

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

**INFLUÊNCIA DA CALAGEM NA MOBILIDADE DE CÁTIOS BÁSICOS E NA
DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES**

LISANDRA PINTO DELLA FLORA

Engenheira Agrônoma

LAGES
Santa Catarina - Brasil
Agosto - 2006

**INFLUÊNCIA DA CALAGEM NA MOBILIDADE DE CÁTIONS BÁSICOS E NA
DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES**

LISANDRA PINTO DELLA FLORA

Engenheira Agrônoma

Orientador: Ph.D. **PAULO ROBERTO ERNANI**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências
Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa
Catarina, para obtenção do título de Mestre em
Ciência do Solo.

LAGES
Santa Catarina - Brasil
Agosto - 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC)

Della Flora, Lisandra Pinto

Influência da calagem na mobilidade de cátions básicos e na disponibilidade de nutrientes. / Lisandra Pinto Della Flora – Lages, 2006.

69 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UEDESC.

1. Calagem. 2. Solos ácidos . 3. Percolação.
4. Adubação fosfatada. I. Título.

CDD – 631.422

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

**INFLUÊNCIA DA CALAGEM NA MOBILIDADE DE CÁTIOS BÁSICOS E NA
DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES**

LISANDRA PINTO DELLA FLORA
Engenheira Agrônoma

Aprovado em: 04/08/2004
Pela Banca Examinadora:

Homologado em:

Ph.D. Paulo Roberto Ernani
Orientador - CAV/UEDESC

Dr. Jaime Antonio Almeida
Coordenador do Programa de Mestrado em
Agronomia e Coordenador Técnico do Curso
de Mestrado em Ciência do Solo.

Dra. Carla Maria Pandolfo
Empresa de Pesquisa Agropecuária e
Extensão Rural de Santa Catarina S.A.
EPAGRI – Campos Novos

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias

Dr. Paulo Cezar Cassol
CAV/UEDESC

Dra. Márcia Aparecida Simonetti
CAV/UEDESC

DEDICO

A meu noivo **Antônio**, que compartilhei o convívio durante este trabalho e que me apoiou em todos os momentos, compreendeu minhas ausências e omissões, dedico o meu amor. Também pelo incentivo, alegrias e afeto dispensados a mim que mesmo estando longe nos momentos de cansaço, angústias e tristezas sempre esteve ao meu lado, proporcionando a realização deste trabalho e o meu crescimento profissional.

OFEREÇO

AOS MEUS PAIS,

Abraão e Marli que mesmo longe, sempre acreditaram em mim e me apoiaram nos momentos difíceis, e pela oportunidade que me deram de estudar e a quem eu sempre vou confiar. Esta conquista tão importante também pertence a vocês. Muito Obrigada!

A você, pai, pela sua compreensão em minha escolha pelo estudo e profissão, e conseqüente ausência ao longo destes anos.

A você mãe, pelos conselhos que me colocaram no ensino superior “e aqui chegamos”. Sou eternamente grata. Espero algum dia retribuir à altura seus atos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, familiares e amigos, pela proteção, pela paz, pela saúde, e por estar sempre ao meu lado e saber me guiar com sua imensa sabedoria para vencer mais esta etapa.

As minhas irmãs, Bianca e Diandra, pela força, amor, incentivo e confiança. Agradeço o carinho e que no futuro este trabalho lhes inspire nas suas conquistas.

Ao meu sogro Waldomiro, minha sogra Iria, meus cunhados e cunhadas, sobrinhos e sobrinhas. Obrigado por me acolherem em seu lar com tanto carinho e incentivo para prosseguir os meus estudos, e pelo convívio familiar tão agradável durante esse tempo.

Aos professores do CAV, principalmente do Curso de Mestrado, pelo repasse do conhecimento, em especial ao professor Paulo Roberto Ernani, um agradecimento especial pela orientação prestada, pela acolhida, ensinamentos transmitidos, companheirismo e acima de tudo pela amizade. O meu sincero “Muito obrigado”.

Às amigas Cinei, Analú, Élen e Janice, que se tornaram muito mais que amigas durante esse tempo. Obrigada pelo convívio e pelo auxílio tão importante durante os experimentos, pelos momentos de descontração, alegria, amizade e apoio.

Aos colegas de mestrado pelas discussões, pelas dicas, troca de experiências e convívio. Aos bolsistas de graduação pela amizade.

Aos funcionários e laboratoristas, Fernando Batista Ramos, Fátima, Henrique (Pipoca) e Alcir pelo auxílio nas análises realizadas nos laboratórios, tirando dúvidas e resolvendo os problemas.

A todos meus amigos, os de perto e os de longe, pelo carinho e convívio, não só durante o mestrado, mas durante toda a minha vida até aqui.

À UDESC, que me acolheu durante estes dois anos e me proporcionou a realização desta obra, sem a qual não teria alcançado meu objetivo.

A CAPES pela bolsa de mestrado.

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 Conteúdo de cálcio e magnésio trocável no solo em função da calagem e da adubação fosfatada em um Cambissolo Húmico. Média de três repetições	47
TABELA 2.2 Conteúdo de fósforo no solo, extraído pelo método Mehlich-1 em função da calagem e da adubação fosfatada em um Cambissolo Húmico. Média de três repetições.....	49
TABELA 2.3 Peso da massa seca da parte aérea e raiz (g) de trigo e de <i>C. juncea</i> em função da calagem e da adubação fosfatada num Cambissolo Húmico. Média de três repetições.....	51
TABELA 2.4 Concentração de fósforo e de cálcio (%) no tecido de trigo e de <i>C. juncea</i> em função da calagem e da adubação fosfatada num Cambissolo Húmico. Média de três repetições.....	53
TABELA 2.5 Quantidade de fósforo absorvido (mg) pelo trigo e pela <i>C. juncea</i> em função da calagem e da adubação fosfatada num Cambissolo Húmico. Média de três repetições.....	55

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.1** Quantidades acumuladas de cálcio e magnésio nas vinte e uma percolações em função da adição da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Média de três repetições. Médias seguidas pela mesma letra ou número, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%: letras maiúsculas comparam os teores de Mg e letras minúsculas comparam os teores de Ca em cada dose de calcário; números comparam o efeito dos sais entre cada dose de calcário..... 20
- FIGURA 1.2** Concentração de cálcio e magnésio (mg L^{-1}) em cada uma das vinte e uma percolações em função da adição da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Média de três repetições..... 21
- FIGURA 1.3** Concentração de potássio percolado (mg L^{-1}) e acumulado (mg coluna^{-1}) em cada uma das vinte e uma percolações em função da adição da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Média de três repetições. (Médias acumuladas seguidas pela mesma letra ou número, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%: letras comparam doses de calcário, e números comparam o efeito dos sais dentro de cada dose de calcário)..... 25
- FIGURA 1.4** Valor de pH da solução percolada em cada uma das vinte e uma percolações em função da adição da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Média de três repetições..... 26
- FIGURA 1.5** Valores de cálcio e magnésio trocável no perfil do solo após vinte e uma percolações em um Cambissolo Húmico submetido a doses da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície. Média de três repetições..... 27
- FIGURA 1.6** Valores de alumínio trocável e pH em CaCl_2 no perfil do solo após vinte e uma percolações em um Cambissolo Húmico submetido a doses da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície. Média de três repetições..... 29
- FIGURA 2.1** Valores de pH do solo em água em função da adição de doses de calcário em um Cambissolo Húmico..... 45

