

Eduardo César Medeiros Saldanha

**GESSO MINERAL EM CANA DE AÇÚCAR: EFEITOS NO SOLO E
NA PLANTA**

Recife

2005

Eduardo César Medeiros Saldanha

**GESSO MINERAL EM CANA DE AÇÚCAR: EFEITOS NO SOLO E
NA PLANTA**

Dissertação 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 *Magister Scientiae*.

.

RECIFE
PERNAMBUCO – BRASIL
2005

Eduardo César Medeiros Saldanha

**GESSO MINERAL EM CANA DE AÇÚCAR: EFEITOS NO SOLO E
NA PLANTA**

Dissertação 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 *Magister Scientiae*.

Orientador

Profº. Fernando José Freire, Dr.

Co – orientadores

Clístenes Williams Araújo do Nascimento, Dr.

Mário de Andrade Lira Júnior, Ph.D.

RECIFE
PERNAMBUCO – BRASIL
2005

Ficha Catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

S 162g Saldanha, Eduardo Cezar de Medeiros
Gesso mineral em cana-de-açúcar, efeitos no solo e na planta/
Eduardo Cezar Medeiros Saldanha – 2005.
VII, 55 f.: il., tabs.

Orientador: Fernando José Freire
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural
de Pernambuco Departamento de Agronomia

CDD 631 42

1. Solo
 2. Fertilidade
 3. Corretivo
 4. Fertilizante
 5. Cana-de-Açúcar
 6. Gesso mineral
- I. Freire, Fernando José
 - II. Título

Ao meu avô ANÍBAL NOGUEIRA
SALDANHA (in memoriam) pelo
estímulo e incentivo ao gosto
pela ciência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus e a espiritualidade amiga, sempre presentes em nossas vidas.

Ao professor Fernando José Freire pela sua confiança, orientação, amizade e por ter contribuído bastante em minha formação acadêmica e profissional.

Aos meus pais, Teobaldo e Fátima, pelo amor, carinho e pela educação recebida em todos os momentos de minha vida.

A minha esposa, Amanda, companheira de longos anos, pelo seu amor, carinho e compreensão, bem como pela sua contribuição na elaboração deste trabalho.

Ao meu filho, Tomaz, pela alegria e satisfação dada a cada nascer do sol.

Aos meus irmãos: Rafael, Danielle e Patrícia pelo apoio ao estudo.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por ter recebido formação técnico-científica de alto nível.

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado a mim concedida.

Ao companheiro de formação, Alexandre Tavares da Rocha, pela amizade, participação direta em todas as etapas de realização deste trabalho, bem como pelas infindáveis discussões e debates científicos que tivemos ao longo do curso.

Ao professor Mario de Andrade Lira Júnior pelo apoio estatístico e metodológico

Aos professores do Programa de Pós –Graduação em Ciência do Solo, pelo treinamento e conhecimento recebidos.

Aos acadêmicos de Agronomia e alunos de Iniciação científica Alexandre Campelo e Emídio Cantídio, pelo grande apoio em várias etapas da realização deste trabalho.

Aos acadêmicos de Agronomia e estagiários, Rafael, Pedro, Wagner, Álvaro, Sinval, Juarez e Jane Kelly, pelo apoio nas atividades em laboratório.

Aos amigos Júlio Guilherme da Costa Lima e Júlio César Patrício, companheiros de longas datas, pela amizade e apoio em vários momentos.

Aos amigos do Programa de Pós-graduação: Arlete, Valdemir, Euzelina, Rita, Gledson, Castro, Isaac, Êvio, Sebastião, Fábio Broggi, pelos momentos vividos.

Ao funcionário, Engenheiro Agrônomo José Fernando (Zeca), pelo apoio e conhecimento com a cultura da cana de açúcar.

Aos funcionários: Socorro, Seu Noca, Josué, Luciano, Anacleto pelo apoio recebido.

À Usina Trapiche, em nome dos Engenheiros Agrônomos: Aluísio e Cauby pela concessão da área e apoio nas atividades de campo.

Aos trabalhadores rurais da Usina Trapiche, pela grande “força” nas atividades de coleta de solo.

Enfim, a todos que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

O meu muito obrigado!

SUMÁRIO

| | Página |
|--|---------------|
| INTRODUÇÃO..... | 1 |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 9 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 14 |
| Prospecção do uso do gesso no solo..... | 14 |
| Relações quantitativas e granulométricas do gesso no solo..... | 21 |
| Relações nutricionais do gesso na cana-de-açúcar..... | 33 |
| Efeito do gesso na produtividade agrícola estimada..... | 36 |
| CONCLUSÕES..... | 38 |
| BIBLIOGRAFIA CITADA..... | 39 |

RESUMO

Nos últimos anos houve no sistema de produção de cana de açúcar um enorme avanço no melhoramento genético de variedades, permitindo o desenvolvimento de plantas adaptadas as mais variadas condições climáticas, com resistência a pragas e doenças e potencialmente produtivas. No estado de Pernambuco, no entanto, pesquisas na área de fertilidade do solo e nutrição de plantas foram subestimadas e relegadas a um segundo momento. Assim, ações de pesquisa que possam atuar na melhoria do ambiente radicular da cana de açúcar em solos distróficos e álicos da Zona da Mata do estado, certamente irão proporcionar significativo aumento de produtividade. Nesta situação o uso do gesso mineral aparece como solução devido à sua rápida mobilidade na camada arável, indo se movimentar para abaixo desta. Para avaliar os efeitos do gesso mineral no solo e na absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar, instalou-se em Latossolo Amarelo, um experimento em área agrícola da Usina Trapiche, localizada no município de Sirinhaém, Litoral Sul de Pernambuco. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, distribuídos em arranjo fatorial com tratamentos adicionais em três repetições $[(5 \times 2) + 3] \times 3$. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses de gesso mineral aplicadas em duas granulometrias, com os tratamentos adicionais: testemunha absoluta, uso isolado de calcário, uso isolado de gesso. O gesso mineral aumentou os teores de cálcio trocável e os valores de saturação por bases em subsuperfície e, reduziu os teores de alumínio trocável e a saturação por alumínio; não foram observados lixiviação de magnésio e potássio e o pH do solo não foi alterado significativamente. O gesso provocou redução nos valores de saturação por alumínio em todas as camadas do solo, independentemente da granulometria. No entanto, a granulometria grossa foi mais efetiva que a fina na redução dessa saturação. Foi observado aumento nos teores foliares de cálcio e enxofre e diminuição para magnésio, potássio e fósforo, com o crescimento das doses de gesso, bem como aumento na produtividade agrícola estimada da cana-de-açúcar.

ABSTRACT

There has recently been an advance in cultivar genetic breeding on sugarcane production system, allowing development of plants adapted to climatic conditions, pest and disease resistance, while highly productive. That notwithstanding, Soil Fertility and Plant Nutrition research has been undervalued. So, research actions that may enhance sugarcane root environment in dystrophic and allic soil of the forest zone of Pernambuco will allow a significant yield gain. Mineral gypsum is a possible solution under these circumstances due to its high mobility on the arable layer, moving to below that. To evaluate mineral gypsum effects on soil and sugarcane nutrient absorption, an experiment was installed in a Sugar Mill Trapiche field, on Sirinhaem County, Pernambuco South Coast, on an Yellow Latossol. The experimental design was a randomized blocks, with a factorial arrangement with additional treatments (5 x 2)+ 3, with three replicates. Treatments were by combinations of five doses of mineral gypsum, two mesh-distribution classifications, with additional treatments absolute control, without gypsum or lime, lime applied alone and gypsum applied alone. Mineral gypsum increased exchangeable calcium content and base saturation values on subsurface and reduced exchangeable aluminum content and saturation; magnesium and potassium was not observed, and soil pH was not significantly altered. Gypsum induced aluminum saturation for all soil profile layers, of mesh-distribution classification, but gypsum with particle size distribution was more effective than finer for this reduction. Increases in calcium and sulfur leaf contents and reduction in magnesium, potassium and phosphorus leaf contents were observed levels increase, as well as estimated sugarcane agricultural yield.

INTRODUÇÃO

Segunda economia do Nordeste, Pernambuco tem um Produto Interno Bruto equivalente ao do Chile e superior ao de Países como Paraguai e Uruguai. Estado onde a economia açucareira foi a mais expressiva do Brasil, do período colonial ao início deste século, Pernambuco passa por aceleradas transformações, porém a cana-de-açúcar ainda representa 40 % da economia estadual.

O cultivo da cana-de-açúcar em Pernambuco, uma das primeiras atividades de importância econômica no Brasil, compõe o mais antigo setor agroindustrial do país e ocupa uma posição de destaque na economia nacional. Sua produção é destinada, principalmente, à indústria do açúcar e do álcool e, dentre os mais diversos produtos agrícolas destinados à industrialização, a cana-de-açúcar destaca-se pela tradição, pela relevância sócio-econômica, pela sua função energética e pela distribuição geográfica em toda a Zona da Mata do Estado de Pernambuco (ANDRADE, 1994)

A cana de açúcar é plantada na Zona da Mata pernambucana a quase 500 anos, numa vasta extensão de terras denominada Zona Canavieira do Estado. Próxima ao oceano Atlântico, essa área atinge 12 mil km² (12,6 % do território estadual). É formada por solos com elevado potencial 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 (IBGE, 1996)

Nos últimos anos, houve enorme avanço no sistema de produção de cana-de-açúcar devido ao melhoramento genético de variedades, permitindo o desenvolvimento de plantas adaptadas às variadas condições climáticas, com alta resistência a pragas e doenças e potencialmente produtivas. No entanto, em Pernambuco, pesquisas na área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas foram subestimadas e relegadas a um segundo momento. Isto fez com que,

mesmo de posse de variedades potencialmente produtivas, aumentos consideráveis de produtividade não tiveram êxito, pela falta de desenvolvimento de pesquisas em fertilidade do solo e nutrição de plantas, capazes de gerar informações que pudessem nortear o manejo adequado dos solos para o pleno desenvolvimento de variedades melhoradas e mais produtivas.

Neste aspecto, ações de pesquisa que possam atuar na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar em solos distróficos e álicos da Zona da Mata do Estado, como os Latossolos e Argissolos Vermelho Amarelos, certamente irão proporcionar um significativo aumento de produtividade. Assim é que o gesso pode ser o grande veículo na melhoria deste ambiente radicular, por sua capacidade eutrófica e, principalmente, pela responsabilidade deste insumo como neutralizante das atividades nocivas do alumínio em profundidade.

O cálcio pode ser incorporado ao solo por dois processos: calagem e gessagem. Na calagem utilizam-se os calcários (CaCO_3) e ou (Mg CO_3) que se restringem a corrigir o pH e elevar os teores de cálcio apenas em superfície, devido a sua baixa movimentação no perfil dos solos. Na gessagem utiliza-se o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que além de elevar os teores de cálcio em superfície, também o fazem em subsuperfície, pela maior solubilidade deste produto. O sulfato proveniente do gesso terá acesso ao alumínio em subsuperfície, reduzindo as elevadas saturações deste elemento que impedem o desenvolvimento mais profundo do sistema radicular. É exatamente por este aspecto, que o gesso, aliado ao calcário, pode melhorar consideravelmente este ambiente radicular. Particularmente, no caso da cana-de-açúcar, este manejo calcário/gesso torna-se ainda mais prioritário, por ser uma cultura em que o sistema radicular forma-se na fase de cana planta e apenas renova-se nas socarias. Se houver mais espaço propício a esta renovação, as respostas às fertilizações em socas serão certamente mais eficazes e transformadas em aumentos significativos de produtividade.

