

HELENA MARIA RAMOS ALVES

ALTERAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS EM PROFUNDIDADE PELA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO CÂMBICO DISTRÓFICO TEXTURA MÉDIA FASE CERRADO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração - Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de MESTRE.

cat.

2 x 5.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS

1 9 8 4

HELENA MARIA RAMOS ALVES

ALTERAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS EM PRO-
FUNDIDADE PELA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁ-
RIO E GESSO EM UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
CÂMBIO DISTRÓFICO TEXTURA MÉDIA FASE CERRADO

Trabalho apresentado à Escola Superior
de Agricultura de Lavras, como parte das
exigências do curso de Pós-Graduação em
Agronomia, área de concentração - Solos
e Nutrição de Plantas, para obtenção do
grau de MESTRE

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1984

[REDACTED]

ALTERAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS EM PROFUNDIDADE PELA APLI
CAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM UM LATOSSOLO VERMELHO
AMARELO CÂMBICO DISTRÓFICO TEXTURA MÉDIA FASE CERRADO

APROVADA:



Prof. ALFREDO SCHEID LOPES
Orientador



~~Prof. GERALDO APARECIDO DE AQUINO GUEDES~~



Prof. RUBEN DELLY VEIGA

Aos meus pais Walter e Marieta
e ao meu esposo Juan Ramón
pelo apoio e incentivo

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, pela oportunidade concedida para realização deste curso.

Ao Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico-Científica-FIPEC, e à Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão-FAEPE, pela ajuda financeira na execução deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Alfredo Scheid Lopes, pela orientação e amizade.

Aos professores Geraldo Aparecido de Aquino Guedes e Ruben Delly Veiga, pelo auxílio e sugestões.

Aos colegas de curso, professores e funcionários do Departamento de Ciência do solo pelas colaborações e gratificante amizade.

BIOGRAFIA

HELENA MARIA RAMOS ALVES, filha de Walter Theodoro Alves e Marieta Ramos Alves, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, aos 11 de janeiro de 1957.

Concluiu o primeiro grau, no Instituto de Educação de Minas Gerais e o segundo grau no Colégio Logosófico Gonzalez Peco tch em Belo Horizonte.

Em 1976, ingressou na Escola Superior de Agricultura de Lavras, graduando-se em Agronomia em 1979.

Iniciou o curso de Mestrado em Agronomia na área de concentração "Solos e Nutrição de Plantas" na Escola Superior de Agricultura de Lavras, em março de 1980.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	05
2.1. Efeito da incorporação de calcário na camada arável	10
2.2. Efeito da calagem associada a aplicação de fertilizantes	11
2.3. Adsorção e desorção de sulfatos.....	15
2.4. Modificação da saturação de alumínio pela aplicação de sulfato de cálcio.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Solos - coleta e preparo das amostras.....	24
3.2. Tratamentos e delineamento experimental.....	25
3.3. Montagem das colunas	29
3.4. Trabalho de irrigação	31
3.5. Análise química do solo	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1. Efeito dos tratamentos no teor de Ca trocável na <u>co</u> luna de solo	33
4.2. Efeito dos tratamentos no teor de Al trocável.....	41
4.3. Efeito dos tratamentos na percentagem de saturação de alumínio	44

	Página
4.4. Efeito dos tratamentos no pH em H ₂ O	48
4.5. Efeito dos tratamentos nos teores de SO ₄ ²⁻ , Mg e K troçáveis do solo	56
5. CONCLUSÕES	58
6. RESUMO	59
7. SUMMARY	62
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE	74

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Detalhe da montagem das colunas.....	30
2	Teores de Ca trocável para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de gesso, após lixiviação com 1200 mm H ₂ O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.....	36
3	Teores de Ca trocável para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de calcário, após lixiviação de 1200 mm H ₂ O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.....	38
4	Teores de Ca trocável para as camadas de material do solo na coluna, em função dos tratamentos, após lixiviação de 1200 mm H ₂ O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey	40

Figura		Página
5	Valores de saturação de alumínio para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de gesso, após lixiviação com 1200 mm de H ₂ O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.	45
6	Valores de saturação de alumínio para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de calcário, após lixiviação com 1200 mm de H ₂ O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey	47
7	Valores de saturação de alumínio, para as camadas de material do solo na coluna, em função dos tratamentos, após lixiviação com 1200 mm H ₂ O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.....	49
8	Valores de pH em H ₂ O para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de gesso, após lixiviação de 1200 mm H ₂ O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.....	51
9	Valores de pH em H ₂ O para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de calcário, após lixiviação de 1200 mm H ₂ O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.....	53

Figura

Página

- 10 Valores de pH em H₂O, para as camadas de material do solo na coluna, em função dos tratamentos, após lixiviação de 1200 mm H₂O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey..... 53

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Características químicas, físicas e ataque com ácido sulfúrico, do Lvm na camada de 0-20 cm de profundidade (média de 3 repetições).....	26
2	Características químicas e granulométricas do calcário calcítico comercial e calcário calcítico micropulverizado.....	27
3	Características do gesso.....	27
4	Doses e combinações de calcário calcítico comercial, calcário calcítico micropulverizado e gesso aplicadas à camada de 0-20 cm das colunas de solo.....	28
5	Níveis de significância na análise de variância dos teores de Ca, Al, SO ₄ , K e Mg; da CTC "efetiva", da percentagem de saturação de alumínio e pH em H ₂ O, obtidas das análises do material de solo nas colunas, após lixiviação com 1200 mm de água.....	34

Quadro	Página
6 Efeito de doses de gesso no teor de SO_4^{2-} nas camadas de material do solo nas colunas, após lixiviação com 1200 mm de água. Média de 2 níveis de calcário e 3 repetições.....	56

1. INTRODUÇÃO

A região sob vegetação de cerrados ocupa, aproximadamente 180 milhões de hectares do território nacional. Estima-se que desta área, cerca de 50 milhões de hectares se constituam de terras aráveis e potencialmente aptas para agricultura tecnificada. Os solos predominantes na região no entanto, são Latossolos, apresentando baixa saturação de bases e em geral, alta saturação de alumínio trocável até as camadas subsuperficiais. Estas condições limitam o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular das culturas abaixo da camada corrigida pela calagem. Este problema se agrava em função do caráter errático da precipitação, associada à baixa capacidade de retenção de água dos solos e alto potencial de evapotranspiração da região. Mesmo durante os meses de dezembro a janeiro os de maior intensidade pluviométrica (a "estação das águas" normalmente vai de outubro a março), são comuns períodos de duas semanas sem chuva, denominados regionalmente por "veranicos", que podem coincidir com as épocas críticas de exigência de água pelas culturas, condicionando o aparecimento de deficiências hídricas. Espera-se que nada menos que 8 a 10 dias consecutivos sem chuva ocorram uma vez por ano durante este período, sendo este tempo de es

tiagem suficiente para "secar" o solo até 40-60 cm de profundidade, não permitindo a absorção normal de água pelas culturas, WOLF (47).

Várias alternativas tem sido propostas para fazer face à acidez do subsolo e suas limitações. Entre elas, a seleção de espécies e variedades tolerantes e a incorporação profunda do calcário (0-30 cm). Esta última propicia um aumento do sistema radicular no subsolo pela diminuição do nível de toxidez do alumínio e elevação do cálcio e magnésio nestas camadas, possibilitando uma melhor utilização da água. No entanto, a incorporação do calcário no subsolo é prática pouco viável, devido à necessidade de equipamentos apropriados e ao alto consumo de energia implícito nesta operação.

Recentemente, um grande interesse surgiu na procura de meios para diminuir o problema da acidez no subsolo, substituindo ou complementando as duas alternativas acima. A CTC geralmente baixa dos Latossolos sob cerrado e a precipitação anual ao redor de 1500mm, sugerem que o efeito neutralizante do calcário possa ser lixiviado para as camadas abaixo da zona de incorporação, e alguns estudos tem confirmado esta possibilidade, MORELLI et alii (21) ; GONZALEZ et alii (11), QUAGGIO et alii (28) e PAVAN & IGUE (25). Observa-se no entanto, que a movimentação do calcário é muito lenta e este efeito só seria verificado a longo prazo. Por outro lado, tem sido observado um movimento mais rápido do cálcio para o subsolo, quando este está ligado ao radical sulfato, PEARSON et alii (26), GONZALEZ et alii (11) e RITCHEY et alii (40). A lixiviação do sulfato de cálcio permite acréscimos da ordem de até 1 meq/100g no teor de cálcio trocável, o que aumenta a possibilidade de en

raizamento mesmo em solos com moderadas quantidades de alumínio trocável, RITCHEY et alii (39).

O gesso surge como produto residual da reação da rocha fosfatada com o ácido sulfúrico, para produção de ácido fosfórico. Para cada tonelada de ácido fosfórico produzido, há uma produção de aproximadamente 3 toneladas de sulfato de cálcio (gesso) como subproduto, que estão sendo acumuladas, sem perspectivas de utilização imediata, evidenciando a necessidade de estudos sobre a sua aplicação. Cabe salientar também, o papel do gesso como uma fonte imediata que é, dos nutrientes cálcio e enxofre para as culturas e microorganismos do solo. Com o aumento do consumo de fertilizantes químicos, tem-se utilizado fórmulas cada vez mais concentradas e de maior conteúdo dos macronutrientes primários: nitrogênio, fósforo e potássio, e como resultado, a concentração de elementos secundários, notadamente o enxofre está cada vez mais reduzida.

Alguns estudos tem demonstrado no entanto, que a aplicação isolada de gesso promove também a lixiviação de potássio e magnésio, RITCHEY et alii (38), PAVAN et alii (24) e QUAGGIO et alii (29). Estes autores sugeriram a conveniência de usá-lo em combinação com o calcário. Como a granulometria do calcário pode influir na sua movimentação, conforme demonstrado por ALVES e LOPES (3), e extensão de seus efeitos para a camada de solo imediatamente abaixo da zona de incorporação, desenvolveu-se o presente trabalho, com o objetivo de estudar o efeito do uso combinado de doses de calcário de granulometria comercial, calcário micropulverizado e gesso, na lixiviação do cálcio e diminuição da percentagem de saturação

de alumínio nas camadas subsuperficiais de amostra de um Latossolo Vermelho Amarelo Câmbico, distrófico, textura média, fase cerrado . A hipótese é de que o calcário reaja na camada de incorporação e na camada imediatamente subjacente e o gesso tenha efeito em maior profundidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A restrição ao desenvolvimento radicular das culturas observada nas camadas subsuperficiais da maioria dos solos sob cerrado, é um obstáculo à maximização das produções, porque o volume de solo explorado pelas raízes é insuficiente para suprir as necessidades de água e nutrientes da planta, durante os períodos de estiagem que ocorrem na estação chuvosa. Existe uma probabilidade de que 8 a 10 dias consecutivos sem chuva ocorram uma vez por ano durante o período das águas, WOLF (47). Este tempo de estiagem é suficiente para "secar" o solo até uma profundidade de 40-60 cm, não permitindo a absorção normal de água e nutrientes pelas culturas.

Dois fatores fundamentais limitam o desenvolvimento das raízes nestes solos ácidos: o baixo nível de bases e a presença de certos elementos em concentrações tóxicas. Apesar do manganês também poder ser encontrado em concentrações tóxicas, sabe-se que o principal elemento tóxico nestes solos é o alumínio trocável, LOPES (18).

Evidências dos efeitos da toxidez pelo alumínio no sistema radicular de diversas plantas cultivadas foram apresentadas já

em 1928 por McLEAN & GILBERT (19) e em 1932 por LIGON & PIERRE (16), sendo posteriormente bem documentada, VLAMIS (45), RAGLAN & COLEMAN (30), ADAMS & LUND (1), ADAMS et alii (2). Apesar de não se poder estabelecer um nível crítico único para o alumínio, em função de diferenças nas características do solo e grau de tolerância das diversas culturas, REEVE e SUMNER (34), concentração de alumínio na solução do solo acima de 1 ppm geralmente causa efeito direto na produção, sendo que a manifestação primária da toxicidade se faz sentir no sistema radicular das culturas, SANCHEZ (41).

ADAMS et alii (2) estudaram o efeito de diferentes valores de pH no subsolo no crescimento de raízes e produção do algodão. Os resultados mostraram que a produção foi significativamente reduzida nas parcelas onde o subsolo era muito ácido ($\text{pH} < 5,0$), apesar da superfície ter sido corrigida e adubada adequadamente. A análise do sistema radicular no perfil (0-60 cm de profundidade) mostrou que para os subsolos moderadamente ácidos ($\text{pH} 5,0$ a $5,5$), 50% do peso total das raízes estava na camada de 15 a 60 cm. Nos perfis com subsolos mais ácidos ($\text{pH} < 5,0$) e que apresentavam saturação de alumínio entre 40 a 60% entretanto, menos que 20% das raízes foi encontrada à mesma profundidade. Nestas parcelas, as plantas apresentaram sintomas de murcha com apenas 2 a 4 dias de seca, ao passo que nas demais, foram capazes de suportar secas de 10 a 14 dias sem apresentar sintomas de "stress".

Além da presença do alumínio, o aprofundamento do sistema radicular pode ser impedido por baixos níveis de cálcio no subsolo, HOWARD & ADAMS (12). Levantamentos recentes dos solos do Dis

trito Federal - EMBRAPA (42) têm demonstrado a existência de solos caracterizados por horizonte B com pouco ou nenhum alumínio trocável e baixíssimos níveis de cálcio mais magnésio trocáveis (0,2 meq/100g ou menos).

A hipótese de que o impedimento à penetração de raízes nestes subsolos seria função da deficiência de cálcio e não da toxicidade de alumínio foi levantada por RITCHEY et alii (37) e confirmada pelos resultados de seu trabalho. Adição de 0,10 a 0,15 meq/100g de cálcio na forma de cloreto, fosfato ou carbonato normalizou o crescimento de raízes de plântulas de soja, trigo e milho, enquanto que na ausência destes tratamentos as raízes pararam de crescer em poucos dias. Desde que a adição de CaCl_2 , apesar de ter causado um abaixamento do pH do solo, também foi eficiente em normalizar o crescimento radicular, fica claro que o efeito neutralizante dos corretivos não foi o fator responsável por este crescimento. Da mesma forma, a adição de MgCO_3 não teve influência na normalização do desenvolvimento do sistema radicular, mostrando ser um efeito específico da presença do cálcio.

Para que ocorra o crescimento radicular, o cálcio tem que estar presente no meio ambiente da extremidade da raiz, já que as plantas não são capazes de translocar satisfatoriamente o cálcio absorvido no solo superficial corrigido pela calagem, para os pontos radiculares de crescimento. Sendo assim, o nível de cálcio no subsolo terá efeito indireto no crescimento da planta, por causa do seu efeito no crescimento da raiz em profundidade, a despeito do nível de cálcio à superfície, HOWARD & ADAMS (12). RITCHEY &

SILVA (36) comparando duas lavouras de soja, uma em área de 1º cultivo e outra em área de 4º cultivo, mostraram que no 24º dia de veranico, as plantas no cultivo de 1º ano apresentaram visíveis sintomas de murcha, enquanto que na outra lavoura, as plantas apresentavam-se normais. A distribuição de cálcio no perfil do solo de 1º ano de cultivo mostrou teores extremamente baixos. Em alguns casos, os teores deste elemento foram menores que 1 ppm, enquanto que no perfil do solo de 4º ano de cultivo, o nível de cálcio foi no mínimo 13 ppm. Resultados do teste biológico para crescimento de raízes mostraram severas restrições na viabilidade de crescimento das mesmas, a profundidades abaixo de 60 cm no perfil do solo recém cultivado. Nesta área, onde a soja apresentou sintomas visíveis de murcha, o padrão de extração de água medido no 24º dia do veranico mostrou um baixo conteúdo de água nos 60 cm superficiais e conteúdos bem mais elevados nas camadas inferiores. Na área sob cultivo de 4º ano a soja extraiu água uniformemente ao longo de todo o perfil, indicando a presença de raízes ativas a maiores profundidades do solo. Vê-se portanto, que apesar de não apresentarem alumínio em concentrações tóxicas nos horizontes subsuperficiais, a prática da calagem superficial para, dentre outros efeitos, corrigir a deficiência de cálcio nestes solos, não eliminaria as limitações ao desenvolvimento radicular das plantas em profundidade, pelo menos a curto prazo. O problema poderia ser diminuído após vários cultivos, com a movimentação do cálcio adicionado ao solo superficial para as camadas inferiores do perfil.

A incorporação profunda do calcário tem sido proposta como uma possível solução para o problema. Experimentos conduzidos no

Estado de São Paulo, em áreas de cerrado e relatados por Mikkel sem et alii citado por LOPES (18), já demonstravam naquela época, uma resposta favorável à incorporação de calcário a maiores pro fundidades. Resultados semelhantes foram encontrados por SOARES et alii (43), FREIRE (10) e GONZALEZ-ERICO et alii (11). Este úl timo mostrou que a incorporação mais profunda (0-30 cm) da dose simples de 4t/ha de calcário produziu 2,5t/ha de milho a mais ao fim de 3 cultivos sucessivos, comparada a aplicação da mesma dose de calcário na profundidade de 0-15 cm.