FIGURA 2.2 Relação entre o pH do solo em água e o pH da solução do solo em função da adição de doses de calcário em um Cambissolo Húmico.....	45
FIGURA 2.3 Relação entre o pH do solo em água e Ca trocável (A) e do Ca da solução (B) em função da adição de doses de calcário num Cambissolo Húmico	46
FIGURA 2.4 Relação entre o pH do solo em água e Mg trocável em função da adição de doses de calcário num Cambissolo Húmico.....	46
FIGURA 2.5 Relação entre o pH do solo em água e Al trocável em função da adição de doses de calcário num Cambissolo Húmico.....	48
FIGURA 2.6 Relação entre o pH da solução do solo e do fósforo da solução do solo em função da adição de doses de calcário e de fósforo num Cambissolo Húmico.....	50
FIGURA 2.7 Relação entre as doses da adubação fosfatada e do fósforo da solução do solo em função da adição de doses de calcário e de fósforo num Cambissolo Húmico.....	50

APÊNDICES

- APENDICE 1.** Médias e Coeficientes de Variação dos atributos químicos das percolações acumuladas (mg coluna^{-1}) e camadas de solo (cm) em função da aplicação de corretivo de acidez e sais de potássio em superfície num Cambissolo Húmico, Lages – SC, 2006..... 60
- APENDICE 2.** QUADRO DA ANOVA – Atributos químicos do solo, da solução do solo e da massa seca do trigo e da *C. juncea* em função da aplicação de calcário e adubação fosfatada num Cambissolo Húmico, Lages – SC, 2006 60

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	6
1. CAPÍTULO I – MOBILIDADE DE NUTRIENTES EM SOLO ÁCIDO DECORRENTE DA APLICAÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO EM SUPERFÍCIE EM COMBINAÇÃO COM SAIS DE POTÁSSIO.....	8
1.1 RESUMO.....	8
1. CHAPTER I - NUTRIENT MOBILITY IN AN ACID SOIL DUE TO ADDITION OF RATES OF LIME OVER THE SOIL SURFACE COMBINED WITH POTASSIUM SALTS	9
1.1 SUMMARY.....	9
1.2 INTRODUÇÃO.....	10
1.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
1.4.1 Cálcio e magnésio percolados.....	18
1.4.2 Potássio percolado.....	22
1.4.3 pH da solução percolada.....	23
1.4.4 Cálcio e no magnésio no solo.....	23
1.4.5 Alumínio e no pH no solo.....	28
1.5 CONCLUSÕES.....	32
1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
2. CAPÍTULO II – DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM SOLO ÁCIDO INFLUENCIADO PELA CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA EM DOIS CULTIVOS	37
2.1 RESUMO.....	37
2. CHAPTER II - NUTRIENT AVAILABILITY IN AN ACID SOIL INFLUENCED BY LIME AND PHOSPHORUS ADDITION	38
2.1 SUMMARY.....	38
2.2 INTRODUÇÃO.....	39
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
2.4.1 Efeito no pH.....	44
2.4.2 Efeito no Ca e Mg	46
2.4.3 Efeito no Al trocável	47
2.4.4 Efeito no P	48
2.4.5 Produção de massa seca das culturas	50
2.4.6 Conteúdo de fósforo e de cálcio no tecido das culturas	52
2.4.7 Quantidade de fósforo absorvido pelas culturas	54
2.5 CONCLUSÕES.....	56
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

INTRODUÇÃO GERAL

Muitos solos brasileiros são naturalmente ácidos e apresentam teores de alumínio tóxicos às plantas que limitam o aumento do rendimento vegetal. Por isso, a calagem é uma prática agrícola normalmente utilizada pelos produtores e que, na maioria das vezes, proporciona retornos econômicos satisfatórios.

No sistema de cultivo sob plantio direto, tem-se questionado a necessidade de incorporar o calcário ao solo, porque em algumas situações a eficiência da calagem não tem aumentado o rendimento vegetal. Paralelamente, muitas áreas estão recebendo altas quantidades de adubos fosfatados, o que geralmente diminui a resposta das culturas à calagem, independentemente do sistema de preparo do solo. A incorporação do calcário normalmente promove maiores rendimentos que a calagem superficial, principalmente nos primeiros anos. No entanto, constata-se que a calagem superficial geralmente promove aumento nos rendimentos das plantas que varia com a espécie vegetal e com o tipo de solo, condições de fertilidade, e principalmente com o pH do solo.

Como há possibilidade de movimentação do calcário aplicado na superfície do solo no SPD para as camadas mais profundas, a calagem superficial pode ser uma alternativa sem modificar as condições do sistema. Isto ocorre devido à formação de uma rede de canais contínuos e profundos, originados pela morte das raízes e pela atividade de minhocas e corós.

A utilização de sais neutros, a exemplo do KCl e do KNO₃, aplicados na superfície do solo juntamente com o calcário, pode aumentar a mobilidade do Ca e do Mg no perfil do solo

assim como o efeito alcalinizante do corretivo, uma vez que ao se dissociarem liberam ânions que permanecerão na solução do solo.

A calagem em níveis adequados para o desenvolvimento das plantas aumenta o pH do solo, diminui os níveis tóxicos de Al e aumenta a disponibilidade de fósforo para as plantas, por diminuir a capacidade de adsorção do fósforo com óxidos de menor grau de cristalinidade (aumenta a área superficial específica - ASE). Além disso, a calagem aumenta as cargas negativas no complexo de troca catiônica e diminui a solubilidade de ferro e do alumínio aumentando, por isso geralmente aumenta a concentração de fósforo disponível na solução. Porém, em caso de elevação exagerada no pH pode haver a formação de precipitados de fosfato de cálcio de baixa solubilidade e a formação de superfícies recém precipitadas de ferro e alumínio, com alta capacidade de adsorção de fósforo.

Considera-se como regra geral que a maior disponibilidade de fósforo nos solos ocorre entre valores de pH 6,0 e 7,0. Em solos de regiões tropicais, entretanto, a disponibilidade de P pode ser máxima entre pH 5,0 e 6,0. Na faixa de pH situada entre 5,5 e 6,5 pode ficar minimizado o efeito da formação de precipitados de cálcio, tornando o P mais disponível na solução, visto que em faixas de pH mais baixos, ocorre em maior intensidade os processos de adsorção e precipitação com Fe e Al. Já em faixas de pH mais elevados, aumenta a intensidade do Ca presente na solução precipita com o P, diminuindo sua disponibilidade às plantas.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a mobilidade vertical de cálcio e magnésio assim como os efeitos corretivos da acidez em profundidade, a partir da adição de sais neutros de potássio juntamente com quantidades de corretivo da acidez aplicados sobre a superfície do solo. Além disso, objetivou avaliar o efeito da combinação de fósforo e doses de calcário na alteração dos atributos químicos de um Cambissolo Húmico e no rendimento de massa seca de dois cultivos sucessivos realizados em casa-de-vegetação.