Por outro lado, além do aspecto corretivo do gesso, é importante destacar seu aspecto nutricional pelo suprimento de cálcio e enxofre que o

insumo proporciona à cana-de-açúcar. Se por um lado a cana planta exporta, em média, 150 kg ha⁻¹ de cálcio e 60 kg ha⁻¹ de enxofre para uma produtividade esperada de 120 t/ha de colmos, por outro, a cana soca, também exporta, em média, 60 e 50 kg ha⁻¹ destes nutrientes, respectivamente, para uma produtividade de 90 t ha⁻¹. Se todo este cálcio pode ser fornecido por uma calagem, como se maneja atualmente, com o enxofre isto certamente não acontece (FREIRE,2001). Com a modernização das indústrias de fertilizantes, tornaram-se comuns formulações mais concentradas, que retiraram o enxofre de suas composições. Aliado a isto, e mais grave ainda é que, as produtividades nos últimos anos cresceram, retirando reservas consideráveis de enxofre originalmente disponíveis às plantas. Especificamente em cana, a prática da queimada por ocasião da colheita causa uma expressiva volatilização do enxofre contido no material vegetal, agravando, ainda mais, possíveis deficiências deste nutriente a curto e médio prazo. A utilização de gesso que contém, em média, 20% de enxofre, certamente irá fornecer quantidades adequadas deste nutriente que não permitam possíveis deficiências com conseqüências na diminuição da produtividade, mesmo quando se utilize formulações mais concentradas e a prática da queimada seja indispensável.

Neste aspecto, esse trabalho assume relevância ainda maior, por sua abrangência geopolítica e socioeconômica, pois a proposta é de se utilizar um insumo que existe no próprio Estado, atrelando-se duas cadeias produtivas de larga importância na economia de Pernambuco que são: a cadeia produtiva da cana de açúcar e a cadeia produtiva do gesso do Araripe. Assim, esse trabalho tem como objetivos: avaliar o efeito da granulometria do gesso mineral na neutralização da saturação por alumínio em subsuperfície; avaliar possíveis implicações da utilização de gesso mineral com o equilíbrio da relação Ca/Mg do solo e avaliar a potencialidade do gesso mineral como fornecedor de enxofre e cálcio para cana de açúcar.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversas regiões brasileiras apresentam problemas com solos ácidos, geralmente devido à acidificação progressiva dos solos, principalmente na região tropical úmida, como a Zona da Mata de Pernambuco.

Acentuados processos de intemperização, aliados a condições climáticas que propiciam uma elevada lixiviação de bases, resultam em solos ácidos. De acordo com KOFFLER (1986), estima-se que, no Brasil, 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.

O teor de alumínio nos solos da Zona da Mata de Pernambuco, freqüentemente, apresenta-se em níveis tóxicos para as plantas. O efeito danoso do alumínio manifesta-se pela limitação do desenvolvimento das raízes que, inicialmente, tornam-se alongadas e, posteriormente, engrossam e não se ramificam normalmente, dificultando consideravelmente, a absorção de nutrientes e água pelas plantas (RAIJ, 1998).

Para correção da acidez, sobretudo ocasionada por elevados teores de alumínio trocável, usualmente utilizam-se corretivos químicos a base de carbonato de cálcio e/ou de magnésio. Contudo, os efeitos ficam restritos à camada arável ou superficial do solo, pouco excedendo 0,15 a 0,2 m de profundidade, em vista das dificuldades encontradas para incorporação mecânica dos corretivos a profundidades mais elevadas. Segundo QUAGGIO (2000), nesta situação, o uso do gesso agrícola aparece como solução para este problema devido à sua rápida mobilidade na camada arável, indo se movimentar para abaixo desta.

Concomitantemente, um dos fatores que tem limitado o aumento de produtividade das culturas 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, constata-se que o sistema radicular da cana-de-açúcar explora efetivamente cerca de 0,6 m de solo, embora existam resultados experimentais mostrando que a planta é capaz de explorar

profundidades de 1,2 a 2 m quando não houver impedimentos físicos e, ou, químico (KOFFLER, 1987)

Esta limitação ao desenvolvimento do sistema radicular é especialmente danosa em épocas de déficit hídrico. CAIRES et al. (1999), em revisão sobre o assunto, relatam que as limitações causadas pela acidez do subsolo à produtividade agrícola têm sido amplamente divulgadas na literatura e os resultados da pesquisa mostram que as limitações se dão, sobretudo no crescimento do sistema radicular das culturas com efeitos diretos na absorção de água e nutrientes.

Com relação à presença de alumínio dificultando a absorção de água pela planta, SHIGAKI (2003), relata que a cana-de-açúcar pode ser severamente afetada pela baixa exploração do sistema radicular em solos álicos, uma vez que é uma planta de elevado consumo de água, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca. Assim, em regiões onde ocorre estresse hídrico, um fator de grande importância para o aumento da disponibilidade de água para as raízes das plantas é o manejo químico do solo, com o uso do gesso agrícola, visando a eliminação de barreiras químicas provocadas por elevada saturação por alumínio, que impossibilitam a exploração de um maior volume de solo e, conseqüentemente, menor acesso das raízes das plantas à água em camadas mais profundas do solo.

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), vem sendo utilizado como um agente promotor da melhoria das condições químicas de subsolos ácidos. Ao solubilizar-se, o gesso libera cálcio trocável (Ca^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}) para a solução do solo e dependendo da quantidade de água e da dose aplicada, os cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ movem-se em profundidade no solo, acompanhando o ânion SO_4^{2-} . Dados de DAL BÓ et al. (1986) e BRUCE et al. (1988) revelam que a movimentação de cálcio para subsolos deficientes no nutriente favorecem o crescimento radicular em profundidade, propiciando, conseqüentemente, maior exploração do volume de solo, favorecendo a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Por ser relativamente móvel, o gesso aplicado na superfície do solo movimenta-se ao longo do perfil sob influência da umidade e, como conseqüência, obtêm-se aumento no suprimento de cálcio e enxofre reduzindo a toxicidade ocasionada por alumínio no subsolo.

Os efeitos positivos do gesso agrícola observado 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).

Trabalhos encontrados na literatura referem-se sobre tudo ao gesso agrícola oriundo do processo de fabricação do ácido fosfórico (DAL BÓ et al., 1986; MORELLI et al., 1987; MORELLI et al., 1992 SALATA et al., 1995) matéria prima para a fabricação de fertilizantes fosfatados solúveis, sendo, portanto, um resíduo de fábricas de fertilizantes. Assim, é raros o relato de trabalhos com o uso do gesso de origem mineral (gesso mineral) oriundo de jazidas de gipsita, podendo-se citar (BARROS et al., 2002).

A mineral gipsita é encontrada em depósitos sedimentares de diversas regiões do mundo. O Estado de Pernambuco possui, na região do Pólo Gesseiro do Araripe, uma produção de 2,6 milhões de t/ano, representando 95 % de todo o gesso brasileiro; entretanto, menos de 1% deste total é utilizado para fins agrícolas (NASCIMENTO, 2003).

O gesso agrícola é um sal pouco solúvel em soluções aquosas ($2,5 \text{ g. L}^{-1}$), no entanto, apresenta solubilidade relativamente elevada quando comparado ao calcário, podendo atuar significativamente sobre a força iônica da solução do solo, de maneira que haja contínua liberação do sal para a solução por longos períodos de tempo. Essa característica, aliada aos teores de cálcio ($17 \text{ a } 20 \text{ dag kg}^{-1}$) e de enxofre ($14 \text{ a } 17 \text{ dag kg}^{-1}$) possibilitam o uso do gesso para diferentes finalidades na agricultura (ALVAREZ V. & DIAS, 1994). Dados de literatura mostram o efeito favorável do gesso agrícola em culturas agrícolas. RAIJ et al. (1998) mostraram em suas revisões que o uso do gesso tem provocado aumento de produtividade em culturas como soja, milho, alfafa e, mostram ainda, em seus resultados, o

efeito benéfico do gesso no aumento de produtividade do milho, cultivado em Latossolo Vermelho álico, textura argilosa.

Estudos realizados em diversas regiões canavieiras do país já comprovam que o uso do gesso agrícola em associação com o calcário tem proporcionado excelentes resultados, tanto na produção da cana-de-açúcar como na profundidade de enraizamento da planta (MORELLI et al., 1987; MORELLI et al., 1992; SALATA et al., 1995).

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 foram obtidos com a associação calcário/gesso. Nesta pesquisa, os resultados mostram, ainda, que as menores produtividades foram obtidas quando se fez uso isolado do gesso. Esse efeito negativo do uso isolado do gesso agrícola na produção das culturas, certamente está relacionado com a perda de cátions das camadas superficiais que acompanham o sulfato do gesso em seu movimento descendente ao longo do perfil do solo.

Trabalho conduzido por MORELLI et al. (1992), mostraram que a aplicação de doses combinadas de calcário e gesso em solo cultivado com cana-de-açúcar, resultou 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.

Os efeitos do gesso na nutrição das plantas, normalmente envolvem aspectos ligados ao equilíbrio entre cálcio, magnésio e potássio, devido à elevação dos teores de cálcio e a possível movimentação descendente de magnésio e potássio, notadamente da camada superficial do solo.

O desequilíbrio entre as bases do solo com o uso do gesso mineral, principalmente nas camadas superficiais, devido ao aumento de cálcio e, ou, à descida de magnésio e potássio é comumente relatado na literatura (QUAGGIO et al., 1982; DAL BÓ et al., 1986), assim como seus efeitos no crescimento e na nutrição mineral das plantas.

Diversos estudos mostraram a intensificação da lixiviação do magnésio trocável para as camadas mais profundas, devido ao uso isolado de gesso agrícola ou em doses elevadas, ocasionando uma menor disponibilidade desse nutriente nas camadas superficiais (SYED – OMAR & SUMNER, 1991; OLIVEIRA & PAVAN, 1996). Essa menor disponibilidade pode ocasionar redução na absorção de magnésio pelas plantas, o que pode ser constatado através do trabalho de BRAGA et al. (1995), em que foi observado um efeito inibitório na absorção de magnésio por plantas de eucalipto, com o aumento das doses de gesso agrícola aplicado isoladamente. Esse efeito foi, também, confirmado por CAIRES et al. (2004).

Apesar de boa parte dos mecanismos que envolvem a dinâmica do gesso no solo ser conhecida, existem dúvidas quanto aos critérios a serem utilizados para sua recomendação e para se chegar à quantidade do produto a ser recomendada. Na literatura podem ser encontrados diferentes critérios, alguns mais empíricos que outros, mas, que de certa forma, podem auxiliar na resolução do problema (DIAS, 1992).

Com relação aos critérios de quando recomendar, visando à correção de camadas subsuperficiais ou melhoria do ambiente radicular das plantas, a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (1999) sugere que o gesso deve ser utilizado quando a camada subsuperficial (0,2-0,4 m ou 0,3-0,6 m) apresentar menos que $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio trocável e, ou, mais que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio trocável e, ou, mais que 30% de saturação por alumínio.

Por outro lado, atualmente existem fórmulas baseadas nas características químicas e físicas do solo. No entanto, estas fórmulas ainda necessitam de avaliação em ensaios de campo nas mais diversas condições de solo e planta, visto que existe, apesar de algum fundamento teórico, certo grau de incerteza na utilização das fórmulas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar os efeitos do gesso mineral no solo e na planta de cana-de-açúcar, instalou-se um experimento em área agrícola da Usina Trapiche, localizada no município de Sirinhaém, Litoral Sul de Pernambuco, em solo classificado como Latossolo Amarelo coeso distrófico, textura argilosa /muito argilosa. Segundo o sistema de Köppen, predominam na área o clima Ams', tropical chuvoso de monção com verão seco, com precipitação pluvial média anual da ordem de 2.295,5 mm (KOFFLER et al., 1986). Durante a condução do experimento (junho a dezembro de 2004), a precipitação foi de 1856,5 mm.

Realizou-se a caracterização química e física do solo em quatro profundidades ao longo do perfil (Quadro 1).

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, distribuídos em arranjo fatorial com tratamentos adicionais em três repetições [(5 x 2) + 3] x 3. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses de gesso mineral aplicadas em duas granulometrias, com os tratamentos adicionais: testemunha absoluta, uso isolado de calcário, uso isolado de gesso.

Cada parcela constou de seis linhas de cana espaçadas de um metro entre si e com dez metros de comprimento. A área útil da parcela foi constituída pelas duas linhas centrais.