No entanto, a incorporação do calcário a pro fundidades maiores que a aração normal nem sempre é possível, devido a pro blemas relacionados à necessidade de equipamentos apropriados e ao alto consumo de energia implícito, que a torna muito dispendio sa. Além disto, teríamos o inconveniente de expor o subsolo me nos fértil. Sendo assim, a correção da acidez do subsolo vai de pender muito mais, em princípio, da lixiviação de corretivos apli ca dos e solubilizados à superfície.

Apesar do movimento de bases para camadas abaixo da zona de captação de raízes ser considerado prejudicial, em solos onde a toxidez de alumínio e/ou deficiência de cálcio limitam o desen vol vimento radicular nas camadas subsuperficiais, a lixiviação de cálcio pode ser usada como importante instrumento para promover o aprofundamento da raiz e reduzir os riscos de déficit hídrico durante os veranicos.

2.1. Efeito da incorporação de calcário na camada arável

Alguns estudos têm confirmado a possibilidade de movimentação de cálcio e magnésio em decorrência de incorporações de calcário nas profundidades convencionais. A extensão até onde este efeito tem sido observado é bastante variável. MORELLI et alii (21) trabalhando com um Andossolo (Oxic Dystrandept) da Costa Rica, encontraram considerável lixiviação de cálcio, evidenciada pelo aumento da concentração deste elemento até a profundidade de 80 cm para todas as dosagens de calcário, mas principalmente para as doses mais elevadas (7,56; 15,6 e 30,2t/ha). As análises foram realizadas 4 anos após a aplicação do calcário. No Brasil, GONZALEZ-ERICO et alii (11) constataram um acentuado movimento de cálcio até a profundidade de 45 cm no perfil de um Latossolo Escuro sete anos após a aplicação de 10t/ha de calcário. QUAGGIO et alii (28) também observaram aumentos no teor de cálcio até a camada de 40-60 cm do perfil de um Latossolo Roxo distrófico, com a aplicação de 6 a 12t/ha. Resultados semelhantes foram encontrados por PAVAN & IGUE (25) em um Latossolo Roxo com a cultura do café no Paraná, até as profundidades de 60 a 100 cm.

Observa-se no entanto, que de uma maneira geral, os resultados foram encontrados a médio e longo prazo (4 a 7 anos) após ter sido feita a calagem, sendo que as movimentações mais acentuadas ocorreram quando foram aplicadas doses pesadas de calcário ou sob regimes pluviométricos elevados. MORELLI et alii (21) observaram uma diminuição significativa da acidez trocável em profundidade, mas para tanto aplicaram 15,6 e 30,2t/ha de calcário em

um solo vulcânico altamente permeável, e que se encontrava sob um regime pluviométrico de 3.800mm por ano. QUAGGIO et alii (28) chegaram a aplicar 12t/ha no tratamento de dosagem mais elevada e observaram que 30 meses após esta incorporação, um terço do calcário aplicado ainda não havia reagido com o solo. Segundo RITCHEY et alii (39) a baixa taxa de dissolução das grandes partículas de carbonato de cálcio e magnésio contribuiu para a baixa efetividade de de lixiviação do calcário aplicado. WEIR (46) determinou que a solubilidade do CaCO_3 na água é apenas 0,0014%. Neste sentido, a granulometria do calcário seria importante, não apenas por facilitar a sua dissolução, mas também por possibilitar o movimento puramente físico destas partículas pequenas. ALVES & LOPES (3) encontraram efeito da calagem na camada (20-40 cm) imediatamente abaixo à de incorporação (0-20 cm) para o calcário micropulverizado (89% < 250 meshs*). Segundo os autores, o movimento por arrastamento das partículas mais finas de calcário, poderia ser responsável por este efeito, não observado para o calcário de granulometria comercial utilizado (80,7% < 50 meshs e 9,9% < 250 meshs).

2.2. Efeito da calagem associada a aplicação de fertilizantes

Vários estudos têm demonstrado que o uso de doses pesadas de determinados fertilizantes, empregados após a calagem superficial, pode incrementar o movimento de bases no perfil do solo.

* Meshs = malhas por polegada linear.

PEARSON et alii (26) trabalhando com um Latossolo e um Podzólico de Porto Rico mostraram que aplicação de doses elevadas de sulfato de amônio em associação à calagem, resultou na movimentação de cálcio e magnésio até 60 cm de profundidade após um período de 2 anos e meio. Segundo os autores o cálcio e magnésio movimentariam primeiramente na forma de sulfatos e nitratos formados com a nitrificação da amônia na camada corrigida. Posteriormente, a absorção de NO_3^- pela planta e a adsorção de SO_4^- na argila das camadas subsuperficiais do solo, resultariam na acumulação de cálcio e magnésio trocáveis nesta zona. WEIR (46) utilizou deste conceito em pomares cítricos de Trinidad, onde a incorporação de calcário com arado não era possível. Aplicações superficiais de calcário juntamente com ureia e sulfato de amônio, resultaram em aumentos no teor de bases do solo, cinco anos após a aplicação.

Em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média do Distrito Federal, GONZALEZ-ERICO et alii (11) encontraram um movimento significativo de cálcio até 45 cm de profundidade, com a aplicação de 499,5 kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato simples. Eles sugeriram que os aproximadamente 1500 kg/ha de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ contidos no superfosfato simples foram responsáveis pela movimentação observada. Estes resultados foram confirmados por RITCHEY et alii (40) em condições de laboratório. Segundo os autores, a movimentação do cálcio no perfil do solo é governada pela natureza e características dos ânions disponíveis. Isto porque, em seu equilíbrio dinâmico, a neutralidade elétrica do sistema solo é mantida, sendo assim, íons positivamente carregados não lixiviam isoladamente. Os

cátions são acompanhados por ânions. As reações dos ânions com os constituintes do solo apresentam ampla gama de variação e são importantes na determinação do padrão de lixiviação.

Para estudar o efeito da natureza do ânion acompanhante na movimentação do Ca em profundidade e sua influência na acidez do subsolo, RITCHEY et alii (40) adicionaram separadamente, três fontes de cálcio (CaCO_3 , CaSO_4 e CaCl_2), em doses equivalentes a 2.000 kg/ha de Ca à camada de 0-15 cm de colunas de amostras de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso, construídas em laboratório, para simular um perfil de solo. As colunas foram percoladas com um total de 1200mm de água, causando um movimento do cálcio a profundidades que variaram com a fonte de cálcio utilizada. O cloreto de cálcio por ser muito solúvel, associado ao fato do cloreto não reagir com o solo, foi o que atingiu maiores profundidades (150 cm). O sulfato de cálcio também se movimentou, mas ao contrário do cloreto, por ser menos solúvel e pelas reações do sulfato com o solo, resultou numa maior concentração de cálcio na profundidade de 45-60 cm. O carbonato de cálcio foi o que causou o maior aumento no teor de cálcio trocável na camada superficial, porém movimentou-se apenas até 20-25 cm de profundidade. O carbonato é consumido pela reação de neutralização (produto da hidrólise do alumínio) que ocorre na camada superficial do solo. Consequentemente, não havendo um ânion para acompanhar o cálcio, este é adsorvido no complexo coloidal da camada de incorporação, REEVE & SUMNER (32).

cátions são acompanhados por ânions. As reações dos ânions com os constituintes do solo apresentam ampla gama de variação e são importantes na determinação do padrão de lixiviação.

Para estudar o efeito da natureza do ânion acompanhante na movimentação do Ca em profundidade e sua influência na acidez do subsolo, RITCHEY et alii (40) adicionaram separadamente, três fontes de cálcio (CaCO_3 , CaSO_4 e CaCl_2), em doses equivalentes a 2.000 kg/ha de Ca à camada de 0-15 cm de colunas de amostras de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso, construídas em laboratório, para simular um perfil de solo. As colunas foram percoladas com um total de 1200mm de água, causando um movimento do cálcio a profundidades que variaram com a fonte de cálcio utilizada. O cloreto de cálcio por ser muito solúvel, associado ao fato do cloreto não reagir com o solo, foi o que atingiu maiores profundidades (150 cm). O sulfato de cálcio também se movimentou, mas ao contrário do cloreto, por ser menos solúvel e pelas reações do sulfato com o solo, resultou numa maior concentração de cálcio na profundidade de 45-60 cm. O carbonato de cálcio foi o que causou o maior aumento no teor de cálcio trocável na camada superficial, porém movimentou-se apenas até 20-25 cm de profundidade. O carbonato é consumido pela reação de neutralização (produto da hidrólise do alumínio) que ocorre na camada superficial do solo. Consequentemente, não havendo um ânion para acompanhar o cálcio, este é adsorvido no complexo coloidal da camada de incorporação, REEVE & SUMNER (32).

Em outro estudo conduzido em colunas à semelhança do anterior, EMBRAPA (8), onde foram aplicadas 8t de calcário dolomítico e superfosfato simples ou superfosfato triplo, para fornecer 1.380 kg/ha de P_2O_5 , os autores mostraram que o superfosfato simples, que contém 47% de gesso, provocou um maior movimento de cálcio mais magnésio no perfil. O resultado destes estudos, quando realizados no campo, tem demonstrado que as produções nas parcelas com superfosfato simples são maiores do que aquelas com superfosfato triplo. A movimentação do cálcio ligado ao sulfato contido no superfosfato simples, acarretaria uma diminuição na saturação de alumínio no subsolo, que por sua vez propiciaria um maior desenvolvimento das raízes em profundidade, permitindo uma melhor e mais uniforme utilização de água em todo o perfil, LOBATO & RITCHIEY (17).

O movimento do cálcio acompanhado de nitrato foi estudado por PLEYSIER & JUO (27) em colunas de solo Typic Paleudult da Nigéria. Os autores constataram que a adição do nitrato de cálcio, seguida pela simulação da precipitação de 2.420mm, resultou numa rápida movimentação do nitrato acompanhado de cálcio, magnésio e alumínio através do perfil. À medida que o nitrato se movimentou através da coluna, houve troca do alumínio pelo cálcio. Parte do cálcio foi retida no solo, e nitrato acompanhado por alumínio, cálcio, magnésio e potássio foi coletado na solução eluída da coluna.

Os resultados da maioria dos estudos indicam que os cloretos e nitratos de cálcio e magnésio são muito solúveis e não apresentam reações específicas com as partículas do solo, movimentan

do-se com relativa facilidade através do perfil, constituindo-se em materiais altamente efetivos na promoção de um movimento fácil do cálcio. No entanto, existe a possibilidade do cálcio lixiviar para além da zona de interesse agronômico a curto prazo. Para manter níveis de cálcio no subsolo em quantidades significativamente acima dos valores normais, é necessário que haja um ânion acompanhante cujas reações químicas com o solo sejam mais fortes do que as do nitrato e cloreto. Este ânion parece ser o sulfato.

2.3. Adsorção e desorção de sulfatos

A exata natureza das reações do sulfato com o solo não é conhecida, mas segundo JOHNSON et alii (14) a adsorção do sulfato está relacionada com o conteúdo de sesquióxidos do solo. Basicamente existem dois mecanismos para a adsorção dos ânions em geral:

- Adsorção não específica, na qual os ânions são presos, na dupla camada difusa, próximo a um coloide de carga positiva;

- Adsorção específica, na qual ânions entram em coordenação com óxidos metálicos (eles se ligam a 2 ou mais íons na estrutura cristalina) e deslocam outro ânion.

Todos os ânions entram em adsorção não-específica, mas nem todos entram em adsorção específica. Os nitratos e cloretos são chamados ânions "indiferentes", porque não são adsorvidos especificamente. Por outro lado, sulfatos e fosfatos são adsorvidos tanto especificamente quanto não especificamente. Isto poderia explicar em parte, as diferenças na mobilidade deste ânions no solo.

Segundo Hingston et alii citado por JOHNSON et alii (14), o mecanismo de adsorção do sulfato envolve a troca de um OH^- coordenado a um átomo de Fe da estrutura do óxido, resultando num aumento do pH, se os níveis de adsorção são elevados. Este mecanismo foi demonstrado por RAJAN (31) e PARFITT & SMART (22) e o aumento esperado no pH foi encontrado por COUTO et alii (6) em seu trabalho com solos brasileiros. Estes autores demonstraram a existência de adsorção de sulfato em dois Oxissolos (Acrohumox e Acrorthox) de São Paulo. Os horizontes Ap adsorveram 0,19 e 0,38 meq/100g de solo de $\text{SO}_4^{=}$ e os horizontes B2, 1,09 e 0,65 meq/100g de $\text{SO}_4^{=}$ respectivamente, de uma solução de sulfato de potássio com uma concentração inicial de sulfato de 2,4mM/litro, que corresponde a aproximadamente 1/50 da concentração de uma solução saturada de sulfato de cálcio. Para estes níveis de adsorção houve um aumento no pH em solução de 4,35 para 4,75 e de 4,65 para 4,75 no Acrohumox e de 5,90 para 6,40 e 5,10 para 5,20 no Acrorthox, respectivamente, nos horizontes B2 e Ap. RITCHEY et alii (40) observaram aumentos variáveis no pH, mas estes estiveram quase sempre entre 0,1 a 0,8 unidades de pH nas camadas onde os níveis de cálcio no solo haviam aumentado em função da adição de sulfato de cálcio. Estes dados evidenciam que o conceito de acidificação do solo pelo uso do gesso normalmente encontrado em literatura oriunda de experimentos desenvolvidos em solos da região temperada, merece reexame para as condições de solos altamente intemperizados da região tropical.

Outro aspecto de grande importância na adsorção do sulfato, dado à baixa CTC a valores de pH baixos dos solos sob cerrado, é que quando o sulfato é adsorvido especificamente pela goethita e hematita, o balanço de carga negativa da superfície destes óxidos aumenta, aumentando conseqüentemente a capacidade em reter cátions destes materiais, Hingston et alii citados por JOHNSON et alii (14). Este fato foi confirmado por MORAIS et alii (20) que verificaram que o sulfato aumentou a carga negativa em diversos solos brasileiros, que por sua vez resultou em um aumento na retenção de cátions.

A quantidade de sulfato adsorvido pelo solo é afetada pela quantidade ou concentração de sulfato inicialmente presente na solução, pelo pH do solo e pela quantidade de fosfato que possa estar presente. Segundo KAMPRATH et alii (15) e COUTO et alii (6) a adsorção de sulfato aumenta com o aumento da concentração de sulfato na solução, e diminui com o aumento do pH e da concentração de fosfato. Isto sugere que a aplicação superficial de calcário ao solo em associação com o gesso poderia aumentar a efetividade de lixiviação do sulfato e conseqüentemente do cálcio a ele ligado. Desta forma, a aplicação de fertilizantes fosfatados produziria o mesmo efeito.

A persistência do CaSO_4 no solo vai depender da taxa de dissolução do gesso adicionado, do grau de adsorção e da taxa da conseqüente desorção. Segundo COUTO et alii (6) a medida que a quantidade de sulfato de cálcio na camada de incorporação decresce o suprimento das camadas subjacentes irá diminuir até que o so

lo contenha apenas o sulfato adsorvido, e, com adições contínuas de água mesmo este sulfato adsorvido será desorvido e irá lixivi ar para camadas mais profundas. Segundo os autores, a extensão do processo de desorção é que irá determinar quão permanente será a mudança das características do solo por uma única adição de sulfa to de cálcio. Seus resultados no entanto, demonstraram que este processo não é rápido, tendo sido observadas concentrações signi- ficantes de cálcio mais magnésio em profundidades de interesse agro nômico, decorridos 6 anos da aplicação do sulfato de cálcio.

2.4. Modificação da saturação de alumínio pela aplicação de sulfato de cálcio.

Diversos estudos têm demonstrado a capacidade do sulfato de cálcio em modificar favoravelmente a saturação de alumínio no subsolo de Oxissolos. Reduções significativas da toxidez de alu mínio através de adições de gesso podem ser obtidas por causa da baixa CTC destes solos, que faz com que pequenos aumentos no teor de cálcio trocável e/ou reduções no alumínio trocável, possibili tadas pela lixiviação do CaSO_4 , produzam efeitos marcantes na sa turação de alumínio.

REEVE & SUMNER (33) com o objetivo de estudar a fixação de fósforo e a toxidez de alumínio em solos da África do Sul, uti lizaram CaCO_3 , CaSO_4 e CaSiO_3 em doses equivalentes a 0, 33, 67 e 100% do necessário para elevar o pH do solo a 6,5. Ao contrário do calcário, o gesso não neutralizou a acidez do solo, mas dimi nuuiu o que o autor chamou de "Índice de Alumínio Trocável" (ex-

traído após 2 minutos de agitação com 0,2N NH_4Cl numa relação solo:solução de 1:10), em todo o perfil, sendo este efeito mais acenutuado com o aumento das doses aplicadas. Segundo os autores desde que o CaSO_4 não possui poder neutralizante, a redução do alumínio trocável seria resultado de uma polimerização deste induzida pelo sulfato, por uma reação de troca com grupos hidroxílicos, resultando num efeito de "auto calagem". A reação é claramente dependente da concentração.