1. CAPÍTULO I - MOBILIDADE DE NUTRIENTES EM SOLO ÁCIDO DECORRENTE DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DOSES DE CALCÁRIO EM COMBINAÇÃO COM SAIS DE POTÁSSIO

1.1 RESUMO

A baixa mobilidade de Ca e de Mg oriundos de calcários se deve principalmente à pequena permanência dos ânions adicionados por essas bases na solução do solo. Sendo assim, a quase totalidade desses dois cátions adicionada vai para as cargas negativas criadas pelo aumento do pH e para as cargas anteriormente ocupadas pelo Al, e só uma pequena parte fica na solução do solo. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da adição de sais de potássio juntamente com o calcário, todos aplicados sobre a superfície do solo nos parâmetros químicos relacionados a acidez e na movimentação vertical de Ca e de Mg. O experimento foi conduzido em laboratório, em colunas de PVC, no ano de 2005, num Cambissolo Húmico (CH), com pH 4,1, 360 g kg⁻¹ de argila e 60 g kg⁻¹ de matéria orgânica. Os tratamentos consistiram da aplicação de três doses de corretivo de acidez, na presença ou não de KCl ou KNO₃. As unidades experimentais foram percoladas 21 vezes, a cada sete dias, com um volume de 300 ml de água destilada por semana. O pH da solução percolada não foi afetado pela aplicação do corretivo, porém diminuiu pela adição dos sais de potássio. A adição dos sais aumentou a percolação de K, Ca e Mg, cujas concentrações máximas atingiram 22, 26 e 3 mg L⁻¹ respectivamente, e aconteceram na quinta ou sexta percolação. Na média dos tratamentos com os sais potássicos, o somatório de Ca percolado nas 21 percolações passou de 28, na testemunha, para 132 mg coluna⁻¹, o Mg aumentou de 5,0 para 26 mg coluna⁻¹, e o K passou de 23 para 51 mg coluna⁻¹. A adição de corretivo promoveu um pequeno aumento nas quantidades percoladas de Ca e de Mg. Os valores de pH do solo e de Ca, Mg e Al trocáveis não foram influenciados pela adição dos sais, porém foram afetados pela calagem somente nos 2,5 centímetros superficiais, cuja magnitude foi proporcional à dose aplicada. A adição de sais neutros juntamente com o corretivo não aumentou a eficiência do corretivo da acidez na modificação das propriedades químicas do solo em profundidade.

1. CHAPTER I – NUTRIENT MOBILITY IN NA ACID SOIL DUE TO ADDITION OF RATES OF LIME OVER THE SOIL SURFACE COMBINED WITH POTASSIUM SALTS

1.1 SUMMARY

The restriction on Ca and Mg mobility after liming is due to the low existence in the soil solution of anions derived from this base. Thus, most of these cations added to the soil by limestone go to the negative charges created by the increase on soil pH as well as by exchangeable Al precipitation. This study was carried out to evaluate the effect of adding potassium salts together with limestone, on the soil surface, on soil chemical parameters related to acidity and on Ca and Mg mobility. The experiment was conducted in a laboratory, using PVC columns, in 2005. It was used an Haplumbrept soil that had pH of 4.1, 360 g kg⁻¹ of clay, and 60 g kg⁻¹ of organic matter. Treatments consisted of three rates of lime, in presence or not of KCl or KNO₃. The experimental units were percolated 21-times, weekly, with a volume of 300 mL of distilled water. The pH of the percolated solution was not affected by lime, but decreased due to salt addition. Potassium salts increased Ca, Mg, and K leaching, and the highest concentrations occurred on fifth and sixth percolations, attaining respectively 22, 26 e 3 mg L⁻¹. Averaged across potassium salts, the sum o cation leached over the entire period increased from 28 to 136 mg L⁻¹ for Ca, from Mg 5,0 to 30 mg L⁻¹ for Mg, and from 23 to 58 mg L⁻¹ for K. Addition of limestone slightly increase Ca and Mg percolation. Values for soil pH, and for exchangeable Ca, Mg and Al were affected by added salts; they were influenced by liming only in the 0 to 2.5 cm depth, proportional to the rate applied. Addition of neutral salts with liming did not increase the efficacy of limestone to ameliorate soil acidity parameters down in column the profile.

1.2 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros são naturalmente ácidos. A acidez promove o aparecimento de toxidez de alumínio e de manganês e afeta negativamente a disponibilidade de vários nutrientes para as plantas, prejudicando os rendimentos da maioria das culturas (Volkweiss, 1989). Portanto, a correção da acidez dos solos é uma prática indispensável para que esses efeitos sejam minimizados e as culturas expressem todo o seu potencial produtivo.

A correção da acidez do solo tem sido feita pela adição de calcários. Entretanto, esses materiais, solubilizam lentamente e, geralmente, a melhoria nos parâmetros químicos relacionados com a acidez se limita à superfície, restringindo o crescimento das raízes à camada que recebe o corretivo (de Maria, 1993; Ernani et al., 2001). A baixa solubilidade dos calcários diminui a velocidade de suas reações, caso eles não sejam misturados (incorporados) ao solo (Pottker & Ben, 1998). Além disso, o Ca e o Mg adicionados pela calagem possuem baixa mobilidade no perfil porque os ânions provenientes da reação do calcário no solo (carbonatos, bicarbonatos, óxidos e hidróxidos) não permanecem por muito tempo na solução do solo, uma vez que reagem rapidamente com os ácidos do solo. Com isso, a quase totalidade do Ca e do Mg adicionados pela calagem migram para as cargas negativas criadas ou desocupadas pelo aumento do pH (de Maria, 1993; Ernani, 2001a).

Com o advento do sistema de plantio direto, onde não há revolvimento da camada superior do solo, a aplicação de calcário é realizada sobre a superfície. Nestes casos, o

efeito da calagem superficial na correção da acidez do solo e na alteração de parâmetros como neutralização do Al e aumento de cátions básicos no perfil, pode ficar restrito a alguns centímetros abaixo da camada onde o calcário é aplicado (Pottker & Ben, 1998; Ernani, 2001). A magnitude deste efeito depende do tipo de solo, da dose do calcário, do período transcorrido após a calagem, do conteúdo de matéria orgânica do solo e da quantidade de resíduos vegetais acumulados na superfície (Pikul & Allmaras, 1986). Todavia, a incorporação de calcário normalmente traz maiores benefícios às culturas mais exigentes (Kaminski et al, 2000) e promove maiores rendimentos que a calagem superficial, principalmente nos primeiros anos (Weirich Neto et al., 2000). Entretanto, a calagem superficial também promove incrementos no rendimento das culturas, cuja magnitude varia com a espécie e tipo de solo (Pottker & Ben, 1998; Rheinheimer, 2000), condições de fertilidade e principalmente com o pH original do solo (Ernani, 2001). A aplicação superficial no SPD tem propiciado melhorias no ambiente radicular e alterações nos atributos químicos em profundidade, em solos menos argilosos e com menor acidez potencial (Caíres et al., 1998; Amaral et al., 2002).

Petrere & Anghinoni (2001) e Amaral et al. (2002), trabalhando com calagem superficial e SPD identificaram partículas de calcário abaixo da região de aplicação, que migrariam via dutos formados por macroporos, o que proporcionaria a correção da acidez. Blevins et al.(1978) constataram que houve aumentos de rendimento de grãos de milho quando se aplicou calcário na superfície de solos com pH inicial de 5,6 e de 5,1 e concluíram que o método foi eficiente para neutralizar a acidez do solo. No entanto, os mesmos autores ressaltam que se o pH do solo for muito baixo, a incorporação do calcário pode ser mais recomendável.

A calagem superficial pode ser uma alternativa de correção de acidez do solo sem modificar as condições do sistema devido à possibilidade de movimentação do calcário

aplicado na superfície do solo no SPD para as camadas mais profundas (Mielniczuk et al., 1995). Isto ocorre devido à formação de uma rede de canais contínuos e profundos (até 50 cm), originados da morte das raízes e da intensa atividade de minhocas e corós (Amaral et al., 2004). Ocorre ainda, a formação de compostos orgânicos hidrossolúveis e a lixiviação de nitratos que podem favorecer a descida de cálcio e magnésio para camadas mais profundas no perfil do solo (Miyazawa et al, 1993; Oliveira & Pavan, 1996; Franchini et al., 1999, 2000 e 2001). Amaral et al. (2002), porém não observou contribuição significativa de compostos orgânicos na melhoria do ambiente radicular em profundidade.