As doses de gesso mineral foram definidas pelos seguintes níveis da necessidade de calagem (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 e magnésio (CAVALCANTI et al. 1998) na camada 0,4-0,6 m de profundidade. Assim as doses de gesso foram: 1,1; 2,3; 3,5; 4,6 e 6,9 t.ha⁻¹, calculadas com base na caracterização química do solo.

Em todos os tratamentos, os solos foram corrigidos com calcário, conforme a NC da camada 0-0,30 m de profundidade, utilizando-se o método da neutralização do alumínio trocável ou elevação dos teores trocáveis de cálcio e magnésio e consistiu na aplicação de 4,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico.

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

| | Profundidade (m) | | | |
|---|------------------|---------|---------|---------|
| | 0-0,2 | 0,2-0,4 | 0,4-0,6 | 0,6-0,8 |
| pH (H ₂ O 1:25) | 4,6 | 4,3 | 4,5 | 4,7 |
| Ca ²⁺ (cmolc/dm ³) | 1,10 | 0,25 | 0,10 | 0,10 |
| Mg ²⁺ (cmolc/dm ³) | 0,75 | 0,10 | 0,05 | 0,08 |
| K ⁺ (cmolc/dm ³) | 0,18 | 0,05 | 0,08 | 0,10 |
| Al ³⁺ (cmolc/dm ³) | 1,00 | 1,20 | 1,10 | 1,10 |
| H+Al (cmolc/dm ³) | 6,40 | 6,40 | 6,00 | 4,90 |
| SB (cmolc/dm ³) | 2,03 | 0,4 | 0,23 | 0,28 |
| CTC (cmolc/dm ³) | 6,63 | 4,7 | 4,73 | 4,98 |
| Ca/Mg | 1,46 | 2,5 | 2 | 1,25 |
| P (mg/dm ³) | 3,00 | T* | T* | T* |
| V (%) | 24 | 6,5 | 9 | 12 |
| m (%) | 33 | 75 | 82 | 79 |
| Areia (g/kg) | 450 | 330 | 310 | 290 |
| Silte (g/kg) | 60 | 50 | 20 | 20 |
| Argila (g/kg) | 490 | 620 | 670 | 690 |

T* - Abaixo do limite de detecção do aparelho utilizado na análise.

Os tratamentos adicionais foram definidos da seguinte forma: para o tratamento somente calcário aplicou-se a dose recomendada pela NC para correção da camada 0-0,3 m, que foi de 4,6 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. O tratamento somente gesso, foi aplicada a dose única correspondente à NC da camada subsuperficial em que se pretende reduzir ou neutralizar a saturação por alumínio (0,4-0,6 m), calculada pelo método da neutralização do alumínio trocável ou elevação dos teores trocáveis de cálcio e magnésio (CAVALCANTI et al., 1998); na testemunha absoluta nenhum dos insumos foi aplicado.

O gesso utilizado no experimento foi proveniente de jazidas de gipsita (CaSO₄. 2H₂O) 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 (BRASIL, 1983). Os valores percentuais representam a quantidade da amostra que passa nas respectivas peneiras. Para 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). Realizou-se, também, a determinação do poder de neutralização (PN) dos insumos (Quadro 2), segundo metodologia proposta por BRASIL (1983).

Quadro 2. Poder de Neutralização dos insumos

| Insumo | Poder de neutralização (%) |
|--------------------------|----------------------------|
| Calcário | 100,5 |
| Gesso fino | 1,0 |
| Gesso grosso | 6,5 |
| Sulfato de cálcio (P.A.) | 1,25 |

A variedade utilizada no experimento foi a SP 78-4764 indicada pelo grupo de pesquisa em melhoramento genético de variedades do Centro de Pesquisa em cana-de-açúcar de Carpina/PE, considerando-se características de adaptação regional e representatividade pela área plantada na Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco.

O calcário e o gesso foram aplicados a lanço e em área total com os sulcos já abertos, havendo incorporação manual dos corretivos. 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 de 20 kg ha⁻¹ de N e 35 kg ha⁻¹ de K₂O. Empregaram-se nessas adubações fosfato monoamônico, uréia e cloreto de potássio.

Aos 150 dias após a aplicação das doses de gesso e calcário, foram coletadas amostras composta de solos, formada pela coleta de 3 amostras simples, 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. O solo coletado foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de malha 2 mm. Em seguida, procedeu-se a determinação do pH em água (1:2,5). Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, enquanto que potássio e fósforo foram extraídos com solução de ácidos diluídos (Mehlich-1), conforme EMBRAPA (1997). Os teores de (H+Al) foram estimados pelo método do pH SMP de acordo com NASCIMENTO (2000). Determinaram-se cálcio e magnésio por absorção atômica, potássio por fotometria de chama e fósforo por colorimetria, o alumínio trocável foi determinado por titulometria.

O estado nutricional da cana-de-açúcar foi avaliado aos quatro meses, através da coleta da folha +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 aleatoriamente coletadas dentro da área útil das parcelas e foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até peso constante, por aproximadamente 72 horas. 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 (BATAGLIA, 1983) e fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre por digestão nitroperclórica. O fósforo foi determinado por colorimetria, cálcio e magnésio por espectrometria de absorção atômica, potássio por fotometria de chama e o enxofre por turbidimetria de acordo com BATAGLIA et al. (1983).

A produtividade agrícola da cana em tonelada de colmos por hectare (TCH) foi avaliada, aos nove meses após o plantio, utilizando-se a metodologia proposta por LANDEL (1995), que sugere o uso da seguinte fórmula:

$$TCH = d^2 \cdot p \cdot h (0,7854/E)$$

Onde, d = diâmetro do colmo (cm) medido no quinto entrenó; p = perfilhamento (número de plantas por metro linear); h = altura do colmo (cm), medido da base do colmo até a folha +1 e E = espaçamento entre linhas (cm).

Os dados das variáveis de solo estudadas foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 5\%$); Realizou-se análise de regressão múltipla, obtendo-se superfícies de resposta, relacionando os valores de pH, m e V , teores de Ca, Mg, K e da relação Ca/Mg em função das doses de gesso e da profundidade de coleta separadamente para cada granulometria. Em seguida, procedeu-se cortes nas superfícies de resposta buscando melhores ajustes, conforme significância e maiores valores dos coeficientes de determinação. Os teores foliares e os dados de produtividade obtidos foram submetidos à análise de regressão simples, obtendo-se modelos ajustados, adotando-se como critério para a escolha do modelo, a esperança biológica do ajuste e o maior coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Prospecção do uso do gesso mineral no solo

Visando pesquisar a ação do gesso no solo comparativamente ao calcário principalmente em relação às atividades destes insumos em profundidade, realizou-se uma prospecção do uso do gesso e do calcário em algumas variáveis diretamente relacionadas com seus efeitos. Assim, inicialmente observou-se que ação corretiva do calcário na elevação do pH foi efetiva apenas na camada superficial, até 0,2 m de profundidade. A partir daí ocorreu uma redução da atuação do calcário (Figura 1). Esses resultados corroboram os encontrados por diversos autores no que se refere à atuação do calcário limitado a camada superficial do solo (MORELLI et al., 1992; PETRERE & ANGHINONI, 2001; AMARAL et al., 2004).

Nesta pesquisa, o efeito do calcário na elevação do pH do solo, limitado a camada superficial, pode ser explicado pela dificuldade encontrada para se promover à incorporação do corretivo, devido à impossibilidade de mecanização em função da declividade da área, e ainda pela baixa solubilidade do calcário. De acordo com MIYAZAWA et al (1996), a ação do calcário é limitada à camada superficial, porque os ânions resultantes da sua dissolução, responsáveis pela neutralização da acidez, são também consumidos nas reações com outros cátions ácidos principalmente (ferro, manganês e alumínio) na camada de deposição do calcário.

Foram observados pequenos aumentos nos valores de pH do solo em profundidade com o uso do gesso mineral (Figura 1A), concordando com outros autores que observaram pequena elevação no pH do solo através da utilização desse insumo (DAL BÓ et al, 1986; CARVALHO & RAIJ, 1997; CAIRES et al, 1999). É provável que tal efeito se deva a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o sulfato deslocando a hidroxila, o que faz com que aconteça uma neutralização parcial da acidez (CHANG & THOMAS, 1963).

A calagem na camada arável do solo reduziu significativamente os teores de Al trocável de $1,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, no tratamento sem corretivo, para $0,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no tratamento com calcário (Figura 1).

Os resultados foram de uma redução expressiva do alumínio trocável, na camada superficial até 0,2 m, mostrando que o calcário foi efetivo na eliminação dos efeitos tóxicos do alumínio nas camadas superficiais. Entretanto, a partir de 0,2 m percebe-se que o calcário não exerceu efeito na redução dos teores de Al trocável.

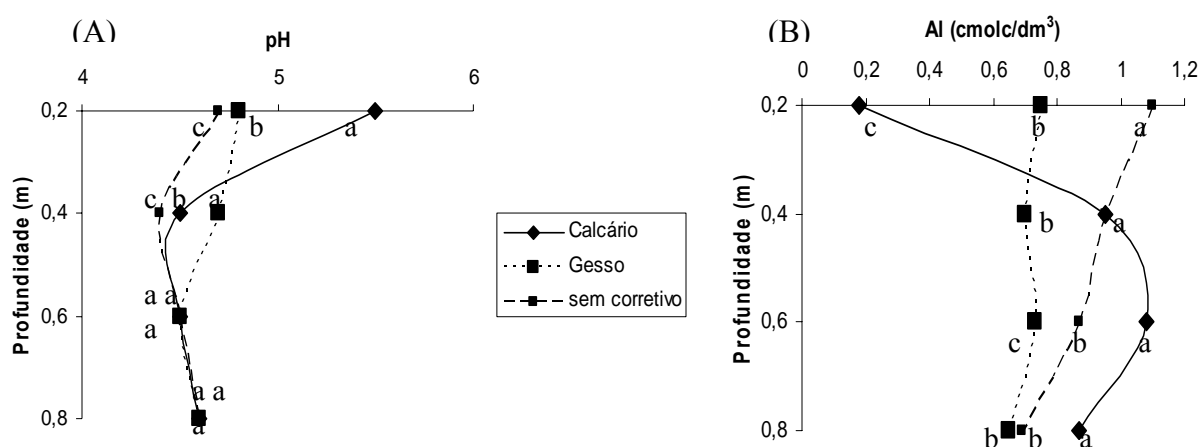


Figura 1. Valores de pH em água (A) e teor de alumínio trocável (B) em diferentes profundidades e em função dos tratamentos aplicados ao solo.

MORELLI et al. (1992), em estudo com doses crescentes de calcário em solo cultivado com cana-de-açúcar, encontrou efeito do uso desse corretivo na redução de Al trocável, somente até 0,25 m de profundidade, nas camadas mais profundas praticamente não foi observada alteração.

Esses resultados também são confirmados em outros estudos (PETRERE & ANGHINONI, 2001; CAIRES et al., 2004) que mostram os efeitos benéficos da calagem na correção da acidez e eliminação do Al tóxico restritos as camadas superficiais do solo.

Contrariamente a essa ação restrita do calcário, o uso do gesso mineral teve efeito na redução do Al trocável em todo o perfil do solo, apresentando uma ação

homogênea para todas as camadas avaliadas. Isso demonstra que o gesso mineral apresenta elevada eficiência na redução dos teores deste elemento em profundidade.

A ação do gesso em reduzir os teores de Alumínio trocável em profundidade, pode ser explicada pela tendência que o SO_4^{2-} , proveniente da solubilização do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tem em movimentar-se no perfil do solo e acumular-se nas camadas mais profundas, atuando na eliminação do Alumínio trocável pela formação de AlSO_4^+ , bem como pela liberação de OH^- da superfície de óxidos e hidróxidos que podem reagir com o alumínio e formar precipitados como o $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Desse modo muitos estudos (RAIJ et al. 1998; BAKKER et al. 1999; CAIRES et al. 1999) mostram a redução dos teores de alumínio trocável em profundidade no perfil de solo, corroborando os dados encontrados nesse trabalho.