Em outro trabalho os mesmos autores, REEVE & SUMNER (32) , encontraram que apesar da aplicação de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ associado a NH_4Cl e NaNO_3 ter incrementado a lixiviação de bases para as camadas inferiores, um movimento muito maior foi observado nos tratamentos com gesso, onde o total de bases lixiviadas atingiu 80% da quantidade aplicada. // Foi observado que o gesso não alterou a CTC, mas promoveu um acentuado aumento no cálcio trocável e uma diminuição no alumínio trocável, que foi novamente atribuída ao efeito de "auto calagem" associada à perda por lixiviação do alumínio, após a sua substituição pelo cálcio. // Os autores concluíram que apesar da capacidade do gesso em diminuir o alumínio trocável em profundidade ser pequeno, ele é extremamente mais efetivo quando comparado ao calcário e sugeriram uma associação do calcário e do gesso, para atingir os dois objetivos: eliminação do alumínio trocável superficial e sua diminuição nas camadas subsuperficiais.

RITCHEY et alii (40) também observaram reduções significativas da saturação de alumínio em profundidade. Na camada de 60 a 75 cm por exemplo, houve um aumento do cálcio + magnésio de

0,52 meq/100 g, aumento do pH de 0,75 unidades e decréscimo no alumínio trocável de 0,31 meq/100 g. O resultado foi uma diminuição da saturação de alumínio de 64 para 24%, que foi suficiente para promover o crescimento das raízes do milho. Segundo os autores, a diminuição do alumínio trocável deveu-se possivelmente ao aumento de pH resultante do mecanismo de adsorção do sulfato pelos óxidos de ferro e alumínio proposto por RAJAN (31) e PARFITT & SMART (22).

PAVAN et alii (24) em estudos de lixiviação em um Oxisolo da Estação do IAPAR, Londrina, não encontraram efeito no pH e na CTC do solo pela aplicação de gesso (4.267 kg/ha). No entanto, observaram um aumento uniforme no teor de cálcio trocável ao longo de toda a coluna (em torno de 1 meq/100 g) e uma significativa redução do alumínio através do perfil. Foram observadas reduções do alumínio trocável de 1,6 para 0,6 meq/100 g nos 10 cm superficiais da coluna do solo, e de 1,9 para 1,5 meq/100 g na camada de 80-100 cm. Nesta profundidade, estas concentrações de alumínio correspondiam a saturação de 60 e 35%. Cálculos realizados mostraram que 44% do alumínio trocável existente no volume total da coluna (622 meq) foi inativado, mudando para formas insolúveis em KCl e água. Através do uso de um programa de computador - GEOCHEM, os autores mostraram que sob o tratamento com gesso, a percentagem de Al^{+++} , do alumínio solúvel total caiu de 80% para 50% em média em toda a coluna. Este decréscimo foi resultado da formação de espécies de $AlSO_4^+$ e $AlOH^{2+}$. Pela avaliação das quantidades de alumínio lixiviadas e coletadas no percolado, confirmou-se que o decréscimo no alumínio trocável resultante da aplicação de gesso,

não se deveu a perdas por lixiviação, e sim à polimerização do alumínio em formas insolúveis em KCl e H₂O, conforme proposto por REEVE & SUMNER (33).

Trabalhando com três Latossolos de Minas Gerais, ALVES & LOPES (3) também mostraram que o gesso, em doses de 4,6 e 9,6t/ha, efetivamente reduziu a saturação de alumínio à profundidades de até 120 cm, após lenta lixiviação com o equivalente a 1500mm de precipitação, em coluna de solo. Doses equivalentes de calcário só tiveram efeito na camada de incorporação (0-20 cm). Quando foi utilizado um calcário micropulverizado (89% < 250 meshes) no entanto, observou-se um efeito marcante na diminuição da saturação de Al na camada imediatamente abaixo (20-40 cm) da camada de incorporação. Pode-se inferir que a granulometria do calcário possibilitou sua movimentação, possivelmente por mecanismo de arrastamento das partículas mais finas não dissociadas. Os autores sugeriram a utilização combinada de calcário de granulometria comercial, calcário micropulverizado e gesso, incorporados através do processo normal de aração e gradagem, como uma possibilidade de manejo destes solos face os problemas de saturação de alumínio nas camadas subsuperficiais. O calcário para reação na camada de incorporação, o segundo para um possível efeito na camada imediatamente subjacente e o gesso para efeito mais em profundidade.

Outra vantagem da utilização conjunta do calcário e o gesso é o aumento da retenção de Mg e K. REEVE & SUMNER (32) mostraram que a saturação do solo com cálcio através do uso isolado do CaSO₄, conquanto não aumenta a CTC dependente de pH, pode deslo-

car Mg e K e causar perdas desses cátions. Este efeito foi observado por outros autores, QUAGGIO et alii (29), PAVAN et alii (24) RIRIE et alii (35).

RITCHEY et alii (38) mostraram que a lixiviação de K no perfil de um Latossolo Vermelho Escuro reconstruído em coluna foi muito mais severa quando apenas o gesso foi incorporado. A aplicação de sulfato de cálcio combinado com calcário reduziu a lixiviação, enquanto que com a aplicação isolada do calcário o K praticamente não se movimentou durante o período de observação da coluna.

A presente revisão evidencia três pontos importantes:

a) A ação corretiva do calcário, a curto prazo, beneficia normalmente, apenas a camada de solo a qual foi incorporado. Em função de uma granulometria menor, este efeito poderia ser estendido à camada imediatamente abaixo à de incorporação, atingindo a profundidade de 40 cm.

b) O gesso, conquanto não tenha poder de correção, é um material eficiente na promoção de um aumento no teor de cálcio em subsolos ácidos, através da movimentação deste elemento ligado ao sulfato. O aumento no teor de cálcio, com a conseqüente redução na saturação de alumínio, favorece o desenvolvimento radicular das culturas em profundidade, diminuindo as probabilidades de deficiência hídrica durante os veranicos.

c) A utilização isolada do gesso, no entanto, pode provocar o deslocamento do K e Mg, causando a perda destes cátions. Es

te efeito pode ser atenuado pela calagem, através do aumento da CTC do solo, pela liberação de cargas dependentes de pH.

Os dados sugerem a necessidade de um estudo sobre o uso de combinações de calcário e gesso, e seu efeito sobre as características químicas do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras, utilizando-se colunas de material do solo de estrutura deformada, no período de agosto a novembro de 1981.

3.1. Solos - coleta e preparo das amostras

Foi utilizado material de um Latossolo Vermelho Amarelo Câmbico* distrófico textura média (LVm) fase cerrado localizado no município de Itumirim-MG. Este solo se encontra sob vegetação natural.

O material do solo foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, para composição das colunas. Após secagem ao ar o material foi passado em peneira com abertura de 5mm, sendo retiradas as amostras para caracterização física e química. No preparo das amostras para as determinações físicas e químicas seguiu-se o procedimento de secagem ao ar e tamisagem em malha de 2mm, obtendo-se

* Classificado pelo Professor Hércio Andrade - DCS/ESAL.

assim a fração terra fina seca ao ar (TFSA). A análise granulométrica, argila dispersa em água, densidade de partículas e densidade do solo foram feitas segundo metodologia descrita por DAY (7). Ataque sulfúrico, complexo sortivo e pH em água foram feitos segundo metodologia de VETTORI (44). As características físicas, químicas e resultantes do ataque com ácido sulfúrico estão no Quadro 1.

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Foram utilizados dois tipos de calcário com granulometrias diferentes. Um calcário calcítico comercial (CC) com 92% de PRNT e 80,7% < 50 mesh e um calcário calcítico micropulverizado (CM) com 97% de PRNT e 89% < 250 mesh. As características químicas e granulométricas dos calcários estão no Quadro 2.

O cálculo da calagem foi feita com base nos teores de alumínio (Al) e cálcio mais magnésio (Ca + Mg) trocáveis, de acordo com as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS - 3ª aproximação, 1976 (5), corrigindo-se as quantidades para PRNT 100%. Baseado nesta indicação os dois calcários foram empregados em 2 doses: 3 e 6t/ha.

O terceiro material corretivo utilizado foi o gesso (G), empregado em 3 doses; 1, 2 e 4t/ha. Estas dosagens foram calculadas com base em resultados de outros trabalhos de pesquisa com gesso REEVE & SUMNER (32), QUAGGIO et alii (29), PAVAN et alii (24), e dados de um estudo preliminar utilizando os três materiais mencionados, ALVES & LOPES (3). Os resultados da análise química do gesso encontram-se no Quadro 3.

QUADRO 1. Características químicas, físicas e ataque com ácido sulfúrico, do Lvm na camada de 0-20 cm de profundidade (média de 3 repetições).

CARACTERÍSTICAS	Lvm
QUÍMICAS:	
pH H ₂ O	5,0
P (ppm)	1
Al ⁺⁺⁺ (meq/100 cm ³)	0,56
Ca ⁺⁺ (meq/100 cm ³)	0,10
Mg ⁺⁺ (meq/100 cm ³)	0,10
K ⁺ (meq/100 cm ³)	0,06
SO ₄ ⁼ (meq/100 cm ³)	0,02
CTC efetiva (meq/100 cm ³)	0,82
Saturação de alumínio %	68,30
FÍSICAS:	
Densidade do solo (g/cm ³)	1,46
Densidade de partícula (g/cm ³)	2,67
Argila (%)	22,30
Limo (%)	6,30
Areia grossa (%)	2,20
Areia fina (%)	69,20
Argila dispersa em água (%)	12,00
Água retida a 15 atm (%)	8,46
Água retida a 1/10 atm (%)	16,40
ATAQUE SULFÚRICO (D = 1,47)	
SiO ₂ (%)	9,80
Al ₂ O ₃ (%)	12,20
Fe ₂ O ₃ (%)	2,35
TiO ₂ (%)	0,22
P ₂ O ₅ (%)	0,01
Relação SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	1,37
Relação Kr	1,21
Relação Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	8,14
H ⁺ + Al ⁺⁺⁺ (meq/100 g)	3,60

QUADRO 2. Características químicas e granulométricas* do calcário calcítico comercial e calcário calcítico micropulverizado.

Características	Calcário calcítico	Calcário calcítico micropulverizado
<u>Químicas</u>		
CaO%	55,52	52,72
MgO%	0,81	1,21
<u>Granulométricas</u>		
Peneiras-Mesh	Quantidade retida-%	
50	19,30	0,02
100	51,34	0,01
150	10,77	0,00
200	5,61	0,02
250	3,01	11,00
Fundo	9,97	88,95

* Análises realizadas no laboratório de Física e Agrologia do DCS/ESAL, Lavras-1984.

QUADRO 3. Características do gesso.

Características	Porcentagem
Umidade livre	15
CaO	27
S	15
P ₂ O ₅	0,7

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 3 repetições em esquema fatorial (2 x 3 x 4 + 4), sendo 2 níveis de calcário, 3 níveis de gesso e 4 profundidades, acrescido de 1 tratamento "testemunha" onde fez-se apenas a calagem (3t/ha). Este tratamento foi utilizado como ponto de referência para comparação da prática normalmente utilizada para correção do solo e as combinações estudadas. Neste caso, cada uma das profundidades foi considerada no esquema de análise, como um tratamento adicional . Um esquema com as doses e combinações dos corretivos utilizados é apresentado no Quadro 4.

QUADRO 4. Doses e combinações de calcário calcítico comercial, calcário calcítico micropulverizado e gesso aplicadas à camada de 0-20 cm das colunas de solo.

Tratamentos	Corretivos		
	Calcário calcítico comercial (CC)	Calcário calcítico micropulverizado (CM)	Gesso (G)
	-----t/ha -----		
1	1,5	1,5	1,0
2	1,5	1,5	2,0
3	1,5	1,5	4,0
4	3,0	3,0	1,0
5	3,0	3,0	2,0
6	3,0	3,0	4,0
7-Testemunha	3,0	0	0

3.3. Montagem das colunas

As colunas foram montadas em tubos de PVC branco, de 200mm de diâmetro e 80 cm de comprimento, septadas a cada 20 cm (Figura 1). Os septos foram primeiramente lavados e revestidas internamente com "Under Seal" (massa anti-ruído fabricada pela 3 M). A finalidade deste revestimento corrugoso foi facilitar a aderência do material do solo quando do enchimento das colunas, reduzindo-se o escorrimento ao longo da parede interna por ocasião da irrigação e percolação.

O septo basal (60-80 cm) foi preparado colocando-se duas folhas de papel de filtro de filtragem rápida e uma tela de nylon na extremidade inferior, que foram fixadas com o auxílio de um anel de PVC e arame (Figura 1).

Após a preparação de todos os septos basais, procedeu-se ao enchimento dos mesmos usando-se amostras do solo peneiradas e homogeneizadas. A quantidade total de material do solo requerida para encher cada camada de 20 cm foi pré-determinada através de pesagem, após ter sido feita a compactação através de pancadas com martelo de borracha na parede externa da coluna, até atingir peso constante.

O processo prosseguiu conectando-se com fita isolante plástica o septo correspondente à camada de 40-60 cm da coluna ao septo basal, seguido do seu enchimento com material do solo, à semelhança do anterior. Da mesma forma foram conectados e enchidos os seguimentos correspondentes a 20-40 e 0-20 cm da coluna.

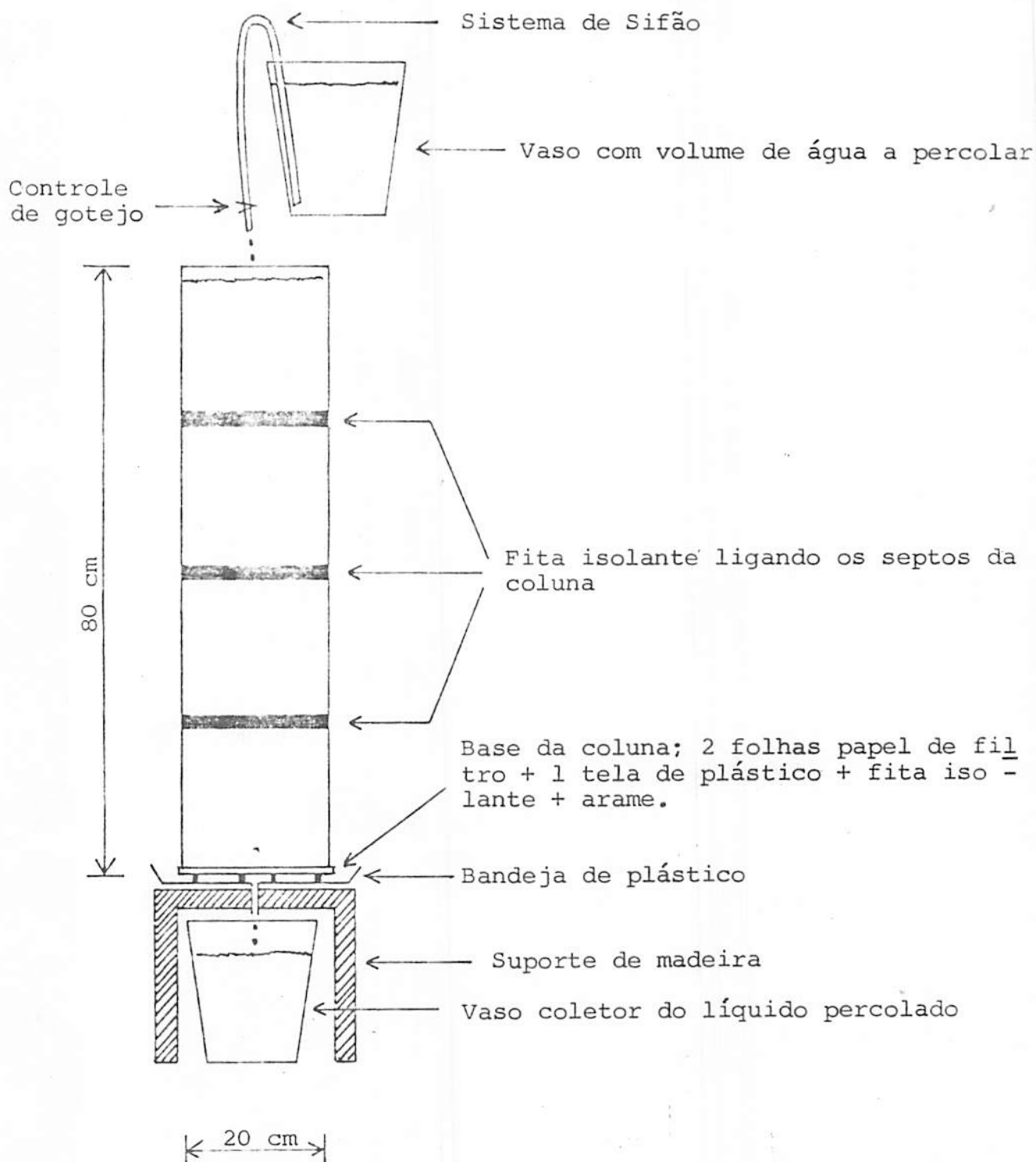


FIGURA 1. Detalhe da montagem das colunas.