Os íons presentes na solução do solo podem ser adsorvidos à fase sólida, através das cargas elétricas existentes nas superfícies orgânicas ou inorgânicas, absorvidos pelas plantas, ou lixiviados das camadas superficiais do solo. Os íons presentes em quantidades médias a altas na solução do solo são deslocados no perfil pela água de percolação o que pode diminuir substancialmente a concentração e a atividade de todos os cátions na solução do solo (Ernani & Barber, 1993). Em decorrência disso, os solos que apresentarem maior CTC, adsorverão mais nutrientes, resultando em menor lixiviação. A fração adsorvida constitui o reservatório de nutrientes às plantas, os quais se mantêm menos suscetíveis do risco de lixiviação.

A taxa de absorção de um nutriente pela planta depende da concentração dos cátions dissolvidos na solução do solo em equilíbrio dinâmico com os cátions do complexo de troca (Munoz Hernandez, 1998). Com o aumento do pH do solo, há criação de cargas negativas nos colóides do solo devido à dissociação do íon hidrogênio, aumentando assim a capacidade de troca de cátions (CTC). Smyth & Sanchez (1980) observaram aumento de 50% na CTC efetiva do solo com carga variável quando o pH passa de 5,0 para 6,0.

A percolação ocorre quando há o transporte de cátions e ânions para as camadas mais profundas do solo, fora do alcance do sistema radicular, através de íons que possuam

o mesmo sinal das cargas das partículas do solo, que se ligam a outros íons presentes na solução do solo, movimentando-se através de um fluxo descendente de água. (Quaggio, 1986). Para que haja percolação é necessário que ocorra precipitação pluviométrica suficiente para promover a descida de água. O movimento de íons está relacionado com a intensidade de percolação e com as reações de cada um deles no solo (Drouineau, 1969). A percolação de cátions é influenciada pela capacidade de troca catiônica, que, por sua vez, está relacionada com o pH do solo (Raij & Camargo, 1974).

A adição de sais neutros promove a descida de cátions no perfil devido à introdução de ânions no sistema. Para que isso ocorra, é necessário que haja formação de par iônico para a descida do mesmo. Uma alternativa para influenciar o aumento de cálcio em profundidade é a utilização do gesso agrícola, que tem sido usado em solos ácidos como um produto complementar ao calcário, com o objetivo de diminuir a toxicidade de Al e aumentar a concentração de Ca em profundidade (Ernani & Barber, 1993; Silva et al., 1998). A grande mobilidade vertical de cátions ocasionados pelo gesso (Ernani, 1986; Caires et al, 1998) deve-se a maior solubilidade deste produto em relação aos calcários, à inalteração das cargas elétricas, e a permanência da maior parte do ânion sulfato na solução do solo (Ernani & Barber, 1993; Dias et al, 1994). Ernani et al., (2003) constataram que a aplicação de KCl promoveu o deslocamento vertical de K, Ca e Mg em Latossolo e também Cambissolo, o que pode aumentar temporariamente a disponibilidade de Ca e Mg as plantas. Neste último trabalho, a calagem, por outro lado, aumentou a percolação de Ca e Mg e diminuiu a de K, e isso pode representar uma diminuição na disponibilidade de K em solos com baixos teores desse nutriente.

A adição de sais neutros na superfície do solo, a exemplo do KCl e do KNO_3 , juntamente com o calcário, pode aumentar a mobilidade de Ca e Mg no perfil, visto que estes produtos mantêm parte de seus ânions na solução do solo, diferentemente dos ânions

do calcário que neutralizam a acidez. O presente trabalho objetivou avaliar a mobilidade vertical de cálcio e magnésio, assim como os efeitos corretivos da acidez em profundidade, a partir da adição de sais neutros de potássio juntamente com quantidades de corretivo da acidez sobre a superfície do solo.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em laboratório, no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC, em 2005. Foi utilizado um Cambissolo Húmico (CH), coletado em área de vegetação campestre nativa deste município, que apresentava $\text{pH-H}_2\text{O} = 4,1$, teores trocáveis de $\text{Al}^{+3} = 7,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $\text{Ca} = 0,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $\text{Mg} = 0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, teores extraíveis (Mehlich-1) $\text{P} = 1,8 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{K} = 58 \text{ mg kg}^{-1}$, 360 g kg^{-1} de argila; e 60 g kg^{-1} de matéria orgânica (M.O.).

Os tratamentos consistiram de um fatorial 3×3 , envolvendo doses de um corretivo de acidez e de adubos potássicos. As doses do corretivo equivaleram a 0, 7 e 14 t ha^{-1} , o que equivale a 0, 1/3 e 2/3 da quantidade estimada pelo método SMP para elevar o pH para 6,0. Essas doses foram misturadas com o solo existente na camada de um centímetro superficial da coluna, a partir de uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 (Reagentes Pró-Análise) na relação Ca:Mg de 3:1, previamente passado em peneira de malha 0,054 mm. Utilizaram-se 5,5 e 11 g respectivamente por coluna para as doses de 7 e 14 t ha^{-1} , calculadas de acordo com o a área superficial da coluna. Os fertilizantes potássicos utilizados foram o cloreto de potássio (KCl) e o nitrato de potássio (KNO_3), respectivamente nas quantidades de 0,630g e de 0,860g por unidade experimental, equivalendo a uma adição de $400 \text{ kg de K ha}^{-1}$, tentando simular a concentração que ocorre próximo dos grânulos, incorporado no primeiro centímetro superficial. Os tratamentos

foram arranjados no delineamento experimental completamente casualizado, com três repetições.

As unidades experimentais foram constituídas por colunas de percolações, confeccionadas a partir de canos de PVC, e possuíam 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro. A base das colunas foi hermeticamente vedada com uma tampa de PVC, na qual se fez um orifício na parte central, com aproximadamente 3 mm de diâmetro, para permitir a saída gravitacional da solução percolada. A metade inferior de cada coluna foi envolta com um saco plástico transparente, ajustado na forma de funil, o qual continha um furo na extremidade inferior para facilitar a saída da solução percolada diretamente para os frascos de coleta.

Em cada coluna, foram adicionados 1,50 kg de solo (base seca), numa camada de 25 cm, perfazendo um volume de 1900 cm³. Os cinco centímetros da parte superior de cada coluna não continham solo, para facilitar a adição de água por ocasião das percolações. Uma folha de filtro de papel foi colocada sobre a superfície do solo para permitir a distribuição uniforme da água.

Após o preenchimento das colunas com o solo, elas foram acondicionadas verticalmente em caixas plásticas, colocadas a uma altura de 20 cm da superfície de um balcão a fim de permitir a colocação dos frascos de coleta embaixo das mesmas. Uma semana após a transferência do solo para as colunas, iniciaram-se as percolações, as quais foram a cada sete dias, durante vinte e uma semanas. Em cada percolação, adicionaram-se 300 ml de água destilada sobre a superfície de cada coluna, na velocidade de 5 ml por minuto. A solução percolada foi coletada no dia seguinte, e nela foram determinados o volume, o pH, e as concentrações de cálcio, magnésio e potássio. O pH foi determinado por meio de potenciometria. O Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o K por espectrofotometria de emissão.

Ao término das 21 percolações, as unidades experimentais foram congeladas para facilitar, posteriormente, a separação do solo em diferentes profundidades. Depois de congeladas, as colunas de PVC foram cortadas verticalmente numa das extremidades com serra elétrica manual para a retirada da coluna de solo. A seguir, a coluna de solo foi separada em camadas de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-7,5; 7,5-10,0; 10,0-15,0; 15,0-20,0 e 20,0-25,0 cm, pelo uso de uma serra manual. O processo de secagem das amostras de solo foi efetuado em duas etapas: inicialmente em temperatura ambiente, durante dez dias para a evaporação do excesso de água, e posteriormente em estufa com circulação forçada de ar, a 60° C, durante três dias.

