

MARIA BEATRIZ AMARANTE BOTELHO DE ALVARENGA PINTO

EFEITO RESIDUAL DA CALAGEM, ADUBAÇÃO FOSFATA-
DA CORRETIVA E GESSO AGRÍCOLA NA DINÂMICA DE
BASES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO E
SUBSOLO.

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 das Plantas, para obten-
ção do grau de MESTRE.

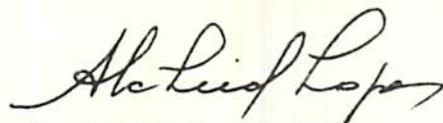
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1989

Efeito residual da calagem, adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola na dinâmica de bases e certas características químicas do solo e subsolo.

APROVADA:



Prof. ALFREDO SCHEID LOPES

Orientador



Prof. JOÃO BATISTA SOARES DA SILVA



Prof. FRANCISCO DIAS NOGUEIRA

... ..
... ..
... ..

[Handwritten signature]
... ..

[Handwritten signature]
... ..

[Handwritten signature]
... ..

A memória de meu pai Jorge,

A minha mãe Elza,

A Tia Nini.

OFEREÇO

Ao meu esposo Marcus

E meus filhos Eduardo e Debora.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

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

A Petrofértil pelo apoio financeiro para execução deste trabalho.

Ao Professor Alfredo Scheid Lopes pela orientação e amizade. E aos Professores João Batista Soares da Silva, Dr. Francisco Dias Nogueira e Geraldo Aparecido de Aquino Guedes pela colaboração, sugestões e amizade.

A todos os professores, funcionários e colegas do Departamento de Ciência do Solo pela dedicação, amizade e agradável convívio durante a realização deste curso.

SUMARIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Toxidez de Alumínio e Crescimento Radicular.....	5
2.2. Deficiência de Cálcio e Crescimento Radicular.....	8
2.3. Alternativas para Melhorar o Desenvolvimento de Raízes em Profundidade.....	11
2.4. Efeito da Calagem Associada à Aplicação de Fertilizantes.....	15
2.5. O Gesso Agrícola.....	19
2.5.1. Características do Gesso Agrícola.....	19
2.5.2. Química do Gesso no Solo.....	20
2.5.2.1. Dissociação.....	20
2.5.2.2. Troca Iônica do Ca^{+2} e SO^{-2} e Reação do Solo.....	21
2.6. Adsorção e Desorção de Sulfato.....	23
2.7. Uso Agrônomico do Gesso Agrícola.....	27
2.7.1. Efeito Fertilizante.....	27
2.7.2. Efeito Corretivo.....	28
2.7.2.1. O Gesso e a Correção do Alumínio Subsuperficial.....	29
2.8 Considerações Gerais.....	34

	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1. Aspectos Gerais.....	36
3.2. Delineamento Experimental.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. Efeito dos Tratamentos no Teor de Cálcio Trocável no Perfil do Solo.....	42
4.2. Efeito dos Tratamentos no Teor de Magnésio Trocável no Perfil do Solo.....	48
4.3. Efeito dos Tratamentos no Teor de Alumínio Trocável no Perfil do Solo.....	52
4.4. Efeito dos Tratamentos na Percentagem de Saturação de Alumínio no Perfil do Solo.....	56
4.5. Efeito dos Tratamentos no pH em Água no Perfil do Solo.....	60
4.6. Efeito dos Tratamentos no Teor de $S-SO_4^-$ no Perfil do Solo.....	64
4.7. Efeito dos Tratamentos no Teor de Potássio Solúvel no Perfil do Solo	68
5. CONCLUSÕES.....	72
6. RESUMO.....	74
7. SUMMARY.....	78
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Distribuição do cálcio trocável ($\text{meq}/100\text{cm}^3$), em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho.....	46
2. Distribuição do magnésio trocável ($\text{meq}/100\text{cm}^3$), em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho.....	51
3. Distribuição do alumínio trocável ($\text{meq}/100\text{cm}^3$), em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho.....	55
4. Distribuição da percentagem de saturação de alumínio, em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho.....	59

Figura

Página

5. Distribuição dos valores de pH em água, em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho.....63
6. Distribuição do $S-SO_4^{=}$ (ppm), em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho.....67
7. Distribuição do potássio solúvel (ppm), em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho.....71

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1. Caracterização química do solo sob condições naturais, por camadas (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade).....	37
2. Esquema dos tratamentos (C - AFC - G).....	38
3. Resumo das análises de variância dos teores de Ca, Mg, K, Al, S-SO ₄ ⁻ , pH em água, % de saturação de alumínio (m%), obtidos das análises de solo, nas várias profundidades e nas três épocas de amostragem.....	44
4. Teores de Ca trocável (meq/100cm ³) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem.....	45
5. Teores de Mg trocável (meq/100cm ³) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem.....	50

Quadro	Página
6. Teores de Al trocável ($\text{meq}/100\text{cm}^3$) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem.....	54
7. Percentagem de saturação de alumínio nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem.....	58
8. Valores de pH em água nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem.....	62
9. Teores de S-SO_4^- (ppm) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem.....	66
10. Teores de K solúvel (ppm) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem.....	70

1. INTRODUÇÃO

A região dos cerrados, ocupando 180 milhões de hectares do território nacional, dos quais 50 milhões se constituem de terras aráveis, tem sido considerada como uma das grandes áreas para expansão da fronteira agrícola no País, EMBRAPA (19).

Entretanto, as condições de alta percentagem de saturação de alumínio e baixo conteúdo de cálcio e magnésio nas camadas subsuperficiais do solo é uma constante da região. Estas características são agravadas com a ocorrência de curtos períodos de seca ("veranico") com duração de duas a três semanas, quando o teor de umidade do solo sofre grande redução, em decorrência de sua baixa capacidade de retenção de água. Portanto as condições do solo e do clima podem limitar o desenvolvimento radicular das plantas. É desejável que as plantas tenham um sistema radicular bem desenvolvido, ocupando um maior volume de solo e atinjam uma profundidade maior para que possam absorver água e nutrientes das camadas subsuperficiais, nos períodos de "veranico", reduzindo, assim, os efeitos

adversos das estiagens.

Técnicas de manejo que proporcionem uma redução da saturação de alumínio, e maior disponibilidade de cálcio nas camadas subsuperficiais possibilitariam um desenvolvimento radicular em maiores profundidades, para que as plantas, ocupem um maior volume de solo, absorvam mais nutrientes e, principalmente, água dessas camadas, nos períodos de veranicos.

Neste contexto, dados de pesquisas recentes permitem enfatizar dois pontos da maior relevância em relação a este assunto:

- a) Deficiência de cálcio nas camadas subsuperficiais na maioria dos solos sob cerrado ($<0,5 \text{ meq Ca}^{++}/100 \text{ cm}^3$), é uma das causas, talvez a mais importante, do pouco desenvolvimento das raízes de plantas cultivadas nesta região, HOWARD & ADAMS (34); RITCHEY *et alii* (66);
- b) O uso de gesso agrícola, que apresenta 25% de CaO na sua composição, é uma prática eficiente para manter níveis de cálcio na solução do solo das camadas subsuperficiais, compatíveis com um desenvolvimento mais adequado do sistema radicular, RITCHEY *et alii* (70); EMBRAPA (19); ALVES (3); GUIMARÃES (29); PAVAN (52).

Outras evidências tem comprovado, também, que além de ser um carreador de cálcio para camadas subsuperficiais do solo, o gesso aplicado à superfície promove a complexação e polimerização de Al^{+++} para as formas não tóxicas, reduzindo, sensivelmente, a dominância de formas nocivas no complexo de troca das camadas mais profundas, RITCHEY et alii (70); PAVAN et alii (55).

Por outro lado, alguns estudos tem mostrado que a aplicação isolada de gesso promove também a lixiviação do potássio e do magnésio, RITCHEY et alii (68); PAVAN et alii(55); QUAGGIO et alii (61). Esta característica é ainda mais grave em solos pobres em bases. Por esta razão, estes autores sugeriram o uso do gesso em combinação com calcário e de preferência dolomítico.

Muitos pesquisadores tem estudado a química do gesso e seus efeitos no solo, RITCHEY et alii (70); PAVAN et alii (55); ALVES (3), havendo certos trabalhos que já permitem uma indicação aproximada de doses de gesso para alterações químicas benéficas nas camadas subsuperficiais do solo, ALVES (3); SOUZA & RITCHEY (78); GUIMARÃES (29). Contudo ainda existem dúvidas quanto a estratégia de manejo das práticas da calagem e adubação fosfatada corretiva com a aplicação do gesso agrícola (gessagem), visando maior eficiência destas práticas como um todo, e a avaliação dos seus efeitos residuais sobre certas características químicas das camadas subsuperficiais com o passar do tempo.

Levando-se em conta os aspectos discutidos, esse trabalho de pesquisa tem os seguintes objetivos:

Avaliar os efeitos residuais da calagem, associada ou não adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola em um solo sob "cerrado" de características álicas, no que diz respeito a dinâmica de bases e outras características químicas nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo ao longo do tempo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Toxidez de Alumínio e Crescimento Radicular

A presença de quantidades excessivas de alumínio na solução do solo é o principal fator de natureza química responsável pela inibição do crescimento de raízes em solos ácidos, ADAMS & MOORE (1).

Os efeitos tóxicos do alumínio sobre as plantas se manifestam de forma complexa e sucessivas revisões foram feitas sobre esse assunto, JACKSON (36); CLARKSON (11); FOY (23). Na forma catiônica ele interfere diretamente no metabolismo da planta, causando a inibição da divisão celular e, conseqüentemente, do crescimento de raízes, CLARKSON (10); FOY (23). Indiretamente, a toxidez de alumínio reduz a absorção e utilização de outros nutrientes, particularmente cálcio e fósforo. No que se refere ao fósforo, a diminuição da disponibilidade está relacionada com sua precipitação na forma de complexo Al-P na

superfície das células epidérmicas das raízes, CLARKSON (11); Naidoo et alii citados por DAL-BÓ (17).

Outros efeitos nocivos do alumínio, como o aumento da viscosidade do protoplasma, resultam em alterações na permeabilidade a sais e água, FOY (23). O alumínio concorre com outros cátions na ocupação dos sítios de troca, diminuindo a densidade de carga da CTC radicular, disponível para associações com bases trocáveis, CLARKSON (11). Pode também alterar a estrutura de composto orgânicos, como proteínas e lipídeos, pela substituição de cátions como cálcio e magnésio a eles associados, resultando em alterações na permeabilidade da membrana citoplasmática e na absorção de nutrientes, LANCE & PEARSON (40).

Segundo CLARKSON (10), os efeitos diretos do alumínio sobre a divisão celular parecem ser os mais importantes para a limitação do crescimento radicular. Como esses efeitos são provocados principalmente pela entrada do alumínio no protoplasma vegetal, através dos tecidos em formação, onde há ausência de estrias de Caspary, alguns aspectos anatômicos relacionados, como espessura do tecido cortical, estrutura da parede celular e do ápice radicular, podem explicar diferenças quanto à tolerância ao alumínio entre diferentes genótipos, SILVA et alii (75).

Apesar de não se poder estabelecer um nível crítico para o alumínio, em função de diferenças nas características do solo

e grau de tolerância das diversas culturas, a concentração de alumínio na solução do solo acima de 1 ppm geralmente causa efeito direto na produção, sendo que a manifestação primária da toxidez se faz sentir no sistema radicular das culturas, SANCHEZ (72).

Ao rever condições de solos que afetam o desenvolvimento radicular, PEARSON (58) atenta para o fato de que, embora seja fácil demonstrar, em vasos, o efeito da calagem em neutralizar o alumínio e aumentar a proliferação de raízes, ainda faltam critérios para avaliar o comportamento de raízes no campo.

Estudando o efeito de diferentes valores de pH do subsolo no crescimento de raízes e produção de algodão, ADAMS *et alii* (2) mostraram que a produção foi significativamente reduzida nas parcelas onde o subsolo era 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 (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 entre 40 e 60%, menos que 20% das raízes foram encontradas à mesma profundidade. Nestas parcelas, as plantas apresentavam sintomas de murcha com apenas 2 a 4 dias de seca, ao passo que nas parcelas onde o pH do subsolo era menos ácido, as plantas foram capazes de suportar secas de 10 a 14 dias sem apresentar sintomas de "stress".

PAVAN *et alii* (56) estudaram o desenvolvimento do café em vasos, durante um período de sete meses e procuraram avaliar quais parâmetros melhor indicariam o efeito tóxico do alumínio no desenvolvimento radicular. Os autores recorreram a determinações e cálculos de especiação iônica e constataram uma relação estreita entre atividade do alumínio na solução do solo e o prejuízo causado no desenvolvimento das raízes.

Na redução da atividade do alumínio em solução, o ânion SO_4^{2-} do gesso é realmente importante e por isso tem recebido maiores atenções. PAVAN (51) apresenta dados de crescimento radicular de cafeeiros em solos equilibrados com CaCl_2 0,01M e CaSO_4 0,01M. Pelos resultados obtidos ficou claro que o sulfato de cálcio promove a redução do teor de alumínio tóxico no solo.

O gesso, além de SO_4^{2-} , contém também fluoretos, que podem combinar com alumínio, formando complexos muito mais estáveis do que com sulfatos, RAIJ (63). Segundo CAMERON *et alii* (6), tanto o SO_4^{2-} como F^- reduzem a toxicidade de alumínio em solução, promovendo alongamento de raízes sendo que o efeito do flúor é maior.

2.2. Deficiência de Cálcio e Crescimento Radicular

Segundo HOWARD & ADAMS (34), além da presença do alumínio, o aprofundamento do sistema radicular pode ser impedido por baixos níveis de cálcio no subsolo.

Embora a ocorrência da deficiência de cálcio esteja relacionada com a acidez do solo, ela pode, somente por si, representar um obstáculo ao desenvolvimento radicular especialmente em solos muito intemperizados, onde o cálcio trocável cai a níveis muito baixos.

Contudo, existem diferenças entre espécies e variedades de plantas, ocorrendo controle genético da eficiência das plantas em utilizar cálcio em soluções. Trabalhando com linhagens de milho, Clark, 1976, citado por RAIJ (63) apresenta dados cujo crescimento foi afetado até cerca de 2,5mM de concentração de cálcio, o que equivale a 100 ppm ou 5 meq/litro.

HOWARD & ADAMS (34) constataram que plantas cultivadas nos limites de cálcio em solução de 0,15 meq/litro mostraram deficiência e em 0,29 meq/litro não exibiram deficiência. Em solos, o teor mínimo a inibir o crescimento radicular foi de 0,25 meq/100 cm³ em solo caulinitico e 0,8 meq/100 cm³ em solos com vermiculita. Essa diferença entre solos desapareceu quando o cálcio foi expresso como fração dos cátions totais (Ca + Mg + K + Mn + Al), os limites críticos estando em torno de 0,12 e 0,13.

Trabalhando com algodoeiro, ADAMS *et alii* (2), definiram limites críticos de cálcio, abaixo dos quais o crescimento radicular era inibido, ou seja concentração de 0,25mM em solução ou 17% para saturação de cálcio. Já em outro estudo, com seis solos, não foi possível identificar propriedades de

solos relacionados à possível deficiência de cálcio, Adams & Hathcocke, 1984, citados por RAIJ (63).

No Brasil, solos do Distrito Federal, em levantamentos recentes, EMBRAPA (18) têm demonstrado a existência de solos caracterizados por horizontes B com pouco ou nenhum alumínio trocável e baixíssimos níveis de cálcio mais magnésio trocáveis ($0,2 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ ou menos).

RITCHEY *et alii* (69) formularam e comprovaram a hipótese de que o impedimento penetração de raízes nestes subsolos seria função da deficiência de cálcio e não da toxidez de alumínio, trabalhando com testes de alongamento de raízes em plântulas de trigos. A adição de $0,10$ a $0,15 \text{ meq}$ de $\text{Ca}/100 \text{ cm}^3$ de solo, como cloreto, fosfato ou carbonato normalizava o crescimento de raízes, enquanto que na ausência destes tratamentos as raízes paravam de crescer em poucos dias. A adição de CaCl_2 , apesar de ter causado um abaixamento no pH do solo, também foi eficiente em normalizar o crescimento radicular, ficando 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. Severas restrições ao crescimento de raízes ocorriam em teores de Ca muito baixos da ordem de $0,02$ a $0,05 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ (4 a 10 ppm) RITCHEY *et alii* (69) e (71).

O cálcio tem uma mobilidade muito baixa no floema, e consequentemente não há translocação apreciável para o sistema radicular. Isto leva a afirmação que, para que haja o crescimento radicular, o cálcio tem que estar presente em quantidade adequada 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 de crescimento radicular. Sendo assim, o nível de cálcio no subsolo terá efeito indireto no crescimento da plantas, por causa do seu efeito no crescimento da raiz em profundidade, HOWARD & ADAMS (34).