Os tratamentos foram misturados ao solo da camada de 0-20 cm, procedendo-se a mistura e homogeneização em uma bandeja de metal coberta com plástico.

3.4. Trabalho de irrigação

Terminada a mistura dos diversos tratamentos, iniciou-se o processo de irrigação, feito por gotejamento lento. Especificamente, o processo consistiu em aplicar-se em cada coluna a cada 3-4 dias, 3.141/ml de água destilada, correspondente a uma precipitação de 100 mm, até atingir o total de 1200mm. As irrigações foram conduzidas, colocando-se a quantidade necessária de água em reservatórios de plástico, suspensos 20 cm acima das colunas, e gotejando a água lentamente, através de um sifão, a uma taxa de aproximadamente 1 gota/segundo, sobre um papel de filtro que cobria a superfície do solo (Figura 1).

3.5. Análise química do solo

Ao término do trabalho de percolação as colunas foram separadas nas camadas de 20 cm, o material do solo deixado a secar, destorroado, peneirado em malha de 2mm e submetido às seguintes determinações:

a) Alumínio trocável: extraído com KCl 1N (relação solo: solução de 1:10) e titulado o extrato com NaOH 0,025N, usando-se Azul de bromotimol como indicador, VETTORI (44).

b) Cálcio e magnésio trocáveis: extraídos de maneira se melhante e medidos por espectrofotometria de absorção atômica, HUNTER (13).

c) Potássio: determinado por fotometria de chama, usando-se como extrator HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N na relação solo:solução de 1:10, VETTORI (44).

d) pH em H₂O: determinado por potenciometria na relação solo:solução de 1:2,5, após equilíbrio por uma hora, VETTORI (44).

e) S-SO₄⁻: por turbidimetria, segundo metodologia descrita por BARDSLEY & LANCASTER (4).

f) CTC efetiva e % Saturação de Alumínio: determinado pelas fórmulas:

$$\text{CTC efetiva (meq/100 cm}^3\text{)} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Al}$$

$$\% \text{ Saturação de Al} = \frac{100 \times \text{Al (meq/100 cm}^3\text{)}}{\text{CTC efetiva (meq/100 cm}^3\text{)}}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado das análises de variância podem ser observados resumidamente no Quadro 5 e individualmente, para cada variável analisada, nos Quadros 1 a 8 do apêndice.

4.1. Efeito dos tratamentos no teor de Ca trocável na coluna de solo.

A análise estatística mostra (Quadro 5 e Quadro 1A) que houve efeito significativo para doses dos dois materiais empregados, mas que o efeito das doses de gesso não foi influenciado pela quantidade de calcário aplicada e vice-versa, mesmo com a variação da profundidade.

Os desdobramentos das interações gesso x profundidade e calcário x profundidade estão representados nas Figuras 2 e 3. Para fins de comparação, foram plotadas também, as médias do tratamento testemunha no qual, como já mencionado, se fez apenas a calagem de acordo com as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (5).

QUADRO 5. Níveis de significância na análise de variância dos teores de Ca, Al, SO₄, K e Mg; da CTC "efetiva", da percentagem de saturação de alumínio e pH em H₂O, obtidas das análises do material de solo nas colunas, após lixiviação com 1200 mm de água.

Causas de variação	G.L.	Variáveis analisadas							
		Ca ²⁺	Al ³⁺	% saturação alumínio	CTC efetiva	pH H ₂ O	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Mg ²⁺
Profundidade	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,80
Doses gesso	2	0,00	0,81	0,00	7,18	0,00	0,00	0,72	0,85
Profundidade x gesso	6	2,26	27,17	0,00	6,62	0,00	0,00	20,77	10,15
Doses calcário	1	0,00	40,04	3,47	0,00	0,00	74,67	16,28	14,83
Profundidade x calcário	3	0,00	6,77	0,00	0,00	0,00	56,55	12,44	1,67
Gesso x calcário	2	9,05	7,34	32,53	7,54	0,08	56,55	84,68	72,87
Profundidade x gesso x calcário	6	86,70	74,20	45,80	97,03	34,65	97,78	88,31	10,15
Fatorial x adicionais	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	12,95
Tratamentos adicionais	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,79	0,43	39,62
ERRO	56								

Pela análise da Figura 2, observa-se que houve uma movimentação do Ca na coluna, demonstrado pelo aumento do Ca trocável nas três doses de gesso quando comparadas à testemunha. Quando, no entanto, se compara o efeito das doses de gesso dentro de cada camada de solo, observa-se a influência da quantidade de gesso aplicada à superfície nas alterações ocorridas nas camadas inferiores. A exceção da camada de incorporação (0-20 cm), houve aumento no teor de Ca trocável com o aumento da dose de gesso. Na camada mais profunda (60-80 cm) este efeito foi marcante. A dose de 1t/ha de gesso não foi suficiente para promover aumento do cálcio nesta profundidade, sendo o teor encontrado praticamente igual ao tratamento testemunha, que recebeu apenas calcário. Com a aplicação do equivalente a 2 e 4t/ha de gesso no entanto, houve aumento no teor de cálcio da ordem de 200 e 400% respectivamente. A dose de 4t/ha de gesso foi estatisticamente diferente da dose de 1t/ha que é igual à testemunha, sendo suficiente para proporcionar aumento de $0,4 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ de Ca trocável em relação a este último, desde a profundidade de 40 até os 80 cm da coluna de solo. Apesar de numericamente pequenos, estes aumentos tornam-se significativos, se levarmos em conta a baixa CTC efetiva deste solo ($0,82 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$). Sob estas condições pequenas variações no teor de Ca trocável podem resultar em alterações marcantes na saturação deste elemento no complexo sortivo. RITCHEY et alii (40) observaram que a adição de 3600 kg/ha de gesso na forma de superfosfato simples a um solo que havia recebido 4500 kg/ha de calcário, promoveu um acréscimo de $0,52 \text{ meq}/100 \text{ g}$ no teor de Ca + Mg trocáveis à profundidade de 60-75 cm. Este aumento associado a va

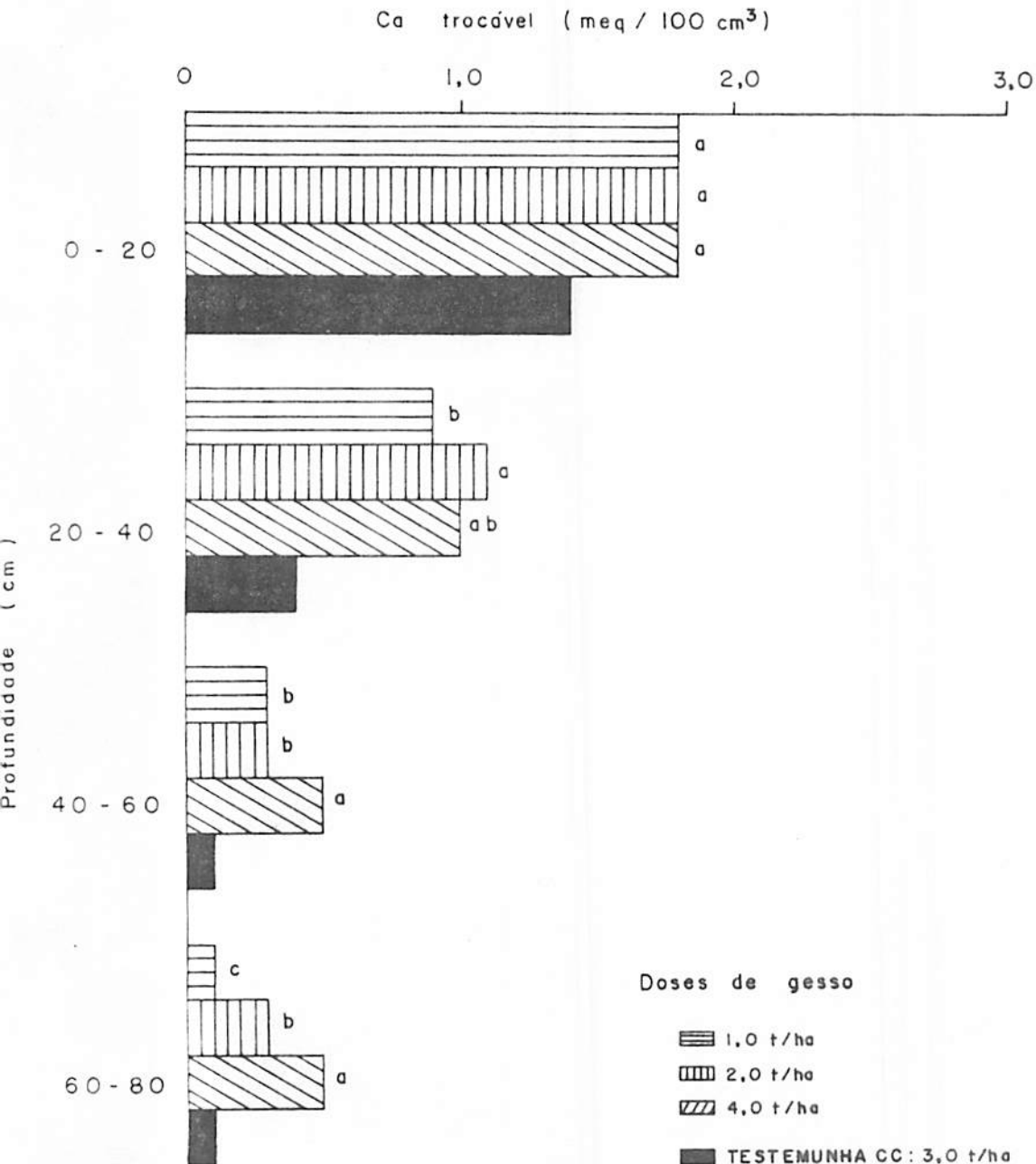


FIGURA 2. Teores de Ca trocável para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de gesso, após lixiviação com 1200 mm H₂O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

riações no pH e reduções no teor de Al trocável, acarretou redução significativa na toxidez do alumínio, que foi suficiente para permitir o crescimento das raízes do milho, observado até a profundidade de 120 cm.

O efeito de doses de calcário (Figura 3) restringiu-se às camadas de 0-20 e 20-40 cm, tendo sido observado nestas profundidades um aumento significativo no teor de Ca trocável quando da aplicação de 6t/ha de calcário ($0,65 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ em média em relação à dose de 3t/ha e $0,85 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ quando comparados à testemunha). Uma vez que a influência do gesso foi a mesma para as duas doses de calcário, conclui-se que a dosagem de calcário é importante em termos de promover um aumento do cálcio na camada imediatamente subjacente à de incorporação. Cabe enfatizar entretanto, que ao duplicar a quantidade de calcário aplicada ao solo, duplicou-se também a quantidade de calcário micropulverizado (Quadro 4). O aumento no teor de Ca trocável na camada de 20-40 cm poderia ser resultado da maior quantidade ou proporção de partículas pequenas de calcário, facilitando o arrastamento de partículas não dissociadas.

Quando se compara o tratamento testemunha com as médias referentes à dose de 3t/ha de calcário (Figura 3) nota-se que houve um pequeno aumento do Ca trocável ao longo de toda a coluna. Como as quantidades de calcário aplicadas foram iguais, conclui-se que o uso da combinação do calcário comercial com o calcário micropulverizado e gesso, foi mais eficiente em promover a movimentação do cálcio em toda a coluna.

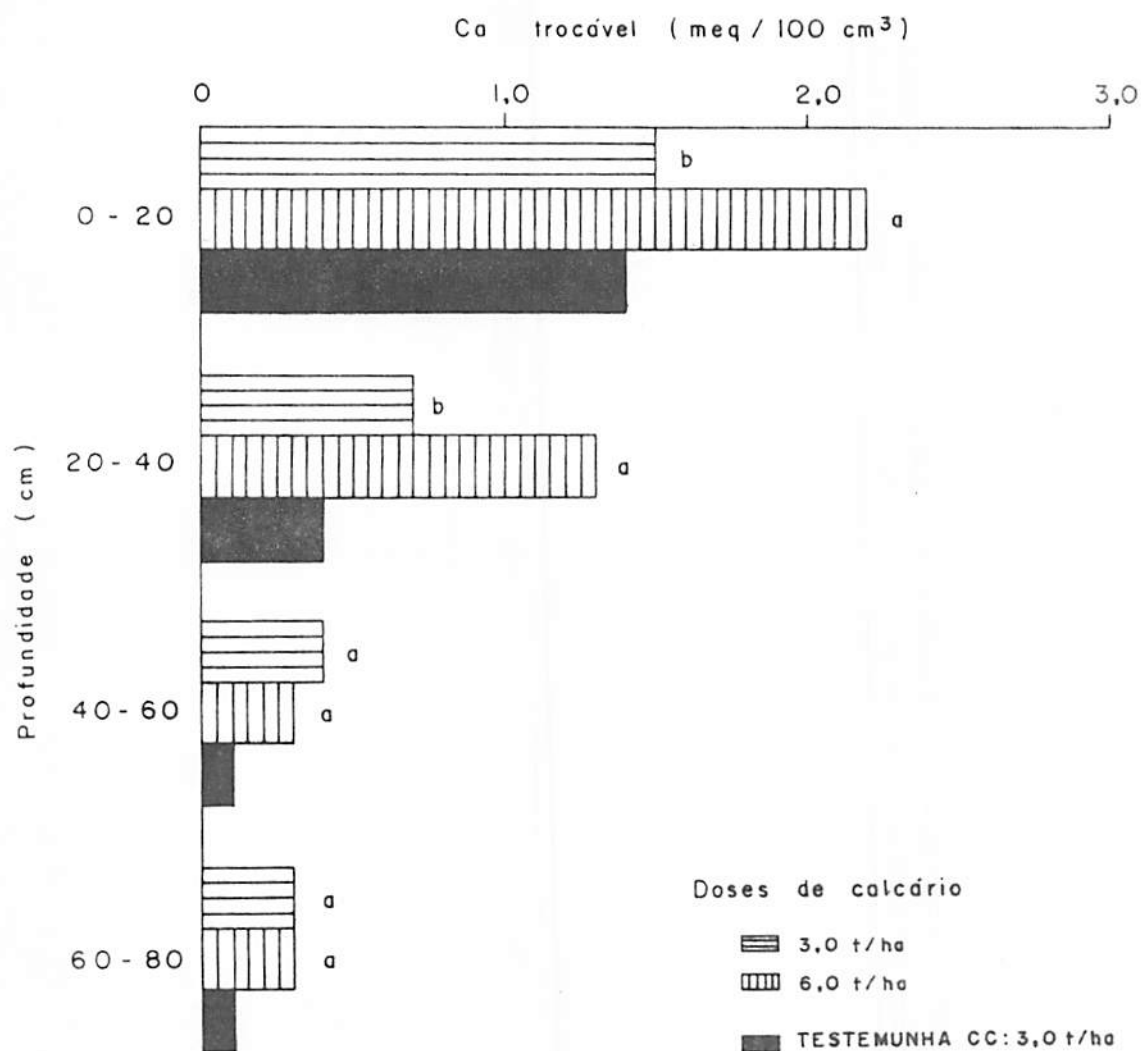


FIGURA 3. Teores de Ca trocável para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de calcário, após lixiviação de 1200 mm H₂O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A comparação das médias dos três primeiros tratamentos do fatorial com o tratamento testemunha, foi feita através de contrastes, sendo representada na Figura 4. A dose de calcário foi a mesma (3t/ha), mas nos tratamentos 1, 2 e 3, a metade deste calcário era micropulverizado e estava associado a 1, 2 e 4t/ha de gesso, respectivamente. Os resultados mostram que não há diferenças no teor de Ca trocável na zona de incorporação (0-20 cm), mas à medida que a profundidade aumenta, o efeito da combinação do calcário micropulverizado e do gesso vai influenciar favoravelmente na movimentação do cálcio. Como a porcentagem de calcário micropulverizado é a mesma em todos os três tratamentos, o aumento de Ca trocável observado nas camadas mais profundas para as doses de gesso, mostra que este material foi o principal causador do movimento descendente do Ca, mas que este efeito só foi significativo para a dose mais elevada de gesso (4t/ha).