O gesso mineral não foi tão efetivo como o calcário na redução dos teores de Al trocável na camada superficial (Figura 1B), provavelmente, porque, esse efeito se deve a maior solubilidade do insumo, como também pela tendência do sulfato, principal responsável pela eliminação do alumínio, permanecer quase que totalmente em solução, acumulando-se em profundidade além da camada superficial.

A ação do calcário na elevação da saturação por bases (V) (Figura 2A). Na camada até 0,2 m na testemunha sem corretivo, o valor V era de 18% e com o uso de calcário esse valor cresceu para 44%. A partir daí observa-se que o calcário não elevou mais os valores de V, mostrando mais uma vez que a atuação do calcário restringe-se às camadas superficiais do solo. Apresentando, inclusive, valores similares aos encontrados para o tratamento sem corretivo.

Estudos sobre manejo de calagem, também encontraram resultados semelhantes para o aumento da saturação por bases apenas para as camadas superficiais (AYRES, 1962; MORELLI et al., 1987; CIOTTA et al., 2004; PRADO e NATALE, 2004).

O uso do gesso mineral propiciou elevação nos teores de V, principalmente nas camadas subsuperficiais do solo (Figura 2A). Observa-se que a partir da

camada 0,2-0,4 m o tratamento com gesso foi mais efetivo do que com calcário, tendo o uso do gesso proporcionado sempre maiores valores de V, a partir desta camada. Tal efeito do gesso pode ser explicado pelo aumento de cátions básicos em profundidade, como cálcio, magnésio e potássio, oriundos da lixiviação ocasionada pela formação de pares iônicos com o sulfato, o que favorece a movimentação desses elementos no perfil do solo.

Os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo com os encontrados por MORELLI et al. (1992), em estudo com doses crescentes de gesso agrícola e calcário, mostrando a maior eficiência do gesso na elevação dos níveis de V em solo ácido.

A ação do calcário na redução da saturação por alumínio (m) ocorreu de forma acentuada na camada até 0,2 m. Os valores passaram de 48% no tratamento sem corretivo para 4,3% no tratamento com o calcário (Figura 2B).

Como ocorreu com outras variáveis (pH, alumínio trocável e V) a partir daí houve redução na atuação do calcário em camadas mais profundas do perfil do solo, essa atuação é ainda mais minimizada a partir de 0,6 m de profundidade, quando os valores de m são praticamente semelhantes à testemunha.

Nessa pesquisa, a dose de gesso mineral foi calculada para a correção de m na camada 0,4-0,6 m. Os resultados mostram que no tratamento sem corretivo o valor foi em torno de 55%, mas quando se analisa o efeito da aplicação do gesso este valor reduz-se para 36%. Desta forma, o uso do gesso mineral mostrou-se eficiente na redução dos valores de m, na camada para qual a dose foi calculada. Alguns pesquisadores (MORELLI et al. 1987; RAIJ et al. 1998; CAIRES et al. 2001), também descrevem uma redução na saturação por alumínio através do uso do gesso mineral em camadas mais profundas.

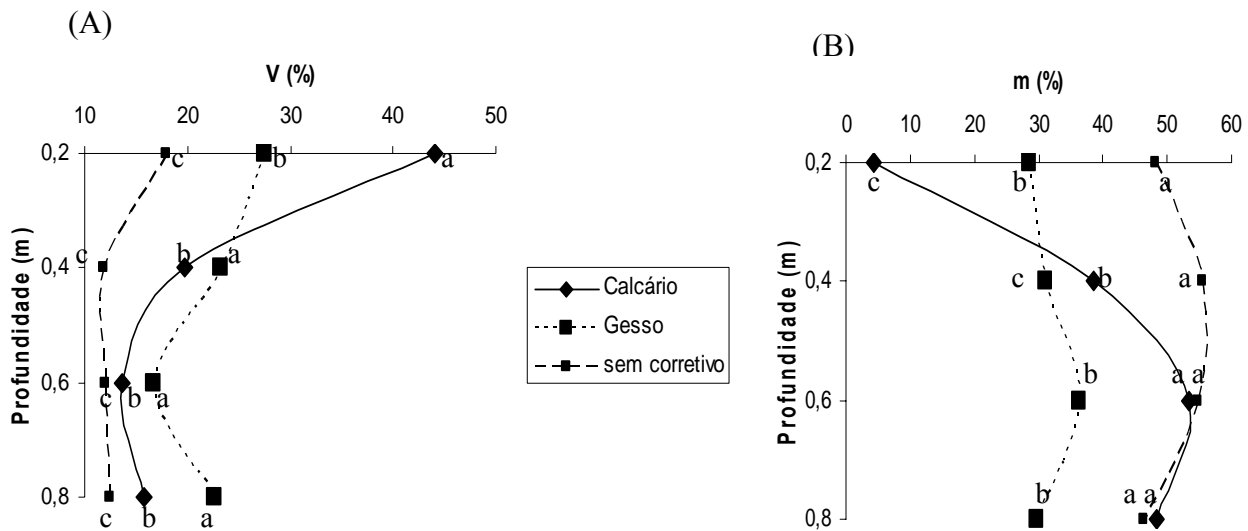


Figura 2. Valores de saturação por bases (A) e saturação por alumínio (B) em diferentes profundidades e em função dos tratamentos aplicados ao solo.

Com a aplicação de calcário, houve enriquecimento dos teores de cálcio, principalmente na camada até 0,2 m (Figura 3A). A partir daí, houve redução acentuada nesses teores em profundidade. Esses resultados concordam com os obtidos por CIOTTA *et al* (2004), que encontraram aumento nos teores de cálcio até a profundidade de 0,2 m com o uso de calcário, mostrando pouca movimentação do corretivo para maiores profundidades. Assim pode-se observar que a calagem aumentou o teor de cálcio trocável de $0,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, no tratamento sem corretivo para $2,88 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no tratamento com calcário, na profundidade até 0,2 m. No entanto, pode-se perceber que o uso de calcário proporcionou aumento nos teores de cálcio em todo o perfil quando comparado com a testemunha, indicando que pequena parcela de calcário consegue alcançar maiores profundidades, porém insuficiente para um efeito significativo na redução da saturação por alumínio (Figura 2B).

Por outro lado, os resultados obtidos, mostram que, o uso do gesso proporcionou uma redistribuição de cálcio em profundidade, o que permite uma

ação efetiva na redução da saturação por alumínio (Figura 2B). MORELLI et al. (1987) em estudo sobre os efeitos do uso de gesso mineral e do calcário em solos álicos cultivados com cana-de-açúcar, também encontraram resultados semelhantes.

O uso do calcário proporcionou maiores teores de Mg trocável, na camada até 0,2 m de profundidade (Figura 3B), o que pode ser explicado pelo uso do calcário dolomítico. O uso do calcário provocou enriquecimento de magnésio em todo perfil do solo, quando comparado aos tratamentos com gesso e sem corretivos.

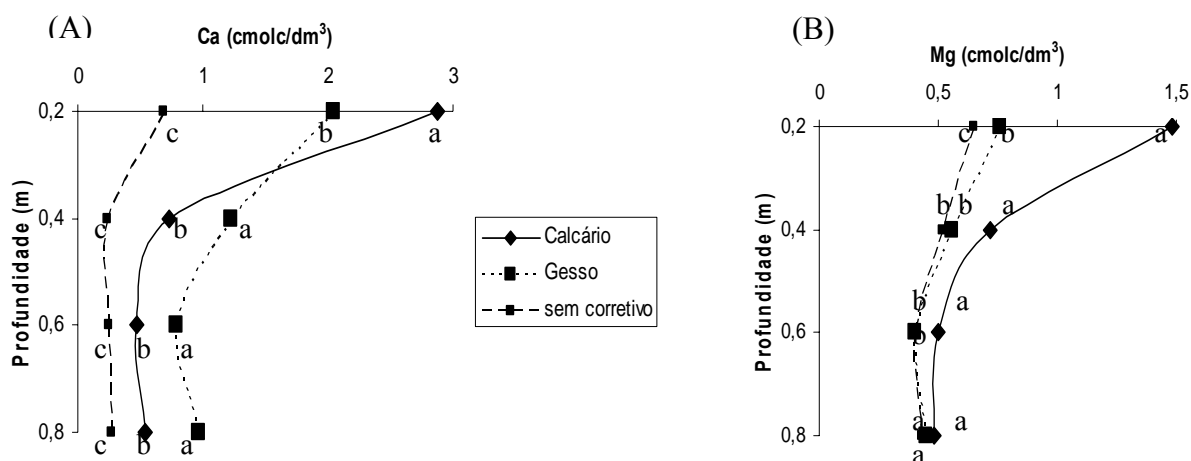


Figura 3. Teores de cálcio (A) e magnésio (B) em diferentes profundidades e em função dos tratamentos aplicados ao solo.

Vários trabalhos (WADT & WADT 1999, CAIRES et al. 2001; 2004;) verificaram acentuada lixiviação de Mg para camadas mais profundas com o uso isolado de gesso. RAIJ et al. (1998), em estudo realizado em Latossolo álico cultivado com milho, também encontrou pouca lixiviação de magnésio com o uso isolado de gesso mineral.

CIOTTA et al. (2004), avaliando a aplicação de doses crescentes de calcário encontraram aumento nos teores de magnésio trocável em profundidade até 0,4 m, segundo os mesmos, autores o movimento de Mg no perfil do solo pode

ser explicado pela formação de compostos orgânicos hidrossolúveis a partir de ácidos orgânicos liberados pela decomposição de restos vegetais na camada superficial do solo. Assim, esses ligantes orgânicos complexariam os cátions trocáveis cálcio e magnésio, formando moléculas de carga neutra e facilitando sua descida no perfil.

O uso do gesso mineral proporcionou aumento nos teores de Ca trocável, principalmente em profundidade, favorecendo o aumento da relação Ca/Mg no perfil do solo (Figura 4A). O desequilíbrio entre as bases no solo com o uso do gesso, principalmente nas camadas superficiais, devido ao aumento de cálcio e ou à descida de magnésio e potássio é comumente relatado na literatura, assim como os seus efeitos no crescimento e na nutrição mineral das plantas. Trabalhos como os de CAÍRES et al. (1999, 2001) mostram aumento na relação Ca/Mg em todo o perfil do solo ocasionado pelo uso do gesso agrícola.

O aumento da relação Ca/Mg com o uso do gesso, foi função do aumento dos teores de cálcio (Figura 3A) e não por perda de magnésio (Figura 3B). Em plantas mais exigentes em magnésio como a cana-de-açúcar, é provável que o aumento dessa relação possa resultar em desequilíbrios nutricionais.

Os teores de potássio não foram influenciados pelos tratamentos com gesso e calcário em profundidade (Figura 4B), portanto, não foi observada elevação nos teores do elemento nas camadas mais profundas, principalmente com o uso do gesso. Esses resultados discordam de alguns trabalhos encontrados na literatura relatando o efeito da perda de potássio das camadas superficiais (QUAGGIO et al. 1982; DAL BO et al. 1986). Porém, MORELLI et al. (1987), em estudo com doses crescentes de gesso não encontrou perdas de potássio das camadas superficiais para as mais profundas no perfil do solo, atribuindo tal resultado aos baixos teores do elemento encontrados no solo.

BRAGA et al., (1995) atribuíram a baixa movimentação de potássio no solo com o uso de doses de gesso agrícola, ao fato de ter realizado adubações parceladas com potássio (cobertura) na cultura do eucalipto, não permitindo que o SO_4^{2-} , proveniente da solubilização do gesso, movimente-se ao longo do perfil

entrando em contato com uma única parcela de potássio, proveniente de uma única adubação potássica.