2.3. Alternativas para Melhorar o Desenvolvimento de Raízes em Profundidade.

A possibilidade de movimentação de cálcio e magnésio para as camadas inferiores do solo, em decorrência da incorporação do calcário nas profundidades convencionais tem sido confirmadas por alguns estudos. PAVAN & IGUE (57), trabalhando com cafeeiros em um Latossolo Roxo do Estado do Paraná, conseguiram encontrar aumento no teor de cálcio até a profundidade de 60 a 100 cm.

GONZALES-ENRICO et alii (27) aplicaram 10 toneladas de calcário/ha em um Latossolo Vermelho Escuro e constataram,

após 7 anos, um acentuado movimento de cálcio até a profundidade de 45 cm no perfil. QUAGGIO *et alii* (61) também observaram aumento no teor de cálcio até as profundidades de 40-60 cm em um Latossolo Roxo distrófico, aplicando 6 a 12 t/ha de calcário. Em um Andossolo da Costa Rica foi encontrada significativa lixiviação do cálcio até a profundidade de 80 cm para todas as dosagens de calcário usadas, mas principalmente para as dosagens mais elevadas em torno de 15 a 30 t/ha, MORELLI *et alii* (48).

LOPES (42) comenta que uma das vantagens do critério SMP a pH 6,0 em relação ao critério do alumínio e cálcio + magnésio trocáveis é permitir uma lixiviação de cálcio + magnésio em função da movimentação descendente de partículas micropulverizadas de calcário, o que acarretará uma diminuição da toxidez de alumínio, ferro e manganês das camadas abaixo da camada de incorporação, em decorrência das maiores dosagens recomendadas por este método. Nestas circunstâncias, a granulometria seria extremamente importante, não apenas por facilitar a dissolução, mas também por possibilitar o movimento puramente físico destas partículas pequenas, uma vez que a solubilidade do CaCO_3 em água é de apenas 0,0014%, WEIR (87). Constatando o efeito da granulometria ALVES & LOPES (4) encontraram efeito da calagem na camada de 20-40 cm imediatamente abaixo à de incorporação (0-20 cm) para o calcário micropulverizado (89% < 250 meshes). A conclusão obtida por esses autores, foi que o movimento por

arrastamento das partículas mais finas de calcário, poderia ser responsável por este efeito, uma vez que o calcário de granulometria comercial utilizado não apresentou este mesmo efeito.

Observa-se no entanto, de modo generalizado, que os resultados encontrados para a movimentação do calcário até camadas inferiores onde este insumo foi aplicado à superfície, são dados obtidos a médio e longo prazo (4 ou mais anos), após ter sido feita a calagem. As movimentações mais acentuadas ocorreram quando foram aplicadas doses elevadas de calcário, ou sob regimes pluviométricos mais intensos, dependendo, em muito, do tipo de solo estudado.

Alguns trabalhos tem sugerido a incorporação profunda do calcário como uma possível solução para o problema, uma vez comprovada que a aplicação de calcário na camada arável não é um método adequado para neutralizar o alumínio, elevar o pH e fornecer cálcio e magnésio às camadas subsuperficiais.

Experimentos conduzidos no Estado de São Paulo, em áreas de cerrados, em 1963, e relatados por Mikkelsen *et alii*, cita-dos por LOPES (42), já demonstravam naquela época, uma resposta favorável à incorporação de calcário a maiores profundidades. SOARES *et alii* (77); FREIRE (24) e GONZALES-ENRICO (27), também encontraram resultados semelhantes, sendo que este último obteve uma produção de 2,5 ton/ha de milho a mais, ao fim de três cultivos sucessivos,

quando incorporou a dosagem de 4 t/ha de calcário, a profundidade de 0-30 cm, comparada com a aplicação da mesma dose de calcário na profundidade de 0-15 cm.

Apesar de incorporação mecânica profunda de calcário ser mais eficiente que a incorporação a profundidades usuais, esta prática ainda tem certas limitações de uso em função do seu alto custo, consumo adicional de energia e inexistência de equipamentos apropriados, RITCHEY *et alii* (70), PAVAN *et alii* (55) e a exposição do subsolo de baixa fertilidade, REEVE & SUMMER (64). Por isto, a correção de acidez do subsolo vai depender muito mais, em princípio, da lixiviação de corretivos aplicados e solubilizados à superfície.

Apesar do movimento de bases para camadas abaixo da zona de absorção pelas raízes ser considerado prejudicial, em solos onde a toxicidade de alumínio e/ou deficiência de cálcio limitam o desenvolvimento 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, ALVES (3).

2.4. Efeito da Calagem Associada à Aplicação de Fertilizantes.

A obtenção de satisfatórias produções agrícolas em solos ácidos está intimamente ligada ao uso de doses adequadas de corretivos e fertilizantes. Entretanto, o uso de doses pesadas de fertilizantes, após a calagem na camada arável, tem incrementado o movimento de bases no perfil do solo.

Trabalhando com um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média do Distrito Federal, GONZALES-ENRICO *et alii* (27) encontraram um movimento significativo de cálcio até 45 cm de profundidade quando foram aplicadas 499,5kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato simples. Estes autores sugeriram que o gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) que faz parte do superfosfato simples foi o responsável pela movimentação observada. Em condições de laboratório, estes resultados foram confirmados por RITCHEY *et alii* (70).

PEARSON *et alii* (59) trabalhando com um Latossolo e um Podzólico de Porto Rico, mostraram que a aplicação de doses elevadas de sulfato de amônio em associação à calagem resultaram na movimentação de cálcio e magnésio até 60 cm de profundidade após um período de dois anos e meio. Segundo os autores, o cálcio e o magnésio se movimentariam na forma de sulfatos e nitratos formados com a nitrificação do amônio na camada corrigida. Após a absorção do 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 na rizosfera. WEIR (87) utilizou este conceito em pomares cítricos de Trinidad, onde a incorporação de calcário juntamente com uréia e sulfato de amônio, resultaram em aumentos no teor de bases do solo, cinco anos após a aplicação.

Segundo RITCHEY *et alii* (68), a movimentação do cálcio no perfil do solo é governada pela natureza e características dos ânions acompanhantes. Isto se deve ao fato de que, 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.

Estudando a adição de nitrato de cálcio em colunas de solo, seguida pela simulação de precipitação de 2420 mm, Pleysier & Juc citados por ALVES (3), constataram uma rápida movimentação do nitrato acompanhado de cálcio, magnésio e alumínio através do perfil. A medida que o nitrato se movimentou através da coluna, houve troca do alumínio pelo cálcio, fazendo com que uma parte do cálcio ficasse retida no solo, e o nitrato acompanhado por alumínio, cálcio, magnésio e potássio fosse coletado na solução que passou através da coluna.

Com o objetivo de estudar o efeito da natureza do ânion acompanhante na movimentação do cálcio em profundidade e sua influência na acidez do solo RITCHEY *et alii* (67) adicionaram separadamente três fontes de cálcio (CaCO_3 , CaSO_4 , CaCl_2) equivalente a 2000kg/ha de cálcio 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. O equivalente a 1200 mm de água, foram percolados através das colunas e causaram um movimento do cálcio em diferentes profundidades, em função da fonte de cálcio utilizada. O cloreto de cálcio por ser muito solúvel, e também pelo fato do mesmo não reagir com o solo, foi o que atingiu maiores profundidades (150 cm). Como o sulfato de cálcio é menos solúvel e pelas reações do sulfato com o solo, houve uma maior concentração do cálcio na profundidade de 45-60 cm. O carbonato de cálcio foi o que induziu a menor movimentação de cálcio no perfil, havendo uma maior acumulação na camada superficial 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. Conseqüentemente, não havendo um ânion acompanhante para o cálcio, este por sua vez, fica quase que completamente retido no complexo de troca da camada de incorporação, REEVE & SUMMER (65).

Quando foram aplicadas 8 t de calcário dolomítico/ha, e superfosfato simples ou superfosfato triplo para fornecer

1.380kg de P_2O_5 /ha em coluna de solo em laboratório, o superfosfato simples acarretou um maior movimento de cálcio e magnésio no perfil, EMBRAPA (19). 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 do solo, LOBATO & RITCHEY (41).

A maioria dos trabalhos indicam que os cloretos e nitratos de cálcio e magnésio são muito solúveis e não apresentam reações específicas com as partículas do solo, movimentando-se com relativa facilidade através do perfil. Porém existe a possibilidade do cálcio lixiviar abaixo da zona de absorção das raízes.

Por isso, 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, ALVES (3), pois tal como acontece com o ânion CO_3^{-2} , o ânion $H_2PO_4^-$, é fortemente retido no solo.

Estudos envolvendo aplicações de sulfato de cálcio (gesso) têm demonstrado em diversos ensaios realizados, que este material é um excelente carreador de cálcio em profundidade, tem capacidade de reduzir em grande parte a saturação de alumínio subsuperficial além de ser também uma excelente fonte de enxofre.

2.5. Q Gesso Agrícola

2.5.1. Caracterização do Gesso Agrícola

O gesso agrícola (sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)), é um subproduto da obtenção do ácido fosfórico, utilizado na fabricação do superfosfato triplo e fosfatos de amônio (MAP e DAP). Assim, a rocha fosfatada atacada com ácido sulfúrico, forma ácido fosfórico e gesso, como se vê simplificada-mente na seguinte equação:



Rocha fosfa tada	ácido sulfúrico	—————>	ácido fosfórico	+ 3	gesso
---------------------	-----------------	--------	--------------------	-----	-------

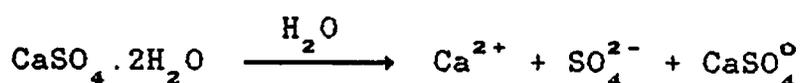
O gesso apresenta em sua composição, aproximadamente: CaO (26 a 28%), S (15-16%), P_2O_5 (0,6-0,75%), umidade livre (15-17%), SiO_2 (insolúveis em ácidos) (1,26%), F (0,63%), R_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) (0,37%).

Apesar de ser pouco solúvel em água e de não se decompor rapidamente no solo, o gesso agrícola (solubilidade aproximada de 2,5 g/litro) é mais solúvel e móvel do que o calcário (solubilidade aproximada de 0,3 g/litro), sendo a forma mineral mais solúvel de cálcio, COLLINGS (12).

2.5.2. Química do Gesso no Solo

2.5.2.1. Dissociação:

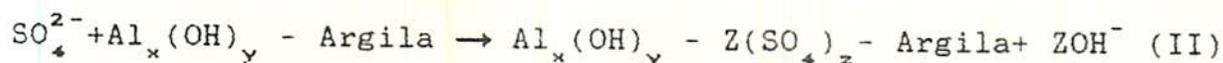
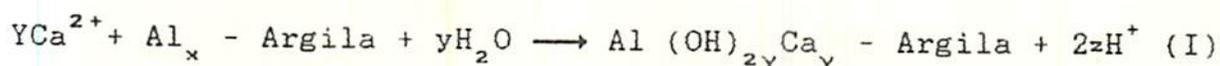
A dissociação do gesso na solução do solo irá produzir as seguintes espécies iônicas, PAVAN (51):



Os íons Ca^{+2} e SO_4^{2-} irão participar das reações de troca catiônica e aniônica respectivamente. Do total do cálcio solúvel, aproximadamente 40% está presente como CaSO_4^0 e segundo PAVAN *et alii* (56), é potencialmente móvel no solo. Assim sendo, a aplicação de fertilizantes, principalmente os que os que contém íons SO_4^{2-} , como o gesso, contribuem para o movimento de cálcio e magnésio no perfil do solo devido principalmente à formação de complexos químicos solúveis neutros (CaSO_4^0 e MgSO_4^0).

2.5.2.2. Troca Iônica do Ca^{2+} e SO_4^{2-} e Reação do Solo

Um mecanismo pelo qual os íons SO_4^{2-} , adicionados como K_2SO_4 foram adsorvidos pelos colóides do solo através do processo de troca de ânions, foi descrito por CHANG & THOMAS (9). Baseado neste mecanismo, PAVAN (51) sugeriu as seguintes reações, para um sistema contendo CaSO_4 e alumínio trocável.



Analisando-se as equações I e II, observa-se que apesar das alterações no pH do solo, após a aplicação de gesso, dependerem do balanço entre os íons H^+ produzidos pela hidrólise do Al^{3+} , com íons OH^- substituídos pelo SO_4^{2-} , as mesmas não são substanciais, conforme demonstrado por inúmeros trabalhos, em solos tropicais, como os de COUTO *et alii* (14), PAVAN *et alii* (56), ALVES & LOPES (5) e PAVAN *et alii* (55).

Além da lixiviação de cálcio em profundidade o gesso pode provocar a movimentação de outros cátions, principalmente o magnésio e o potássio através do perfil do solo. Em estudos feitos em casa de vegetação, REEVE & SUMMER (64) mostraram que

aplicações elevadas de gesso, acima de $3,0 \text{ meq}/100\text{cm}^3$ causaram perdas de mais da metade do magnésio nativo, cerca de $1,7 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$. Já em ensaios conduzidos em condições de coluna e campo, EMBRAPA (18) mostraram que a aplicação isolada de gesso promoveu uma lixiviação de potássio mais intensa do que a observada quando se aplicou calcário e gesso, fato este explicado pelo aumento da CTC do solo, neste último tratamento.

PAVAN et alii (55), mais recentemente, estudaram os detalhes das principais alterações químicas no perfil de um Latossolo Roxo distrófico que tinha acidez suficiente no subsolo para restringir o desenvolvimento das raízes, tendo aplicado CaCO_3 ou $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em quantidades iguais a 0,25 e 1,50 vezes a calagem equivalente para neutralização do alumínio tóxico. Enquanto o CaCO_3 teve efeito somente nos primeiros 20 cm, aumentando o *pH*, CTC e Ca trocável, e diminuindo magnésio e alumínio trocáveis, os tratamentos com $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ reduziram os níveis de alumínio e magnésio trocáveis por todos os 100 cm de profundidade do perfil, enquanto aumentaram o cálcio trocável, sendo que o *pH* e a CTC não foram afetados.

2.6. Adsorção e Desorção de Sulfatos

A natureza exata das reações do sulfato com o solo não é conhecida, mas de acordo com JOHNSON *et alii* (37), a adsorção do sulfato está relacionado com o conteúdo de sesquióxidos do solo. Os dois mecanismos pelos quais acontecem a adsorção de ânions são basicamente os seguintes:

.Adsorção não específica, na qual os ânions são presos, na dupla camada difusa, próxima a um colóide 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 ânions.

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 tanto especificamente. Estas explicações parecem ser as mais convincentes, para elucidar até certo ponto, as diferenças na mobilidade destes ânions em comparação com fosfato e sulfato que apresentam tanto adsorção específica quanto não específica, ALVES (3).

O mecanismo de adsorção do sulfato envolve a troca de um OH^- coordenado a um átomo de ferro da estrutura do óxido, resultando num aumento do pH, se os níveis de adsorção são elevados, Hingston *et alii* citados por JOHNSON *et alii* (37).

Este mecanismo foi demonstrado por Rajan e Parfitt & Smart citados por ALVES (3) e o aumento esperado no pH foi encontrado por COUTO *et alii* (14), em seu trabalho com solo brasileiro. Trabalhando com dois Oxisolos, do Estado de São Paulo, estes autores demonstraram a existência de adsorção de sulfato nestes dois solos. Os horizontes Ap absorveram 0,19 e 0,38 meq/100 cm³ de solo de SO₄²⁻ e os horizontes B₂, 1,09 e 0,65 meq/100 cm³ de SO₄²⁻, de uma solução de sulfato de potássio de 2,4 mM/litro, que corresponde a aproximadamente 1/50 da concentração de uma solução saturada de sulfato de cálcio. Com estes níveis de adsorção houve um aumento no pH em solução de 4,35 para 4,75 e de 4,65 para 4,75 nos horizontes B₂ e Ap de um Oxisol e de 5,90 para 6,40 e 5,10 para 5,20 nos horizontes B₂ e Ap do outro Oxisol.

Com referência a adsorção de sulfato, outro ponto que deve ser levado em consideração são as características de baixa CTC e valores de pH baixos dos solos sob cerrado. Nestes solos o sulfato adsorvido especificamente pela goethita e hematita, e, neste caso, o balanço de cargas negativas da superfície destes óxidos aumenta, elevando conseqüentemente a capacidade de reter cátions destes materiais. Este fato foi confirmado em solos brasileiros por MORELLI *et alii* (48), pois sulfato aumentou a carga negativa destes solos, e conseqüentemente houve aumento na retenção de cátions.

A concentração inicial de sulfato na solução, o pH e a quantidade de fósforo que está no solo influenciam significati-

vamente a quantidade de sulfato adsorvido no solo. A adsorção de sulfato aumenta com o aumento da concentração de sulfato na solução, diminui com o aumento do pH e da concentração de fosfato, KAMPRATH *et alii* (38) e COUTO *et alii* (14).