Os dados sugerem a efetividade da calagem superficial, principalmente quando a percentagem de calcário de granulometria mais fina é maior, em promover um aumento no teor de cálcio na camada imediatamente abaixo da camada de incorporação, e que este efeito será mais acentuado para doses mais elevadas de calcário, o que está de acordo com os resultados encontrados por ALVES & LOPES (3), GONZALEZ-ERICO et alii (11) e QUAGGIO et alii (28). O gesso produziria modificações principalmente nas camadas mais profundas, evidenciando, conforme demonstrado por RITCHEY et alii (39), a importância do ânion acompanhante na movimentação de cátions no perfil do solo. Segundo PAVAN (23) a mobilidade dos íons Ca^{2+} (ácido forte) no solo depende da presença na solução de uma base for

te. Os íons carbonato e bicarbonato, resultantes da dissolução do calcário, têm curta existência, antes de sua neutralização pela acidez do solo. A aplicação de compostos químicos contendo uma base forte, por exemplo SO_4^{2-} , favorece a formação do par de íons solúvel CaSO_4^0 , o qual, pelas características de carga zero (neutro) pode movimentar-se livremente no perfil de um solo apresentando excessos de cargas negativas ou positivas, promovendo o aumento do teor de cálcio nas camadas mais profundas do solo. Este movimento para as camadas subsuperficiais propicia melhores condições ao desenvolvimento radicular das culturas por diversas razões. Em primeiro lugar por fornecer uma quantidade adicional de cálcio, necessário ao desenvolvimento radicular. O teor de cálcio no solo utilizado era muito baixo ($0,2 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$) e segundo Bøhen citado por RITCHEY et alii (39) para que ocorra o crescimento da raiz, é necessário a presença do cálcio no meio ambiente da extremidade da mesma. Em segundo lugar porque o aumento do nível de Ca na solução do solo, diminui a proporção do Al em relação às bases e isto diminui a sua toxidez.

4.2. Efeito dos tratamentos no teor de Al trocável

A análise de variância (Quadro 5 e Quadro 2A) mostrou significância apenas para profundidade e doses de gesso. Para este último fator, houve uma diminuição no teor de Al trocável com o aumento da dose de gesso. As reduções encontradas são significativas se comparadas com o teor original do solo, $0,56 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$, passando para $0,3$, $0,2$ e $0,2 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ para as doses de gesso

de 1, 2 e 4t/ha, respectivamente. Reduções no Al trocável em solos tratados com gesso também foram observadas por REEVE & SUMNER (32, 33), RITCHEY et alii (40) e PAVAN et alii (24). REEVE & SUMNER (32) atribuíram esta redução à polimerização do Al^{3+} induzida pelo SO_4^{2-} através de ligações de troca com grupos hidroxílicos, que ele chamou de "auto calagem", sendo uma reação dependente de concentração.

Dois pontos importantes devem ser ressaltados. Em primeiro lugar, apesar da análise estatística não ter mostrado diferenças significativas para as variáveis estudadas, os dados originais (Quadro 9A), quando comparados com teor de Al trocável do solo sob condições naturais (Quadro 1), mostram que houve reduções nos teores deste elemento. Estas reduções que a princípio parecem pequenas, tornam-se significantes em função, como já comentado para o cálcio, da baixa CTC efetiva do solo em estudo, característica comum para os Latossolos sob vegetação de cerrado. Em segundo lugar, os teores de Al trocável foram determinados através de uma extração com KCl 1N e posterior titulação da concentração total do elemento na solução. Estes valores dificultam a interpretação em termos de absorção do elemento químico pelas raízes das plantas. Segundo PAVAN (23) o KCl extrai facilmente as formas Al^{3+} e $(OH)_x^- Al$ na solução ou adsorvidas pelos sítios de troca dos colóides do solo e Al ligado através de ligações iônicas a uma base forte. Embora as concentrações totais das espécies de um íon dissolvido na solução de solos heterogêneos possam ser idênticos, a forma química (estado de oxidação) do íon nas soluções pode ser completamente diferente, influenciando na sua absorção pelas raí

zes das plantas.

A relação entre as espécies químicas do alumínio é função do pH. Em pH extremamente ácidos ($< 4,0$) prevalece o domínio da espécie Al^{3+} . Nesta forma, o alumínio está em um estado altamente energético constituindo-se na espécie preferida à absorção pelas raízes das plantas. Qualquer ligação iônica que ocorra entre $Al(OH_2^{0,5+})_6$ com uma base forte presente na solução (OH^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, etc.) alterará a entropia do produto resultante da reação e conseqüentemente poderá diminuir a absorção do alumínio pelas raízes das plantas. Esta conclusão teórica foi comprovada experimentalmente por Pavan & Bingham citado por PAVAN (23) com a diminuição na absorção do alumínio pelas raízes de plântulas de café pela formação do complexo solúvel $AlSO_4^+$.

Com a elevação do pH ocorre a dissociação dos íons H^+ de cada um dos seis grupos de OH_2 ficando o alumínio coordenado gradativamente pelos íons OH^- . A reatividade do alumínio no solo de cresce com a seguinte ordem: Al^{3+} solução $\cong (OH)^- Al$ (monômeros) solução $> Al^{3+}$ trocável $\cong (OH)_x^- Al$ (monômeros) trocável $> (OH)_x^- Al$ (polímeros) $> Al(OH)_3 > Al$ coordenado pelo oxigênio dos minerais (caulinita e gibbsita). A pH 4,6 há predominância das espécies $Al(OH)_2^+$ e $Al(OH)_3^0$, sendo que a pH 5,0, 99% do Al solúvel estaria na forma de $Al(OH)_3^0$. Isto torna-se importante, devido às evidências demonstradas experimentalmente de que apenas as espécies Al^{3+} e $Al(OH)^{2+}$ podem ser absorvidos pelas raízes das plantas (PAVAN, 23).

Vê-se que em função dos vários fatores que afetam a absorção de íons pelas raízes das plantas (pH, composição e força iônica da solução, potencial de oxi-redução, valência e tamanho do íon), a concentração total de Al extraído com KCl 1N é um dado pouco representativo. Pavan e Bingham citado por PAVAN (23) estudaram o efeito dos íons SO_4^{2-} e Cl^- na distribuição das espécies de Al em relação ao crescimento radicular de mudas de cafeeiros e observaram que embora a concentração total do alumínio solúvel (Al^{3+}) fosse maior nos solos tratados com CaSO_4 do que com CaCl_2 , a concentração do Al^{3+} era menor na solução dos solos tratados com gesso. Aproximadamente 60% do Al^{3+} estava complexado com o SO_4^{2-} (AlSO_4^+), o que minimizou os efeitos tóxicos do alumínio nas raízes dos cafeeiros. Sendo assim, poder-se-ia inferir que os teores de alumínio realmente tóxico às plantas seria bem menor do que os valores encontrados através da extração com KCl 1N.

4.3. Efeito dos tratamentos na percentagem de saturação de alumínio.

As três doses de gesso utilizadas foram eficientes em reduzir a saturação do alumínio nas camadas subsuperficiais (Figura 5), seja quando comparadas com a testemunha ou com valor de saturação inicial do solo (68%). As diferenças entre as doses se acentuaram com a profundidade, sendo que nas camadas de 40-60 e 60-80 cm, a dose de 4t/ha de gesso, causou uma redução média de 9% em relação à dose de 1t/ha e de 20% em relação à testemunha.

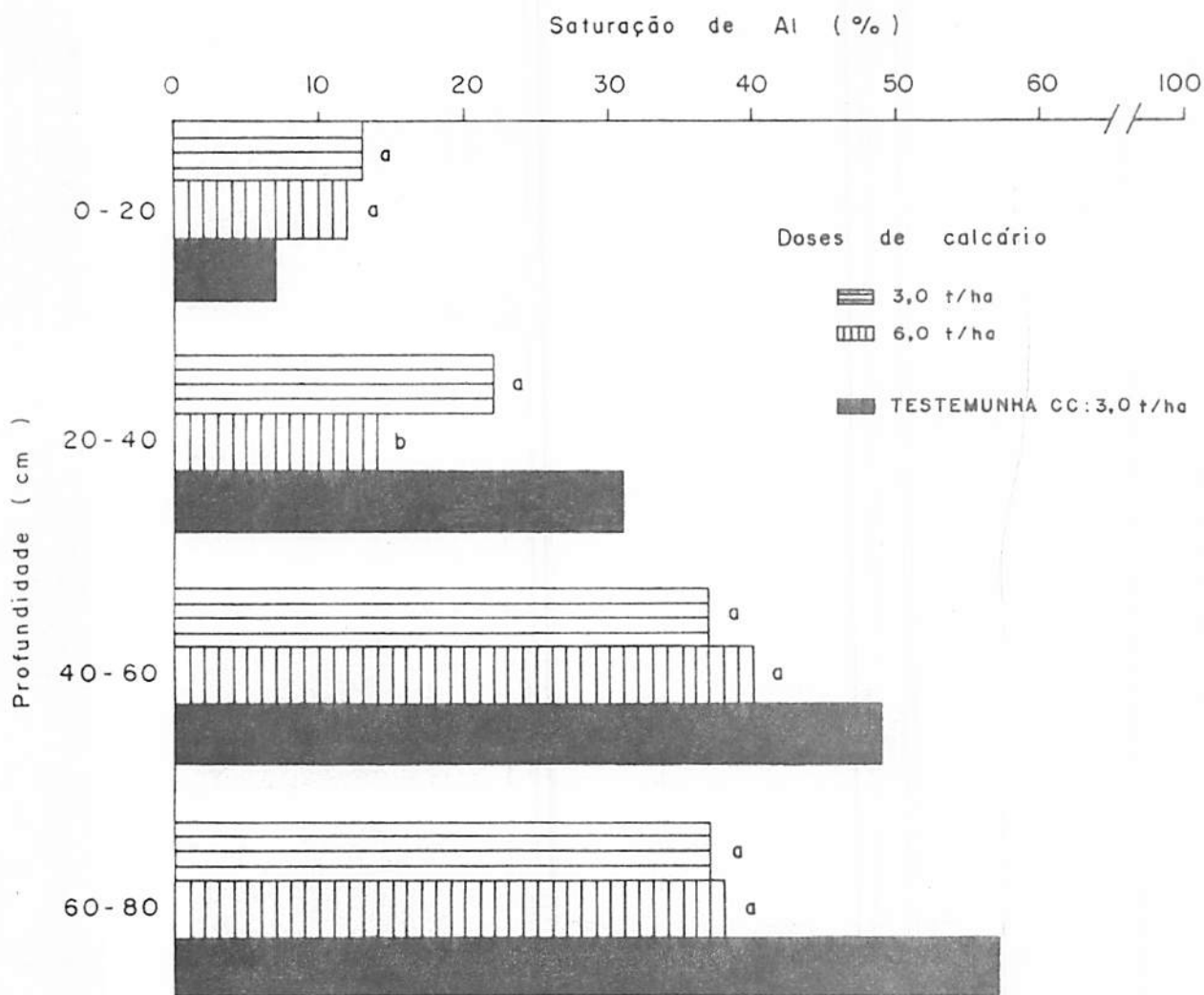


FIGURA 5. Valores de saturação de alumínio para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de gesso, após lixiviação com 1200 mm de H_2O . As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A diferença entre as doses de calcário (Figura 6) foram significativas apenas na profundidade de 20-40 cm, onde a aplicação de 6t/ha reduziu a saturação de alumínio de 22 para 14%. Quando comparadas com as médias do tratamento testemunha, vê-se que as combinações utilizadas foram mais eficientes em reduzir a saturação de alumínio das camadas abaixo da zona de incorporação.

Os resultados foram consistentes com os resultados encontrados para o Ca trocável, demonstrando que a diminuição da saturação de alumínio foi função principalmente do aumento do cálcio, provocado pelas doses de gesso e calcário aplicados à superfície. Devido à baixa CTC efetiva deste solo os aumentos no teor de cálcio associado às pequenas reduções observadas no Al trocável foram suficientes para provocar reduções marcantes na saturação de alumínio. Resultados semelhantes foram encontrados por RITCHEY et alii (40) quando da aplicação superficial de sulfato de cálcio em pastagens de Brachiaria que já haviam recebido calcário.

A redução da saturação de alumínio do subsolo implica na redução da toxidez deste elemento e conseqüentemente favorece o desenvolvimento radicular das plantas em profundidade. Segundo EVANS & KAMPRATH (9) a concentração de alumínio na solução de solos minerais está relacionada com a percentagem da CTC efetiva destes solos, saturada com Al trocável. Os autores mostraram que valores menores que 60% de saturação implicam em baixos valores de alumínio na solução, com menores probabilidades de causar toxidez às plantas cultivadas.

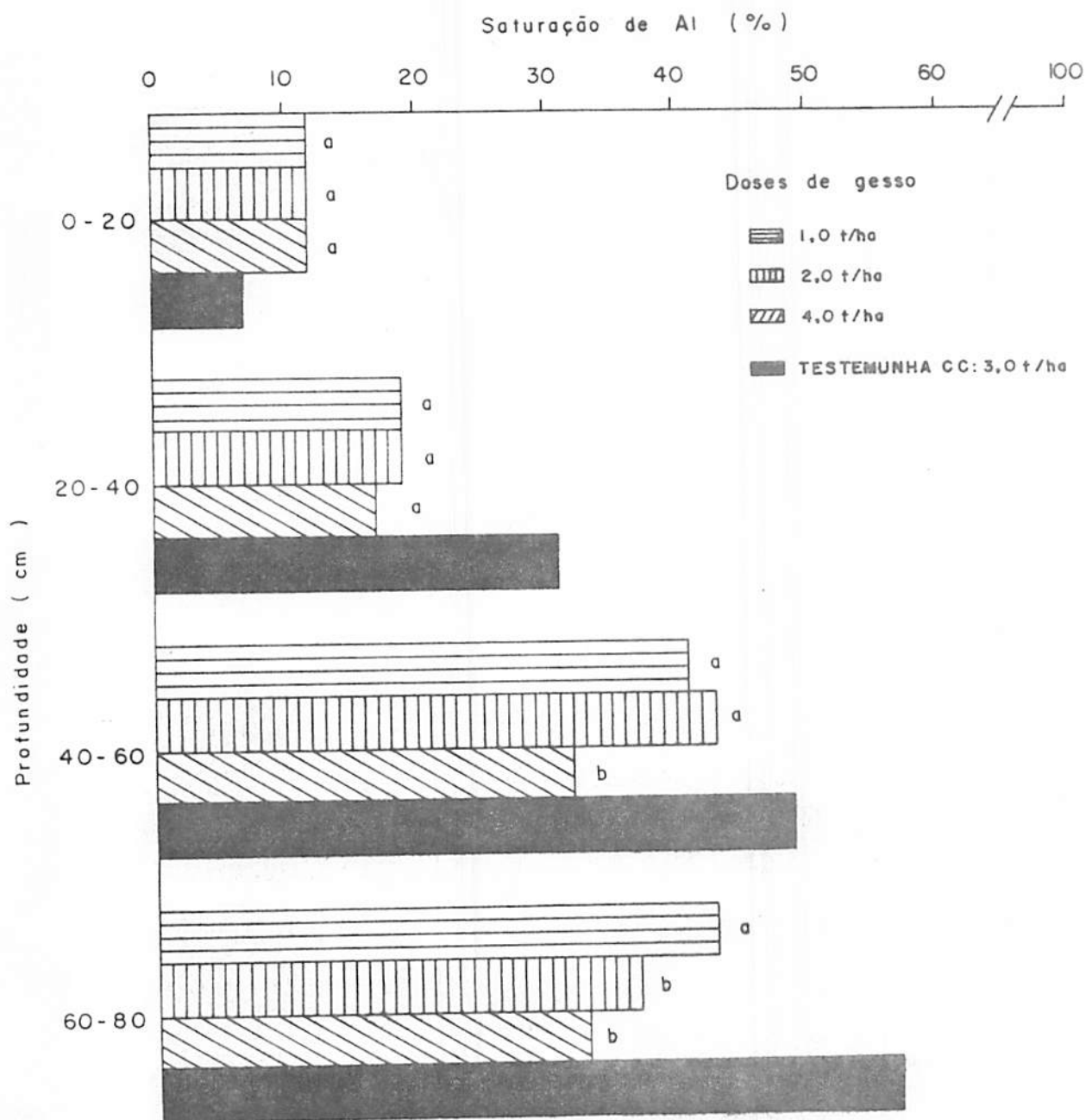


FIGURA 6. Valores de saturação de alumínio para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de calcário, após lixiviação com 1200 mm de H_2O . As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Na Figura 7 estão as médias dos tratamentos 1, 2 e 3 e da testemunha para as profundidades analisadas. Pela comparação através dos contrastes, observa-se que na primeira camada não houve diferença, mas que à partir da camada de 20-40 cm as diferenças se acentuaram. Desde que a quantidade de calcário aplicada é a mesma o efeito favorável pode ser atribuído à presença de calcário micropulverizado e gesso. Por comparação com as Figuras 5 e 6 onde pode-se ver que a influência da dose de gesso foi mais pronunciada nas camadas mais profundas (40-60 e 60-80 cm) e que o efeito das doses de calcário foi maior na camada de 20-40 cm, poder-se-ia inferir que na camada subjacente à de incorporação, a redução da saturação de alumínio em relação ao tratamento testemunha, deveu-se a associação do calcário micropulverizado. Nas outras duas camadas (40-60 e 60-80 cm) o efeito seria em função da associação do gesso. Observa-se novamente, que à medida que a profundidade aumenta a dose de gesso aplicada à superfície torna-se mais importante, sendo que na última camada (60-80 cm) a adição de 4t/ha de gesso ao calcário propiciou uma redução na saturação de alumínio de 30%.