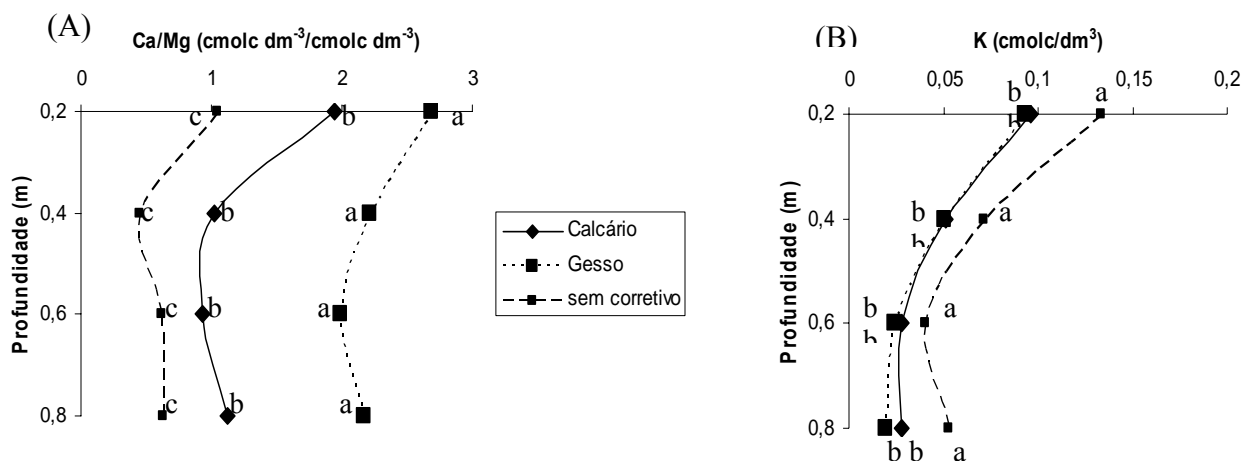


Figura 4. Relação cálcio/magnésio (A) e teor de potássio (B) em diferentes profundidades e em função dos tratamentos aplicados ao solo.

2. Relações quantitativas e granulométricas do gesso no solo

Os resultados da análise de variância (Quadros 3 e 4) mostram que não houve diferença significativa para a interação profundidade/granulometria, entretanto foi observado significância para os efeitos principais.

Os valores de pH, V e m para as profundidades avaliadas em função do uso de gesso mineral, mostrou que há diferença significativa para o fator granulometria (Quadro 3), indicando que os valores dessas variáveis dependem da granulometria do gesso utilizado, independentemente da profundidade. Do mesmo modo, os teores de cálcio, potássio e a relação Ca/Mg, apresentaram o mesmo comportamento (Quadro 4).

O gesso grosso foi mais efetivo na correção do pH, na elevação da saturação por bases e na diminuição da saturação por alumínio (Quadro 3), possivelmente pela solubilização mais rápida do gesso fino, o que favoreceu sua lixiviação, tendo em vista a alta incidência pluviométrica do período,

principalmente nos primeiros trinta dias após a aplicação do gesso (758 mm). Com isso houve uma maior permanência do gesso grosso no perfil, confirmando-se pelos maiores teores de cálcio encontrados quando utilizou-se essa granulometria (Quadro 4). Concomitantemente, o poder de neutralização do gesso grosso é superior ao do gesso fino (Quadro 2), interferindo, conseqüentemente, na maior elevação do pH e na diminuição da saturação por alumínio (Quadro 3).

Quadro 3. Valores médios de pH, teores médios alumínio trocável e valores médios de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m), análise da variância e coeficiente de variação na granulometria do gesso mineral em função da profundidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar

| Fator | pH | | Al | | m | | V | |
|----------------------------|----------------------|--------|-----------------------------------|--------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | Granulometria | | Granulometria | | Granulometria | | Granulometria | |
| | Fina | Grossa | Fina | Grossa | Fina | Grossa | Fina | Grossa |
| Profundidade (m) | | | cmol _c dm ³ | | % | | | |
| 0,2 | 5,4 | 5,6 | 0,24 | 0,19 | 6,4 | 5,5 | 42 | 45 |
| 0,4 | 4,6 | 4,8 | 0,74 | 0,65 | 31 | 24 | 24 | 30 |
| 0,6 | 4,5 | 4,6 | 0,81 | 0,73 | 39 | 33 | 20 | 23 |
| 0,8 | 4,6 | 4,8 | 0,59 | 0,56 | 31 | 26 | 21 | 28 |
| Média | 4,8 B | 5,0 A | 0,59 A | 0,53 A | 27 A | 22 B | 26 B | 32 A |
| F | | | | | | | | |
| Profundidade | 61,74 ^{***} | | 45,11 ^{***} | | 41,43 ^{***} | | 27,02 ^{****} | |
| Granulometria | 7,3 ^{**} | | 2,50 ^{ns} | | 5,44 [*] | | 7,48 ^{**} | |
| Profundidade*granulometria | 0,32 ^{ns} | | 0,13 ^{ns} | | 0,45 ^{ns} | | 0,15 ^{ns} | |
| C.V. (%) | 6,9 | | 39,0 | | 49,4 | | 39,6 | |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de F a 5%. *, ** e *** significativos a 5; 1; e 0,1 %, respectivamente pelo teste de F, ^{ns} não-significativo.

Quadro 4. Teores médios de cálcio, magnésio e potássio trocável e valores médios da relação cálcio/magnésio, análise da variância e coeficiente de variação na granulometria do gesso mineral em função da profundidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar

| Fator | Ca | | Mg | | K | | Ca/Mg | |
|----------------------------|------------------------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|---------|---|--------|
| | Granulometria | | Granulometria | | Granulometria | | Granulometria | |
| | Fina | Grossa | Fina | Grossa | Fina | Grossa | Fina | Grossa |
| Profundidade (m) | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | cmol _c dm ⁻³ / cmol _c dm ⁻³ | |
| 0,2 | 2,64 | 2,92 | 1,30 | 1,30 | 0,097 | 0,113 | 2,08 | 2,29 |
| 0,4 | 1,49 | 2,34 | 0,68 | 0,72 | 0,054 | 0,067 | 2,76 | 3,34 |
| 0,6 | 0,73 | 1,50 | 0,54 | 0,52 | 0,040 | 0,045 | 2,28 | 3,31 |
| 0,8 | 0,81 | 1,71 | 0,59 | 0,57 | 0,028 | 0,043 | 1,89 | 3,30 |
| Média | 1,41 B | 2,11 A | 0,77 A | 0,77 A | 0,054 B | 0,067 A | 2,25 B | 3,06 A |
| F | | | | | | | | |
| Profundidade | 7,29*** | | 90,64*** | | 28,36*** | | 0,85 ^{ns} | |
| Granulometria | 6,16* | | 0,00 ^{ns} | | 4,25* | | 4,14* | |
| Profundidade*granulometria | 0,26 ^{ns} | | 0,17 ^{ns} | | 0,20 ^{ns} | | 0,44 ^{ns} | |
| C.V. (%) | 95,60 | | 28,84 | | 58,09 | | 89,38 | |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de F a 5%. *, ** e *** significativos a 5; 1; e 0,1 %, respectivamente pelo teste de F, ^{ns} não-significativo.

Buscando-se encontrar relações entre os valores de pH, V, m, teores trocáveis de Ca, Mg, K e Al, ajustaram-se superfícies de resposta para essas variáveis em função das doses de gesso mineral aplicadas e das profundidades de coleta, separadamente para cada granulometria do gesso (Quadro 5).

Quadro 5. Superfícies de resposta, relacionando os valores de pH, m (%), V (%), e os teores de Ca, Mg, K e Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para as granulometrias fina e grossa em função da dose de gesso aplicada (t ha^{-1}) e da profundidade de amostragem (m)

| | Equação | R² |
|---------------------|---|----------------------|
| Gesso fino | | |
| pH | $\hat{y} = 6,57005 - 0,0773933^{\circ} \text{dose} + 0,00141938^* \text{dose}^2 - 0,0697919^{***} \text{prof} + 0,000579863^{***} \text{Prof}^2$ | 0,834 |
| Ca | $\hat{y} = 4,39263 - 0,241532^{\circ} \text{dose} + 0,0598498^* \text{dose}^2 - 0,108504^{**} \text{prof} + 0,000771785^* \text{prof}^2$ | 0,716 |
| Mg | $\hat{y} = 2,33704 - 0,0484849^{\circ} \text{dose} - 0,0562894^{***} \text{prof} + 0,000423971^{***} \text{prof}^2 + 0,00085967^{\circ} \text{dose prof}$ | 0,840 |
| V | $\hat{y} = 68,3949 - 1,87436^{\circ} \text{dose} + 0,464109^* \text{dose}^2 - 1,65467^{***} \text{prof} + 0,0132069^{***} \text{prof}^2$ | 0,860 |
| m | $\hat{y} = -29,6897 - 1,83041^* \text{dose} + 2,50369^{***} \text{prof} - 0,0209212^{***} \text{prof}^2$ | 0,708 |
| Gesso grosso | | |
| pH | $\hat{y} = 6,63714 + 0,0955251^{**} \text{dose} - 0,0759183^{***} \text{prof} + 0,000645836^{***} \text{prof}^2 - 0,000849633^{\circ} \text{dose prof}$ | 0,922 |
| Al | $\hat{y} = -0,300452 - 0,147404^{***} \text{dose} + 0,0140128^* \text{dose}^2 + 0,0452655^{***} \text{prof} - 0,000393405^{***} \text{prof}^2$ | 0,802 |
| K | $\hat{y} = 0,163264 + 0,0149736^* \text{dose} - 0,00193460^* \text{dose}^2 - 0,00394421^{**} \text{prof} + 0,0000277753^* \text{prof}^2$ | 0,703 |
| V | $\hat{y} = 65,3633 + 3,13733^* \text{dose} - 0,320561^{\circ} \text{dose}^2 - 1,50831^{***} \text{prof} + 0,0122203^{***} \text{prof}^2$ | 0,738 |
| m | $\hat{y} = -14,1549 - 7,74414^{***} \text{dose} + 0,713349^{**} \text{dose}^2 + 1,95225^{***} \text{prof} - 0,0159206^{***} \text{prof}^2$ | 0,825 |

***, **, *, ^o, significativo à 0,1; 1; 5 e 10 %, respectivamente; dose - dose de gesso (t ha^{-1}); prof - profundidade de amostragem (m).

Os cortes nas superfícies de resposta (Figura 5) mostram ajuste para os valores de pH em função das doses de gesso aplicadas e da profundidade de coleta para as diferentes granulometrias de gesso. Assim, pode-se observar que os maiores valores de pH foram obtidos na camada até 0,2 m de profundidade (Figura 5A) ressaltando o efeito do calcário na redução da acidez, ficando restrito a essa profundidade.

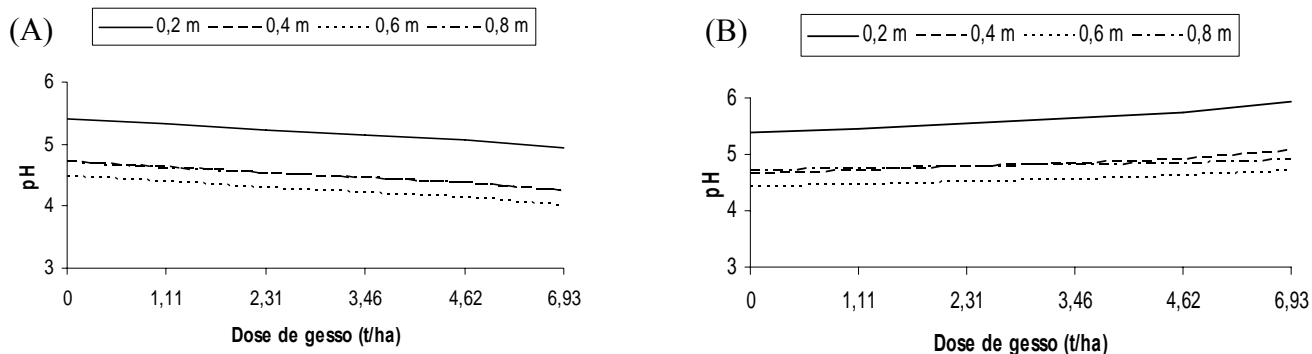


Figura 5. Corte nas superfícies de resposta para os valores de pH em função das doses aplicadas nas diferentes profundidades de amostragem, para o gesso fino (A) e grosso (B).