Nestas amostras de solo foram determinados os valores de pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , e os teores de Ca, Mg, K e Al trocáveis. Os teores de Ca, Mg e Al foram extraídos com solução de KCl 1,0 mol L^{-1} , todos determinados pelos mesmos procedimentos de análises das soluções percoladas, além do Al trocável através de titulação com NaOH 0,0125 N de acordo com Tedesco et al. (1985).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$), e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey.

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1. Cálcio e magnésio percolados

O somatório das quantidades tanto de Ca quanto de Mg percolados após as vinte e uma percolações com água destilada teve aumento pela aplicação do corretivo da acidez sobre a superfície do solo, não tendo havido diferença entre as doses (Figura 1.1). Na média dos tratamentos, os valores de Ca lixiviados foram de aproximadamente 91 mg coluna⁻¹ na testemunha (sem calcário) e de 100 mg coluna⁻¹ naqueles com calcário; os valores de Mg foram de aproximadamente 15,5 mg coluna⁻¹ na testemunha, aumentando para 26 mg coluna⁻¹ naqueles com calcário. O Ca e o Mg integrantes do calcário percolaram em pequena magnitude provavelmente porque os corretivos da acidez possuem baixa solubilidade, aumentam as cargas elétricas negativas do solo e não deixam ânions na solução. As maiores quantidades percoladas desses dois cátions no tratamento que não recebeu nenhum sal já estavam originalmente na solução do solo, associadas com ânions nativos. Estes resultados foram semelhantes aos observados por de Maria et al. (1993) e por Ernani et al. (2003). Entretanto, Amaral et al. (2004) e Ernani et al. (2001) encontraram quantidades percoladas maiores do que estas quando o corretivo da acidez foi incorporado ao solo, mesmo sem a adição de sais, diferença que pode ser devido ao maior contato do corretivo com o solo.

A aplicação dos sais potássicos aumentou a quantidade total percolada de Ca e de Mg, com diferença significativa entre o cloreto e o nitrato somente para o Ca, onde o KNO_3 foi mais eficiente que o KCl (Figura 1.1). Na média das doses com calcário (fração do SMP 0, 1/3 e 2/3), a aplicação dos sais aumentou a quantidade de Ca de 28 para 128 mg coluna^{-1} no tratamento com KCl e para 136 mg coluna^{-1} naquele com KNO_3 e a de Mg de 5 para 26 mg coluna^{-1} . A maior percolação desses dois cátions ocorreu devido ao fato de serem deslocados das cargas elétricas negativas do solo pelo potássio aplicado, que teve sua atividade aumentada na solução do solo (Ernani & Barber, 1983).

O comportamento da percolação de Ca e Mg no decorrer do experimento também não foi afetado pela calagem (Figura 1.2). Na média de todos os tratamentos (doses de sais e de calcário), as quantidades de Ca e de Mg percoladas atingiram a concentração máxima na quarta percolação, com 26 e 3 mg L^{-1} respectivamente, tendo decrescido acentuadamente nas percolações seguintes (Figura. 1.2). Entretanto, o comportamento da percolação de Ca e Mg ao longo do período experimental foi afetado pelos sais potássicos, não tendo havido diferença entre eles (Figura 1.2). A concentração de Ca percolado aumentou de 4,5 mg L^{-1} na testemunha para 35 mg L^{-1} na média dos tratamentos onde foram aplicados os sais, enquanto que nesses mesmos tratamentos, o Mg passou de 0,2 para aproximadamente 5 mg L^{-1} . A adição dos sais de potássio, contudo, atrasou o pico máximo de percolação de Ca e Mg em todos os tratamentos, em aproximadamente três percolações. O aumento de Ca e de Mg percolados pela adição dos sais potássicos não significa que a adição deles ao solo aumente a disponibilidade desses dois cátions para as plantas indefinidamente, porque somente resulta no aumento temporário da concentração deles na solução do solo (Ernani et al., 2001). Entretanto, pode aumentar a disponibilidade temporariamente, coincidindo com o período inicial de desenvolvimento das plantas, onde

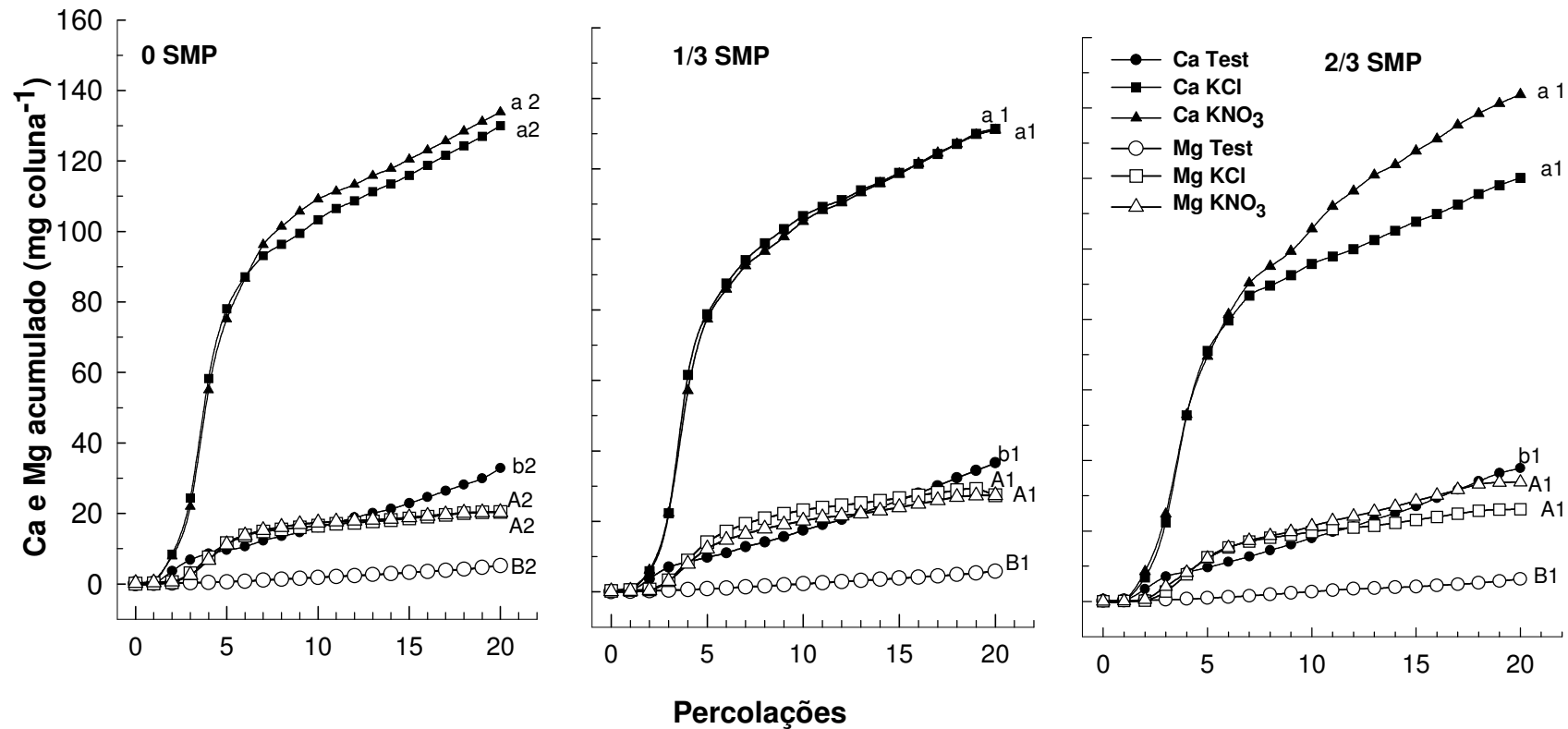


FIGURA 1.1 – Quantidades acumuladas de cálcio e magnésio nas vinte e uma percolações em função da adição da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Média de três repetições. Médias seguidas pela mesma letra ou número, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%: letras maiúsculas comparam os teores de Mg e letras minúsculas comparam os teores de Ca em cada dose de calcário; números comparam o efeito dos sais entre cada dose de calcário.

