PRATT P.F Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**. n.48, p.33–38. 1984

PAVAN. M.A., BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F.,Chemical acid mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Parana, Brazil. **Turrialba**, v.9, p. 131- 139. 1985.

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 of America Journal**, v.51, p.1526-1530. 1987.

PORTA, J. Methodologies for the analysis e characterization of gypsum in soils: A review. **Geoderma**, V.87. p.31-46, 1998.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e a lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,v.6, p.189-194, 1982.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 111p.

RAIJ, B.V.; PEECH, M. Electrochemical properties of some of Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Journal Proceedins**, v.36, p.587-593. 1972.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88p.

RAIJ, B. van; FURLANI, P.R.; GUAGGIO, J.A.; PETTINELLI JR., A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.101-108, 1998.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols byleaching of surface-applied amendments. **Agrochemophysica**, v.4, p.1-5, 1972.

RIRIE, D.; TOTH, S.J.; BEAR, F.E. Movement and effect of lime and gypsum in soil. **Soil Science**, v.73, p.,23-35, 1952.

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O.Calcium leaching to increase rooting depth in a brasilian savannah oxisol. **Agronomy Journal**, v.72, p.40-42, 1980.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisols. **Soil Science**, v.133, p.378- 382, 1982.

RITCHEY, K.D.; FELDHAKE,C.M.; CLARK,R.B.; SOUSA,D.M.G. Improved water and nutrient uptake from subsurface layers of gypsum-amended soils. In **Agricultural utilization of urban and industrial by-products**. Madison: ASA Publishers. 1995. p. 157–181.

RITCHEY, K. D.; BELESKY, D. P.; HALVORSON, J. J. Soil Properties and Clover Establishment Six Years after Surface Application of Calcium-Rich By-Products. *Agronomy journal*: **American Society of Agronomy**, v. 96, p.1531-1538, 2004.

ROSA, G. R. (coord.) **Anuário brasileiro da cana-de-açúcar 2005**. 1^a.ed. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136p.

ROSOLEM, C.A.; BICUDO, S.J.; MARUBAYASHI, O.M. Soybean yield and root growth as affected by lime rate and quality. In: DATE, R.A. (Ed.). **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p.543-547.

ROSSETTO,R.; SPIRONELLO,A.; CANTARELLA,H.; QUAGGIO,J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, v.63, n.1, p.105-119, 2004

SALDANHA, E.C.M.; ROCHA, A.T.; OLIVEIRA,E.C.A.; NASCIMENTO,C.W.A.; FREIRE, F,J. Uso do gesso mineral em latossolo cultivado com cana de açúcar. **Caatinga**. v.20. n1. 2007.

SHAINBERG. R.; SUMNER, M.E., MILLER, W.P., FARINA, M.P.W., PAVAN, M.A.; FEY, M.W., Use of gypsum on soils: A review. In: B.A. Stewart (Editor), **Advances in Soil Science**, 9. Springer, 1989.

SHAMSHUDDIN, J.; ISMAIL, H. Reactions of ground magnesium limestone and gypsum in soil with variable-charge minerals. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, p. 106–112, 1995

SINGH, B.R.; ABRHAMSEN, G.; STUANES, A. Effects of simulated acid rain on sulfate movement in acid forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n.1, p. 75 – 80, 1980.

SOARES, E.; IGUE, T. Estudo comparativo entre fertilizantes fornecedores de enxofre. **Bragantia**, v.35, p.5-10, 1976.

SOPRANO, E.; AVAREZV..V.H. Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratados com diferentes sais de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.25-29,1989.

SORATO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; MELLO, F.F.C.; SILVA T.R.B. Nutrição de cultivares de arroz em função da calagem e gessagem superficiais em plantio direto. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais....**Ribeirão Preto - SP, 2003. CD-ROM.