Aumentos no pH entre 0,1 e 0,8 unidade foram encontrados por RITCHEY *et alii* (68) nas camadas onde os níveis de cálcio no solo haviam aumentado em função da adição de sulfato de cálcio.

A aplicação de calcário e gesso superficialmente em Latossolo Amarelo Câmbico distrófico textura média fase cerrado foi estudada por ALVES (3) em colunas de solo até a profundidade de 80 cm. Ficou comprovado que até a profundidade de 40 cm não houve diferença estatística para os valores de pH, em função possivelmente da calagem. Só que para as camadas de 40-60 cm e 60-80 cm, observou-se um decréscimo do pH em relação 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 da maior concentração de sulfato de cálcio acarretando deslocamento do alumínio para a solução do solo, seguindo-se a sua hidrólise.

* Experimentos conduzidos na região temperada enfatizam que o gesso acidifica o solo; um exemplo disso é o experimento de HOWARD & ADAMS (34) que afirma ocorrer produção de ácido sulfúrico quando adiciona-se gesso a um solo ácido, não reco-

mendando a adição de CaSO_4 em solos ácidos com alto teor de matéria orgânica. Estes experimentos conduzindo em solos da região temperada merecem reexame para as condições de solo altamente intemperizados da região tropical. Nos poucos experimentos que existem para as condições brasileiras, o gesso tem demonstrado ser um excelente carreador de cálcio em profundidade e fonte de enxofre, além de reduzir a saturação de alumínio do subsolo, no entanto, é um produto que merece maiores estudos, para uma compreensão melhor do seu modo de ação.

Com base nestas características pode-se sugerir à aplicação de gesso associada à aplicação de calcário superficial ou de fertilizantes fosfatados, pois a associação dessas duas práticas aumentariam a efetividade de lixiviação do sulfato e conseqüentemente do cálcio a ele ligado.

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. COUTO *et alii* (14) afirmam que à medida que a quantidade de sulfato de cálcio decresce na camada de incorporação o suprimento das camadas subjacentes irá aumentar até que o solo contenha apenas o sulfato adsorvido, e com adições contínuas de água, mesmo este sulfato absorvido será desorvido e irá lixiviar para camadas mais profundas. A extensão do processo de desorção é que irá determinar por quanto tempo ocorrerá mudanças das características do solo, com uma única adição de sulfato de cálcio. No entanto, estes autores mostra-

ram através de seus resultados que este processo não é rápido, pois foram observadas concentrações significativas de cálcio mais magnésio em profundidades de interesse agronômico, após 6 anos de aplicação do sulfato de cálcio.

Assim sendo, a alternativa do uso do gesso como adubo contendo enxofre é bastante promissora, principalmente em função da grande ocorrência de deficiência desse elemento, na maioria dos solos brasileiros e pelo fato do gesso ser um resíduo da indústria de fertilizantes, VITTI et alii (85).

2.7. Uso Agronômico do Gesso Agrícola

O gesso pode ser usado para diversos fins na agricultura e os seus principais efeitos podem ser reunidos em três grupos: efeito fertilizante, efeito corretivo e efeito condicionador.

2.7.1. Efeito Fertilizante

Estudos envolvendo respostas de culturas ao enxofre utilizando gesso, são mais numerosos e importantes do que envolvendo cálcio, principalmente pelo fato do aumento considerável na limitação de colheitas pela carência crescente de S. Algumas das causas que estão aumentando a deficiência de enxofre foram discutidas amplamente por VITTI (81) VITTI et alii (85).

Efeitos positivos da aplicação de gesso no Brasil e como fonte de enxofre, foram obtidos em várias culturas anuais e pastagens, tais como: soja, MIYASAKA et alii (47) e MASCARENHAS et alii (46); feijão, MASCARENHAS et alii (46) e VITTI et alii (82); em trigo, SOARES & IGUE (76); em arroz, WANG et alii (86); cenoura CASTELLANE et alii (8); em sorgo sacarino, MALAVOLTA (43); em capim colômbio, QUINN et alii (62); MALAVOLTA (43) e HADDAD (31). Estes trabalhos indicam que as doses de enxofre de 15 a 50 kg/ha de S que equivalem a 100 a 350kg/ha de gesso aproximadamente são adequadas. As maiores doses indicadas são para solos arenosos, pobres em matéria orgânica, principal fonte desse nutriente.

Com relação ao uso do gesso, como fonte de cálcio, em culturas anuais, o exemplo mais marcante é no amendoim: SICHMANN et alii (74), SAVY FILHO (73), COLLINGS (12), HENNING & Mc GILL (33); COX et alii (15); QUAGGIO et alii (60); em café, FREITAS et alii (25); GUIMARÃES et alii (30), em citrus, VITTI (80).

2.7.2. Efeito Corretivo

Apesar do gesso, praticamente não promover mudanças no pH do solo, o mesmo pode atuar, entretanto, na correção de solos sódicos e na diminuição do alumínio trocável da camada subsuperficial do solo.

2.7.2.1. O Gesso e a Correção do Alumínio Subsuperficial

Diversos estudos têm demonstrado que, muito embora, aplicações pesadas de calcário conduzam a uma certa movimentação de cálcio e magnésio em solos bem estruturados, como os de QUAGGIO *et alii* (61), aplicações de cálcio na forma de sulfato (gesso) têm levado a maiores efeitos em profundidade.

REEVE & SUMMER (64), em oxissolos da África do Sul, compararam a eficiência do Ca(OH)_2 e do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ na redução da saturação do alumínio no subsolo, verificando que enquanto o Ca(OH)_2 reduziu-a de 57 para 53%, a mesma quantidade de cálcio, na forma de sulfato, reduziu-a para 43%.

Em outro trabalho com o objetivo de estudar a fixação de fósforo e a toxidez de alumínio em solos da África do Sul, REEVE & SUMMER (65) utilizaram CaCO_3 , CaSO_4 e CaSiO_3 em doses equivalentes a 0; 33; 67 e 100% do necessário para levar o pH do solo a 6,5. Ao contrário do calcário, o gesso não neutralizou a acidez do solo, mas diminuiu-a, o que o autor chamou de "índice de alumínio trocável" (alumínio extraído após 2 minutos de agitação com NH_4Cl 0,2 N numa relação solo: solução de 1:10), em todo o perfil, sendo este efeito mais acentuado, quando se aumentavam as doses aplicadas. O que os autores concluíram é que apesar do CaSO_4 não possuir poder neutralizante há a redução do teor de alumínio trocável

induzida pelo sulfato, por uma reação de troca com grupos hidroxílicos, resultando num efeito de "auto calagem". A reação é visivelmente dependente da concentração. Apesar da capacidade do gesso em diminuir o alumínio subsuperficial ser pequena, 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.

Se grandes quantidades de alumínio trocável estão presentes no subsolo, pequenos aumentos no cálcio trocável ou fluxos de ions nitratos ou cloretos de cálcio através do perfil não serão suficientes para promover aumentos consistentes no crescimento das raízes das culturas. RITCHEY et alii (69) mostraram que a saturação de alumínio acima de 30% reduziu o crescimento de raízes de milho; nos subsolos dos Oxisols do Brasil Central a saturação de alumínio atinge valores iguais ou superiores a 90%, e sua redução requer considerável aumento no nível de cálcio trocável.

Estudos realizados por COUTO et alii (14) mostraram a existência de adsorção de sulfato em dois Oxisols e num Alfisol do Brasil, particularmente no subsolo. Através de dados de lixiviação em um Latossolo Vermelho Escuro, LOBATO & RITCHEY (41) confirmaram aqueles resultados. O cálcio adicionado como sulfato foi encontrado a profundidades entre 45 e 75 cm, após lenta lixiviação com água equivalente a um ano de precipitação,

enquanto que o cálcio adicionado como cloreto lixiviou até 150 cm, e o cálcio adicionado como carbonato pouco se movimentou na coluna. A ausência do movimento de cálcio no tratamento com carbonato foi atribuída à ausência do ânion acompanhante.

Estudando combinações de doses duplas de calcário micropulverizado, pelo critério de calagem utilizado em Minas Gerais e Goiás, ou doses simples de calcário comercial mais dose simples de calcário micropulverizado com gesso, ALVES & LOPES (5) observaram que as mesmas foram altamente eficientes na diminuição de % de alumínio, até a camada de 60-80 cm. Estes mesmos autores observaram ainda que mesmo as maiores doses de gesso 4 t/ha não apresentavam sensíveis efeitos detrimenais no pH, e muito menos na produção de matéria seca de milho.

Em outro trabalho, ALVES & LOPES (4) compararam cinco materiais: superfosfato simples, calcário calcítico comercial, gesso, óxido de cálcio e calcário calcítico micropulverizado e observaram que os tratamentos mais eficientes na redução do alumínio no subsolo foram o superfosfato simples e o gesso. A conclusão obtida por esses autores consiste na associação do calcário de granulometria comercial, calcário micropulverizado e gesso incorporados através do processo normal de aração e gradagem como uma possibilidade de manejo para os solos que apresentam saturação de alumínio nas camadas subperfciais. O calcário reagiria na camada de incorporação, o calcário micropulverizado, teria efeito na camada logo abaixo à incorporação,

possivelmente por mecanismos de arrastamento das partículas mais finas não dissociadas e o gesso teria efeito em profundidade.

PAVAN *et alii* (55), em estudos de lixiviação em um Oxisol do Estado do Paraná, verificaram que a aplicação de 4267kg/ha de gesso aumentou o teor de cálcio trocável em torno de 1 meq/100g ao longo da coluna. O fluxo de íons, que havia se movimentado através do perfil, consistia de cálcio, magnésio, alumínio e sulfato. Do alumínio total encontrado, o par iônico $AlSO_4^+$ contabilizou 40% e o par iônico $CaSO_4^0$, 25% do cálcio total. Os autores, no entanto observaram um aumento uniforme no teor de cálcio trocável ao longo de toda a coluna e uma significativa redução do alumínio através no perfil. 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 mesmos 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 que percolou, confirmou-se o decréscimo no alumínio trocável resultantes de perdas por lixiviação, e também, a polimerização do alumínio em formas insolúveis em KCl e H_2O , conforme proposto por REEVE & SUMMER (64).

Estudando diferentes fontes de cálcio no crescimento e aprofundamento do sistema radicular de cana-de-açúcar, DAL-BÓ (17) realizou um experimento em colunas de solo, com as seguintes fontes de cálcio, CaCO_3 , CaSO_4 e CaCl_2 , seguidas de um período de lixiviação. Nos tratamentos com CaCO_3 , não houve movimentação do cálcio, nos tratamentos com CaSO_4 (gesso) a movimentação de cálcio foi intermediária e reduziu sensivelmente a saturação de alumínio em profundidade. Doses elevadas foram necessárias e o CaCl_2 provocou intensa lixiviação de bases. Resultados semelhantes aos descritos por DAL-BÓ (17) haviam sido encontrados pela EMBRAPA (19) e um Latossolo Vermelho Escuro argiloso, onde as três fontes de cálcio usadas foram também o CaCO_3 , CaSO_4 e CaCl_2 em todos em doses equivalentes a 2t/ha de cálcio. O cálcio, na forma de cloreto, foi o que atingiu maiores profundidades (150 cm), o sulfato de cálcio (gesso) movimentou-se até a profundidade entre 45-60 cm, enquanto que o carbonato de cálcio elevou os teores de cálcio somente na camada superficial 20-25 cm de profundidade.

Além dos autores citados, outros desmostraram mais recentemente o efeito do gesso em diminuir os teores de alumínio trocável no solo, em profundidade, pela lixiviação de gesso através do solo. Entre eles destacam os trabalhos de: Pavan & Bingham (1988b), citados por RAIJ (63) em dois ensaios de campo com doses de gesso equivalentes às de calcário para elevar o pH do solo a 6,5; de ALVES (3), de NOGUEIRA(49) e de Chaves *et*

alii (1987), citados por RAIJ (63) que percolaram gesso através de colunas de solos; de FARINA & CHANNON (22), em ensaio de campo de milho, que recebeu 10 t/ha de gesso e foi realizado na Africa do Sul em um Ultisol; de SUMMER et alii (79), em ensaio com alfafa conduzido na Geórgia, EUA, em Ultisol que recebeu 10 t/ha de gesso; de HAMMEL et alii (32), em ensaio com soja e silagem de milho, que recebeu aplicação de 35 t/ha de gesso.

2.8. Considerações Gerais

É enorme a extensão de solos ácidos no Brasil, com elevada saturação de alumínio trocável e baixos teores de cálcio e magnésio no subsolo, que podem limitar o desenvolvimento radicular das plantas, em profundidade.

Através da calagem é possível corrigir-se a acidez dos solos, porém, a curto prazo, os efeitos em geral beneficiam à camada arável ou superficial do solo, permanecendo o subsolo ácido e, muitas vezes, impedindo o desenvolvimento normal das raízes das culturas.

Exemplo O gesso, como sal neutro, 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.

No entanto, a utilização isolada do gesso pode provocar o deslocamento de potássio e magnésio, causando a perda destes cátions por lixiviação. Este efeito pode ser reduzido pela calagem, através do aumento da CTC do solo, pela liberação de cargas dependentes de pH.

Embora sejam inúmeros os trabalhos desenvolvidos sobre o uso da calagem e do gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular, os dados que avaliam os efeitos residuais dessas práticas em profundidade no perfil, isoladamente ou em combinação com adubação fosfatada corretiva são em número bastante reduzido, justificando a realização desse trabalho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Aspectos Gerais

O ensaio foi realizado em condições de campo, em área situada na Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG, em local onde no período de julho de 1986 a julho de 1988 foi conduzido o trabalho: "*Avaliação de estratégias de manejo para máxima eficiência agrônoma das práticas da calagem, fosfatagem e gessagem*".

O solo deste local foi classificado como Latossolo Roxo distrófico textura argilosa, sendo que a caracterização química sob condições naturais por camadas (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm) encontra-se no Quadro 1.

O preparo da área experimental constou de duas arações e uma gradagem, após o que foram delimitadas as parcelas de 6m² (2m de comprimento x 3m de largura) divididas por chapas galvanizadas de 0,20m de altura enterradas até o nível do solo.

QUADRO 1. Caracterização química do solo sob condições naturais, por camadas (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80cm e 80-100 cm). ESAL. Lavras, MG. 1989.

Profundidade	pH	Ca	Mg	Al	CTC efetiva	K	S-SO ₄ ⁼	Saturação de Alumínio(m)	Mat. Orgânica	Areia	Lim	Argila
cm	meq/100cm ³					ppm		%				
0- 20	4,6	0,3	0,1	0,8	1,4	64	10,3	59	3,2	23	14	63
20- 40	4,6	0,2	0,1	0,6	1,0	20	3,9	63	2,9	22	11	67
40- 60	4,6	0,2	0,1	0,4	0,7	14	2,6	54	2,4	21	11	68
60- 80	4,6	0,3	0,1	0,3	0,7	12	2,6	41	2,2	20	10	70
80-100	4,8	0,3	0,1	0,2	0,7	10	2,6	41	2,0	20	10	70

3.2. Delimitação Experimental

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, no esquema parcelas subdivididas no tempo, sendo nas parcelas os seis tratamentos (C-AFC-G) e cinco profundidades de amostragem e nas subparcelas três épocas de amostragem (anos). Os tratamentos (C-AFC-G) consistiram do especificado no Quadro 2.

QUADRO 2 Esquema dos Tratamentos (C-AFC-G).

Tratamentos(C-AFC-G)	Epoca de aplicação		
	15 de setembro	15 de outubro	15 de novembro
I	C	-	-
II	C	-	AFC
III	C	AFC	G
IV	C	-	AFC+G
V	C+G	-	AFC
VI	C+AFC+G	-	-

C= Calagem; AFC= adubação fosfatada corretiva e G=gesso agrícola

A calagem foi feita com base nos teores de alumínio e cálcio mais magnésio trocáveis da camada de 0-20 cm, de acordo com as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (16). A dose calculada foi equivalente a

3,9 t de calcário por hectare já corrigido para PRNT de 100% (37,0% CaO, 14,5% MgO). O calcário, nos tratamentos respectivos foi distribuído manualmente sobre a superfície e incorporada com enxadão na camada de 0-20 cm.

A dose de adubação fosfatada corretiva foi calculada com base em 5Kg de P_2O_5 solúvel para cada 1% de argila, ou seja, 300kg de P_2O_5 /ha, aplicados à lanço, na forma de superfosfato triplo e incorporado na camada de 0-10 cm quando aplicado isolado e na camada de 0-20 cm quando na mesma época da calagem.

A dose de gesso agrícola, (1,6 t/ha) foi equivalente a duas vezes a quantidade de enxofre contida no superfosfato simples, caso este fosse usado na adubação fosfatada corretiva. A incorporação foi feita na camada de 0-10cm quando aplicado isolado e na camada de 0-20 cm quando na mesma época da calagem.