4.4. Efeito dos tratamentos no pH em H₂O

Para o pH em H₂O a análise estatística mostrou significância para os três fatores analisados, e para as interações duplas entre estes fatores (Quadro 5).

Na Figura 8 estão as médias do desdobramento da interação profundidade x doses de gesso. Observa-se que com o aumento da

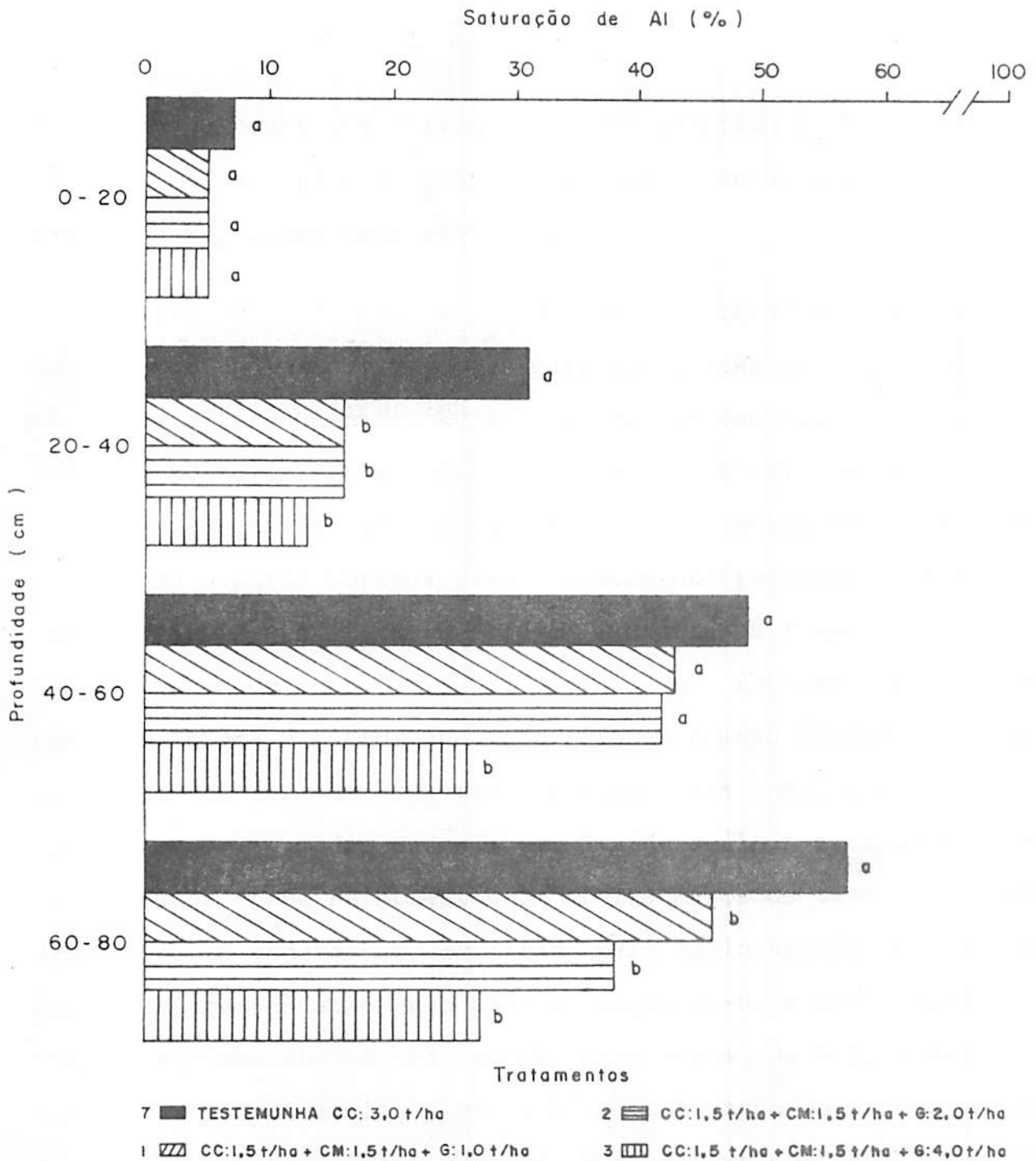


FIGURA 7. Valores de saturação de alumínio, para as camadas de material do solo na coluna, em função dos tratamentos, após lixiviação com 1200 mm H₂O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

profundidade houve uma diminuição do pH atingido à superfície para cada uma das doses de gesso, e que este decréscimo foi mais acentuado nas doses mais elevadas.

Quando se compara a influência das doses de gesso dentro de cada profundidade, vê-se que para as camadas de 0-20 e 20-40 cm não houve diferença entre as doses. Nas camadas mais profundas (40-60 e 60-80 cm) houve uma diminuição do pH com o aumento da dose de gesso, sendo que os valores de pH encontrados foram menores que os valores obtidos para o tratamento testemunha. É interessante observar que os valores de pH encontrados foram maiores que o pH original do solo (pH 5,0), mas nas duas últimas camadas, foram menores que a testemunha, que recebeu apenas calcário. A não significância para as duas camadas superiores possivelmente seja devido ao efeito médio da calagem. Nas duas últimas camadas de solo na coluna, onde se observou um efeito maior do gesso, o abaixamento do pH poderia ser explicado pelo deslocamento do alumínio para a solução do solo pelo cálcio, seguindo-se a sua hidrólise com conseqüente abaixamento do pH. Esta suposição é apoiada pelo aumento de Ca trocável e diminuição da saturação de alumínio provocados pelo gesso nestas camadas, e já discutidos anteriormente. Este efeito foi neutralizado nas duas camadas superiores pelo calcário.

Alguns autores tem diagnosticado um aumento do pH do solo pela adição de gesso, RITCHEY et alii (40), COUTO et alii (6), PARFITT & SMAT (29) . Segundo estes autores o aumento do pH foi resultante da adsorção do sulfato por óxidos de Fe e Al, com conse

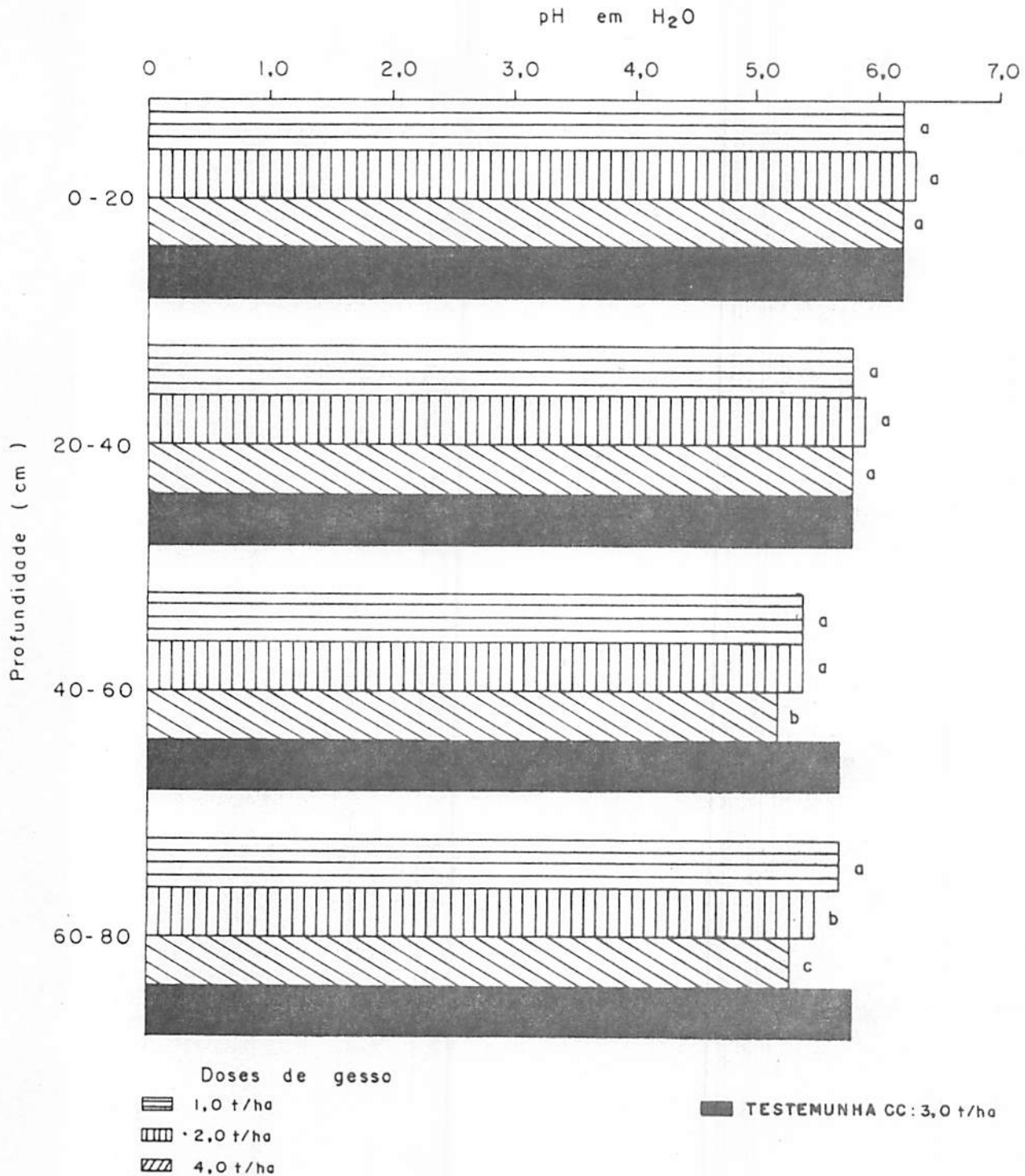


FIGURA 8. Valores de pH em H₂O para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de gesso, após lixiviação de 1200 mm H₂O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

quente liberação do OH^- . Segundo JOHNSON et alii (14) a adsorção de sulfato está relacionada com o conteúdo de sesquióxidos e CO_2 . TO et alii (6) mostraram que os horizontes Ap tem menor capacidade para adsorver sulfatos do que os horizontes B2, em função do maior conteúdo de matéria orgânica do primeiro, que poderia bloquear as cargas positivas da superfície dos óxidos. O solo utilizado neste trabalho foi todo coletado na camada superficial (0-20 cm) e além disto, o ataque sulfúrico (Quadro 1) mostrou um teor excepcionalmente baixo de Fe_2O_3 (2,35%) e Al_2O_3 (12,20%). Por estas razões, pode-se supor que os níveis de adsorção de sulfato foram pequenos, não sendo suficientes para acarretar aumento do pH e neutralizar os efeitos acidificantes da maior concentração de sais decorrentes da movimentação do sulfato de cálcio.

Na Figura 9 estão as médias da interação profundidade x doses de calcário. Houve diferença entre as doses em todas as profundidades, sendo observado um aumento do pH para a dose maior de calcário. Apesar de diferentes estatisticamente, para as camadas de 40-60 e 60-80 cm, este aumento foi muito pequeno, de apenas 0,1 unidades de pH. As diferenças mais acentuadas, foram para as duas camadas superficiais, em função do maior efeito do calcário até esta profundidade.

Quando se compara a testemunha com os três primeiros tratamentos do fatorial (Figura 10), vê-se que na primeira e segunda camada não existe diferença estatística para os valores de pH, em função possivelmente da ação da calagem. Para as camadas de 40-60 e 60-80 cm entretanto, observa-se um decréscimo do pH em relação

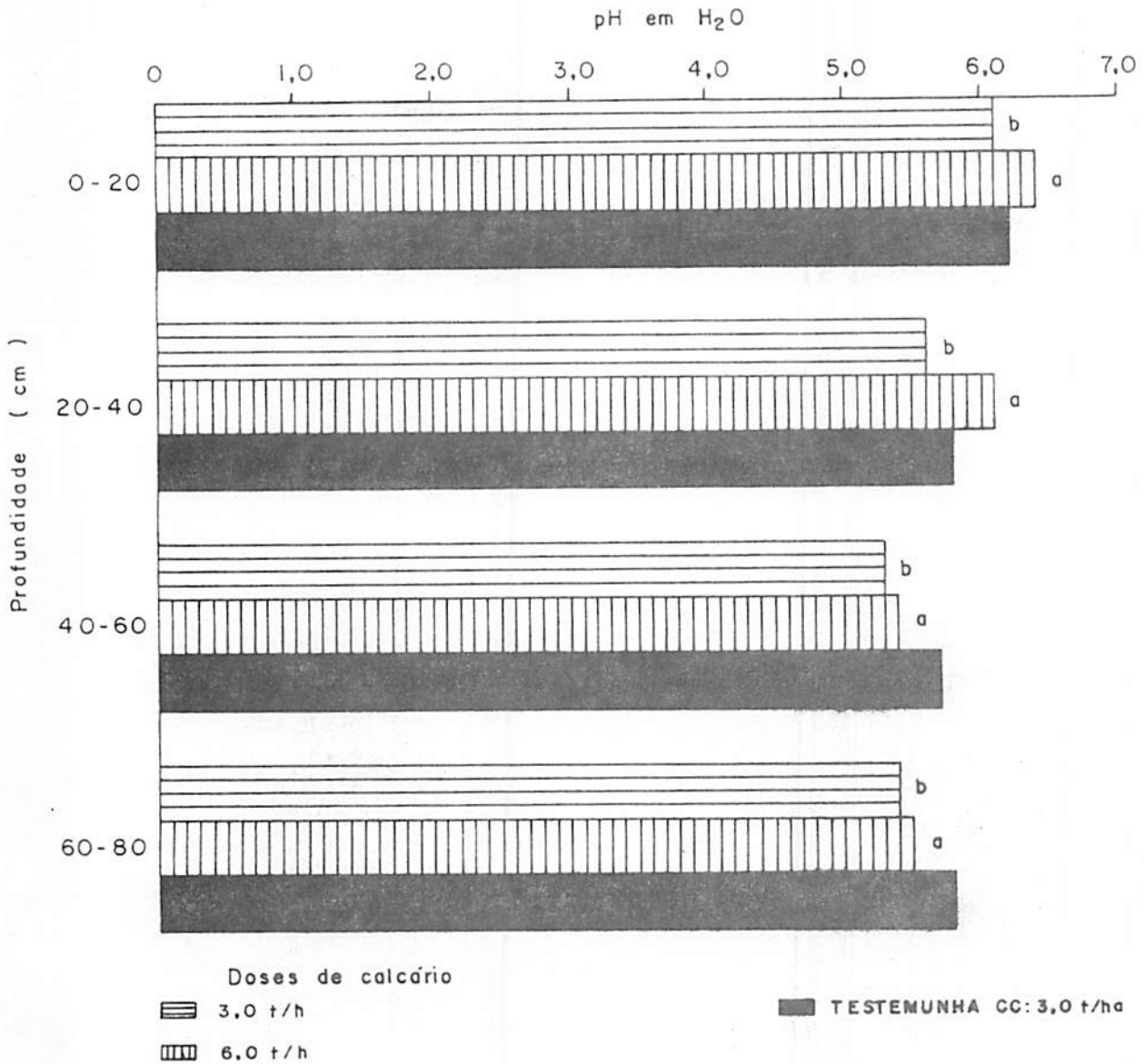


FIGURA 9. Valores de pH em H₂O para as camadas de material do solo na coluna, em função das doses de calcário, após lixiviação de 1200 mm H₂O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