SOUSA, D.M.G.; RITCHEY, K.D. **Uso de gesso no solo de cerrado**. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., 1986, Brasília. Anais...Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p.119-144.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N. S. & STEWART, B.A. eds. **Subsoil management techniques**. Athens, Lewis Publishers, 1995. p. 147 – 185.

SUMNER, M.E.; SHAHADNDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1254-1258, 1986.

SUN, B.; POSS R; MOREAU,R; AVENTURIER,A.; FALLAVIER,P. Effect of slaked lime and gypsum on acidity alleviation and nutrient leaching in an acid soil from Southern China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v.57, p.215–223, 2000.

SYED-OMAR, S.R.; SUMNER, M.E. Effect of gypsum on soil potassium and magnesium status and growth of alfafa. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.22, p.2017-2028, 1991.

TANG,C; ZENGEL,Z; DIATLOFF,E; GAZEY, C. Responses of wheat end barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. **Field and crops research**. v.80, p.235-244. 2003.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana de açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27, p. 849 – 858. 2003.

VIATOR, R.P.; KOVAR, J.L.; HELMARK, W.B. Gypsum and compost effects on sugarcane root growth, yield, and plant nutrients. **Agronomy Journal**. v.94, p.1332-1336, 2002.

VILELA, L; RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. Respostas da soja e do milho ao enxofre num latossolo vermelho-escuro sob vegetação de cerrado no distrito federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 19, p. 281 - 285. 1995

VITTI, G.C. **Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária**. Piracicaba: ESALQ, 2000. 30p.

WADT, P.G.S. Alterações eletroquímicas de um latossolo vermelho-amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agricola**, v.57, p.519-524, 2000.

WADT, P.G.S.; WADT, L.H.O.de. Movimentação de cátions em amostras de um Latossolo Vermelho – Amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. **Scientia Agricola**. v.56, p.1157 – 1164, 1999.

YAN, F., MENGEL, K. Determination of lime requirement by electro-ultrafiltration (EUF). **European Journal of Agronomy**. v.1, p. 71–77. 1992

Quadro 2A. Análise da variância e coeficiente de variação do pH, acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al³⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), potássio trocável (K⁺), sulfato trocável (SO₄²⁻), relação cálcio/magnésio (Ca/Mg), cálcio/potássio (Ca/K) e da saturação por alumínio (m), em diferentes profundidades aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos

FATOR	pH	H + Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Ca/Mg	Ca/K	m
0,0-0,2 m										
Variedade	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,05 ^{ns}	2,52 ^{ns}	0,83	1,82 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Tratamento	3,98 [*]	3,70 [*]	2,88 [*]	0,35 ^{ns}	8,90 ^{**}	1,77 ^{ns}	4,69 [*]	0,32 ^{ns}	2,02 ^{ns}	1,74 ^{ns}
Variedade*Tratamento	0,46 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,26	0,60 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	9,02	18,93	98,27	82,53	30,49	41,48	42,97	113,51	75,04	135,06
0,2-0,4 m										
Variedade	0,33 ^{ns}	2,39 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Tratamento	0,15 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,54 ^{ns}	2,81 ^{ns}	0,43 ^{ns}	2,89 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Variedade*Tratamento	0,64 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,65 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	9,85	23,26	41,22	132,33	32,32	70,59	41,08	245,51	167,63	58,00
0,4-0,6 m										
Variedade	0,03 ^{ns}	0,54 ^{ns}	2,67 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,60 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Tratamento	0,79 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,82 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Variedade*Tratamento	0,23 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	5,37	13,15	42,82	113,97	39,72	86,04	48,72	310,08	151,24	50,12
0,6-0,8 m										
Variedade	0,28 ^{ns}	9,19 ^{**}	4,23 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,06 ^{ns}	6,09 [*]	0,01	0,45	1,40 ^{ns}
Tratamento	0,50 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,80 ^{ns}	0,15	0,66	0,50 ^{ns}
Variedade*Tratamento	0,53 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,59	0,91	0,42 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	4,12	16,91	38,32	103,46	33,85	102,50	39,06	73,76	159,84	54,83