Para a granulometria fina, o aumento nas doses de gesso provocou decréscimo nos valores de pH (Figura 5 A). Esses resultados corroboram os obtidos por outros autores (QUAGGIO et al., 1982; NOGUEIRA E MOZETO, 1990; SOBRAL et al., 1993; ERNANI et al., 2001). Possivelmente esses decréscimos estão relacionados a uma maior velocidade de reação na hidrólise do alumínio, deslocado das cargas negativas da fração coloidal pelo cálcio oriundo do gesso (Figura 3 A) resultando na liberação de hidrogênio (H^+) para o meio.

Para a granulometria grossa, o efeito no pH se deu de forma inversa, ou seja, o aumento das doses de gesso provocou uma elevação nos valores de pH (Figura 5 B). É provável que tal efeito se deva a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo, envolvendo óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, como o SO_4^{2-} , deslocando OH^- , ocorrendo, desta forma, a neutralização da acidez e elevação do pH (DAL BÓ et al., 1986; CAIRES et al., 1999; WADT e WADT, 1999; WADT, 2000).

As diferenças entre as granulometrias fina e grossa, no pH, possivelmente estão relacionadas às diferentes velocidades de solubilização. Provavelmente, o gesso fino, é solubilizado mais rapidamente do que o gesso grosso, o que propicia a dissolução do Ca^{2+} e SO_4^{2-} , acarretando um aumento na concentração salina da solução do solo. Isso condiciona maior velocidade de deslocamento de alumínio trocável dos sítios de troca.

Já o gesso grosso que deve apresentar uma solubilização mais lenta, proporciona o predomínio da reação de troca de ligantes do SO_4^{2-} por OH^- nos sítios de adsorção.

O corte na superfície de resposta que relaciona os teores de alumínio trocável em função das doses aplicadas e das profundidades avaliadas para o gesso grosso, mostram que as doses do insumo provocaram redução nos teores de alumínio em todas as camadas avaliadas (Figura 6). O efeito foi mais pronunciado na camada até 0,2 m de profundidade, o que pode ser explicado pela atuação do gesso em conjunto com o calcário, especificamente nessa profundidade.

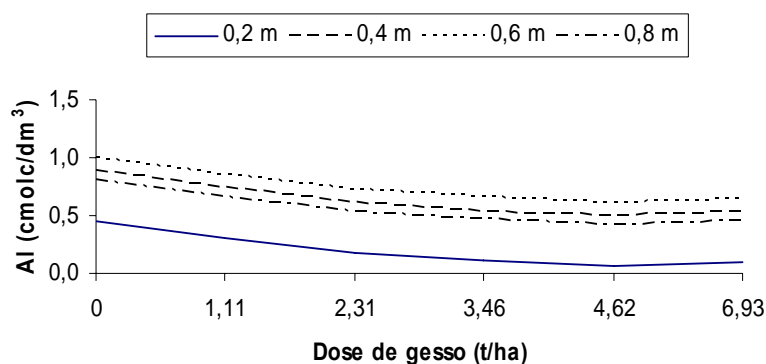


Figura 6. Corte na superfície de resposta para os teores de alumínio trocável em função das doses de gesso grosso aplicadas nas diferentes profundidades de amostragem.

Essa atuação conjunta provocou redução nos teores de alumínio trocável para a camada mais superficial do solo até 0,2 m de profundidade, sobretudo até a dose de 3,46 t/ha. A partir daí o efeito do incremento das doses não mais reduz os teores de alumínio, inclusive em camadas mais profundas.

A redução nos teores de alumínio trocável, com o uso das doses de gesso, possivelmente ocorreu pela lixiviação de SO_4^{2-} no perfil do solo, condicionando a eliminação de Al trocável através da formação do AlSO_4^+ . Também, pode ter ocorrido formação do $\text{Al}(\text{OH})_3$ pela liberação de OH^- por troca de ligantes pelo SO_4^{2-} na superfície das partículas dos óxidos e hidróxidos do solo, ou pela formação de minerais secundários como a alunita (DIAS, 1992)

A ação do gesso mineral em proporcionar maiores diminuições do alumínio trocável na camada 0,6-0,8 m pode ser explicada pela solubilização e liberação de SO_4^{2-} , que tende a movimentar-se e, conseqüentemente, acumular-se nessas camadas mais profundas do solo. Tal movimentação deve-se à repulsão provocada por ânions, principalmente fosfatos nos sítios de adsorção. Bem como, a presença de ânions orgânicos e a calagem que eleva o pH e, conseqüentemente, aumenta as cargas negativas no solo que contribuem para repulsão do sulfato (RAIJ et al., 1998).

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por CAIRES et al., (1999) que realizaram estudo em Latossolo com a cultura do milho, submetido a doses de gesso, encontrando reduções dos teores de Al trocável em camadas mais profundas do perfil do solo.

Nessa pesquisa, observou-se que as doses de gesso causaram diminuição nos valores de saturação por alumínio, em todas as profundidades avaliadas (Figura 7), indicando que o gesso mostrou-se eficiente na diminuição dessa saturação em camadas subsuperficiais, independentemente da granulometria.

Pelo corte na superfície de resposta, percebe-se que para a camada de até 0,2 m a redução nos valores de saturação por alumínio foi mais pronunciada do que nas camadas mais profundas. Isso, mais uma vez, indica que a atuação do calcário nesta camada é a grande responsável por tal diminuição.

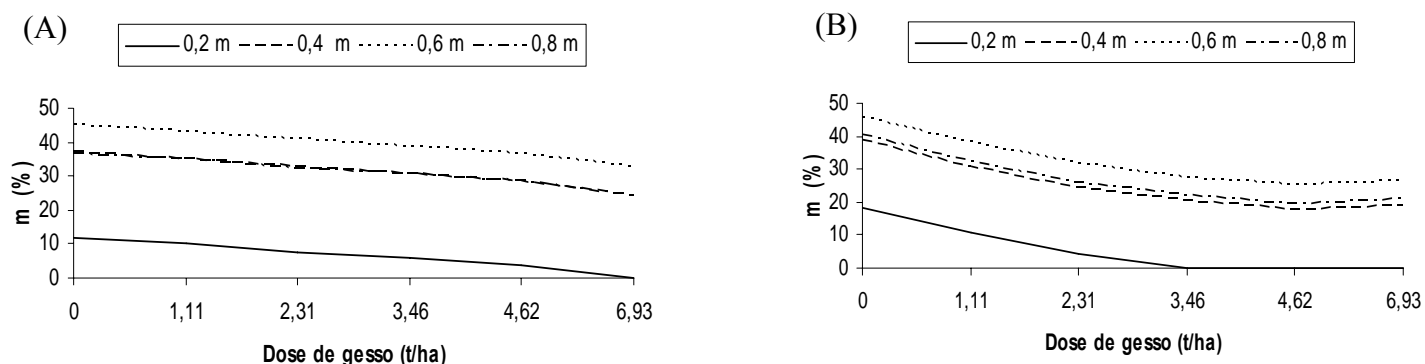


Figura 7. Corte nas superfícies de resposta para os valores de saturação por alumínio em função das doses de gesso aplicadas nas diferentes profundidades de amostragem, para o gesso fino (A) e grosso (B).

Esses resultados estão em acordo com DAL BÓ et al. (1986) e CAIRES et al. (1999) que encontraram redução na saturação por alumínio em camadas mais profundas em experimentos com o uso de gesso mineral em solos álicos.

O gesso grosso reduziu a saturação por alumínio na camada até 0,2 m de profundidade para valores próximos de zero a partir da dose 3,46 t/ha (Figura 7B), fato que não ocorreu com o uso do gesso fino (Figura 7A). Isso enfatiza o efeito diferenciado na velocidade de solubilização das duas granulometrias, discutidas anteriormente, onde a mais rápida solubilização do gesso fino favoreceu sua lixiviação, tendo em vista a alta incidência pluviométrica do período, principalmente nos primeiros trinta dias após a aplicação do gesso (758 mm). Com isso houve uma maior permanência do gesso grosso no perfil, confirmando-se pelos maiores teores de cálcio encontrados quando utilizou-se essa granulometria (Quadro 4).

Paralelamente, determinações do Poder de Neutralização (PN) dos dois tipos de gesso utilizados no experimento mostraram que o gesso fino teve valor de PN de 1%, enquanto que, o grosso apresentou PN de 6,5% (Quadro 2). Assim, é possível que o gesso grosso contenha compostos neutralizantes de acidez, possivelmente carbonatos.

O aumento nas doses de gesso provocou elevação nos valores de saturação por bases (V) para ambas as granulometrias (Figura 8). Para o gesso fino observou-se que o aumento no valor V se acentua a partir das doses superiores a 4,62 t/ha para todas as camadas avaliadas (Figura 8A). Para o gesso grosso percebe-se um aumento gradativo na saturação por bases com o aumento das doses de gesso (Figura 8B)

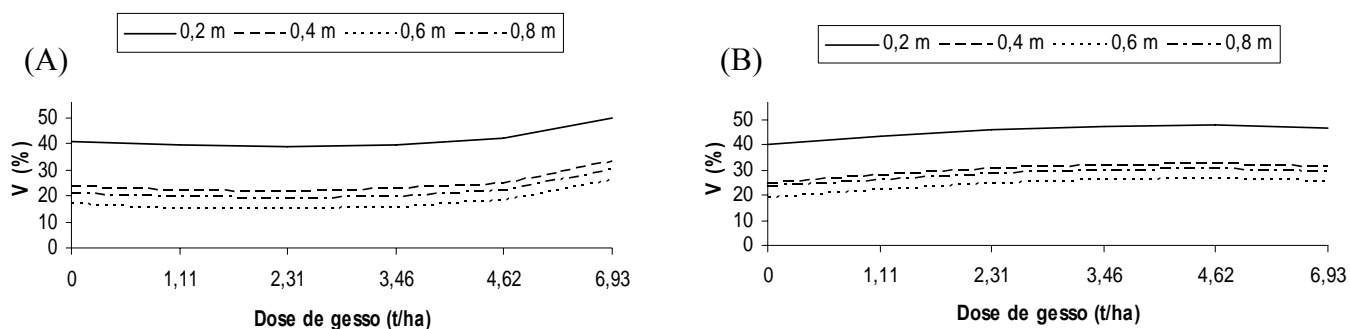


Figura 8. Corte na superfície de resposta para os valores de saturação por bases em função das doses aplicadas nas diferentes profundidades de amostragem, para o gesso fino (A) e grosso (B).

Na granulometria fina, apenas nas doses mais elevadas, observou-se uma tendência de maior permanência do gesso no perfil (Figura 8A), contribuindo para o aumento nos valores de V, sem, no entanto, contribuir para uma efetiva redução na saturação por alumínio com o uso das doses mais elevadas (Figura 7A).

Nesse trabalho e em outras pesquisas encontrou-se aumento na saturação por bases em camadas mais profundas com o uso do gesso mineral (MORELLI et al., 1987, 1992; RAIJ et al., 1998). Por outro lado, CIOTTA et al. (2004) estudando a aplicação de calcário em Latossolo, observaram que os efeitos da calagem no aumento da saturação por bases ficaram restritos a camada 0-0,2 m, enfatizando a necessidade de uma aplicação conjunta de calcário e gesso no aumento dos valores de V em subsuperfície.

Confirmando os resultados obtidos para saturação por bases, o uso do gesso mineral fino, favoreceu o aumento dos teores de cálcio trocável, principalmente a partir da dose 4,62 t/ha (Figura 9).