No decorrer do período deste ensaio foram feitos dois cultivos de milho que receberam a seguinte adubação por cultivo:

Adubação de plantio	Kg/ha(adubo)	Kg/ha(nutriente)
Uréia	45	20
Superfosfato triplo	160	70
Cloreto de Potássio	100	60
Bórax	15	1,65
Sulfato de Zinco	15	5,25
<u>Cobertura:</u>		
Uréia	89	40

Nos meses de julho de 1987 e julho de 1988, após a colheita do milho, foram feitas amostragens do solo por parcela e por camada (0-20cm, 20-40cm, 40-60cm 60-80cm e 80-100 cm), utilizando-se um trado tipo "caneco", sendo cada amostra composta de dez amostras simples.

As amostras compostas foram secas ao ar, destorroadas, e passadas em peneira de 2mm de malha sendo a seguir submetidas às seguintes análises químicas, segundo metodologia preconizada pela EMBRAPA (20):

- . pH em H₂O: determinado por potenciometria na relação solo: solução de 1:2,5.
- . Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis: extraídos com KCl 1N e determinados por complexometria com EDTA.
- . Potássio: determinados por fotometria de chama, usando-se como extrator HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N.
- . S-SO₄⁼ : determinados por turbidimetria com BaCl₂.H₂O segundo HUNTER (35).
- . % de saturação de alumínio: determinada pela fórmula:

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

Os resultados dessas análises químicas, por camada, que representam o efeito residual um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos (C-AFC-G) em comparação com estas mesmas análises realizadas também por camadas, no solo sob condições naturais (antes da aplicação dos tratamentos, Quadro 1) constituem-se a base para discussão dos efeitos dos tratamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variância para os diversos parâmetros analisados podem ser observados resumidamente no Quadro 3 e, os respectivos teores em função de tratamentos (C-AFC-G), épocas e profundidade de amostragem nos Quadros 4 a 10.

4.1. Efeito dos Tratamentos no Teor de Cálcio Trocável no Perfil do Solo

Os resultados da análise de variância observados no Quadro 3 mostram que houve efeito significativo para tratamentos (C-AFC-G), profundidade de amostragem, ano e interação profundidade x ano. As comparações das médias podem ser observadas no Quadro 4.

Numa comparação das médias (Quadro 4) observa-se que para todos os tratamentos aplicados os maiores teores de cálcio foram encontrados nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundi-

dade, dois anos após, como ilustra a Figura 1. Porém, um ano após também já houve aumentos significativos nestas duas camadas. Isto era de se esperar, já que a calagem foi feita na superfície, incorporada até 20 cm de profundidade e com o tempo (1 e 2 anos após) o calcário reagiu mais, liberando este elemento para a solução do solo, caracterizando um definitivo efeito residual.

Efeitos residuais marcantes pelo uso do calcário vem sendo observado em vários trabalhos conduzindo nesses solos, como os de PAVAN & IGUE (57); GONZALES-ENRICO *et alii* (27); QUAGGIO *et alii* (61).

Aumento significativo nos teores de cálcio, após dois anos de cultivo, também foram encontrados na camada de 40-60 cm de profundidade, porém, só para os tratamentos (C-AFC-G) em que se usou gesso (III, IV, V e VI).

Estes resultados provavelmente se devem ao efeito residual do gesso, que foi aplicado à superfície, e, com o tempo foi movimentando-se através do perfil do solo, elevando os teores de cálcio até a camada de 40-60 cm de profundidade.

A persistência do gesso no solo vai depender da taxa de dissolução do produto adicionado, do grau de adsorção e da taxa de consequente desorção. COUTO *et alii* (14) afirmam que à medida que a quantidade de gesso decresce na camada de incorporação, o suprimento das camadas subjacentes irá aumentar até que o solo contenha apenas o sulfato adsorvido; com adições

QUADRO 3. Resumo das análises de variância dos teores de Ca, Mg, K, Al, pH em água, % de saturação de Al (m%) e S - SO_4^{2-} obtidos das análises de solo, nas várias profundidades e nas três épocas de amostragem, ESAL, Lavras, MG. 1989.

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios						
		Ca	Mg	K	Al	pH em água	m(%)	S- SO_4^{2-}
Tratamentos(C-AFC-G)	5	0,14151**	0,01291	167,6310	0,01100	0,04384	74,20944	373,04522**
Profundidades	4	14,42243**	1,71583**	28389,03125**	1,02044**	1,47538**	1635,92773**	2229,59033**
Trat.x Profund.	20	0,03048	0,01291	34,44861	0,01027	0,00895	51,33444	78,11989**
Blocos	3	0,07548	0,00113	235,010192	0,01040	0,06644*	59,49907	2,53397
Erro a	87	0,03760	0,01085	109,09067	0,01822	0,01914	74,88031	8,33318
Parcelas	119							
Ano	2	29,36253**	2,70624**	5034,53613**	1,34425**	0,89411**	32360,7187**	1296,10193**
Trat.x Ano	10	0,04156	0,01131	199,85610*	0,01715	0,01801	50,45610	108,27946**
Prof.x Ano	8	7,07787**	0,71708**	1006,51525**	0,70296**	1,19928	3037,02148**	553,41058**
Trat.x Prof.x Ano	40	0,3820	0,01081	112,16448	0,00657	0,01147	35,60819	42,66202**
Ano x Blocos	6	0,215787	0,021027	160,44352	0,01943	0,03033	144,91574*	6,54381
Erro b	174	0,03981	0,010223	104,75680	0,01492	0,1576	57,45216	9,12481
T O T A L	359							
CV ₁ (%)		27,00	42,37	33,94	36,65	2,92	25,87	35,30
CV ₂ (%)		27,80	41,13	33,26	33,17	2,65	22,66	36,94

* Significância ao nível de 5%

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 4. Teores de Ca trocável (meq/100cm³) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem, ESAL, Lavras, MG. 1989. (Média de 4 repetições).

Profundidades (cm)	TRATAMENTOS																	
	I			II			III			IV			V			VI		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0-20	0,3aC	1,0aB	2,8aA	0,3aC	0,9aB	2,7aA	0,3aC	1,1aB	3,1aA	0,3aC	1,4aB	2,9aA	0,3aC	1,1aB	2,8aA	0,3aC	1,3aB	2,8aA
20-40	0,2aC	0,6abB	1,5bA	0,2aC	0,6abB	1,65bA	0,2aC	0,7bcB	1,9bA	0,2aC	0,8bB	1,7bA	0,2aC	0,7bB	1,8bA	0,2aC	0,7bB	1,8bA
40-60	0,2aB	0,6abA	0,5cAB	0,2aA	0,5abA	0,5cA	0,2aB	0,8bA	0,6cA	0,2aB	0,6bcA	0,8cA	0,2aB	0,5bB	0,9cA	0,2aB	0,8bA	0,8cA
60-80	0,3aA	0,3bA	0,4cA	0,3aA	0,3bA	0,4cA	0,3aA	0,3cA	0,4cA	0,3aA	0,4bcA	0,5cA	0,3aB	0,8abA	0,5dAB	0,3aA	0,4bcA	0,5cA
80-100	0,3aA	0,3bA	0,5cA	0,3aA	0,4bA	0,5cA	0,3aA	0,3cA	0,4cA	0,3aA	0,4cA	0,4cA	0,4cA	0,3aA	0,4bA	0,5dA	0,3aA	0,3cA
Médias	0,2	0,6	1,1	0,2	0,6	1,1	0,2	0,6	1,3	0,2	0,7	1,2	0,2	0,7	1,3	0,2	0,7	1,3

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey(5%). As comparações no sentido horizontal são com letras maiúsculas e no sentido vertical com letras minúsculas.

DMS Tukey (5%)=0,4 (profundidade e Ano)

Legenda: 0 - condições naturais; 1 - um ano após; 2 - dois anos após.

I (Calagem 15/09); II (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); III (Calagem 15/09, adubação fosfatada corretiva 15/10 e gesso agrícola 15/11); IV (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/11); V (Calagem + gesso agrícola 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); VI (Calagem + adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/09).

contínuas de água, mesmo este sulfato adsorvido será desorvido e irá lixiviar para camadas mais profundas. O tempo em que ocorrerão mudanças nas características do solo com uma única adição de gesso será determinado pela extensão do processo de desorção. No entanto, estes autores mostraram através de seus resultados que este processo não é rápido, pois foram observadas concentrações significativas de cálcio mais magnésio em profundidade de interesse agrônômico, após 6 anos da aplicação do gesso.

A partir das camadas de 60-80 cm e 80-100 cm de profundidade, no presente trabalho, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (C-AFC-G), com exceção do tratamento V (C+G AFC) que apresentou maior teor de cálcio um ano após a aplicação dos tratamentos (aumento de $0,5 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$). Porém apresentou uma queda de $0,3 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ após dois anos sendo que, esta queda não foi significativa estatisticamente.

Apesar de numericamente pequenos, estes aumentos nas camadas de 60-80 cm e 80-100 cm de profundidade tornam-se relevantes se levar em conta a baixa CTC efetiva deste solo ($0,7 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$). Sob estas condições, pequenas variações no teor de cálcio trocável podem resultar em alterações marcantes na saturação deste elemento no complexo sortivo. RITCHEY *et alii* (70) observaram que a adição de $3,6 \text{ t/ha}$ de gesso na forma de superfosfato simples a um solo que havia recebido $4,5 \text{ t/ha}$ de

calcário, promoveu um acréscimo de 0,52 meq/100 cm³ no teor de cálcio mais magnésio trocáveis à profundidade de 60-75 cm. Este aumento, associado às variações de pH e reduções no teor de alumínio trocável, acarretou redução significativa na toxidez de alumínio, que foi suficiente para permitir o crescimento das raízes do milho, observado até a profundidade de 120 cm.

4.2. Efeito dos Tratamentos no Teor de Magnésio no Perfil do Solo

Os resultados da análise de variância podem ser observados no Quadro 3. Houve efeito significativo para profundidade de amostragem, ano e interação profundidade x ano. Não houve efeito significativo para tratamentos (C-AFC-G). As comparações entre as médias podem ser observadas no Quadro 5.

Fazendo-se uma comparação das médias (Quadro 5) observa-se aumentos significativos no teor de magnésio, em função do tempo de aplicação, para todos os tratamentos (C-AFC-G) até a profundidade de 0-20 cm conforme ilustra a Figura 2. Isto se deve ao fato da calagem ter sido feita na camada de 0-20 cm de profundidade, ou seja, o teor de magnésio encontrado no calcário foi responsável por esse acréscimo.

Na camada de 20-40 cm de profundidade também observou-se aumentos significativos no teor de magnésio, sendo que os

maiores valores foram encontrados dois anos após, para todos os tratamentos aplicados. Estes resultados podem ser atribuídos ao efeito residual dos tratamentos (C-AFC-G) que foram aplicados na camada de 0-20 cm de profundidade e 2 anos após houve maior reação liberando este elemento para a solução do solo, nesta profundidade.

A partir da camada de 40-60 cm de profundidade não houve diferenças significativas entre os teores de magnésio em função do tempo de aplicação dos tratamentos (C-AFC-G) conforme ilustram, a Figura 2 e Quadro 5.

Observa-se que as doses de gesso praticamente não provocaram lixiviação de magnésio. Estes resultados coincidem com aqueles obtidos por Souza *et alii* citados por SOUZA & RITCHEY (78) que verificam que doses menores de 2 t/ha de gesso propiciaram pequeno movimento de magnésio (até 30 cm de profundidade). Entretanto, QUAGGIO *et alii* (60) constataram diminuição nos teores de magnésio em função da aplicação de gesso (1 e 2 t/ha) combinada com a aplicação de calcário dolomítico (0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 t/ha) nas parcelas que receberam pouco calcário, 18 meses após a aplicação. Portanto, a aplicação de gesso com o propósito de melhorar as condições das camadas subsuperficiais para o desenvolvimento radicular, deve ser feita sempre associada com doses adequadas de calcário dolomítico ou magnesiano para prevenir o desequilíbrio de bases na camada arável.

QUADRO 5. Teores de Mg trocável (meq/100cm³) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem, ESAL, Lavras, MG. 1989. (Média de 4 repetições).

Profundi- dades (cm)	TRATAMENTOS																	
	I			II			III			IV			V			VI		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0-20	0,1aC	0,5aB	1,0aA	0,1aC	0,4aB	1,1aA	0,1aC	0,3aB	0,9aA	0,1aC	0,4aB	0,9aA	0,1aC	0,4aB	0,9aA	0,1aC	0,6aB	0,9aA
20-40	0,1aB	0,3aAB	0,5bA	0,1aB	0,2abB	0,4bA	0,1aB	0,2aB	0,4bA	0,1aB	0,2abAB	0,4bA	0,1aB	0,2abB	0,4bA	0,1aB	0,3bcB	0,6bA
40-60	0,1aA	0,2bA	0,2cA	0,1aA	0,2abA	0,2bA	0,2bA	0,2aA	0,2bcA	0,1aA	0,2abA	0,2bA	0,1aA	0,2abA	0,3bcA	0,2aA	0,1cA	0,2cA
60-80	0,1aA	0,2bA	0,2cA	0,1aA	0,1bA	0,2bA	0,1aA	0,1aA	0,1cA	0,1aA	0,2bA	0,2bA	0,1aA	0,3abA	0,2cAB	0,1aA	0,2bcA	0,2cA
80-100	0,1aA	0,2bA	0,2cA	0,1aA	0,1bA	0,2bA	0,1aA	0,1aA	0,2bcA	0,1aA	0,2bA	0,2bA	0,1aA	0,1bA	0,2cA	0,1aA	0,1cA	0,3cA
Médias	0,1	0,3	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%). As comparações no sentido horizontal são com letras maiúsculas e no sentido vertical com letras minúsculas.

DMS Tukey (5%)=0,2 (profundidade e Ano)

Legenda: 0 - condições naturais; 1 - um ano após; 2 - dois anos após.

I (Calagem 15/09); II (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); III (Calagem 15/09, adubação fosfatada corretiva 15/10 e gesso agrícola 15/11); IV (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/11); V (Calagem + gesso agrícola 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); VI (Calagem + adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/09).

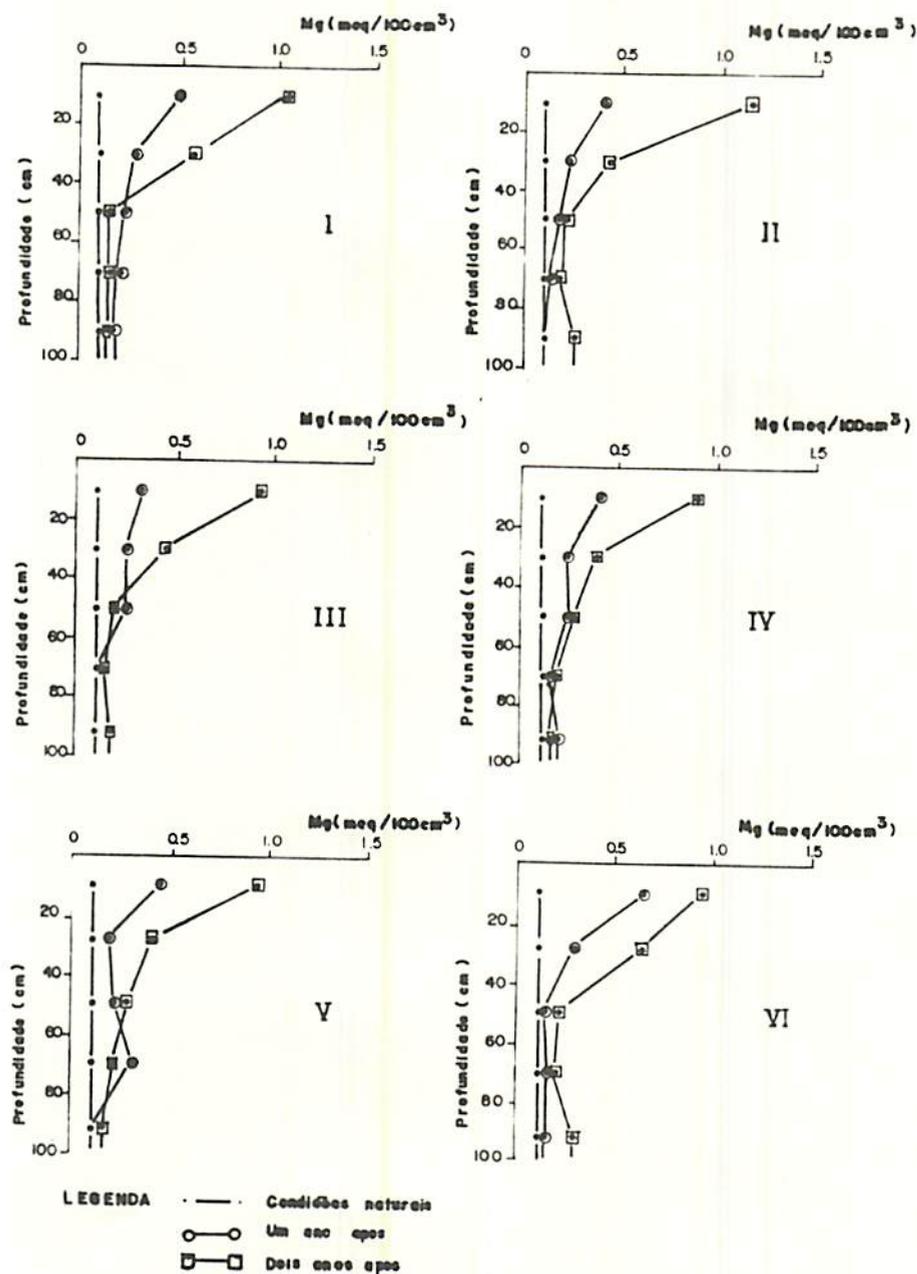


Figura 2. Distribuição do magnésio trocável ($\text{meq}/100 \text{ cm}^3$), em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho. ESAL, Lavras, MG. 1989.