***, ** e * significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 3A. Análise da variância e coeficiente de variação do pH, acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al³⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), potássio trocável (K⁺), sulfato (SO₄²⁻), da relação cálcio/magnésio (Ca/Mg), cálcio/potássio (Ca/K) e da saturação por alumínio (m) em diferentes profundidades aos 16 meses após a aplicação dos tratamentos

FATOR	pH	H + Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Ca/Mg	Ca/K	m
0,0-0,2 m										
Variedade	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Tratamento	0,99 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,63 ^{ns}	1,12 ^{ns}	2,13 ^{ns}	1,47 ^{ns}	2,07 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,37 ^{ns}
Variedade*Tratamento	0,56 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,69 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,56 ^{ns}	2,87 ^{ns}	3,13 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,98 ^{ns}	0,75 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	14,73	20,15	84,05	63,70	58,79	40,94	35,52	125,63	97,17	97,69
0,2-0,4 m										
Variedade	1,35 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,78 ^{ns}	10,90 ^{**}	0,37 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Tratamento	0,30 ^{ns}	1,56 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,72 ^{ns}	5,68 ^{**}	2,98 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,75 ^{ns}
Variedade*Tratamento	0,54 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,37 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	10,68	15,66	55,78	360,50	633,64	48,49	31,83	77,27	212,13	64,43
0,4-0,6 m										
Variedade	0,12 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Tratamento	0,40 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,05 ^{ns}	2,59 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,74 ^{ns}	12,59 ^{** *}	5,67 ^{**}	1,96 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Variedade*Tratamento	0,34 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,35 ^{ns}	2,76 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	6,46	12,57	50,48	60,83	54,12	88,76	25,81	65,29	110,16	58,60
0,6-0,8 m										
Variedade	0,16 ^{ns}	2,55 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,25	0,03	7,12 [*]	0,94	0,63 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Tratamento	0,46 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,09 ^{ns}	2,22	1,39	1,02	11,56 ^{***}	1,36 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Variedade*Tratamento	0,12 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,11 ^{ns}	3,24	0,64	0,68	4,80	1,07 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	5,04	9,93	48,59	72,94	59,44	63,93	21,09	84,16	115,06	67,32

***, ** e * significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 4A. Análise da variância e coeficiente de variação do pH, acidez potencial (H+Al), teor de alumínio trocável (Al³⁺) e saturação por alumínio (m) em diferentes profundidades aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos

Fator	pH	H + Al	Al ³⁺	m
0,0-0,2 m				
Granulometria	0,25 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Dose	0,87 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,57 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,00 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,22 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	10,02	18,69	73,07	75,65
0,2-0,4 m				
Granulometria	0,20 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Dose	1,10 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,91 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,54 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,80 ^{ns}	1,77 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	9,26	15,01	59,88	64,91
0,4-0,6 m				
Granulometria	0,80 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Dose	1,43 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,60 ^{ns}	3,00 [*]
Granulometria*Dose	0,23 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,24 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	6,66	14,12	49,44	45,25
0,6-0,8 m				
Granulometria	0,15 ^{ns}	2,45 ^{ns}	0,69 ^{ns}	1,96 ^{ns}
Dose	0,79 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,44 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,49 ^{ns}	0,46 ^{ns}	2,02 ^{ns}	1,94 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	5,15	14,83	40,33	40,52

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 5A. Análise da variância e coeficiente de variação do pH, acidez potencial (H+Al), teor de alumínio trocável (Al³⁺) e saturação por alumínio (m) em diferentes profundidades aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos

Fator	pH	H + Al	Al ³⁺	m
0,0-0,2 m				
Variedade	0,62 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,89 ^{ns}
Granulometria	0,62 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Dose	0,47 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,94 ^{ns}	1,11 ^{ns}
Variedade*Granulometria	1,73 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Variedade*Dose	1,25 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,06 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,11 ^{ns}	1,49 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,18 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	2,10 ^{ns}	1,30 ^{ns}	2,79*	2,62 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	8,80	18,04	124,66	143,17
0,2-0,4 m				
Variedade	0,25 ^{ns}	1,54 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Granulometria	0,76 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Dose	0,78 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,78 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,25 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Variedade*Dose	1,31 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,93 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,26 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,94 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	8,74	16,81	52,84	63,91
0,4-0,6 m				
Variedade	0,40 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Granulometria	1,74 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Dose	0,42 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Variedade*Dose	1,57 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,03 ^{ns}	0,85 ^{ns}	2,12 ^{ns}	2,68*
Variedade*Granulometria*Dose	1,13 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,96 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	4,90	14,31	40,56	42,11
0,6-0,8 m				
Variedade	1,93 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Granulometria	0,98 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Dose	1,16 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Variedade*Granulometria	1,93 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,00 ^{ns}
Variedade*Dose	0,55 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,16 ^{ns}	1,80 ^{ns}	3,28*	2,96*
Variedade*Granulometria*Dose	1,88 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,53 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	4,17	17,23	39,07	42,00

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 6A. Análise da variância e coeficiente de variação do pH, acidez potencial (H+Al), teor de alumínio trocável (Al³⁺) e saturação por alumínio (m) em diferentes profundidades aos 16 meses após a aplicação dos tratamentos

Fator	pH	H + Al	Al ³⁺	m
0,0-0,2 m				
Variedade	7,80**	3,14 ^{ns}	4,99*	3,80 ^{ns}
Granulometria	0,00 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Dose	0,25 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,48 ^{ns}	0,33 ^{ns}	3,89 ^{ns}	4,02 ^{ns}
Variedade*Dose	0,38 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,63 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,13 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,71 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,51 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	13,12	20,68	157,19	174,46
0,2-0,4 m				
Variedade	1,74 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Granulometria	1,04 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Dose	0,30 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,28 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,01 ^{ns}	5,41*
Variedade*Dose	1,54 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,78 ^{ns}	1,15 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,86 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,32 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,94 ^{ns}	0,31 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1,06 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	8,72	11,47	54,14	64,78
0,4-0,6 m				
Variedade	4,22*	0,01 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,74 ^{ns}
Granulometria	0,77 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1,46 ^{ns}
Dose	0,75 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,59 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,09 ^{ns}	0,26 ^{ns}	2,32 ^{ns}	2,83 ^{ns}
Variedade*Dose	0,83 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,58 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,29 ^{ns}	0,71 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,78 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	5,80	9,05	47,53	49,65
0,6-0,8 m				
Variedade	1,64 ^{ns}	4,99*	0,01 ^{ns}	1,28 ^{ns}
Granulometria	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Dose	1,20 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,32 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Variedade*Dose	0,89 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,20 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,71 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,63 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,37 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	3,97	8,87	50,14	45,39

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 8A. Análise da variância e coeficiente de variação dos teores de cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}), potássio trocável (K^+) e sulfato trocável (SO_4^{2-}) em diferentes profundidades aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos

Fator	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	SO_4^{2-}
0,0-0,2 m				
Variedade	1,43 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Granulometria	3,33 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,80 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Dose	1,09 ^{ns}	0,52 ^{ns}	2,94*	1,60 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,03 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Variedade*Dose	0,78 ^{ns}	1,63 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1,53 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,10 ^{ns}	1,57 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,32 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	2,59 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	32,63	27,44	40,61	50,75
0,2-0,4 m				
Variedade	0,32 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Granulometria	0,75 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,63 ^{ns}	1,52 ^{ns}
Dose	1,07 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,84 ^{ns}
Variedade*Granulometria	1,02 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Variedade*Dose	1,00 ^{ns}	2,34 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,42 ^{ns}	0,94 ^{ns}	1,85 ^{ns}	0,62 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,31 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,52 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	67,30	39,41	61,48	43,43
0,4-0,6 m				
Variedade	0,27 ^{ns}	1,92 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Granulometria	1,30 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Dose	0,63 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,52 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Variedade*Granulometria	1,61 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Variedade*Dose	0,66 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,76 ^{ns}	3,30*	0,17 ^{ns}	0,37 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,60 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,05 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	69,78	36,69	60,53	43,08
0,6-0,8 m				
Variedade	1,02 ^{ns}	1,64 ^{ns}	1,75 ^{ns}	1,31 ^{ns}
Granulometria	1,42 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2,54 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Dose	0,11 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Variedade*Granulometria	2,97 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,91 ^{ns}
Variedade*Dose	1,29 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,83 ^{ns}	2,52 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,02 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,48 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,54 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	75,13	43,83	105,24	37,45

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 9A. Análise da variância e coeficiente de variação dos teores de cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}), potássio trocável (K^+) e sulfato trocável (SO_4^{2-}) em diferentes profundidades aos 16 meses após a aplicação dos tratamentos

Fator	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	SO_4^{2-}
0,0-0,2 m				
Variedade	0,31 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2,47 ^{ns}
Granulometria	0,40 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Dose	0,20 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,27 ^{ns}	2,59 ^{ns}
Variedade*Granulometria	2,42 ^{ns}	2,88 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Variedade*Dose	0,20 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,16 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,75 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	2,07 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,63 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	50,04	41,47	54,29	46,74
0,2-0,4 m				
Variedade	2,65 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,88 ^{ns}
Granulometria	4,37*	1,32 ^{ns}	2,03 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Dose	0,38 ^{ns}	1,60 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,82 ^{ns}
Variedade*Granulometria	3,81 ^{ns}	3,85 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Variedade*Dose	1,08 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,33 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,21 ^{ns}	2,02 ^{ns}	1,63 ^{ns}	1,48 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	56,38	52,21	83,28	45,58
0,4-0,6 m				
Variedade	2,45 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,71 ^{ns}	5,11*
Granulometria	2,29 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,79 ^{ns}
Dose	0,69 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,46 ^{ns}	2,60 ^{ns}
Variedade*Granulometria	2,85 ^{ns}	1,80 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Variedade*Dose	1,19 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,59 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,76 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,90 ^{ns}	2,78 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,84 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,77 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	64,64	71,30	98,34	36,57
0,6-0,8 m				
Variedade	1,82 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,93 ^{ns}
Granulometria	0,06 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,73 ^{ns}
Dose	1,25 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,40 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,05 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,72 ^{ns}
Variedade*Dose	0,79 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,90 ^{ns}

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 10A. Análise da variância e coeficiente de variação das relações de cálcio/magnésio (Ca/Mg) e cálcio/potássio (Ca/K) em diferentes profundidades aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos

Fator	Ca/Mg	Ca/K
		0,0-0,2 m
Granulometria	0,69 ^{ns}	2,25 ^{ns}
Dose	3,46*	0,82 ^{ns}
Granulometria*Dose	3,33*	0,59 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	41,69	75,32
		0,2-0,4 m
Granulometria	0,12 ^{ns}	0,57 ^{ns}
Dose	1,12 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,50 ^{ns}	0,67 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	57,00	111,16
		0,4-0,6 m
Granulometria	0,03 ^{ns}	1,65 ^{ns}
Dose	0,91 ^{ns}	3,43*
Granulometria*Dose	0,49 ^{ns}	1,77 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	76,94	71,42
		0,6-0,8 m
Granulometria	1,46 ^{ns}	0,72 ^{ns}
Dose	1,46 ^{ns}	1,69 ^{ns}
Granulometria*Dose	3,11*	4,64**
Coeficiente de variação (%)	59,12	52,19