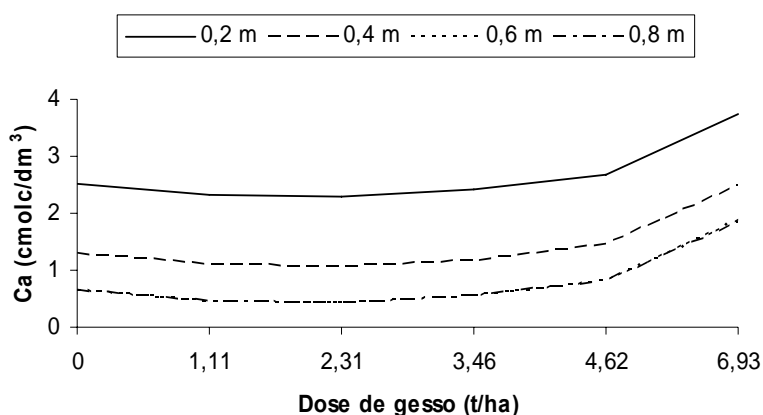


Figura 9. Corte nas superfícies de resposta para os teores de cálcio em função das doses de gesso fino aplicadas nas diferentes profundidades de amostragem.

Os resultados encontrados concordam com diversos estudos (MORELLI et al., 1992; RAIJ et al., 1998; CAIRES et al., 2004, 1999) que mostraram que a aplicação das doses de gesso provocou aumento nos teores de cálcio nas camadas subsuperficiais do solo.

O corte na superfície de resposta (Figura 10) mostra os efeitos das doses de gesso mineral sobre os teores de magnésio trocável para cada profundidade amostrada. Nas camadas 0-0,2 m e 0,2-0,4 m percebe-se que há uma tendência de

diminuição dos teores de magnésio com o aumento das doses de gesso, indicando que, possivelmente, está havendo perda de magnésio por lixiviação para as camadas mais profundas. A lixiviação deste elemento tem sido uma resposta freqüente em estudos com o uso do gesso mineral (DAL BO et al., 1986; ERNANI et al., 2001 RITCHEY & SNUFFER, 2002; CAIRES et al., 2004, 1991). Contudo, nesses trabalhos as doses de gesso são freqüentemente mais elevadas do que no presente estudo, por exemplo, CAIRES et al, 2004 utilizou como dose máxima 9 t ha^{-1} , e CAIRES et al 1999, utilizou 12 t ha^{-1} aumentando as chances de perda de magnésio por lixiviação. Descreve-se que a lixiviação de magnésio juntamente com o SO_4^{2-} ocorre pela formação do par iônico MgSO_4^0 após a dissolução do gesso, que por apresentar-se desprovido de carga elétrica possui grande mobilidade no perfil do solo.

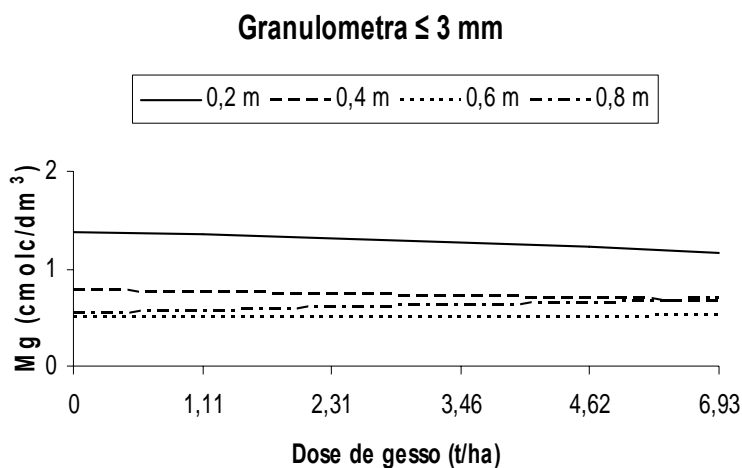


Figura 10. Corte na superfície de resposta para os teores de magnésio em função das doses de gesso fino nas diferentes profundidades de amostragem.

Em geral, as perdas de magnésio nas camadas superficiais não foram acentuadas, visto que o gesso foi aplicado em associação com o calcário dolomítico.

Essa associação tem sido recomendada por diversos autores (SYED e SUMNER, 1991; OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999) como estratégia para minimizar as perdas do elemento, ou seja, o gesso mineral em doses elevadas não deve ser aplicado de forma isolada, mas sim, combinado com o calcário dolomítico.

O uso do gesso mineral não provocou perda de potássio no perfil (Figura 11), discordando de outros trabalhos (QUAGGIO et al., 1982; DAL BÓ et al., 1986; RITCHEY e SNUFFER, 2002) que mostraram intensa lixiviação de potássio com o uso do gesso. Ressaltando-se que esses trabalhos foram realizados utilizando-se doses elevadas de gesso.

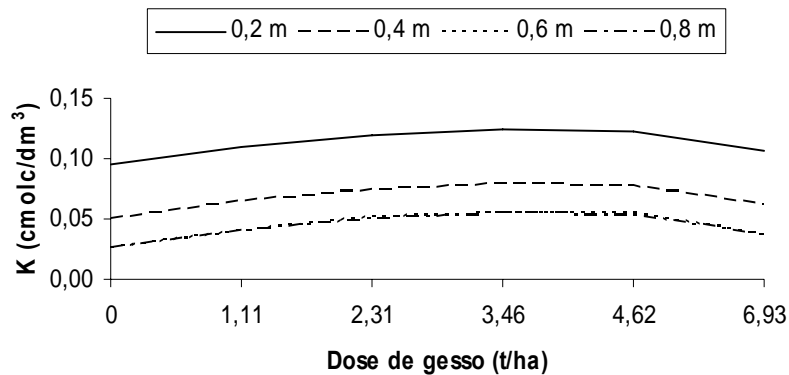


Figura 11. Corte na superfície de resposta para os teores de potássio em função das doses aplicadas de gesso grosso em diferentes profundidades de amostragem.

A baixa movimentação do potássio no perfil de solo pode ser atribuída, em parte, a adubação potássica em cobertura aos 60 dias após o plantio. Tal fenômeno, também, foi observado por SILVA (1990) e BRAGA et al. (1995) que mostraram que a adubação parcelada em cobertura pode ser uma maneira de minimizar a lixiviação de potássio. Entretanto, é possível que avaliações posteriores possam mostrar perda do elemento com o uso do gesso mineral.

3. Relações nutricionais do uso do gesso em cana de açúcar

Visando estudar o estado nutricional da cana de açúcar em função do uso do gesso mineral, determinou-se o teor dos nutrientes Ca, Mg, K, P e S na folha diagnose.

A aplicação de gesso proporcionou incrementos no teor foliar de cálcio permitindo ajuste significativo dos dados, em modelo de regressão do tipo quadrático (Figura 12).

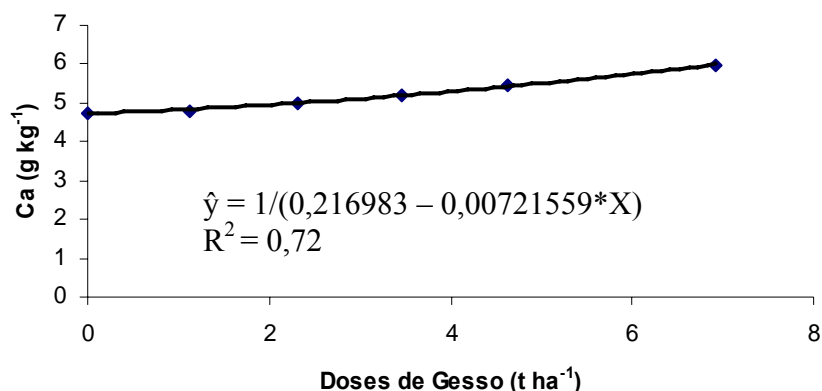


Figura 12. Teor de Cálcio em folha de cana de açúcar em função de doses de gesso mineral.

Certamente esse aumento na absorção de cálcio pelas plantas de cana de açúcar, está relacionado com o aumento de cálcio trocável em todo o perfil do solo (Figura 3A), favorecendo assim, um maior contato do nutriente com o sistema radicular da cana-de-açúcar. Esses resultados também foram obtidos por MORELLI et al. (1987) e VIATOR et al. (2002), que encontraram aumentos lineares nos teores foliares de cálcio em plantas de cana de açúcar, que variaram de 4 a 6,5 g/kg, quando submetidas a doses crescentes de gesso mineral, mostrando assim, os efeitos favoráveis do uso do gesso para o fornecimento de cálcio na cultura da cana de açúcar.

O teor foliar de fósforo foi influenciado pelo uso do gesso mineral, possibilitando o ajuste de uma regressão quadrática (Figura 13).

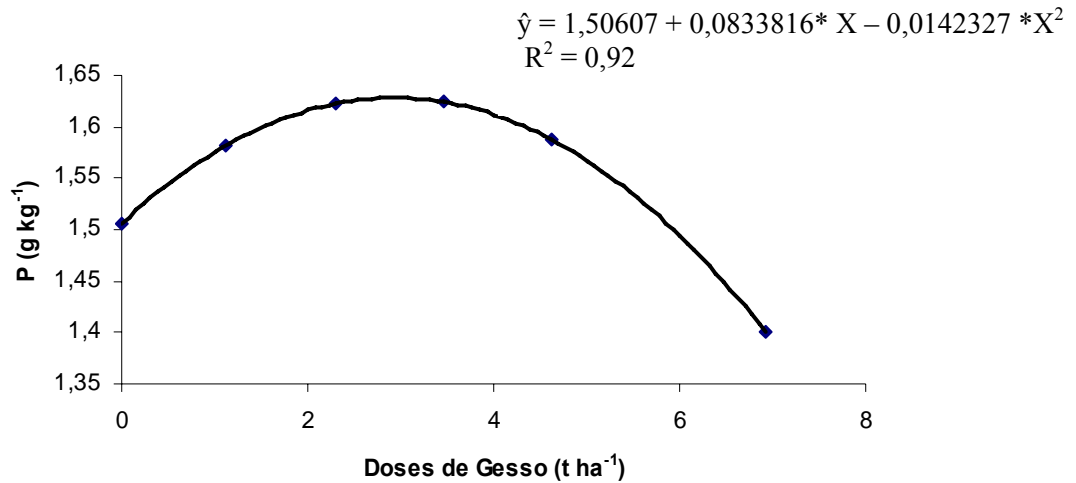


Figura 13. Teor de Fósforo em folha diagnose de cana de açúcar em função de doses de gesso mineral.

Em estudos com plantas de eucalipto, BRAGA et al. (1995), constataram que não houve aumento na absorção de fósforo com o aumento das doses de gesso mineral, havendo inclusive, redução do teor foliar de P, com o aumento das doses. No entanto, CAIRES et al. (2001), em estudo com doses crescentes de gesso agrícola, oriundo da fabricação de ácido fosfórico (fosfogesso), em plantas de cevada, encontraram aumentos dos teores foliares de P com o aumento das doses, atribuindo o incremento, a presença de P como fração residual no fosfogesso.

Pelo ajuste dos dados, observou-se que a concentração foliar de P em folhas diagnose de cana de açúcar, apresenta um aumento inicial com a aplicação das primeiras doses, atingindo um ponto de máximo, para depois decrescer com a continuidade do aumento das doses. Possivelmente podem existir duas hipóteses para elucidar o fenômeno:

A partir de uma determinada dose pode estar ocorrendo elevada produção de matéria seca nas plantas de cana de açúcar, provocando diminuição do teor

foliar de P, em função do efeito de diluição deste elemento no tecido da planta, ou seja, a concentração do nutriente é diluída com o aumento do crescimento da planta, estando este efeito corroborado pelos resultados encontrados por GOMES et al. (2002), em estudos com plantas de alfafa submetidas a diferentes doses de calcário e por outros resultados relatados na literatura como os de JARREL & BEVERLY (1981).

Uma outra possibilidade de explicar o que esta acontecendo, pode estar relacionada com altas concentrações do ânion sulfato (SO_4^{2-}) estar ocupando sítios de adsorção de formas de fósforo no solo, possibilitando que o elemento permaneça em solução, favorecendo a absorção pela planta, como também pela diminuição de formas de alumínio trocável formando compostos de sulfato de alumínio, favorecendo a permanência de fósforo em solução passível de absorção pela planta. A partir de determinada dose pode estar ocorrendo a formação de fosfato de cálcio, em função do excesso de cálcio proveniente do gesso (Figura 3A), indisponibilizando assim, o fósforo e diminuindo a sua absorção pela cana-de-açúcar.