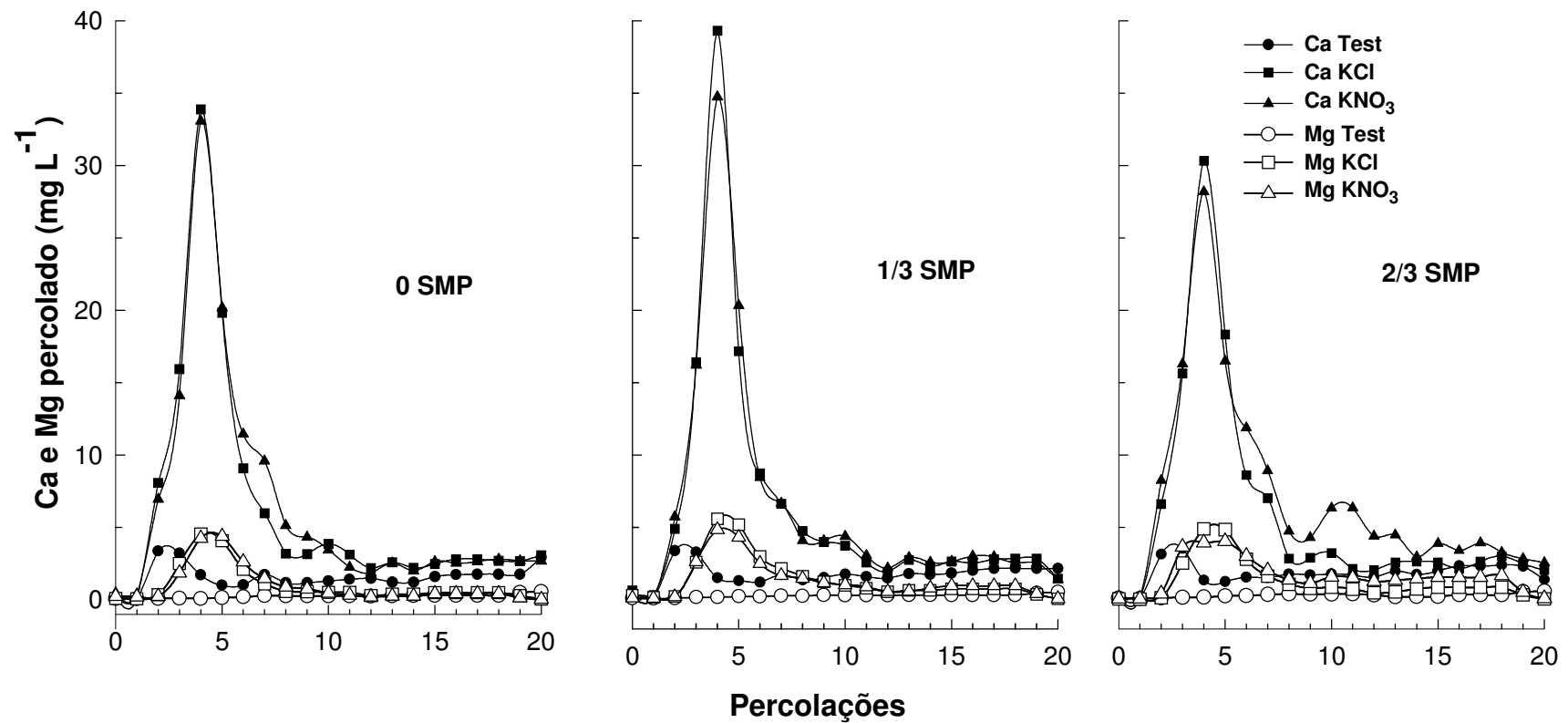


FIGURA 1.2 – Concentração de cálcio e magnésio (mg L^{-1}) em cada uma das vinte e uma percolações em função da adição da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Média de três repetições.

elas absorvem os nutrientes do solo com mais eficiência.

1.4.2. Potássio percolado

A quantidade de potássio acumulada das percolações diferiu entre as doses do corretivo aplicado (Figura 1.3). A maior percolação acumulada de K ocorreu na ausência de calcário, e correspondeu a $53 \text{ mg coluna}^{-1}$, na média dos três tratamentos com sal. A adição da maior dose do corretivo da acidez diminuiu a quantidade acumulada de K lixiviado para $46 \text{ mg coluna}^{-1}$. Essa diminuição na percolação de K provavelmente se deve ao aumento do número de cargas elétricas negativas em decorrência da elevação do pH do solo na camada mais superficial do solo, para onde parte do K migrou (de Maria et al., 1993; Ernani et al., 2001). Rajj & Camargo (1974) e Ernani et al. (2003) também constataram diminuição da percolação de K com o aumento do pH porém em maior magnitude em função de que o pH do solo foi corrigido em toda a camada arável, diferentemente do observado no presente trabalho uma vez que o calcário foi aplicado sobre a superfície do solo.

A percolação acumulada de K aumentou com a adição dos sais potássicos, havendo também diferença do efeito entre os dois sais (Figura 1.3). Quando não foi aplicado nenhum sal, a quantidade de K percolada foi, em média, de $23 \text{ mg coluna}^{-1}$, aumentando 48 e $54 \text{ mg coluna}^{-1}$ respectivamente nos tratamentos com KCl e KNO_3 . A aplicação de sais potássicos aumenta a concentração de K na solução, fazendo com que esse nutriente se movimente verticalmente com maior facilidade com o fluxo descendente de água.

O comportamento da percolação de K no decorrer do experimento não foi afetado pela aplicação de calcário na superfície ou pela adição dos sais (Figura 1.3). A concentração máxima percolada foi de 22 mg L^{-1} na média dos tratamentos com sais e de 5 mg L^{-1} na testemunha, onde não foi aplicado nenhum sal. Na última percolação realizada (vigésima primeira), a concentração de K na solução percolada foi baixa (3 mg L^{-1}),

independente da adição ou não de sal (Figura 1.3). A percolação de K foi, portanto, proporcional ao teor de K na solução do solo, e teve maior intensidade nos períodos iniciais subsequentes à adição do nutriente ao solo (Amaral et al., 2004; Ernani et al., 2003).

1.4.3. pH da solução percolada

O pH da solução percolada não foi afetado pela aplicação de calcário, porém diminuiu pela adição dos sais potássicos (Figura 1.4). É importante ressaltar que as doses de calcário foram aplicadas somente sobre na camada superficial do solo. Sendo assim, a solução que percolou pela coluna passou inicialmente por uma camada de solo com valores elevados de pH, porém pouca espessa (menor que 2,5 cm), e a seguir prosseguiu pela maior parte da coluna que tinha solo com pH muito baixo e presença de Al trocável. Ernani et al. (2003) verificaram que a adição de calcário a um solo ácido diminuiu o pH da solução percolada que passou pela camada corrigida e posteriormente por uma camada de solo que continha Al trocável. Segundo os autores esse fenômeno se deve ao deslocamento do Al das cargas negativas pelo Ca e pelo Mg adicionados pelo calcário, com posterior hidrólise. No presente trabalho, os sais potássicos diminuíram o pH da solução percolada de 4,8 para 3,7, não tendo havido diferença entre o ânion acompanhante. Nesse caso, o abaixamento do pH da solução percolada também pode ser atribuído à hidrólise do Al, que foi deslocado das cargas negativas pelo K adicionado pelos sais (Ernani & Barber, 1993; Ernani et al., 2003).