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 11A. Análise da variância e coeficiente de variação das relações de cálcio/magnésio (Ca/Mg) e cálcio/potássio (Ca/K) em diferentes profundidades aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos

Fator	Ca/Mg	Ca/K
0,0-0,2 m		
Variedade	2,21 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Granulometria	0,14 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Dose	2,97*	1,66 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,72 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Variedade*Dose	1,46 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,53 ^{ns}	2,25 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,54 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	40,41	72,39
0,2-0,4 m		
Variedade	0,71 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Granulometria	0,03 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Dose	2,10 ^{ns}	1,16 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,00 ^{ns}	1,24 ^{ns}
Variedade*Dose	1,97 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,25 ^{ns}	0,99 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,24 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	65,25	91,13
0,4-0,6 m		
Variedade	0,47 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Granulometria	0,44 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Dose	2,30 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,04 ^{ns}	1,10 ^{ns}
Variedade*Dose	1,28 ^{ns}	0,71 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,26 ^{ns}	1,07 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,29 ^{ns}	1,43 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	77,15	100,01
0,6-0,8 m		
Variedade	0,28 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Granulometria	1,89 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Dose	0,88 ^{ns}	1,23 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,75 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Variedade*Dose	1,01 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Granulometria*Dose	2,02 ^{ns}	2,55 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,18 ^{ns}	0,37 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	64,83	98,19

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 12A. Análise da variância e coeficiente de variação das relações de cálcio/magnésio (Ca/Mg) e cálcio/potássio (Ca/K) em diferentes profundidades aos 16 meses após a aplicação dos tratamentos

Fator	Ca/Mg	Ca/K
0,0-0,2 m		
Variedade	0,50 ^{ns}	0,77 ^{ns}
Granulometria	3,32 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Dose	4,94 ^{**}	0,85 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,00 ^{ns}	1,52 ^{ns}
Variedade*Dose	1,43 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,46 ^{ns}	1,13 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,93 ^{ns}	1,33 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	24,56	131,46
0,2-0,4 m		
Variedade	1,18 ^{ns}	0,81 ^{ns}
Granulometria	6,17 [*]	4,38 [*]
Dose	2,66 [*]	1,00 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,57 ^{ns}	0,91 ^{ns}
Variedade*Dose	1,51 ^{ns}	1,51 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,61 ^{ns}	0,40 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	2,11 ^{ns}	1,13 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	33,21	68,31
0,4-0,6 m		
Variedade	0,40 ^{ns}	4,22 [*]
Granulometria	4,30 [*]	2,23 ^{ns}
Dose	0,45 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,14 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Variedade*Dose	1,67 ^{ns}	0,99 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,28 ^{ns}	1,10 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,46 ^{ns}	1,48 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	56,69	70,78
0,6-0,8 m		
Variedade	0,88 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Granulometria	1,36 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Dose	2,24 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,76 ^{ns}	1,77 ^{ns}
Variedade*Dose	0,30 ^{ns}	1,17 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,36 ^{ns}	1,10 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,33 ^{ns}	1,94 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	73,55	92,55

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 13A. Análise da variância e coeficiente de variação das dos teores de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) em diferentes profundidades aos 16 meses após a aplicação dos tratamentos

Fator	NO_3^-	NH_4^+
0,0-0,2 m		
Variedade	10,02**	0,56 ^{ns}
Granulometria	0,81 ^{ns}	0,89 ^{ns}
Dose	1,27 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Variedade*Dose	0,54 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,03 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,08 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	49,82	45,82
0,2-0,4 m		
Variedade	0,31 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Granulometria	0,08 ^{ns}	0,40 ^{ns}
Dose	0,60 ^{ns}	1,41 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,52 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Variedade*Dose	0,50 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,25 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,17 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	69,40	46,43
0,4-0,6 m		
Variedade	1,01 ^{ns}	2,02 ^{ns}
Granulometria	0,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Dose	0,90 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Variedade*Granulometria	1,80 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Variedade*Dose	0,79 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,54 ^{ns}	0,48 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	1,08 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	65,97	57,59
0,6-0,8 m		
Variedade	1,98 ^{ns}	4,39*
Granulometria	1,34 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Dose	0,29 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Variedade*Granulometria	1,19 ^{ns}	0,94 ^{ns}
Variedade*Dose	0,40 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,68 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,17 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	75,50	50,19