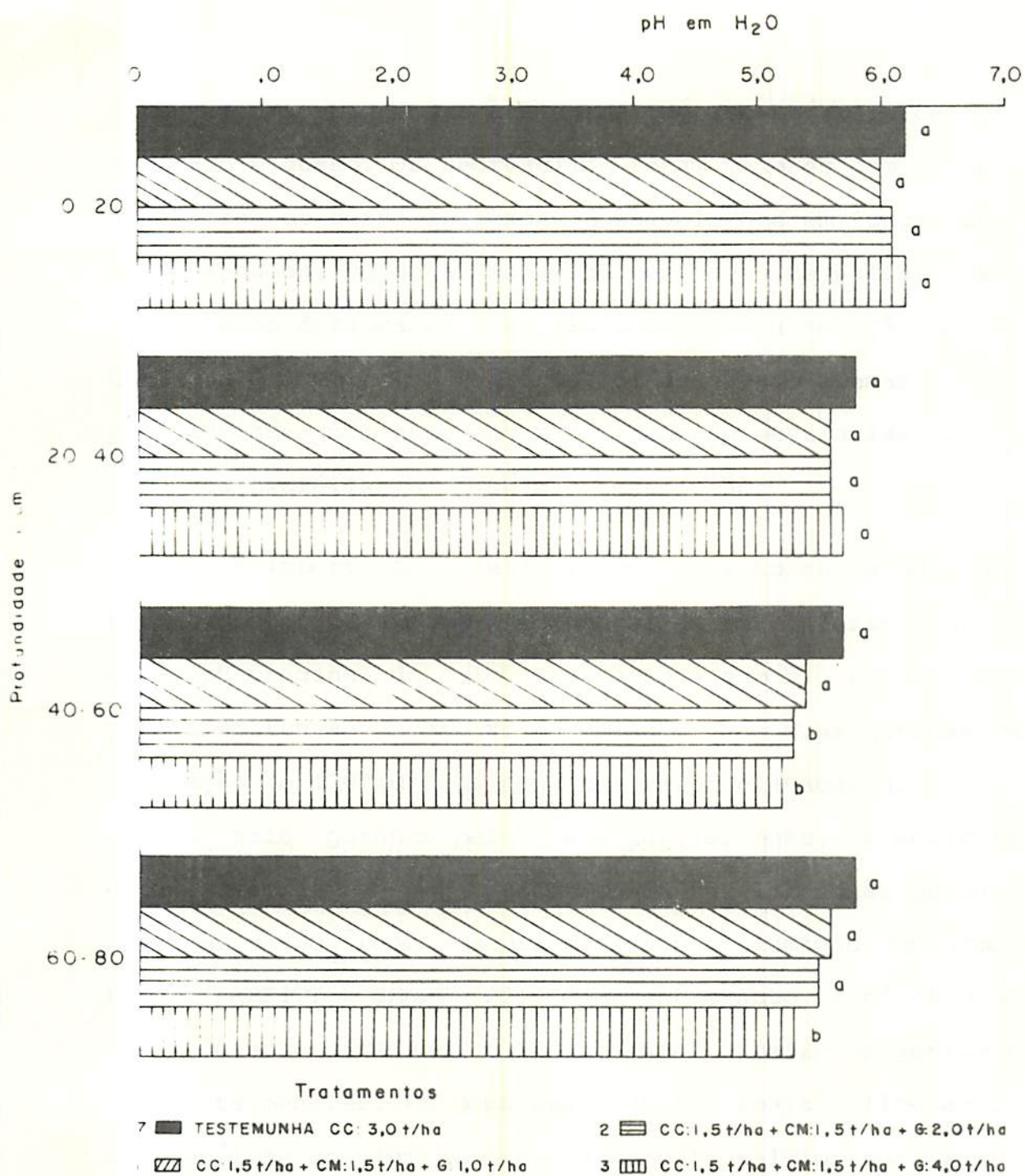


FIGURA 10. Valores de pH em H₂O, para as camadas de material do solo na coluna, em função dos tratamentos, após lixiviação de 1200 mm H₂O. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

à testemunha, para os tratamentos que receberam calcário micropulverizado e gesso. Os decréscimos foram maiores com o aumento da quantidade de gesso aplicada, possivelmente em função dos efeitos já comentados, ou seja, maior concentração de sulfato de cálcio acarretando deslocamento do alumínio para a solução do solo. Como o efeito corretivo do calcário foi observado apenas até 40 cm de profundidade, não houve possibilidade de neutralizar os H^+ originados da hidrólise do alumínio em solução.

É importante enfatizar, que os valores de pH encontrados para todos os tratamentos e camadas de solo, foram sempre maiores que o pH original do solo. Nas camadas superiores a elevação do pH foi em função do efeito da calagem. Nas duas últimas camadas, a aplicação de 1200mm ocasionou uma maior elevação no teor de umidade do solo, gerando pelo menos parcialmente, um ambiente de redução. Associado a isto, poder-se-ia ter liberação de OH^- pela adsorção do SO_4^{2-} pelos óxidos de ferro e alumínio conforme proposto por PARFITT & SMART (22). Como entretanto, o nível de óxido de ferro do solo utilizado é baixo, estas liberações seriam proporcionalmente menores. Em contrapartida ter-se-ia a liberação de H^+ da hidrólise do alumínio deslocado pelo cálcio, que lixiviou junto com o sulfato. O pequeno aumento do pH verificado para as camadas mais profundas poderia então, ser o resultado final do balanço destes três efeitos.

4.5. Efeito dos tratamentos nos teores de SO_4^{2-} , Mg e K trocáveis do solo.

A análise estatística para teor de sulfato, mostra que houve diferença significativa para profundidade e doses de gesso. As médias do desdobramento profundidade x gesso estão no Quadro 6.

QUADRO 6. Efeito de doses de gesso no teor de SO_4^{2-} nas camadas de material do solo nas colunas, após lixiviação com 1200mm de água. Média de 2 níveis de calcário e 3 repetições.

Profundidade (cm)	Doses de gesso (t/ha)		
	1	2	4
	----- SO_4^{2-} (meq/100 cm^3)-----		
0-20	0,02 a	0,03 a	0,03 a
20-40	0,04 a	0,05 a	0,06 a
40-60	0,09 b	0,12 b	0,19 a
60-80	0,09 c	0,15 b	0,27 a

DMS Tukey (5%) para doses de gesso: profundidade = 0,035
Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Observa-se que para cada uma das três doses de gesso aplicadas à superfície, houve aumento do teor de SO_4^{2-} em profundidade, sendo este aumento mais acentuado nas doses mais elevadas. Quando se compara as diferenças entre doses dentro de cada profundidade, observa-se que para as camadas de 0-20 e 20-40 estas diferenças não

foram estatisticamente significantes. Para as camadas de 40-60 e 60-80 cm houve aumento no teor de SO_4^{2-} com o aumento da dose de gesso, sendo que estas diferenças se acentuaram na última camada de solo (60-80 cm). Isto evidencia que o SO_4^{2-} do gesso aplicado à superfície se movimentou com facilidade na coluna de solo, indo gerar modificações nas camadas mais profundas do mesmo, e que estas modificações são altamente dependentes da quantidade aplicada.

Para o potássio, apesar da análise estatística (Quadro 4A) ter mostrado significância para profundidade e doses de gesso, as diferenças foram muito pequenas ($< 0,01 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$) e em termos agronômicos são irrelevantes (Dados originais no Quadro 10A). Confirma-se então, conforme observado por RITCHEY et alii (38), o efeito benéfico da utilização do gesso associado ao calcário, como maneira de evitar as perdas de potássio no solo.

Para o magnésio as diferenças encontradas também foram muito pequenas. (Dados originais no Quadro 11A). Deve-se lembrar, que como se desejava estudar a movimentação do cálcio, utilizou-se um calcário calcítico, com baixíssimo teor de óxido de magnésio.

5. CONCLUSÕES

1. O uso combinado do calcário calcítico comercial, calcário calcítico micropulverizado e gesso, foi eficiente para promover o aumento do teor de cálcio trocável e redução na percentagem de saturação de alumínio nas camadas de solo inferiores à zona de incorporação.

2. As alterações no teor de cálcio trocável e na saturação de alumínio das camadas subsuperficiais foram dependentes das quantidades de calcário e gesso incorporadas na camada de solo superficial.

3. Além dos efeitos na camada de incorporação, o calcário produziu modificação principalmente na camada de solo imediatamente abaixo à esta (até 40 cm de profundidade), ao passo que a ação do gesso se deu nas camadas mais profundas, (de 40 a 80 cm de profundidade).

6. RESUMO

O experimento foi instalado em casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras-MG., com o objetivo de estudar o efeito do uso combinado de doses de calcário de granulometria comercial, calcário micropulverizado e gesso, na lixiviação do cálcio e diminuição da percentagem de saturação de alumínio em profundidade.

Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo Câmbico distrófico textura média fase cerrado, em colunas de PVC branco, de 200mm de diâmetro e 80 cm de comprimento, septadas a cada 20 cm. O septo basal das colunas foi preparado com 2 folhas de papel de filtro e uma tela de nylon na extremidade inferior. Após o seu enchimento com o material de solo, procedeu-se à conexão do septo correspondente à camada de 40-60 cm da coluna ao mesmo, com auxílio de fita isolante, seguido do seu enchimento com o material de solo, assim procedendo-se até o enchimento total da coluna.

Foi utilizado um calcário calcítico de granulometria comercial e um calcário calcítico micropulverizado (89% < 250 mesh),

misturados meio a meio, nas dosagens de 3 e 6t/ha, associados a 1, 2 e 4t/ha de gesso. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 3 repetições em esquema fatorial (2 x 3 x 4+4), sendo 2 níveis de calcário, 3 níveis de gesso e 4 profundidades, acrescido de 1 tratamento testemunha onde fez-se apenas a calagem com calcário comercial, (3t/ha). Este tratamento em cada uma das profundidades foi considerado como um tratamento adicional e será utilizado para comparar a prática normalmente utilizada pelo agricultor para correção do solo e as combinações estudadas. Os tratamentos foram misturados ao solo da camada de 0-20 cm.

As colunas foram percoladas com um total de 1200mm de água, através de um processo de irrigação por gotejamento lento, aplicando-se 100mm a cada 3-4 dias. Ao fim do trabalho de percolação as colunas foram septadas nas camadas de 20 cm, o material do solo deixado a secar, destorroado, peneirado e submetido às análises de alumínio, cálcio, magnésio e potássio trocáveis, pH em água, $S-SO_4^{=}$, e calculadas a CTC efetiva e a % de saturação de alumínio.

Os resultados evidenciaram que o uso combinado de calcário comercial, calcário micropulverizado e gesso foi eficiente em promover o aumento do teor de cálcio trocável nas camadas inferiores de solo na coluna, sendo este aumento acompanhado de reduções marcantes na percentagem de saturação de alumínio. Observou-se uma diferença em profundidade dos efeitos dos corretivos empregados, sendo o calcário responsável pelas modificações ocorridas até a profundidade de 40 cm e o gesso produzindo seus efeitos nas cama

das mais profundas. Os efeitos observados no entanto, foram altamente dependentes da quantidade aplicada à superfície. Não foram observadas modificações significativas nos teores de potássio e magnésio trocáveis do solo, confirmando a conveniência da utilização do gesso em associação ao calcário.

Conclui-se pela possibilidade de uso agronômico do gesso em combinação com calcário para aumentar os níveis de cálcio trocável e reduzir a percentagem de saturação de alumínio nas camadas subsuperficiais do solo. Estes efeitos foram acentuados quando do uso de dose dupla de calcário associada a doses de 2 a 4t de gesso/ha. Com as modificações propiciadas por este tratamento, espera-se um melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas cultivadas, e conseqüentemente melhor aproveitamento da água armazenada no solo, que levaria a uma maior tolerância aos veranicos.

7. SUMMARY

This study was conducted under greenhouse conditions, at the Department of Soil Science, Escola Superior de Agricultura de Lavras, Minas Gerais, Brazil. The objective was to evaluate the combined effects of rates of a commercial lime, a very fine ground lime (89% smaller than 250 meshes), and gypsum on calcium leaching, and reduction of aluminum saturation with soil depth.

Samples of a Cambic Red-yellow Latosol, dystrophic, medium texture, "cerrado" phase, were packed into a 200 mm in diameter and 80 cm height PVC columns, septated at 20 cm intervals. The basal part of the columns was prepared with two filter paper and nylon screen in the extreme inferior. After filling up the basal part, (60-80 cm), the following segment (40-60 cm) was connected with insulation tape and filled up with soil material. The process was repeated until complete filling of the columns.

The lime rates used were 3 and 6t/ha (half commercial and half very fine ground), in combination with 1, 2 and 4t/ha of gypsum. The experimental design was a completely randomized with three replicates in a factorial scheme $2 \times 3 \times 4 + 4$ (2 rates of lime,

3 rates of gypsum 4 depth and additional treatments with 3t/ha of commercial lime mixed to soil material placed in the top layer (0-20 cm) of the column and analysed for each depth).

The soil columns were irrigated with a total of 1200 mm water, by drip irrigation of 100 mm at 3-4 days intervals. At the end of the irrigation and leaching periods the 20 cm columns segments were separated and the soil material from each segment was air dried and analyzed for Al, Ca, Mg and K (exchangeable forms), pH H_2O , $S-SO_4^{=}$. Also it was calculated the effective CEC and % Al saturation.

The results indicated that the combined use of a commercial lime, a very fine ground lime, and gypsum increased exchangeable Ca in the sub-surface layers of the soil column. This effect was also followed by a decrease in % Al saturation. It was also observed differences in depth in relation to the materials used: the effects of lime were observed down to the depth of 40 cm while gypsum had significant effects at layers down below. The effects of the treatments on depth were highly dependent on the rates applied at the top of the column. It was not observed significant changes in the levels of exchangeable K and Mg in the soil. This fact confirm the necessity of using gypsum associated with lime.

It was concluded that combination of lime and gypsum is a viable agronomic technic to increase exchangeable Ca and reduce % Al saturation at sub-surface layers of the soil. As a result of these changes it would be expected a greater development of crop root system, better use of applied fertilizers, and available water in the soil profile.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAMS, F. & LUND, Z.F. Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. Soil Science, Baltimore, 101(3):193-8, Mar. 1966.
2. _____; PEARSON, R.W. & DOSS, B.D. Relative effects of acid subsoils on cotton yields in field experiments and on cotton roots in growth-chamber experiments. Agronomy Journal, Madison, 59(5):453-6, Sept./Oct. 1967.
3. ALVES, H.M.R. & LOPES, A.S. Efeito de corretivos e fertilizantes na redução da percentagem de saturação de alumínio nas camadas subsuperficiais de solos sob cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBCS, 1981. p.95-6.
4. BARDSLEY, C.E. & LANCASTER, J.O. Acetate-soluble sulfate. In: _____ . Methods of soil analysis chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965 . p.1111-3.

5. COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 3ª aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1976 . 80p.
6. COUTO, W.; LATHWELL, D.I. & BOULDIN, D.R. Sulfate sorption by two oxisols and an alfisol of the tropics. Soil Science, Baltimore, 127(2):108-16, Feb. 1956.
7. DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison , American Society of Agronomy, 1965. pt. 1, Cap.43, p.545-66.
8. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório Técnico Anual 1977-1978. Planaltina, 1979. 192p.
9. EVANS, C.E. & KAMPRATH, E.J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(6): 893-6, Nov./Dec. 1970.
10. FREIRE, J.C. Influência da calagem incorporada em duas profundidades na produção de milho e soja em Latossolos sob cerrado em Minas Gerais. In: ESAL, Departamento de Ciência do Solo. Materiais corretivos e correção da acidez de solos sob cerrado; 1979/82. Lavras, 1983. p.72-82. (Relatório final. Convênio Banco do Brasil (FIEPEC) x FAEPE)).

11. GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an oxisol of central Brazil. Soil Science Society of America Journal, Madison, 43(6):1155-8, Nov./Dec. 1979.
12. HOWARD, D.D. & ADAMS, F. Calcium requirement for penetration of subsoils by primary cotton roots. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29(5):558-62, Sept./oct. 1965.
13. HUNTER, H.A. Soil analysis for pH, 1N KCl extractable acidity, NH₄, Ca and Mg. Raleigh, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, N.C.S.U., 1975. 3p. (Mimeografado).
14. JOHNSON, D.W.; COLE, D.W. & GESSEL, S.P. Acid precipitation and soil sulfate adsorption properties in a tropical and in a temperate forest soil. Biotrópica, Fairfax, 11(1):38-42, Mar. 1979.
15. KAMPRATH, E.J.; NELSON, W.L. & FITTS, J.W. The effects of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 20(4):463-6, Oct. 1956.

16. LIGON, W.S. & PIERRE, W.H. Soluble aluminum studies: II Minimum concentrations of aluminum found to be toxic to corn, sorghum, and barley in culture solutions. Soil Science, Baltimore, 34:307-17, 1932.
17. LOBATO, E. & RITCHEY, K.D. Manejo do solo visando melhorar o aproveitamento da água. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 5, Brasília, 1979. Cerrado: uso e manejo. Brasília, Editerra, 1980. p.645-71.
18. LOPES, A.S. Solos sob "Cerrado": características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1983. 162p.
19. McLEAN, F.T. & GILBERT, B.E. Aluminum toxicity. Plant Physiology, Lancaster, 3(3):293-302, Jul. 1928.
20. MORAIS, F.J.; PAGE, A.L. & LUND, L.J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of brazilian tropical soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 40(4):521-7, Jul./Aug. 1976.
21. MORELLI, M.; IGUE, K. & FUENTES, R. Efecto del encalado em el complejo de cambio y movimiento de calcio y magnesio. Turrialba, Putumayo, 21(3):317-22, Jul./Set. 1971.