4.3. Efeito dos Tratamentos no Teor de Alumínio Trocável no Perfil do Solo

Os resultados da análise de variância estão apresentados no Quadro 3. Houve efeito significativo de profundidade de amostragem, ano e da interação entre esses dois fatores.

A comparação das médias dos teores de alumínio pode ser vista no Quadro 6 . Observa-se que houve uma redução no teor de alumínio trocável em função do tempo na camada de 0-20 cm de profundidade, independente do tratamento (C-AFC-G). Estas reduções foram consideradas significativas se comparadas com o teor original do solo, $0,80 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$, passando para $0,10 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ dois anos após a aplicação dos tratamentos (C-AFC-G). Isto se deve ao fato da calagem e gessagem terem sido feitas na camada superficial (0-20 cm de profundidade) e mostrarem um efeito residual após 2 anos.

Na camada de 20-40 cm de profundidade, foi verificado efeito significativo do ano sobre o teor de alumínio trocável no solo, apenas dois anos após independente do tratamento (C-AFC-G) aplicado (Quadro 6 e Figura 3). Este fato provavelmente se deve ao efeito residual do calcário e do gesso, que, com o tempo continuou reduzindo o alumínio trocável nesta profundidade.

A partir da camada de 40-60 cm de profundidade não houve efeito significativo nos teores de alumínio no solo.

Comparando-se esses resultados com os obtidos para cálcio trocável (Quadro 4), observa-se que aumentos no teor de cálcio foram observados até a camada de 40-60 cm de profundidade.

Diversos autores têm mostrado um efeito do gesso em diminuir os teores de alumínio trocável no solo, em profundidade, como é o caso de REEVE & SUMMER (64); RITCHEY *et alii* (70), PAVAN *et alii* (55) embora em alguns deles, tivessem sido usadas doses muito altas desse material. GUILHERME (28) constatou que o gesso aplicado em quantidades entre 4,7 e 6,6 t/ha reduziu o teor de alumínio na camada superficial t/ha reduziu o teor de alumínio na camada superficial parcialmente e totalmente na camada de 20-40 cm, mesmo em casos que o teor de alumínio chegava a 1,5 meq/100 cm³. Estudos desenvolvidos por PAVAN (53) indicam que, quando se aplica gesso, ocorre a complexação do alumínio pelo sulfato, formando o par iônico $AlSO_4^+$, que pode ser responsável por até 50% do alumínio presente na solução do solo, reduzindo, assim, a presença da forma tóxica (Al^{+++}). Com a redução do alumínio trocável e principalmente com o aumento das bases lixiviadas juntamente com o $S-SO_4^-$, há uma redução significativa da saturação de alumínio no perfil.

QUADRO 6. Teores de Al trocável (meq/100cm) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem, ESAL, Lavras-MG.1989. (Média de 4 repetições).

		TRATAMENTOS																	
		I			II			III			IV			V			VI		
Profun- didades (cm)	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
0-20	0,8aA	0,6aB	0,1bC	0,8aA	0,5aB	0,1bC	0,8aA	0,5aB	0,1bC	0,8aA	0,4abB	0,1abC	0,8aA	0,5aB	0,1aC	0,8aA	0,4abB	0,1bC	
20-40	0,6abA	0,6Aa	0,2abB	0,6abA	0,6aA	0,2abB	0,6abA	0,6aA	0,2bB	0,6abA	0,7aA	0,3aB	0,6abA	0,6aA	0,2aB	0,6abA	0,6aA	0,2abB	
40-60	0,4bcA	0,4abA	0,4aA	0,4bcA	0,4abA	0,4aA	0,4bcA	0,4aA	0,4aA	0,4bcA	0,4bA	0,4aA	0,4bcA	0,4aA	0,3aA	0,4bcA	0,3bcA	0,4aA	
60-80	0,3cA	0,2bA	0,3abA	0,3cA	0,3abA	0,3abA	0,3cA	0,4aA	0,4abA	0,3cA	0,4bcA	0,3aA	0,3cB	0,6aA	0,3aB	0,3cA	0,3bcA	0,3abA	
80-100	0,2cA	0,1bA	0,2bA	0,2cA	0,2bA	0,2abA	0,2cA	0,2bA	0,2abA	0,2cA	0,1cA	0,2aA	0,2cA	0,1bA	0,2aA	0,2cA	0,2cA	0,2abA	
Médias	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey(5%). As comparações no sentido horizontal são com letras maiúsculas e no sentido vertical com letras minúsculas.

DMS Tukey (5%)=0,3 (Profundidade) 0,2 (Ano)

Legenda: 0 - condições naturais; 1 - um ano após; 2 - dois anos após.

I (Calagem 15/09); II (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); III (Calagem 15/09, adubação fosfatada corretiva 15/10 e gesso agrícola 15/11); IV (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/11); V (Calagem + gesso agrícola 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); VI (Calagem + adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/09).

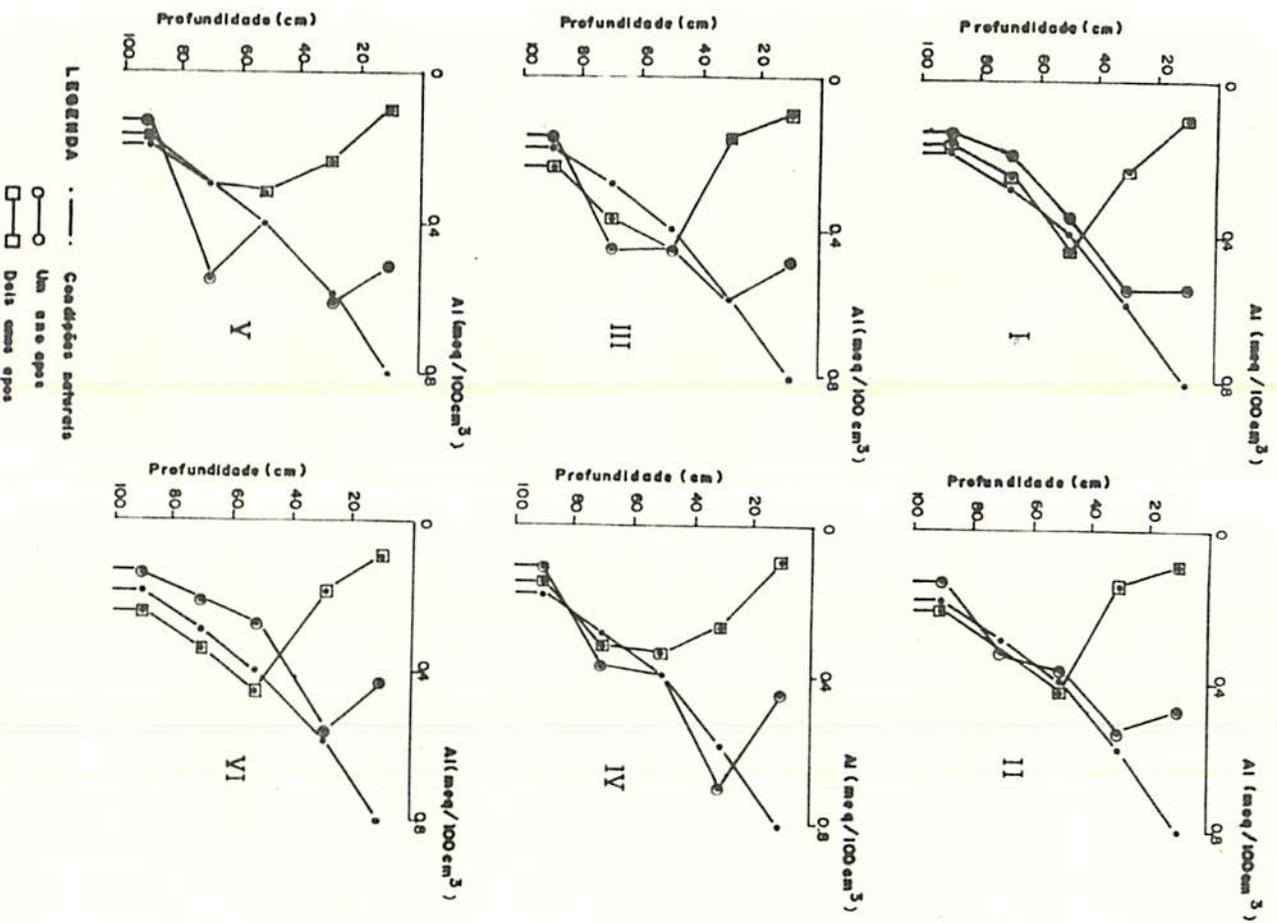


Figura 3. Distribuição do alumínio trocável ($\text{meq}/100 \text{ cm}^3$), em um perfil Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após aplicação dos tratamentos e cultivos de milho. ESAL, Lavras, MG. 1989

4.4. Efeito dos Tratamentos na Percentagem de Saturação de Alumínio no Perfil do Solo

Os resultados da análise de variância são apresentados no Quadro 3. Observa-se que houve efeito significativo da profundidade de amostragem, do ano e da interação entre estes dois fatores. As comparações das médias podem ser observadas no Quadro 7. Todos os tratamentos (C-AFC-G) foram eficientes em reduzir a saturação de alumínio nas camadas superficiais (0-20 cm e 20-40 cm de profundidade), quando comparadas com o valor de saturação inicial do solo, que era de 59% na camada de 0-20 cm de profundidade, sendo que um ano após caiu para aproximadamente 25% e dois anos após para 2,5%.

Por comparação das médias, observa-se que para todos os tratamentos (C- AFC-G) os menores valores de percentagem de saturação de alumínio foram encontrados dois anos após aplicação dos tratamentos nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade. Isto se deve ao maior tempo de reação e efeito residual dos tratamentos (C-AFC-G).

Na camada de 40-60 cm de profundidade observa-se que houve uma redução na percentagem de saturação de alumínio no primeiro ano, que foi mantida no segundo ano, sendo que não houve diferenças significativas entre o ano 1 e ano 2. Este resultado se deve ao aumento no teor de cálcio trocável, que ocorreu nesta camada (40-60 cm de profundidade) sem alteração

no alumínio trocável, tendo como consequência uma redução na percentagem de saturação de alumínio no primeiro ano sem maiores efeitos no segundo ano.

Na camada de 60-80 cm de profundidade não houve diferenças significativas do ponto de vista da estatística, porém estas reduções podem ser relevantes agronomicamente, se levar em conta o efeito nas plantas cultivadas.

Estes resultados coincidem com aqueles obtidos por SOUZA & RITCHEY (78) que verificaram que a aplicação de gesso reduziu a percentagem de saturação de alumínio no perfil do solo, a qual foi provocada principalmente pelo aumento das bases lixiviadas. Resultados semelhantes foram encontrados por ALVES & LOPES (5), ALVES (3), DAL-BÓ (17).

A camada de 80-100 cm de profundidade apresentou reduções significativas nos valores de percentagem de saturação de alumínio um ano após, sendo que houve uma tendência de manter estes resultados dois anos após a aplicação dos tratamentos.

Os resultados obtidos no presente trabalho foram consistentes com aqueles encontrados para cálcio trocável, demonstrando que a diminuição da saturação de alumínio foi função, principalmente do aumento de cálcio, provocado pelo gesso e calcário aplicados superfície. Devido à baixa CTC efetiva deste solo, os aumentos nos teores de cálcio associados às reduções observadas para alumínio trocável, foram suficientes para provocar diminuição marcante na saturação de alumínio.

QUADRO 7. Percentagem de saturação de alumínio (m) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem, ESAL, Lavras-MG, 1989. (Média de 4 repetições).

Profundidades (cm)	TRATAMENTOS																	
	I			II			III			IV			V			VI		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0-20	59aA	26abB	2dc	59aA	25aB	2cC	59aA	24bB	2bC	59aA	19bB	3cC	59aA	25abB	2cC	59aA	18bB	2cC
20-40	63aA	37aB	12cdC	63aA	36aB	9bcC	63aA	37abB	7bC	63aA	40aB	12bcC	63aA	40aB	10bcC	63aA	36aB	9bcC
40-60	54abA	2abB	39aB	54abA	33aB	36aB	54abA	28bB	34aB	54abA	31abB	24abB	54abA	34abB	22abB	54abA	23abB	30aB
60-80	41bA	27abA	32abA	41bA	35aA	33aA	41bA	46aA	39aA	41bA	32abA	30aA	41bA	32abA	28aA	41bA	27abA	32aA
80-100	41bA	19bB	21bcB	41bA	21aB	23abB	41bA	26bB	28aAB	41bA	20bB	22abB	41bA	18bB	20abB	41bA	27abAB	23abB
Médias	51	28	21	51	30	21	51	33	22	51	28	18	51	30	16	51	26	19

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey(5%). As comparações no sentido horizontal são com letras maiúsculas e no sentido vertical com letras mindsculas.

DMS Tukey (5%)=17 (Profundidade) e 14 (Ano)

Legenda: 0 - condições naturais; 1 - um ano após; 2 - dois anos após.

I (Calagem 15/09); II (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); III (Calagem 15/09, adubação fosfatada corretiva 15/10 e gesso agrícola 15/11); IV (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/11); V (Calagem + gesso agrícola 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); VI (Calagem + adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/09).

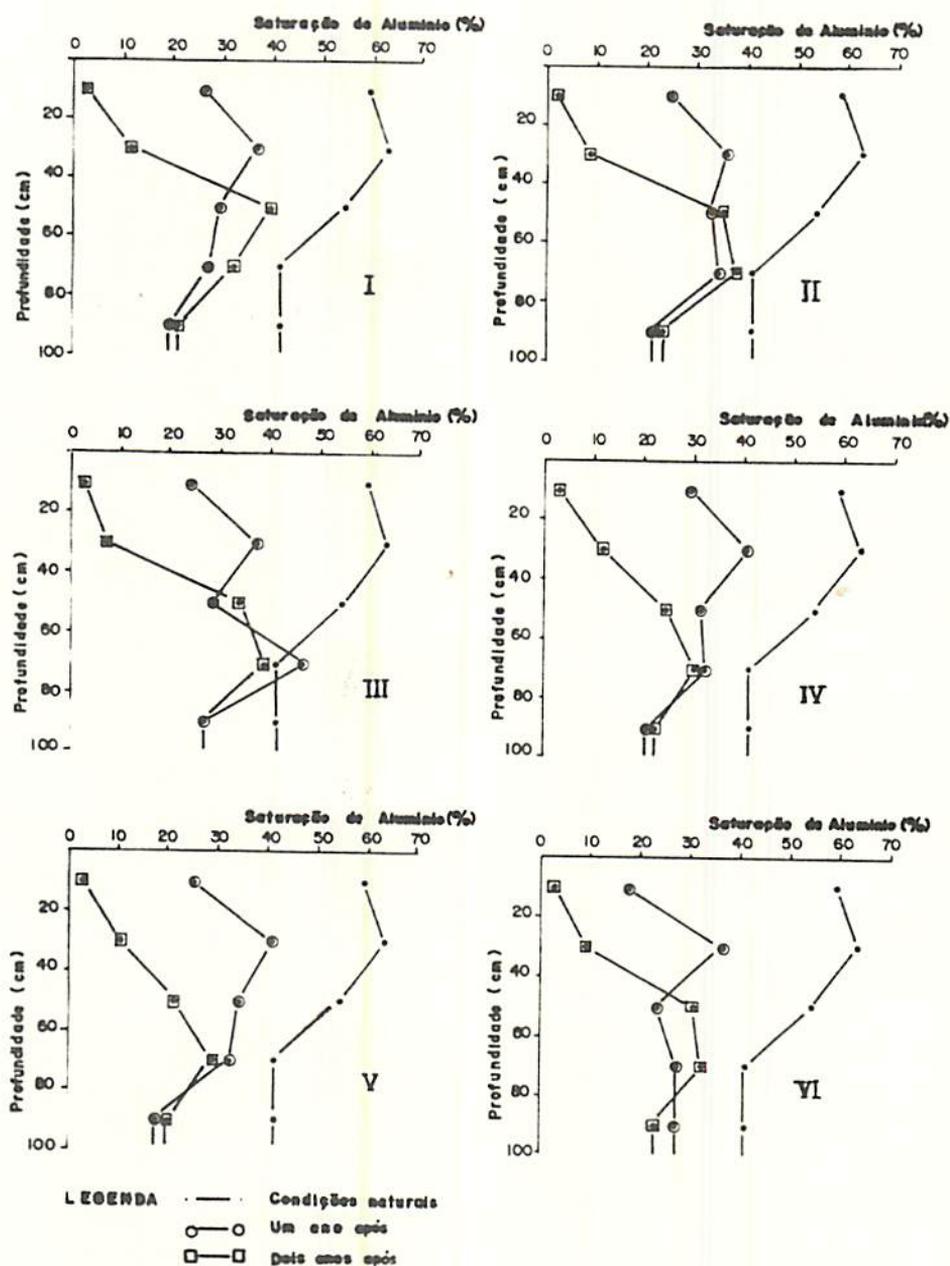


FIGURA 4. Distribuição da percentagem de saturação de alumínio, em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho. ESAL, Lavras, MG. 1989.