***, ** e *, significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 14A. Análise da variância e coeficiente de variação dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P) e nitrogênio (N) em folha-índice (+3) de cana-de-açúcar aos 150 dias após a aplicação dos tratamentos

Fator	Ca	Mg	K	P	N
Variedade	16,69 ^{***}	0,03 ^{ns}	4,97 [*]	20,20 ^{***}	2,78 ^{ns}
Granulometria	0,70 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,10 ^{ns}
Dose	1,78 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,54 ^{ns}
Variedade*Dose	1,69 ^{ns}	2,24 ^{ns}	1,05 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1,39 ^{ns}
Granulometria*Dose	2,22 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,94 ^{ns}	1,14 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	0,66 ^{ns}	1,63 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,10 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	20,62	24,17	24,28	11,56	19,96

***, ** e * significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 15A Análise da variância e coeficiente de variação dos teores de cálcio, magnésio, potássio e enxofre em folha + bainha e colmo de cana-de-açúcar aos 16 meses após a aplicação dos tratamentos

Fator	Ca	Mg	K	S
	Folha + bainha			
Variedade	0,23 ^{ns}	11,70 ^{**}	19,94 ^{***}	44,30 ^{***}
Granulometria	0,01 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Dose	0,97 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,01 ^{ns}	2,76 [*]
Variedade*Granulometria	1,21 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Variedade*Dose	2,00 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,63 ^{ns}	5,73 ^{**}
Granulometria*Dose	2,64 [*]	0,41 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,79 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	2,55 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	35,91	32,76	36,44	31,99
	Colmo			
Variedade	0,56	0,21	0,25	28,29 ^{***}
Granulometria	0,40	0,52	0,53	0,24 ^{ns}
Dose	0,07	0,27	0,06	6,61 ^{***}
Variedade*Granulometria	0,44	1,30	0,01	0,08 ^{ns}
Variedade*Dose	0,85	1,26	1,38	1,69 ^{ns}
Granulometria*Dose	0,73	2,08	2,69 [*]	4,27 ^{**}
Variedade*Granulometria*Dose	1,27	1,47	0,46	3,95 ^{**}
Coeficiente de variação (%)	32,67	31,52	56,99	39,29

***, ** e * significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Quadro 16A. Análise da variância e coeficiente de variação de indicadores agrícolas e tecnológicos da cana-de-açúcar aos 16 meses após a aplicação dos tratamentos

Fator	PC	AR	ATR	BRIX	POL	PUREZA	FIBRA	TCH	TAH
Variedade	2,27 ^{ns}	0,14 ^{ns}	3,60 ^{ns}	8,68 ^{**}	6,40 [*]	0,09 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Granulometria	0,15 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Dose	1,69 ^{ns}	2,04 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,88 ^{ns}	2,07 ^{ns}	1,55 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,22 ^{ns}
Variedade*Granulometria	0,06 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,58 ^{ns}	3,63 ^{ns}	2,42 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Variedade*Dose	1,21 ^{ns}	2,03 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,50 ^{ns}	2,07 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Granulometria*Dose	1,53 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,56 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,76 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Variedade*Granulometria*Dose	3,04 [*]	2,32 ^{ns}	2,94 [*]	1,91 ^{ns}	3,57 [*]	2,21 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,68 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	5,71	29,15	4,79	3,28	4,15	2,30	5,87	8,26	17,19

***, ** e * significativo a 0,1, 1 e 5 %, respectivamente. ^{ns} não significativo.