22. PARFITT, R.L. & SMART, R. St. C. The mechanism of sulfate ad-
sorption on iron oxides. Soil Science Society of America
Journal, Madison, 42(1):48-50, Jan./Feb. 1978.
23. PAVAN, M.A. Aplicação de alguns conceitos básicos da química
na disponibilidade de íons Al^{3+} para as plantas. (Jaboticaba-
bal, 1984). 34p. (Datilografado; apresentado na IX Semana
de Ciência e Tecnologia Agropecuária de Jaboticabal).
24. _____; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of ex-
changeable calcium, magnesium, and aluminum following lime
or gypsum applications to a brazilian oxisol. Soil Science
Society of America Journal, Madison, 48(1):33-8, Jan./Feb.
1984.
25. _____ & IGUE, K. Estudos de calagem em cafeeiros. In: CON-
GRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 4, Caxambu, 1976,
Resumos... Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1976. p.41.
26. PEARSON, R.W.; ABRUNA, F. & VICENT-CHANDLER, Jr. Effect of li-
me and nitrogen applications on downward movement of cal-
cium and magnesium in two tropical soils of Puerto Rico .
Soil Science, Baltimore, 93(2):77-82, Feb. 1962.

27. PLEYSIER, J.L. & JUO, A.S.R. Leaching of fertilizer ions in an Ultisol from the high rainfall tropics: leaching through undisturbed soil columns. Soil Science Society of America Journal, Madison, 45(4):754-60, Jul./Aug. 1981.
28. QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A. & BATAGLIA, O.C. Resposta da soja (Glycine max (L.) Merrill) à aplicação de doses crescentes de calcário em solo latossolo roxo distrófico de cerrado. II. Efeito residual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBSC, 1981. p.46.
29. _____; DECHEN, A.R. & VAN RAIJ, B. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(3):189-94, set./dez. 1982.
30. RAGLAND, J.L. & COLEMAN, N.T. The effect of soil solution aluminum and calcium on root growth. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 23(5):355-57, Sept./Oct. 1959.
31. RAJAN, S.S.S. Sulfate adsorbed on hydrous alumina, ligands displaced, and changes in surface charge. Soil Science Society of America Journal, Madison, 42(1):39-44, Jan./Feb. 1978.

32. REEVE, N.G. & SUMNER, N.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface applied amendments. Agrochemophysica, Pretoria, 4(1):1-6, Jan./Feb. 1976.
33. _____ & _____. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on oxisols in Natal. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(2):263-7, Mar./Apr. 1970.
34. _____ & _____. Lime requirements of Natal oxisols based on exchangeable aluminum. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(4):595-8, Jul./Aug. 1970.
35. RIRIE, D.; TOTH, S.J. & BEAR, F.E. Movement and effect of lime and gypsum in soil. Soil Science, Baltimore, 73(1):23 - 35, Jan. 1952.
36. RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUZA, D.M.G. Manejo do cálcio para o crescimento de raízes em solos de cerrados. Brasília, 1982. n.p. (trabalho apresentado no VI Simpósio sobre Cerrado. Brasília, 1982).
37. _____; _____ & COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisols. Soil Science, Baltimore, 133(6):378-82, June, 1982.

38. RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUZA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBCS, 1981. p.96.
39. _____; _____ & _____. Lixiviação de cálcio e magnésio em solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, Campinas, 1982. Acidez e calagem no Brasil, Campinas, SBCS, 1983. p.109-25.
- x 40. _____; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a brazilian savannah oxisol. Agronomy Journal, Washington, 72(1):40-4, Jan./Feb. 1980.
41. SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York, J. Wiley, 1976. 618p.
42. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DO SOLO. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1978. (Boletim Técnico, 53).
43. SOARES, W.V.; LOBATO, E.; GONZALEZ, E. & NADERMAN Jr. G.C. Liming soils of brazilian cerrado. In: BORNEMIZA, E. & ALVARADO, A. Soil management in tropical América, Raleigh, N.C.S.U., 1975. p.283-99.

44. VETTORI, L. Métodos de análises do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
45. VLAMIS, J. Acid Soil infertility as related to soil - solution and solid-phase effects. Soil Science, Baltimore, 75(5):383-94, May, 1953.
46. WEIR, C.C. Effect of lime and nitrogen application on citrus yields and on the downward movement of calcium and magnesium in a soil. Tropical Agriculture, Trinidad, 51(2):230-4, Apr. 1974.
47. WOLF, J.M. Soil-water relations in Oxisols of Puerto Rico and Brazil. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A. Soil management in tropical América, Raleigh, N.C.S.U., 1975. p.145-54.

APÊNDICE

QUADRO 1. Análise de variância do teor de Ca trocável (meq/100 cm³) no material de solo da coluna, após lixiviação de 1200mm de água. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Nível de significância (%)
Profundidade (A)	3	27,454450	9,151483	0,00
Doses gesso (B)	2	0,521945	0,260972	0,00
Interação A x B	6	0,244722	0,040787	2,26
Doses calcário (C)	1	1,445000	1,445000	0,00
Interação A x C	3	2,105000	0,701667	0,00
Interação B x C	2	0,075833	0,037917	9,05
Interação A x B x C	6	0,037500	0,006250	86,70
Fatorial vs adicional	1	1,280079	1,280079	0,00
Tratamentos adicionais	3	3,409168	1,136389	0,00
Erro	56	0,846669	0,015119	
TOTAL	83	37,420370		

QUADRO 2. Análise de variância do teor de Al trocável (meq/100 cm³) no material de solo da coluna, após lixiviação de 1200mm de água. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Nível de Significância (%)
Profundidade (A)	3	0,990000	0,330000	0,00
Doses gesso (B)	2	0,032500	0,016250	0,81
Interação A x B	6	0,024166	0,004027	27,17
Doses calcário (C)	1	0,002222	0,002222	40,04
Interação A x C	3	0,023333	0,007777	6,77
Interação B x C	2	0,016944	0,008472	7,34
Interação A x B x C	6	0,010833	0,001805	74,20
Fatorial vs adicional	1	0,071428	0,071428	0,00
Tratamentos adicionais	3	0,143333	0,047777	0,00
Erro	56	0,173333	0,003095	
TOTAL	83	1,488096		

QUADRO 3. Análise de variância do teor de Mg trocável (meq/100 cm³) no material de solo da coluna, após lixiviação de 1200mm de água. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Nível de significância (%)
Profundidade (A)	3	0,041528	0,013843	5,80
Doses gesso (B)	2	0,054444	0,027222	0,85
Interação A x B	6	0,058889	0,009815	10,15
Doses calcário (C)	1	0,011250	0,011250	14,83
Interação A x C	3	0,058194	0,019398	1,67
Interação B x C	2	0,003333	0,001667	72,87
Interação A x B x C	6	0,058889	0,009815	10,15
Fatorial vs adicional	1	0,012401	0,012401	12,95
Tratamentos adicionais	3	0,015833	0,005278	39,62
Erro	56	0,293333	0,005238	
TOTAL	83	0,608093		

QUADRO 4. Análise de variância do teor de K trocável (meq/100 cm³) no material de solo da coluna, após lixiviação de 1200mm de água. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Nível de significância (%)
Profundidade (A)	3	0,008239	0,002746	0,00
Doses gesso (B)	2	0,000269	0,000135	0,72
Interação A x B	6	0,000219	0,000037	20,77
Doses calcário (C)	1	0,000050	0,000050	16,28
Interação A x C	3	0,000150	0,000050	12,44
Interação B x C	2	0,000008	0,000004	84,68
Interação A x B x C	6	0,000058	0,000010	88,31
Fatorial vs adicional	1	0,000420	0,000420	0,01
Tratamentos adicionais	3	0,000367	0,000122	0,43
Erro	56	0,001399	0,000025	
TOTAL	83	0,011181		

QUADRO 5. Análise de variância do teor de SO_4^{2-} (meq/100 cm^3) no material de solo da coluna, após lixiviação de 1200mm de água. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Nível de significância (%)
Profundidade (A)	3	0,251682	0,083894	0,00
Doses gesso (B)	2	0,074745	0,037372	0,00
Interação A x B	6	0,060856	0,010143	0,00
Doses calcário (C)	1	0,000068	0,000068	74,67
Interação A x C	3	0,001326	0,000442	56,55
Interação B x C	2	0,000744	0,000372	56,55
Interação A x B x C	6	0,000744	0,000124	97,78
Fatorial vs adicional	1	0,041076	0,041076	0,00
Tratamentos adicionais	3	0,000025	0,000008	99,79
Erro	56	0,036199	0,000646	
TOTAL	83			

QUADRO 6. Análise de variância da percentagem de saturação de alumínio no material de solo da coluna, após lixiviação de 1200mm de água. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Nível de significância (%)
Profundidade (A)	3	9720,1040	3240,0350	0,00
Doses gesso (B)	2	349,7248	174,8624	0,00
Interação A x B	6	394,9858	65,8320	0,00
Doses calcário (C)	1	40,8387	40,8387	3,47
Interação A x C	3	322,2215	107,4072	0,00
Interação B x C	2	19,9886	9,9943	32,53
Interação A x B x C	6	50,4443	8,4074	45,80
Fatorial vs adicional	1	799,2500	799,2500	0,00
Tratamentos adicionais	3	2060,8040	686,9346	0,00
Erro	56	488,4995	8,7232	
TOTAL	83	14246,8400		

QUADRO 7. Análise de variância dos valores de CTC efetiva (meq/100 cm³) no material de solo da coluna, após lixiviação com 1200mm de água. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Nível de significância (%)
Profundidade (A)	3	17,371480	5,790492	0,00
Doses gesso (B)	2	0,118033	0,059017	7,18
Interação A x B	6	0,270733	0,045122	6,62
Doses calcário (C)	1	1,015313	1,015313	0,00
Interação A x C	3	1,438182	0,479394	0,00
Interação B x C	2	0,115733	0,057867	7,54
Interação A x B x C	6	0,027655	0,004609	97,03
Fatorial vs adicional	1	0,542145	0,542145	0,00
Tratamentos adicionais	3	2,468366	0,822789	0,00
Erro	56	1,196867	0,021373	
TOTAL	83	24,564510		

QUADRO 8. Análise de variância dos valores de pH em H₂O no material de solo nas colunas, após lixiviação com 1200mm de água. Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Nível de significância (%)
Profundidade (A)	3	8,668332	2,889444	0,00
Doses gesso (B)	2	0,328610	0,164305	0,00
Interação A x B	6	0,382500	0,063750	0,00
Doses calcário (C)	1	0,980000	0,980000	0,00
Interação A x C	3	0,383667	0,128889	0,00
Interação B x C	2	0,125833	0,062916	0,08
Interação A x B x C	6	0,054167	0,009028	34,65
Fatorial vs adicional	1	0,223144	0,223144	0,00
Tratamentos adicionais	3	0,336639	0,112213	0,00
Erro	56	0,439903	0,007855	
TOTAL	83	11,925290		

QUADRO 9. Teores de Al trocável no material de solo da coluna em função dos tratamentos aplicados à superfície e após lixiviação com 1200mm H₂O. Lavras-MG. 1984.

Tratamentos	Profundidades (cm)	Al ³⁺ meq/100 cm ³		
		Repetições		
		I	II	III
1	0-20	0,1	0,1	0,1
	20-40	0,1	0,2	0,2
	40-60	0,3	0,4	0,4
	60-80	0,4	0,4	0,4
2	0-20	0,1	0,1	0,1
	20-40	0,2	0,2	0,2
	40-60	0,4	0,3	0,4
	60-80	0,4	0,4	0,4
3	0-20	0,1	0,1	0,1
	20-40	0,1	0,2	0,1
	40-60	0,3	0,2	0,3
	60-80	0,3	0,3	0,2
4	0-20	0,1	0,1	0,1
	20-40	0,1	0,1	0,1
	40-60	0,5	0,3	0,4
	60-80	0,3	0,4	0,5
5	0-20	0,1	0,1	0,1
	20-40	0,1	0,1	0,1
	40-60	0,4	0,4	0,3
	60-80	0,3	0,3	0,3
6	0-20	0,1	0,1	0,1
	20-40	0,1	0,1	0,1
	40-60	0,3	0,3	0,4
	60-80	0,3	0,4	0,3
7	0-20	0,1	0,1	0,2
	20-40	0,3	0,2	0,5
	40-60	0,4	0,4	0,4
	60-80	0,4	0,3	0,5

QUADRO 10. Teores de K trocável no material de solo da coluna em função dos tratamentos aplicados à superfície e após lixiviação com 1200mm em H₂O. Lavras-MG. 1984.

Tratamentos	Profundidades (cm)	K ⁺ meq/100 cm ³		
		Repetições		
		I	II	III
1	0-20	0,04	0,04	0,04
	20-40	0,04	0,03	0,04
	40-60	0,05	0,04	0,06
	60-80	0,07	0,07	0,07
2	0-20	0,04	0,04	0,04
	20-40	0,04	0,03	0,03
	40-60	0,04	0,04	0,04
	60-80	0,06	0,07	0,07
3	0-20	0,04	0,04	0,04
	20-40	0,04	0,03	0,03
	40-60	0,04	0,05	0,04
	60-80	0,06	0,06	0,06
4	0-20	0,04	0,04	0,04
	20-40	0,03	0,04	0,04
	40-60	0,05	0,04	0,04
	60-80	0,06	0,06	0,08
5	0-20	0,04	0,04	0,04
	20-40	0,03	0,04	0,04
	40-60	0,04	0,04	0,04
	60-80	0,06	0,06	0,06
6	0-20	0,04	0,04	0,04
	20-40	0,04	0,04	0,03
	40-60	0,04	0,04	0,03
	60-80	0,06	0,05	0,06
7	0-20	0,04	0,04	0,05
	20-40	0,05	0,05	0,05
	40-60	0,06	0,05	0,06
	60-80	0,06	0,05	0,06

7	0-20	0,3	0,3	0,3
	20-40	0,2	0,2	0,3
	40-60	0,2	0,2	0,3
	60-80	0,2	0,1	0,3

1. The first part of the report deals with the general principles of the method.
 2. The second part describes the apparatus used in the experiments.
 3. The third part contains the results of the measurements.
 4. The fourth part discusses the errors and the accuracy of the results.
 5. The fifth part concludes the report.

The following table shows the results of the measurements. The first column gives the value of the parameter α , the second column gives the value of the parameter β , and the third column gives the value of the parameter γ . The values are given in degrees.

Repetitions	1	2	3
0-20	0.2	0.2	0.2
20-40	0.2	0.2	0.2
40-60	0.2	0.2	0.2
60-80	0.2	0.2	0.2
0-20	0.2	0.2	0.2
20-40	0.2	0.2	0.2
40-60	0.2	0.2	0.2
60-80	0.2	0.2	0.2
0-20	0.2	0.2	0.2
20-40	0.2	0.2	0.2
40-60	0.2	0.2	0.2
60-80	0.2	0.2	0.2
0-20	0.2	0.2	0.2
20-40	0.2	0.2	0.2
40-60	0.2	0.2	0.2
60-80	0.2	0.2	0.2
0-20	0.2	0.2	0.2
20-40	0.2	0.2	0.2
40-60	0.2	0.2	0.2
60-80	0.2	0.2	0.2
0-20	0.2	0.2	0.2
20-40	0.2	0.2	0.2
40-60	0.2	0.2	0.2
60-80	0.2	0.2	0.2

QUADRO 11. Teores de Mg trocável no material de solo da coluna em função dos tratamentos aplicados à superfície e após lixiviação de 1200mm em H₂O. Lavras-MG. 1984.

Tratamentos	Profundidades (cm)	Mg ⁺⁺ meq/100 cm ³		
		Repetições		
		I	II	III
1	0-20	0,2	0,3	0,3
	20-40	0,3	0,3	0,3
	40-60	0,2	0,2	0,2
	60-80	0,3	0,3	0,3
2	0-20	0,2	0,2	0,3
	20-40	0,2	0,1	0,3
	40-60	0,2	0,1	0,1
	60-80	0,2	0,2	0,2
3	0-20	0,2	0,1	0,3
	20-40	0,3	0,1	0,3
	40-60	0,2	0,2	0,1
	60-80	0,2	0,3	0,1
4	0-20	0,3	0,2	0,0
	20-40	0,3	0,3	0,2
	40-60	0,3	0,2	0,3
	60-80	0,2	0,2	0,2
5	0-20	0,2	0,1	0,0
	20-40	0,2	0,2	0,2
	40-60	0,1	0,1	0,1
	60-80	0,3	0,4	0,3
6	0-20	0,1	0,2	0,0
	20-40	0,1	0,1	0,3
	40-60	0,2	0,3	0,3
	60-80	0,2	0,2	0,1
7	0-20	0,3	0,3	0,3
	20-40	0,2	0,2	0,3
	40-60	0,2	0,2	0,3
	60-80	0,2	0,1	0,3