A redução da percentagem de saturação de alumínio no subsolo implica na redução da toxidez deste elemento e, conseqüentemente, favorece o desenvolvimento radicular das plantas em profundidade. Segundo EVANS & KAMPRATH (21) a concentração de alumínio na solução de solos minerais está relacionada com a percentagem da CTC efetiva destes solos, quando saturada com alumínio 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.

Com base nestes dados, pode-se constatar que no presente trabalho, a saturação de alumínio foi reduzida consideravelmente com o decorrer do tempo, diminuindo seus possíveis efeitos tóxicos.

4.5. Efeito dos Tratamentos no pH em Água no Perfil do Solo

Os resultados da análise de variância podem ser observados no Quadro 3. Houve efeito significativo para profundidade de amostragem, ano e interação entre estes dois fatores. As comparações entre as médias podem ser vistas no Quadro 8.

Fazendo-se uma comparação das médias (Quadro 8 e Figura 5) observa-se que houve aumentos significativos no pH do solo, para todos os tratamentos (C-AFC-G) aplicados, em função do

tempo, na camada de 0-20 cm e de 20-40 cm de profundidade, sendo que os maiores valores de pH foram obtidos dois anos após. Isto era de ser esperar devido ao efeito da calagem se manifestar até esta profundidade e também devido ao efeito residual dos tratamentos.

Nas camadas de 40-60 e 60-80 cm de profundidade não houve diferenças significativas nos valores de pH em função do tempo e dos tratamentos (C-AFC-G) a exceção de uma diminuição deste parâmetro no tratamento II após dois anos de cultivo.

Na camada de 80-100 cm de profundidade houve diferenças significativas nos valores de pH em função do tempo, para os tratamentos I, IV e VI, sendo que os maiores valores de pH foram obtidos um ano após.

O gesso pode alterar o pH do solo como resultado de um fenômeno de troca. O deslocamento do Al^{+++} pelo Ca^{++} resulta na liberação de ions H^+ para a solução do solo. Em contrapartida, a adsorção de sulfato libera OH^- para a solução do solo, CHANG & THOMAS (9); PARFITT & SMART (50). o balanço dessas reações é dependente das características químicas e mineralógicas do solo. Em razão disto, resultados experimentais e mesmo contraditórios são encontrados na literatura. RITCHEY *et alii* (70); COUTO *et alii* (14); FARINA & CHANON (22), observaram aumentos do pH do solo com adição de gesso. A maioria dos trabalhos, no entanto, relata que o pH pode sofrer um ligeiro abaixamento ou não se modificar com a aplicação do gesso, FRIED

QUADRO 8. Valores de pH em água nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem, ESAL, Lavras-MG. 1989. (Média de 4 repetições).

Profun- didades (cm)	TRATAMENTOS																	
	I			II			III			IV			V			VI		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0-20	4,6aC	4,9aB	5,3aA	4,6aC	4,9aB	5,3aA	4,6aC	4,9aB	5,4aA	4,6aC	5,0aB	5,3aA	4,6aC	4,9aB	5,4aA	4,6aC	5,0aB	5,3aA
20-40	4,6aB	4,6aB	5,0abA	4,6aB	4,5Bb	5,1Aa	4,6aB	4,6abB	5,1aA	4,6aB	4,7aAB	4,9bA	4,6aB	4,6aB	4,9bA	4,6aB	4,6bB	5,1Aa
40-60	4,6aA	4,8aA	4,7bcA	4,6aA	4,7abA	4,7bA	4,6aA	4,7abA	4,6bA	4,6aA	4,8aA	4,7bA	4,6aA	4,7aA	4,8bcA	4,6aA	4,7abA	4,7ba
60-80	4,6aAB	4,7aA	4,4cB	4,6aA	4,7abA	4,3cB	4,6aA	4,5bA	4,4bA	4,6aA	4,7aA	4,6bA	4,6aA	4,6aA	4,5cA	4,6aA	4,6bA	4,6bA
80-100	4,6aB	4,9aA	4,5cB	4,6aA	4,7abA	4,6bcA	4,6aAB	4,7abA	4,4bB	4,6aB	4,9aA	4,6bB	4,6aAB	4,8aA	4,5cB	4,6aB	4,9abA	4,6bB
Médias	4,6	4,8	4,8	4,6	4,7	4,8	4,6	4,7	4,8	4,6	4,8	4,8	4,6	4,7	4,8	4,6	4,8	4,8

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey(5%). As comparações no sentido horizontal são com letras maiúsculas e no sentido vertical com letras minúsculas.

DMS Tukey (5%)=20 (Profundidade) e 19 (Ano)

Legenda: 0 - condições naturais; 1 - um ano após; 2 - dois anos após.

I (Calagem 15/09); II (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); III (Calagem 15/09, adubação fosfatada corretiva 15/10 e gesso agrícola 15/11); IV (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/11); V (Calagem + gesso agrícola 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); VI (Calagem + adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/09).

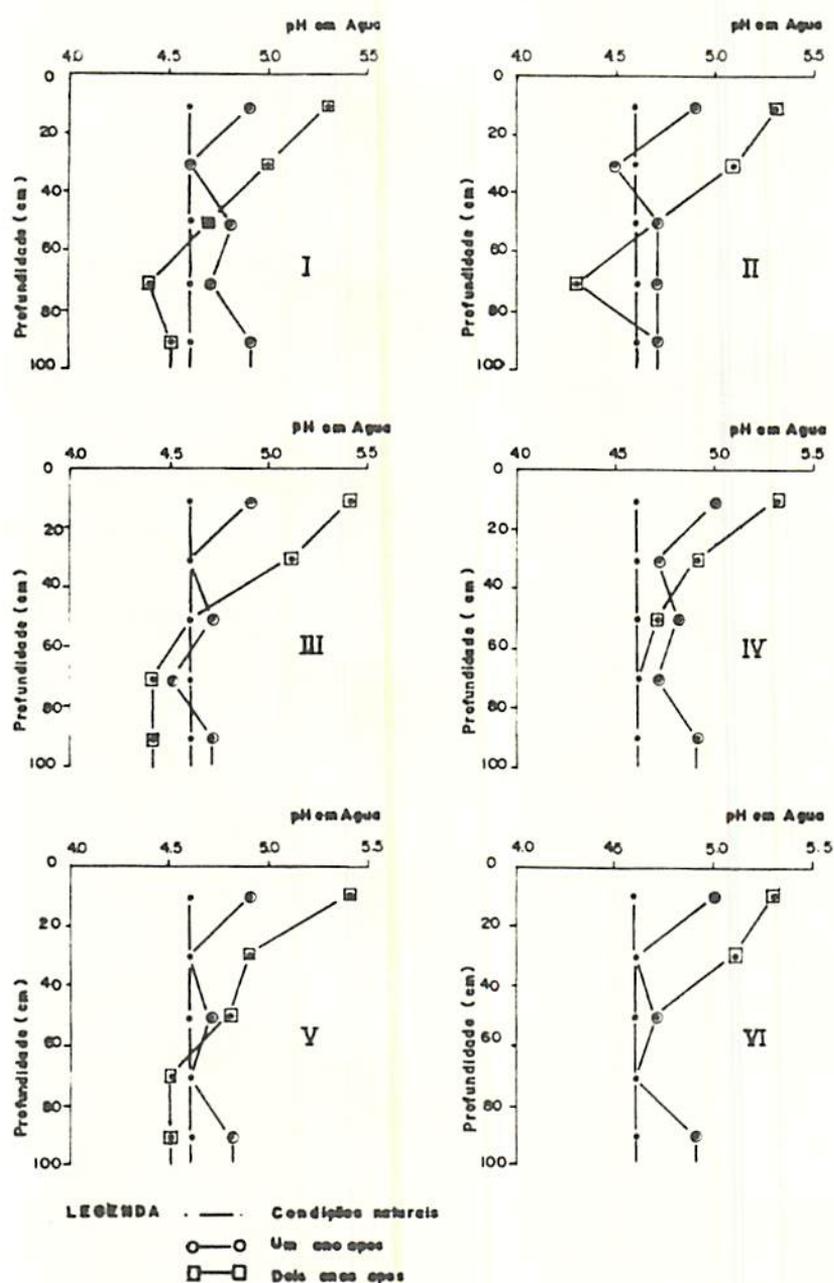


FIGURA 5. Distribuição dos valores de pH em água, em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho. ESAL, Lavras, MG. 1989

& PEECH (26); KIEHL & FRANCO (39); PAVAN *et alii* (55). No presente trabalho observou-se pequeno efeito dos tratamentos envolvendo o uso do gesso nos valores de pH, o que concorda com os últimos autores.

4.6. Efeito dos Tratamentos no Teor de $S-SO_4^-$ no Perfil do Solo

Os resultados da análise de variância podem ser observados no Quadro 3. Houve efeito significativo para tratamentos (C-AFC-G), profundidade de amostragem, tratamento (C-AFC-G) x profundidade, ano, tratamento (C-AFC-G) x ano, profundidade x ano e tratamentos (C-AFC-G) x profundidade x ano. As comparações entre as médias podem ser observadas no Quadro 9.

Fazendo-se uma comparação das médias (Quadro 9) observa-se que para os tratamentos (C-AFC-G) em que se usou gesso (III, IV, V e VI) houve um aumento significativo no teor de $S-SO_4^-$ um ano após a aplicação dos tratamentos (C-AFC-G), na camada de 0-20 cm de profundidade, sendo que dois anos após estes valores diminuíram significativamente nesta camada, indo acumular na camada de 20-40 cm de profundidade conforme ilustra a Figura 6. Segundo RAIJ (63), isto provavelmente se deve às condições existentes na camada arável de solos cultivados, ou seja, carga negativa elevada, acidez corrigida e presença de

teores elevados de íons fosfato, que ocupam preferencialmente as posições que poderiam ser ocupadas por sulfato.

Na camada de 40-60 cm, para os mesmos tratamentos (II, IV, V, VI), houve uma queda nos teores de $S-SO_4^-$, porém, estes valores ainda foram considerados significativos. Esta tendência foi também observada para a dinâmica do cálcio trocável no perfil, conforme pode ser visto no Quadro 4 e Figura 1.

Nas camadas de 60-80 e 80-100 cm de profundidade não houve diferenças significativas nos teores de $S-SO_4^-$ em função do tempo de aplicação e nem dos tratamentos (C-AFC-G).

Fazendo-se o desdobramento da interação tripla (tratamentos (C-AFC-G) x profundidade x ano) observa-se que o maior teor de $S-SO_4^-$ foi encontrado na camada de 0-20 cm de profundidade dois anos após a aplicação dos tratamentos (C-AFC-G) em que se utilizou o gesso (III, IV, V e VI).

Estes resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com os encontrados por COUTO *et alii* (14); KAMPRATH *et alii* (38) que observaram que de uma maneira geral, a retenção do $S-SO_4^-$ em solos é menor na camada arável do solo. Como o pH do solo abaixo dos primeiros 20 cm é ácido, o $S-SO_4^-$ provavelmente passa a ser retido pelo solo, e, segundo COUTO *et alii* (14) e COSTA (13), quanto maior o pH, menor a capacidade de retenção de $S-SO_4^-$ pelo solo. Eles mostraram que as quantidades retidas variam de 0,2 e 0,9 meq de $S-SO_4^-$ /100g de solo, no horizonte Ap, e de 0,6 a 1,3 meq $S-SO_4^-$ /100g de solo no horizonte B₂.

QUADRO 9. Teores de S-SO₄²⁻ (ppm) nas cinco profundidades, nas três épocas de amostragem, ESAL, Lavras-MG. 1989. (Média de 4 repetições).

		TRATAMENTOS																	
		I			II			III			IV			V			VI		
Profun- didades (cm)		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
	0-20		10,3aA	11,0aA	6,6abA	10,3aA	10,5aA	7,4abA	10,3aB	33,0aA	14,3bB	10,3aB	33,1aA	12,3bB	10,3aB	31,0aA	12,2bB	10,3aB	32,5aA
20-40		3,9bA	4,0bA	9,2aA	3,9bA	5,8abA	9,5aA	3,9bC	18,3bB	25,2aA	3,9bB	27,5aA	23,9aA	3,9bC	10,3bB	22,7aA	3,9bC	15,7bB	25,9aA
40-60		2,6bA	4,0bA	4,1abA	2,6bA	3,0bA	4,3abA	2,6bB	9,4cA	12,9bA	2,6bB	7,9bAB	12,7bA	2,6bB	5,5bcB	13,6bA	2,6bB	7,2cB	15,4bA
60-80		2,6bA	3,2bA	3,0bA	2,6bA	3,1bA	3,7bA	2,6bA	3,4dA	3,3cA	2,6bA	3,3bA	4,3cA	2,6bA	4,0cA	1,9cA	2,6bA	3,3cA	5,3cA
80-100		2,6bA	3,4bA	3,1bA	2,6bA	3,6bA	5,1abA	2,6bA	3,8cdA	3,2cA	2,6bA	3,9bA	4,4cA	2,6bA	3,4cA	3,7cA	2,6bA	3,5cA	3,7cA
Médias		4,4	5,1	5,2	4,4	5,2	6,0	4,4	13,6	11,8	4,4	15,1	11,5	4,4	10,8	10,8	4,4	12,4	13,2

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey(5%). As comparações no sentido horizontal são com letras maiúsculas e no sentido vertical com letras minúsculas.
 DMS Tukey (5%)=5,7 (profundidade e Ano)
 Legenda: 0 - condições naturais; 1 - um ano após; 2 - dois anos após.

I (Calagem 15/09); II (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); III (Calagem 15/09, adubação fosfatada corretiva 15/10 e gesso agrícola 15/11); IV (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/11); V (Calagem + gesso agrícola 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); VI (Calagem + adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/09).

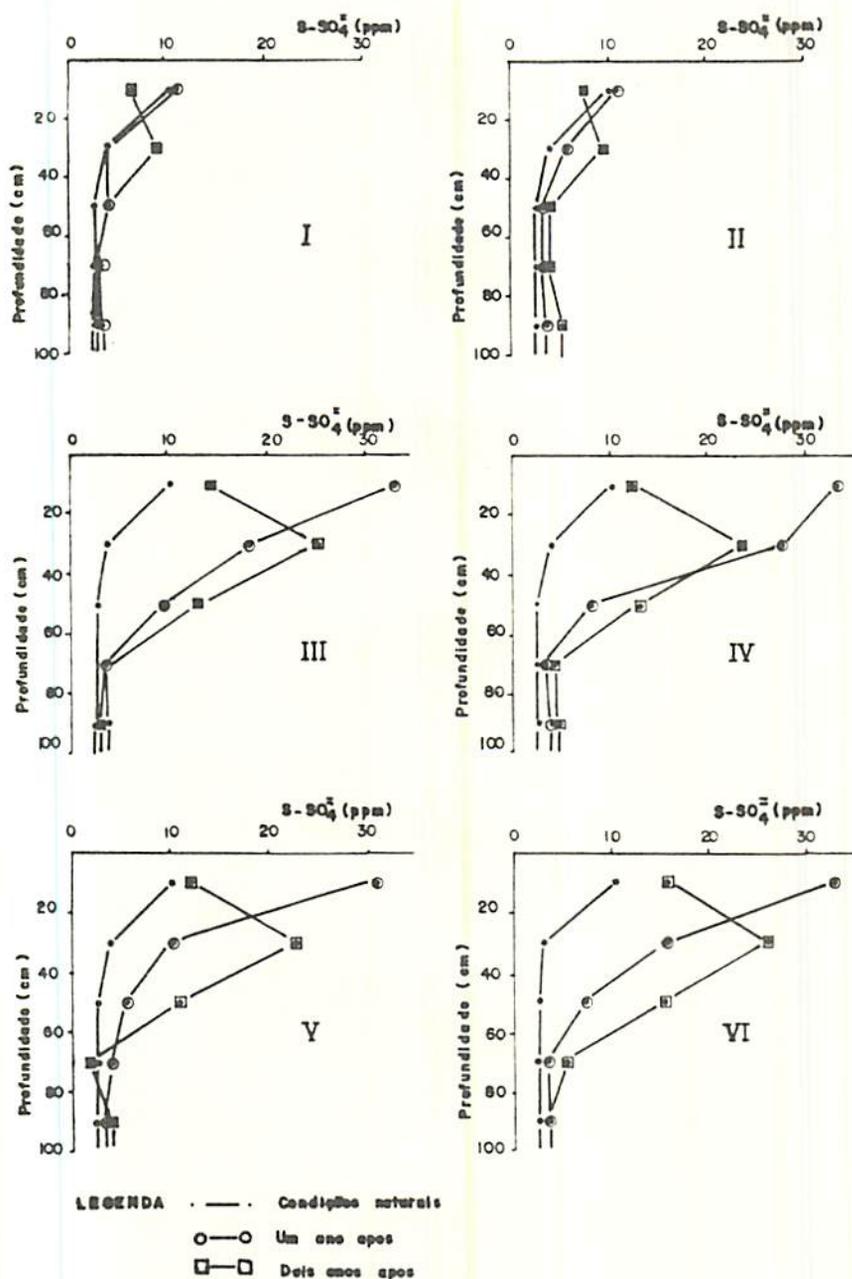


FIGURA 6. Distribuição do $S-SO_4^{2-}$ (ppm), num perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho. ESAL, Lavras, MG. 1989.