1.4.4. Cálcio e magnésio do solo

A adição de corretivo na superfície do solo aumentou o cálcio e o magnésio somente na camada superficial e o aumento foi proporcional à dose aplicada (Figura 1.5).

Na ausência da calagem, os teores de Ca e Mg não variaram em todo o perfil, apresentando valores de 0,3 e 0,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. A aplicação superficial de 1/3 da dose do corretivo da acidez recomendada pelo índice SMP para elevar o pH a 6,0 elevou o Ca e o Mg trocável na camada de 0-2,5 cm para aproximadamente 16 e 3 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, diferindo estatisticamente da dose 2/3 SMP, onde os valores atingiram 25 e 5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Nas camadas subseqüentes, as quantidades médias de Ca e de Mg foram aproximadamente de 0,5 e 0,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente, não tendo havido diferença entre os tratamentos. Essa pequena mobilidade de Ca e Mg se deve, possivelmente, à baixa solubilidade do corretivo que ao entrar em contato com um pequeno volume de solo têm sua dissociação prejudicada. Além disso, o aumento das cargas elétricas negativas decorrentes da elevação do pH na camada superficial e a reatividade dos ânions do calcário com os ácidos do solo, contribuem para a baixa mobilidade de seus cátions. Rheinheimer et al. (2000) e Kaminski et al. (2005), mostraram que o Ca e o Mg trocável atingiram 10 cm de profundidade com a adição de calcário sobre a superfície, em experimento de longa duração, em torno de 7 anos. Quaggio et al. (1982) constataram que houve incremento nos teores de Ca e Mg trocável até a profundidade 40 cm de quando o corretivo foi incorporado ao solo, junto com KCl. As diferenças nas mobilidades dos cátions integrantes do calcário entre diferentes experimentos se devem principalmente à variabilidade no poder tampão dos solos, aliado à dose de calcário e tempo de duração dos estudos.

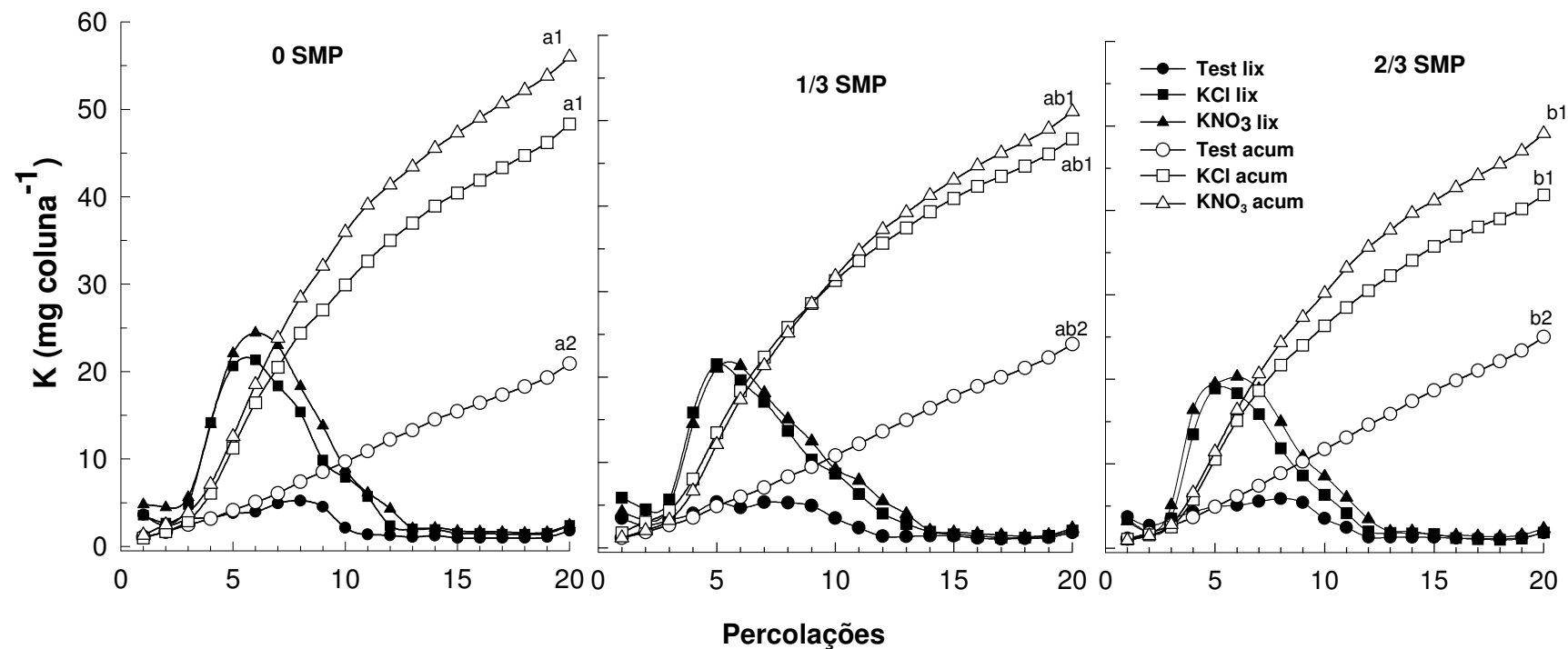


FIGURA 1.3 – Concentração de potássio percolado (mg L^{-1}) e acumulado (mg coluna^{-1}) em cada uma das vinte e uma percolações em função da adição da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmido. Média de três repetições. (Médias acumuladas seguidas pela mesma letra ou número, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%: letras comparam doses de calcário, e números comparam o efeito dos sais dentro de cada dose de calcário).