No intervalo experimental estudado, os teores foliares de enxofre, em folha diagnose em função de doses crescentes de gesso mineral, foi possível um ajuste logarítmico para os dados (Figura 14). Havendo aumento nos teores foliares de enxofre com o aumento das doses de gesso.

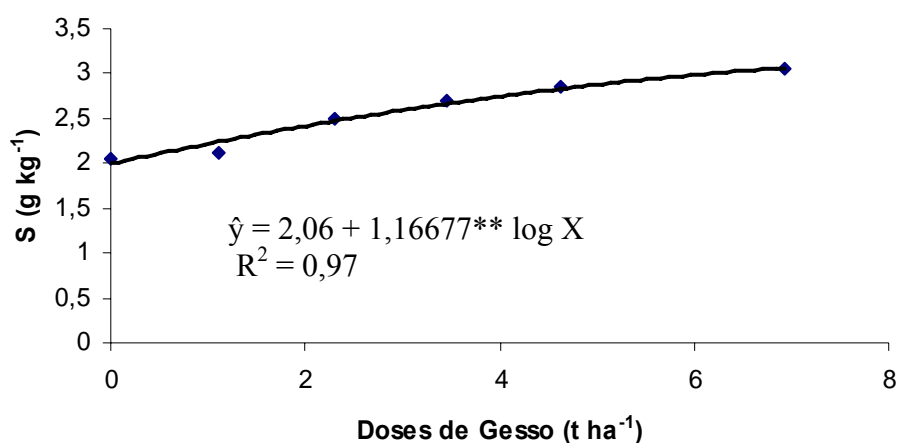


Figura 14. Teor de Enxofre em folha diagnose da cana de açúcar em função de doses de gesso mineral.

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 mineral.

A absorção de magnésio e potássio em cana de açúcar não foi inibida com o aumento das doses de gesso. Corroborando os resultados encontrados com a avaliação dos teores desses elementos no solo não sendo observadas neste trabalho perdas de magnésio e potássio por lixiviação com o aumento das doses de gesso (FIGURA 10 e 11), no entanto, diversos estudos (DAL BÓ, 1986; OLIVEIRA & PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998, 1999; SORATO et al. 2003) afirmam que a lixiviação de magnésio e potássio no solo, na forma do par iônico MgSO_4^0 , e K_2SO_4^0 formado a partir do SO_4^{2-} , liberado pela dissociação do gesso no solo, com o aumento das doses de gesso mineral, prejudica a absorção desses nutrientes pelas plantas. Possivelmente avaliações posteriores no estado nutricional das plantas de cana-de-açúcar possam mostrar sintomas de deficiência desses elementos, uma vez que, neste trabalho a avaliação se deu aos 150 dias da aplicação das doses de gesso mineral.

4. Efeito do gesso na produtividade agrícola estimada da cana de açúcar

Para as condições do presente estudo e considerando a metodologia empregada para estimar a produtividade agrícola da cana de açúcar em tonelada de cana por hectare (TCH), foi realizada análise de regressão havendo efeito significativo entre a variável dependente (TCH) e a variável independente (doses de gesso), para a variedade SP78 4764 (Figura 15).

O uso da dose $1,1 \text{ t ha}^{-1}$ resultou em produtividade média de 15,4 TCH. A dose máxima utilizada resultou em uma produtividade de 22,9 TCH, indicando que a cana de açúcar, responde em aumentos de produtividade com o uso do gesso mineral.

Diversos autores (CORRÊA et al, 1999; MORELLI et al, 1992, 1987) encontraram resultados semelhantes, mostrando que o uso do gesso na cultura da cana, resultaram sempre em aumentos de produtividade, esses resultados mostram ainda que as mais altas produtividades alcançadas foram conseguidas com o gesso associado ao calcário e nunca o gesso de forma isolada.

Espera-se que esses aumentos de produtividade reflitam-se nas futuras socas (cortes posteriores), pois como a cana de açúcar é uma cultura semiperene, as práticas de correção do solo foram realizadas visando à longevidade do canavial e não só ao primeiro corte.

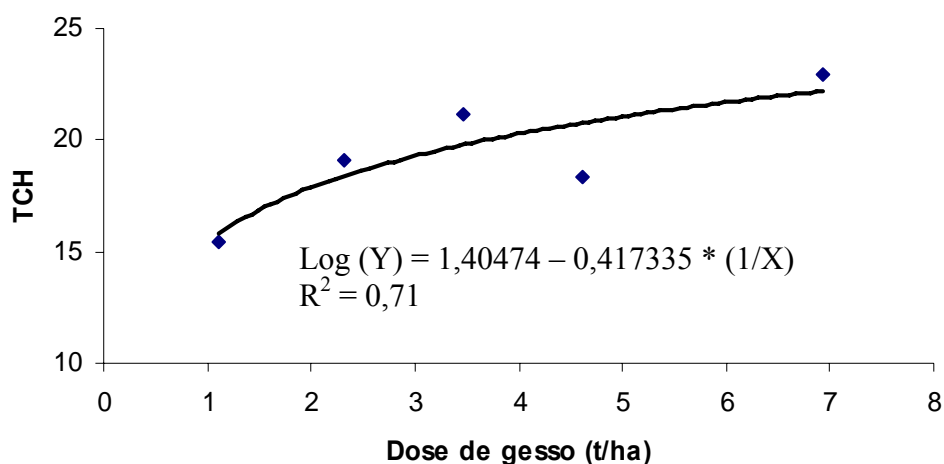


Figura 15. Efeito do gesso mineral na produtividade agrícola estimada em cana de açúcar.

CONCLUSÕES

1. O gesso mineral aumentou os teores de cálcio trocável e os valores de saturação por bases em subsuperfície e, conseqüentemente, reduziu os teores de alumínio trocável e a saturação por alumínio;
2. O uso do gesso mineral nas doses utilizadas, não provocou lixiviação de magnésio e potássio;
3. Quantitativamente o gesso provocou redução nos valores de saturação por alumínio em todas as camadas do perfil do solo, independentemente da granulometria. No entanto, a granulometria grossa foi mais efetiva que a fina na redução dessa saturação;
4. O uso do gesso mineral provocou aumento nos teores foliares de cálcio e enxofre não provocando diminuição nos de magnésio e potássio, com o crescimento das doses;
5. Os teores foliares de fósforo aumentaram com o uso das primeiras doses, mas tenderam a decrescer com o aumento nas doses de gesso.
6. O gesso mineral promoveu aumento na produtividade agrícola estimada da cana-de-açúcar

REFERÊNCIAS

ALVAREZ V. V.H.; DIAS, L.E. **Enxofre**. Viçosa, MG; ABEAS/UFV, 1994, 106p.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28. p. 359-367, 2004

ANDRADE, M.C. **Modernização e pobreza: Expansão da agroindústria canavieira e seu impacto ecológico e social**. São Paulo, Universidade Estadual Paulista, 250p., 1994.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro, IBGE, 1970/1996.

AYRES, A.J. The utility of soil analysis in determining the need for applying calcium to sugar cane. In: ISSCT CONGRESS, 1962, Mauritius. **Anais** 11, 1962, v.11 p. 162-169. Mauritius editora, 1962.

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**. The Hague v. 206, p. 99-108, 1999.

BARROS, M.de F.C.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M. da; ALVAREZ, V.H.V.; RUÍZ, H.A. Recuperação de solos salino-sódicos pelo uso de gesso e calcário. In: FERTBIO 2002, , Rio de Janeiro. **Resumo**: Rio de Janeiro (UFRRJ, 2002 1 CD – Room)

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983.48p. (Boletim Técnico 78).

BRAGA, F.de A.; VALE, F.R. do; 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**, Campinas, v.19, p. 69-77, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**, Brasília Laboratório Nacional de Referência Vegetal, 1983. 104p.

BRUCE, R.C.L.; WARREL, L.A.; EDWARDS, D.G.; BELL, L.C. Effects of aluminium and calcium in three soil solution of acid soils on root elongation of *Glycine max*. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.39, p.319-338, 1988.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, p.27-34, 1998.

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

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**, Viçosa, MG, v.23, p.315 – 327, 1999.

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**. Viçosa, MG, v.28, p.125-136, 2004.

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

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

CHANG, M.L.; THOMAS, G.W. A suggest mechanism for sulfate adsorption by soils. **Soil Science Society American**, Madison, v.27, p.281-283, 1963.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.317-326, 2004.

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

CORREA, J.B.D.; ANDRADE, L.A.B.; ROSA, J.H.; NETO, A.E.F. Efeitos da aplicação de gesso mineral em três variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Stab: Açúcar e Álcool**, Piracicaba, v.17, p.38-42, 1999.

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**, Campinas, v.10, p.195-198, 1986.

DIAS, L.E. **Dinâmica de formas de enxofre e de cátions trocáveis em colunas de solo tratadas com diferentes doses de fósforo e gesso**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 130p, 1992. (Tese D.S.).

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2 ed., Rio de Janeiro, 1997.212p.

ERNANI, P.R.; BARBER, S.A. composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.10, p.41-46, 1993.'

FREIRE, F.J. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. 2001. 144p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.2001.

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

GOMES, F.T.; BORGES, A.C.; NAVAS, J.C.L.; FONTES, P.C.R. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio:magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, p.1779-1786, 2002.

JARREL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, New York, v.34, p.197-224, 1981.

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**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) – Planalsucar, 1986. 78p.

KOFFLER, N.F. & DONZELI, P.L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B., coord. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. Campinas, Fundação Cargill, v. I, 1987. 431 p.

LANDELL, M.G.A. Método experimental: ensaios de competição em cana-de-açúcar. In: **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizado no programa IAC**. Pindorama: [s.n.], 1995. p. 2-14.

MEDINA, C.C. de; BRINHOLI, O. uso de resíduos agroindustriais na produção de cana de açúcar, açúcar e álcool. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.33, n.11, p.1821 – 1825. nov. 1998.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crops residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT SOIL INTERACTIONS AT LOW pH 4. 1996, Belo Horizonte. **Abstracts...** Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996, p.142.

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**, Campinas, v.16, p. 187 – 194, 1992.

MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4.,1987, Olinda. **Anais...** São Paulo: editora, 1987. p. 86-93.

NASCIMENTO, C.W.A. Acidez Potencial estimada pelo pH SMP em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n. 3, p. 679-682, 2000.

NASCIMENTO, C.W.A. **Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes**. Recife: UFRPE, 2003. Apostila.

NOGUEIRA, A.R.A.; MOZETO, A.A. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p. 1-6, 1990.

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

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.885-895, 2001

PRADO, R.M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, p.1007-1012, 2004.

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

QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C. Respostas da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico. II Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.113-118, 1982.

RAIJ, B. van; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; PETTINELLI JÚNIOR 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.

RITCHEY, K.D.; SNUFFER, J.D. Limestone, Gypsum and Magnesium Oxide influence restoration of an abandoned Appalachian pasture. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.830-839, 2002.

SALATA, J.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Ação do calcário e gesso em solos de baixa fertilidade e na recuperação de soqueiras de cana de açúcar. **Stab: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.14, n.1, p. 19-22, 1995.

SHIGAKI, F.; FREITAS, N.; BERTO, A.; CEDDIA, M. B.; LIMA, E. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento e acúmulo de N em variedades de cana de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD – Rom.

SILVA, A. de A. **Efeito de relações CaCO_3 / CaSO_4 no movimento de nutrientes no solo e no desenvolvimento do algodoeiro.** 1990. 80f. Tese (Doutorado) ESAL, Lavras.

SOBRAL, A.F.; LIMA, S.M.A.; MELO, P.L. Efeitos da aplicação de calcário e gesso na produção de cana de açúcar e nas características químicas do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5., 1993, Águas de São Pedro. **ANAIS...**, Águas de São Pedro, 1993. p.34-38.

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: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto, 1 CD Rom.

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

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

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

WADT, P.G.S. Alterações eletroquímicas de um Latossolo Vermelho – Amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, 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 Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1157 – 1164, 1999.