4.7. Efeito dos Tratamentos no Teor de Potássio Solúvel no Perfil do Solo

Os resultados da análise de variância podem ser observados no Quadro 3. Houve efeito significativo para profundidade de amostragem, ano, tratamento (C-AFC-G) \times ano e profundidade \times ano. As comparações entre as médias podem ser observadas no Quadro 10.

Na camada de 0-20 cm de profundidade, apenas o tratamento (C-AFC-G) III levou a um aumento significativo no teor de potássio solúvel, em relação ao solo original, após dois anos de cultivo. Os tratamentos (C-AFC-G) I e V, apesar de não apresentarem aumentos significativos nesse parâmetro, evidenciaram considerável acúmulo de potássio nessa camada. Uma vez que a dose de KCl foi a mesma em todos os tratamentos (100 kg KCl/ha/cultivo), o comportamento diferenciado dos tratamentos (C-AFC-G) II, IV e VI, cujos teores de potássio solúvel são semelhantes ao solo original, sugere diferentes graus extração de potássio pela cultura de milho nesse período.

Na camada de 20-40 cm de profundidade, os teores de potássio solúvel foram bem menores que os observados na camada de 0-20 cm, mais ainda significativamente maiores, após dois anos de cultivo, em comparação com teor do solo original nessa camada (Quadro 10 e figura 7). Estes dados indicam um certo grau de movimentação de potássio para essa camada, o que não

significa, entretanto, perdas por simples lixiviação. Dados de diminuição de potássio na camada arável foram observados por QUAGGIO *et alii* (60) em função de aplicação de gesso combinada a aplicação de calcário.

Nas demais camadas, o comportamento foi mais ou menos semelhante, qual seja, aumento não significativos no teor de potássio solúvel, em função dos tratamentos, a exceção do tratamento (C-AFC-G) III nas camadas de 40-60 e 60-80cm, após um ano de cultivo, que apresentou aumentos consideráveis nesse parâmetro (Quadro 10 e Figura 7). Mas não foram significativos os aumentos de potássio solúvel nas camadas abaixo de 20-40 cm, na maioria dos casos, o que poderia ser considerado como lixiviado. Deve-se enfatizar que essas camadas apresentaram cerca de duas vezes o teor de potássio em comparação com o solo original, indicando certo grau de movimentação para essas camadas.

Assim, a calagem e a adição de gesso, ao elevarem os teores de cálcio e magnésio no solo, contribuem para perdas menores de potássio, além de favorecer a menor retenção de $S-SO_4^-$ na camada arável devido ao aumento do pH do solo pela calagem, RITCHEY *et alii* (67).

QUADRO 10. Teores de K (ppm) nas cinco profundidades, nas tres épocas de amostragem, ESAL, Lavras, MG. 1989
(Média de 4 repetições).

Profundi- dades (cm)	TRATAMENTOS																	
	I			II			III			IV			V			VI		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0-20	64,0aAB	54,2aB	81,5aA	64,0aA	68,2aA	64,5aA	64,0aB	40,5aC	85,8aA	64,0aA	54,4aA	69,2aA	64,0aA	47,2aB	80,8aA	64,0aA	62,2aA	70,5aA
20-40	20,0bB	36,5abAB	43,0bA	20,0bB	47,2bA	43,0bA	20,0bB	31,5abAB	40,5bA	20,0bB	25,2bAB	42,8bA	20,0bB	23,2bAB	42,2bA	20,0bB	24,2bB	44,2bA
40-60	14,0bB	37,8abA	26,2bcAB	14,0bA	29,0bcA	27,5bcA	14,0bB	39,5aA	24,2bcAB	14,0bA	30,2bA	27,0bcA	14,0bA	22,0bA	29,5bcA	14,0bA	26,8bA	27,2bcA
60-80	12,0bA	25,8bA	19,2cA	12,0bA	25,2cA	19,2cA	12,0bB	33,5abA	18,5cAB	12,0bA	24,2bA	18,8cA	12,0bA	19,2bA	21,5cA	12,0bA	14,5bA	18,5cA
80-100	10,0bA	29,2bA	19,8cA	10,0bA	18,2cA	24,5bcA	10,0bA	16,0bA	19,8cA	10,0bA	13,8bA	17,2cA	10,0bA	10,8bA	20,0cA	10,0bA	11,2bA	20,5cA
Médias	24,0	36,7	38,0	24,0	36,6	35,7	24,0	32,2	37,7	24,0	29,6	35,0	24,0	24,5	38,8	24,0	27,8	36,2

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey(5%). As comparações no sentido horizontal são com letras maiúsculas e no sentido vertical com letras minúsculas.
DNS Tukey (5%)=20,6 (Profundidade) e 19,3 (Ano)
Legenda: 0 - condições naturais; 1 - um ano após; 2 - dois anos após.

I (Calagem 15/09); II (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); III (Calagem 15/09, adubação fosfatada corretiva 15/10 e gesso agrícola 15/11); IV (Calagem 15/09 e adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/09 e adubação fosfatada corretiva 15/11); VI (Calagem + adubação fosfatada corretiva + gesso agrícola 15/09).

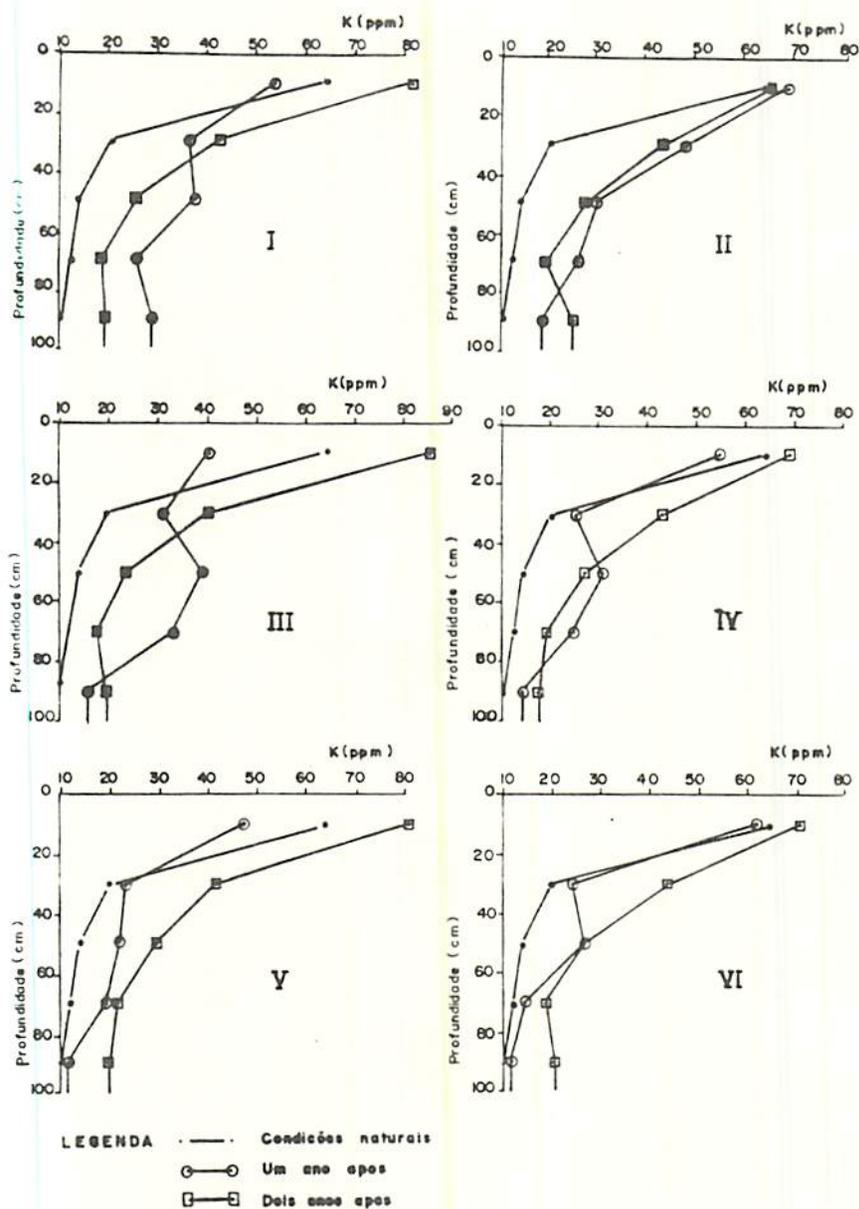


FIGURA 7. Distribuição do potássio solúvel (ppm) em um perfil de Latossolo Roxo, nas condições naturais, um ano e dois anos após a aplicação dos tratamentos e cultivos de milho. ESAL, Lavras, MG. 1989.

5. CONCLUSÕES

a) O uso da calagem, combinada ou não com a adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola, propiciou um considerável efeito residual, até dois anos após a aplicação, em termos de aumentos nos teores de cálcio, magnésio, elevação do pH e redução do alumínio trocável e saturação de alumínio na camada de 0-20 cm de profundidade;

b) Houve movimentação vertical dos efeitos benéficos da calagem até 20-40 cm profundidade, independente ou não da presença da adubação fosfatada corretiva ou do gesso agrícola.

c) Os tratamentos envolvendo o uso do gesso agrícola apresentaram efeitos significativos no aumento do teor de cálcio trocável e diminuição do alumínio trocável e percentagem de saturação de alumínio na camada de 40-60 cm, indicando movimentação vertical dos efeitos desse produto para essa camada, com todos os possíveis efeitos benéficos para aprofundamento do sistema radicular das plantas cultivadas;

d) A dose de 1,6 toneladas de gesso agrícola por hectare, combinada ao uso do calcário dolomítico, não induziu a lixiviação de magnésio trocável;

e) Houve aumentos dos teores de potássio solúvel nas camadas subsuperficiais (40-60 cm ou mais) pelo uso da calagem combinada ou não à adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola, embora não significativos estatisticamente para todos os tratamentos;

f) A combinação da calagem com adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola é recomendável para a melhoria do ambiente do solo para melhor desenvolvimento do sistema radicular com todos os benefícios inerentes.

CAIÇ. → último.

6. RESUMO

O trabalho foi realizado em um solo sob vegetação de "cerrado", de características álicas, com o objetivo de avaliar os efeitos residuais da calagem associada ou não à adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola, suas implicações na dinâmica de bases, bem como outras características ao longo do perfil e do tempo.

O estudo foi desenvolvido em condições de campo, em um Latossolo Roxo distrófico, textura argilosa, sendo que a caracterização química, sob condições naturais foi feita por camadas (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm 80-100 cm de profundidade). Neste local foi conduzido, no período de julho de 1986 a julho de 1988 o trabalho "*Avaliação de estratégias de manejo para máxima eficiência agronômica das práticas da calagem, fosfatagem e gessagem*".

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, no esquema parcelas subdivididas no tempo, sendo nas parcelas os seis tratamentos (C - AFC - G) e cinco

profundidades de amostragem e nas subparcelas três épocas de amostragem (anos).

Foram utilizados 3,9 t/ha de calcário dolomítico, 300 kg de P_2O_5 /ha na forma de superfosfato triplo e 1,6 t/ha de gesso agrícola. Os tratamentos consistiram de calagem (C), calagem e adubação fosfatada corretiva (C-AFC) e calagem, adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola (C-AFC-G) aplicados em diferentes épocas.

No decorrer do período deste ensaio foram feitos dois cultivos de milho que receberam a seguinte adubação em kg/ha: 45 de uréia, 160 de superfosfato triplo, 100 de KCl, 15 de Bórax e 15 de sulfato de zinco, no plantio e 89 de uréia em cobertura.

Nos meses de julho de 1987 e julho de 1988, após a colheita do milho, foram feitas amostragens do solo, por parcela e por camadas (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm de profundidade) utilizando-se um trado tipo "caneco", sendo cada amostra composta de dez amostras simples que foram submetidas às seguintes análises químicas: pH em água, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, potássio solúvel, $S-SO_4^-$ e saturação de alumínio (%).

Observou-se um considerável efeito residual da calagem combinada ou não com adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola, incorporada na camada de 0-20cm de profundidade, até dois anos após a aplicação, em termos de aumentos significativos dos teores de cálcio, magnésio, valores de pH, redução do alumínio

trocável e da saturação de alumínio nesta camada.

O efeito residual da calagem associada ou não à adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola, estendeu-se também à camada 20-40 cm em relação aos aumentos nos teores de cálcio, magnésio, valores de pH, redução do alumínio trocável e diminuição na saturação de alumínio.

Os tratamentos envolvendo o uso do gesso agrícola apresentaram aumentos significativos nos teores de cálcio trocável e diminuição dos teores de alumínio trocável e saturação de alumínio na camada de 40-60 cm de profundidade, indicando uma movimentação dos efeitos desse produto até essa camada, com todos os possíveis efeitos benéficos para o profundamento do sistema radicular.

Observou-se aumentos significativos nos teores de $S-SO_4^-$ nos tratamentos que receberam gesso agrícola, na camada de 0-20 cm de profundidade, sendo que dois anos após, estes valores diminuíram significativamente nesta camada, indo acumular na de 20-40 cm de profundidade.

A dose de 1,6 toneladas de gesso agrícola por hectare não induziu a lixiviação de magnésio trocável.

Embora não significativos para todos os tratamentos, aumentos dos teores de potássio solúvel até a profundidade de 60 cm, em até dois cultivos, sugerem um certo grau de lixiviação desse elemento tanto na presença, como na ausência do gesso agrícola.

Conclui-se, portanto, que a soma desses efeitos benéficos, associados ao efeito residual sugerem que a combinação da calagem com a adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola é recomendável para a melhoria do ambiente do solo, visando um melhor desenvolvimento do sistema radicular com todos os benefícios inerentes.

7. SUMMARY:

The objective of this work was to evaluate the residual effects of liming, associated or not with "*build-up*" phosphate fertilization and phosphogypsum use, on the bases dynamic and other chemical characteristics of soil surface and subsoil layers.

Samples of a dystrophic "*Oxisol*", Clay texture, under "*cerrado*" vegetation, were collected from depths of 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm, in an experimental area where, from July 1986 to July 1988, was developed the study "Evaluation of management strategies to maximize agronomic efficiency of liming, "*build-up*" phosphate fertilization and phosphogypsum use".

The experiment was laid out in a randomized block design with four replications, on a scheme of split-plot in time, with six treatments (C-AFC-C) and five depths of sampling in the plots; and in the sub-plots three sampling times (years).

Treatments were liming (C), liming plus "build-up" phosphate fertilization (C-AFC) and liming plus "build-up" phosphate fertilization plus use of phosphogypsum (C-AFC-G), applied at different times. Rates of lime, P_2O_5 as STP and phosphogypsum were 3.9, 0.3 and 1.6 ton/ha, respectively.

Corn was cultivated in these plots for two consecutive years, and each plot received the following fertilizer rates (kg/ha): 45 of urea, 160 of STP, 100 of KCl, 15 of borax and 15 of zinc sulphate at planting, plus 89 of urea as top dressing.

After each harvest (July 1987 and July 1988), composite soil samples were taken at different depths in order to determine: pH - H_2O ; exchangeable Ca, Mg and Al; soluble K; SO_4^{2-} -S and Al saturation.

The results showed a residual effect of lime incorporation at surface soil (0-20 cm depth), associated or not with "build-up" phosphate fertilization and phosphogypsum use, up to two years later. Significant increases in Ca, Mg and pH values, and decreases in exchangeable Al and Al saturation were observed in this layer. These effects extended also to the 20-40 cm depth layer.

Significant decreases in exchangeable Al and Al saturation at 40-60 cm depth were observed only in the plots that received phosphogypsum, which indicate beneficial effect of this product in the amelioration of this layer, aiming to improve deep rooting.

It was also observed an initial increase in $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ levels at 0-20 cm depth in (C-AFC-G) treatments and a subsequent decrease two years later, leading to an increase of this parameter in the 20-40 cm depth layer.

The rate of 1.6 ton/ha of phosphogypsum do not induce the leaching of exchangeable magnesium. Although not significant for all treatments, increases in soluble potassium up to 60 cm depth suggested some leaching of this nutrient, either, in the presence or absence of phosphogypsum.

Therefore these benefic effects, including the residual ones, suggested that combination of liming with "build-up" phosphate fertilization and use of phosphogypsum might be a recommended management practice in order to ameliorate the root soil environment, aiming to improve deep rooting with its all inherent benefits.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 ADAMS. F & MOORE, B.L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of Coastal Plain Solis. Soil Science Society of American Journal, Madison, 47:99-102, Jan/Feb 1983.
- 02 -----, PEARSON, R.W & DOSS, B.D. Relative effects of acid subsoils on cotton yields in fields experiments and on cotton roots in growth-chamber experiments. Agronomy Journal, Madison, 59 (5): 453-6, Sept/Oct. 1967.
- 03 ALVES, H.M.R Alterações de características químicas em profundidade pela aplicação superficial de calcário e gesso em um Latossolo Vermelho Amarelo câmbico distrófico textura média fase cerrado. ESAL, Lavras, 1983, 84p. (Tese MS).
- 04 - - & LOPES, A.S. Efeito de corretivo e fertilizantes na redução da percentagem de saturação de alumínio nas ca

- mas subsuperficiais de solos sob cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBCS, 1981. p. 95-6.
- 05 & Redução da saturação de alumínio em profundidade pela aplicação superficial de calcário e gesso em Latossolos sob vegetação de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 19. Curitiba, 1983. Programa e Resumos... Curitiba, SBCS, 1983. p.82.
- 06 CAMERON, R S ; RITCHIE, G.S.P. & ROBSON, A.D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. Soil Science Society American Journal, Madison, 50:(5) 1231-6, Sept/Oct. 1986.
- 07 CATANI, R.A & GALLO, J.R. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante correlação entre o pH e a percentagem da saturação em bases. Revista da Agricultura, Piracicaba, 30: 49-60, Jan./Fev. 1955.
- 08 CASTELLANE, S.R.P.L.; CASTELLANE, P.D.; VITTI, G.C.; BARBOSA, J.C. & CHURATE MASCA, M.G.C. Efeitos da aplicação de gesso associado a fontes de N e P na cultura da cenoura (Daucus carota L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA EM CIÊNCIAS AGRARIAS, 3, Florianópolis, 1983.

Anais... Florianópolis, C.C.A/C.A. AGRO, 1983. p.125.

09. CHANG, M.L. & THOMAS, G.W. A suggested mechanism for sulfate adsorption by soils. Soil Science Society American Proceedings, Madison, 27:(3) 281-83, May/June. 1963.
10. CLARKSON, D.T. The effect of aluminum and other trivalent metal cations on cell division in the root apices of Allium cepa. Annals Botany, London, 29: 209-3/5, 1965.
11. CLARKSON, D.T. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resistance. In: J. H. RORISON (ed.). Ecological aspects of the mineral nutrition of plantas. Oxford, Black-well, 1969, p.381-97.
12. COLLINGS, G.H. Comercial Fertilizers. 4. ed. Toronto, The Blakiston company, 1950. 522p.
13. COSTA, C.A.S. Mineralização do enxofre orgânico e adsorção de sulfato em solos. Porto Alegre, UFRS, 1980. 65p. (Tese MS).
14. 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. 1979.

15. COX, F.R.; ADAMS, F. & TUCKER, B.B. Liming, Fertilization and Mineral Nutrition. In: PATTEE, H.E & YOUNG, C.T ed. Peanut science and technology. Texas, American peanut research and education society, 1982. p. 139-63.
16. CFSEMG-COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 3ª aproximação. Belo Horizonte, 1978. 80p.
17. DAL-BÓ, M.A. Movimentação de bases e crescimento de raízes de cana-de-açúcar em colunas de solo, em função da adição de diferentes sais de cálcio. Viçosa, UFV. 1985. 62p. (Tese MS).
18. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório Técnico Anual 1980/1981. Planaltina, 1979. 163p.
19. ----- . Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório Técnico Anual 1980/1981. Planaltina, 1979. 163p.
20. ----- . Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. n.p.

21. EVANS, C.E. & KAMPRATH, E.J. Lime response as relatde to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34 (6): 893-6, Nov./Dec. 1970.
22. FARINA, M.P.W & CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. Soil Science Society American Journal, Madison, 52:175, Jan/Feb. 1988.
23. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. The plant root and its enviromment. Charlotesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-642.
24. FREIRE, J.C. Influência da calagem incorporada em duas profundidades na produção de milho e soja em Latossolos sob Cerrado em Minas Gerais. In: Escola Superior de Agricultura de Lavras, Departamento de Ciência do Solo. Materiais Corretivos e Correção de Acidez de Solo sob cerrado.1979/82. Lavras, Banco do Brasil, FIEPEC/PAEPE, 1983. p. 72-82. (Relatório Final).
25. FREITAS, L.M.M; GOMES. F.P. & LOTT, W.L. Effects of sulphur fertilizer on coffe. The Sulphur Institute Journal. Washington, 8 (3): 9-12, 1972.

26. FRIED, M. & PEECH, M. The comparative effects of lime and gypsum upon plants grown on acid soils. Journal American Society Agronomy. Wisconsin, 38 (7): 614-23, July, 1946.
27. GONZALES-ENRICO, E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G. C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on a oxisol of Central Brasil. Soil Science Society of American Journal, Madison, 43(6): 1155-8, Nov/Dec. 1979.
28. GUILHERME, M.R. Efeito da aplicação de calcário calcinado, gesso e misturas de calcário calcinado e gesso em culturas de interesse econômico. Piracicaba, ESAL/USP, 1986. 63p. (Tese MS).
29. GUIMARÃES, P.T.G. O gesso agrícola na neutralização do alumínio nas camadas subsuperficiais do solo: aplicações às culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA 1, Brasília, 1986, Anais... Brasília, EMBRAPA, DDT, 1986. p.145-67.
30. GUIMARÃES, P.T.G.; MELLE, C.C.A.; FREIRE, F.M & PONTE, A.M. da. Influência do gesso e do calcário como corretivo e fornecedores de cálcio e enxofre para o cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 10, Poços de

Caldas, 1983. Programa e Resumos... Rio de Janeiro. IBC/GERCA, 1983. p.164-5.

31. HADDAD, C.M. Efeito do enxofre, aplicado na forma de gesso, sobre a produção e qualidade do Capim Colonião (Panicum maximun Jacq.). Piracicaba, ESALQ/USP, 1983. 115p. (Tese de Doutorado).
32. HAMMEL, J.E.; SUMMER, M.E. & SHAHANDEH, H. Effect of physical and chemical profile modification soybean and corn production. Soil Science Society American Journal, Madison, 49(6):1508-11, Nov./Dec. 1985.
33. HENNING, R.J. & Mc GILL, J.F. Growing peanuts in Georgia-Apackage approach. Athenas, Cooperative Extension Service, University of Georgia, College of Agriculture, 1979. 46p. (Bulletin, 640).
34. 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.
35. HUNTER, A.H. Proposed methods for sulfur and boron in soils. Raleigh, Agricultural Environment Systems, Inc, 1975. 2p (mimiografado).

36. JACKSON, W.A. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F. ed. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p. 43-124.
37. 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.
38. 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 of America Proceedings, Madison, 20 (4): 463-6. Oct. 1956.
39. KIEHL, J.C. & FRANCO, O. Efeito do gesso industrial sobre alguns componentes da fertilidade do solo. O Solo, Piracicaba, 76 (1): 11-6, Jan/Jun. 1984.
40. LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentration of aluminum on growth and water nutrient uptake by cotton roots. Soil Science American Proceeding, Madison, 33(1): 95-8, Jan/Fev. 1969.
41. LOBATO, E. & RITCHEY, K.D. Manejo do solo visando melhorar o aproveitamento de água. In: SIMPOSIO SOBRE CERRADO, 5,

Brasília, 1979. Cerrado: Uso e Manejo. Brasília, Editerra, 1980. p.645-71.

42. LOPES, A.S. Solos sob "Cerrado": Características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa (EUA-SUIÇA), 1983. 162p.
43. MALAVOLTA, E.A. A prática da calagem. 3 ed. Sorocaba, Mineradora Pagliato, 1983. 43p. (Boletim Técnico).
44. MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P; MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Nutrição mineral de algumas culturas tropicais. São Paulo, Pioneira, 1967. 251p.
45. -----; ROMERO, J.P.; LIEM, T.H & VITTI, G.C. Gesso Agrícola - seu uso na adubação e correção do solo. 2 ed. São Paulo, ULTRAFERTIL, 1981. 30p. (Série divulgação técnica, 8).
46. MASCARENHAS, H.A.A.; BRAGA, N.R.; TISSELLI FILHO, O.; MIRANDA, M.A.C. & ROSTON, A.J. Calagem e adubação da soja. Campinas, Instituto Agronômico, 1976. 7p. (circular, 51).
47. MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & MASCARENHAS, H. A. A. Adubação da soja. III. Efeito do NPK, do enxofre e de micronutri-

- entes, em solo do arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. Bragantia, Campinas, 23(7):65-71, Fev. 1964.
48. 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.
49. NOGUEIRA, A. R. DE A. Caracterização físico - química dos efeitos de tratamentos de calcário e gesso em alguns solos de cerrado do Estado de São Paulo. São Carlos, USP, Instituto Física e Química de São Carlos, 1985. 106p. (Tese MS).
50. PARFITT, R.L & SMART, R. S.C. The mechanism of sulfate adsorption on iron oxides. Soil Science Society America Journal, Madison, 42: 48-50, Jan/Fev. 1978.
51. PAVAN, M.A. Ação dos corretivos e fertilizantes na dinâmica de íons no solo. In: Curso de Atualização em Fertilidade do Solo. Londrina, IAPAR/ANDA/PP/IPT, 1983. p.47-63.
52. ----- Aplicação de alguns conceitos básicos da química na disponibilidade de íons Al^{3+} para as plantas. Jaboticabal, 1984. 34p. (Datilografado, Palestra apresentada na IX Semana de ciências e Tecnologia Agropecuária de Jaboticabal).

- 53.----- Toxicity of Al^{+++} to coffee (*Coffea arabica* L) in
nutriente solution culture and in oxisols and ultisols a-
mended with $CaCO_3$, $MgCO_3$ and $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Riverside, Uni-
versidade of California, 1981. 214p. (Tese Doutorado).
- 54.----- & BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminum to coffee se-
edlings grown in nutriente solution. Soil Science Socie-
ty of America Journal, Madison, 46: 993-997, 1982.
55. ----- & BINGHAM, F. T. & PRATT, P. F. Redistribution of
exchangeable calcium, magnesium and aluminum following li-
me or gypsum applications to a brazilian oxisol. Soil
Science Society of America Journal, Madison, 48 (1):33-8,
Jan/Fev. 1984.
- 56.-----; ----- & ----- . Toxicity of aluminum to cof-
fee in ultisols and amended with $CaCO_3$, $MgCO_3$ and $CaSO_4 \cdot$
 $2H_2O$. Soil Science Society of America Journal, Madison,
46(6): 1201-07, 1982.
- 57.----- & IGUE, K. Estudo de calagem em cafeeiro. In: CON-
GRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 4, Caxambu,
1976, Resumos... Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1976. p.41.

58. PEARSON, R. W. Soil environment and root development. In: PIERRE, W.H.; KIRKHAM, D.; PESEK, J. & SHAW, R. Plant Environment and Efficient Water Use. Madison, America Society Agronomy, 1966. p.95-126.
59. ----- ; ABRUNA, F. & VICENT-CHANDLER, Jr. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two tropical soils of Puerto Rico. Soil Science, Baltimore, 93 (2): 77-82, Feb. 1962.
- * 60. QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A. R. & RAIJ, B. VAN. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, 6 (3): 189-94. Set/Dez. 1982.
61. ----- ; MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C. Resposta da soja (Glycine max L.) Merrill à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo roxo distrófico de cerrado. II. Efeito residual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBCS, 1981. p.46.
62. QUINN, L.R.; MOTT, G.O. & BISSCHOFF, W.V.A. Fertilização de pastos de capim colônia e produção de carne com novilhos

zebu. São Paulo. IBEC Research Institute. 1961. 40p.
(Boletim Técnico, 24).

63. RAIJ, B.V. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e corretivos Agrícola, 1988. 88 p.
64. REEVE, N.G. & SUMMER, M.E. Amelioration of subsoil in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendements. Agro-chemophysica, Pretória, 4(1):1-6, Jan/Feb. 1972.
65. ----- & ----- 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.
66. RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & COSTA, U.F. Calcium deficiency in Clayey B horinzons of savannah oxisols. Soil Science, Baltimore, 133 (6):378-82, June 1982.
67. ----- ; ----- & SOUZA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 18. Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBCS, 1981. p. 96.

- 68.----- ; ----- & ----- . Lixiviação de cálcio e magnésio em solos. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, Campinas, 1982. Anais... SBCS, 1983. p.109-25.
- 69.----- ; ----- & ----- . 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).
- 70.----- ; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in Brazilian savanah oxisol. Agronomy Journal, Madison 72(1):40-4, Jan/Feb, 1980.
71. RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G. & SILVA, J.E. Calcium and root penetration in highly weathered soils. In: COURLEY, L.M. & SALINAS, J.G. Shorgum for acid soils, Cali, CIAT, 1987. p. 17-32.
72. SANCHES, P.A. Properties and management of in the tropics. New York, J. Wiley, 1976. 618p.
73. SAVY F²., A. O amendoim absorve o cálcio. Estado de São Paulo; Suplemento Agrícola São Paulo, (864): 7. 1971.

74. SICHMANN, W.; NEPTUNE, A.M.L. & SABINO, N.P. Acumulação de macronutrientes pelo amendoim (Arachis hypogaeae L.) cultivado em outono, época seca. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 27:393-409, 1970.
75. SILVA, J.B.C.; NOVAIS, R.F. & SEDIYAMA, C.S. Identificação de genótipos de sorgo tolerantes à toxidez de alumínio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 8:77-83, Maio/Agosto, 1984.
76. SOARES, E. & IGUE, T. Estudo comparativo entre fertilizantes fornecedores de enxofre. Bragantia, Campinas, 35 (nota n-2):V-X, 1976.
77. SOARES, M.V.; LOBATO, E.; GONZALES, E. & NADERMAN Jr, G.C. Liming soils of brasilian cerrado. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A. Soil management in tropical America, Raleigh, NCSV, 1975. p.283-99.
78. SOUZA, D.M.G & RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1986. Anais... Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.119-44.

79. SUMMER, M.E.; SHAHANDEAH, H.; BOUTON, J. & HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. Soil Science Society America Journal, Madison 50: 1254-78, Sept/Oct. 1986.
80. VITTI, G.C. Interpretação de análise de solo e alternativas de uso de adubos e corretivos. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DE CITROS, 1, Jaboticabal. 1984. Simpósio... Jaboticabal, UNESP, 1984, p.127-54.
81. VITTI, G. C. Macronutrientes Secundários - situação, perspectivas e sugestões. HAAG, H.P., Coord. Seminário apresentado à disciplina "Seminários"; CPG em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP, 1980. 37p (mimiografado).
82. ----- ; FORNASIERI F^o. D.; FERREIRA, M.E.; RAGAZZI, D. & LIEM, T.H. Efeito de doses de gesso na cultura de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). Revista de Agricultura, Piracicacaba, 57(3):119-32, 1982.
83. ----- & MALAVOLTA, E. Fosfogesso - Uso Agrícola. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLA, Campinas, 1985. Semi-

nário... Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 161-201

- 54.-----; ----- & COUTINHO, E.L.M. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA/ANDA/POTAFOS, 1984. p.205-53.
- 85.----- ; SUZUKI, J.; FORNASIERI F^Q, D.; COUTINHO, E.L.M. & SACCHI, E. O enxofre na agricultura. BRASIL SOBRINHO, M. O.C. Coord. Seminário apresentado à disciplina "Problemas de Fertilidade do Solo", Curso de Pós-Graduação em Nutrição de Plantas. Piracicaba, ESALQ, 1979. 58p. (miografado).
- 86.WANG, G.H.; LIEM, T.H. & MIKKELSEN, D.S. Sulfur deficiency - A limiting factor in rice production in the lower Amazon Basin. I. Development of sulfur deficiency as a limiting forrice production. s.l. IRI, 1976. 46p.
- 87.WEIR, C.C. Effect on lime and nitrogen application on citrus yields and on the downward movement of calcium and magnesium in soil. Tropical Agriculture, Trinidad, 51 (2): 230-4, Apr. 1974.