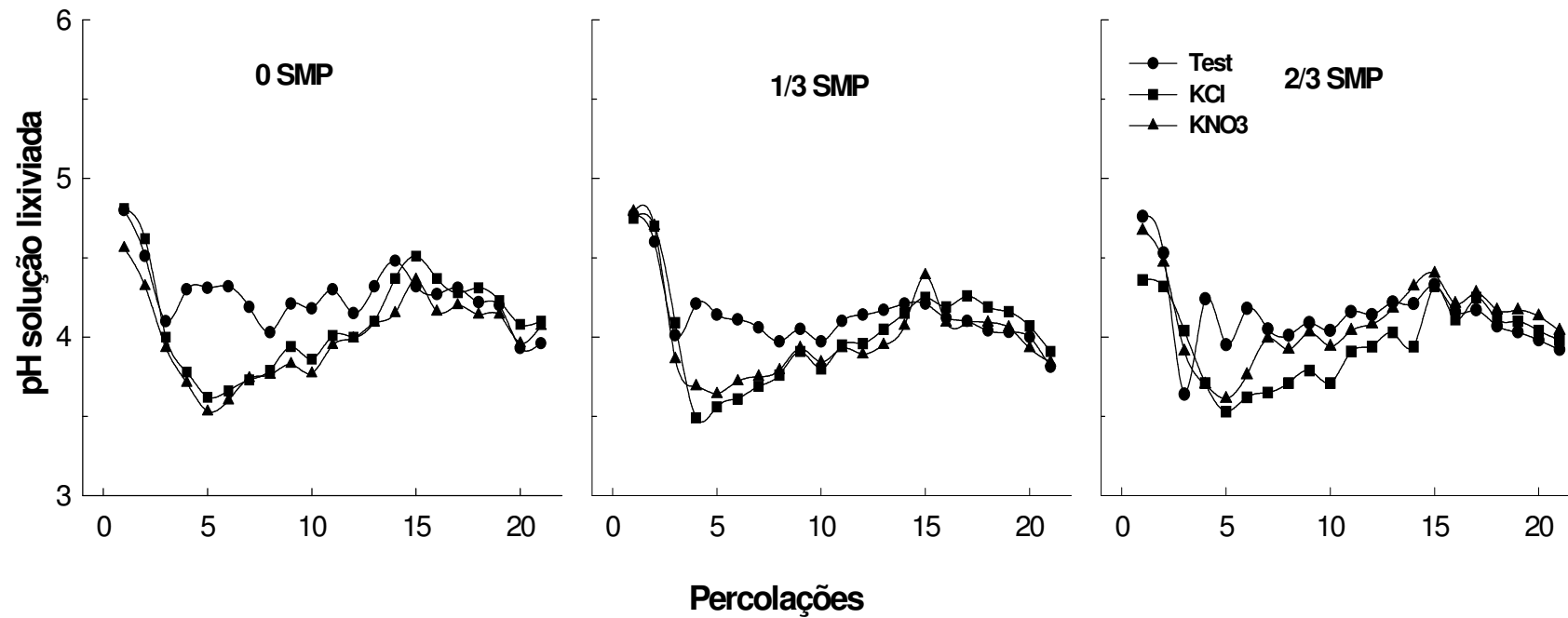


FIGURA. 1.4 – Valor de pH da solução percolada em cada uma das vinte e uma percolações em função da adição da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Média de três repetições.

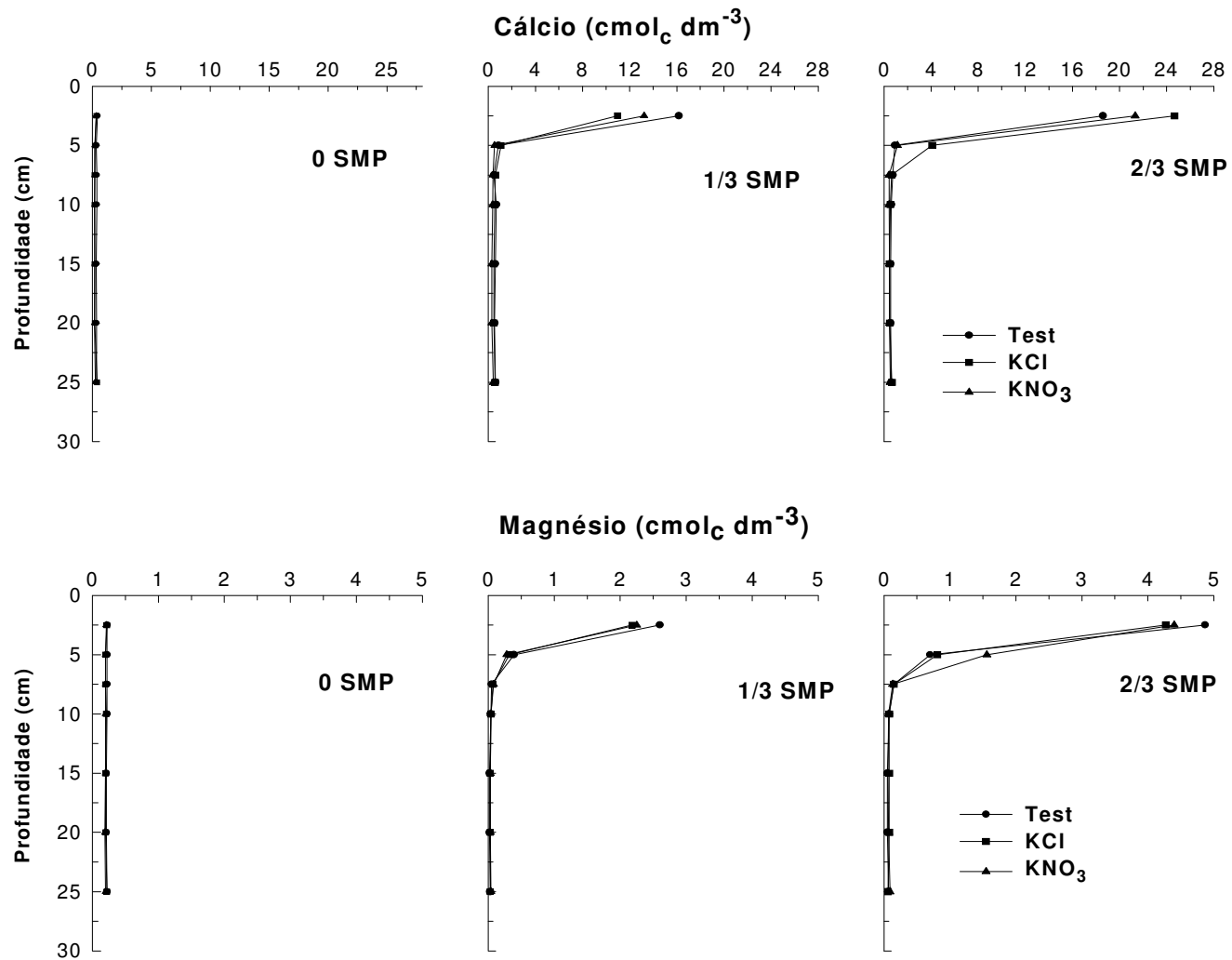


FIGURA 1.5 – Valores de cálcio e magnésio trocável no perfil do solo após vinte e uma percolações em um Cambissolo Húmico submetido a doses da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície. Média de três repetições.

A aplicação dos sais potássicos não influenciou a concentração de Ca e Mg extraível da fase sólida (trocável) em nenhuma camada, independente da dose de corretivo (Figura 1.5). Isto se deve ao fato de que o método de quantificação utilizado determina o somatório dos nutrientes adsorvidos às cargas elétricas e dos presentes na solução e a fase trocável representa a maior percentagem desse total. Apesar de o K adicionado pelos sais ter deslocado quantidades consideráveis de Ca e Mg para a solução, o somatório das duas fases permanece inalterado. A adição de ânions ao sistema pelos sais potássicos não influenciou a descida significativa de Ca e Mg oriundos do corretivo porque, provavelmente, o efeito do incremento nas cargas elétricas negativas e a limitação na solubilidade do corretivo foram mais importantes.

1.4.5. Alumínio e pH do solo

A adição de corretivo sobre a superfície do solo diminuiu o alumínio trocável somente na camada superficial de 0-2,5 cm e não houve diferença entre as doses aplicadas (Figura 1.6). Na ausência da calagem, a quantidade de alumínio trocável foi, em média, de $6,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em todo o perfil, desde a superfície até os 25 cm de profundidade. A aplicação superficial do corretivo neutralizou o Al trocável na camada 0-2,5 cm. Este comportamento é atribuído ao efeito da solubilização do produto e da reação com os ácidos apenas nos 2,5 cm superficiais, aumentando o pH do solo e precipitando o Al. Como o corretivo tem baixa solubilidade, não houve a diminuição do efeito do Al trocável nas camadas mais profundas.

A aplicação dos sais não influenciou a quantidade de Al trocável na superfície tampouco em profundidade (Figura 1.6). Como os sais não alteram o pH e apenas provocam um rearranjo na distribuição dos cátions nas cargas elétricas negativas, o K adicionado deslocou parte do Al para a solução (Ernani et al., 2003), que é determinado

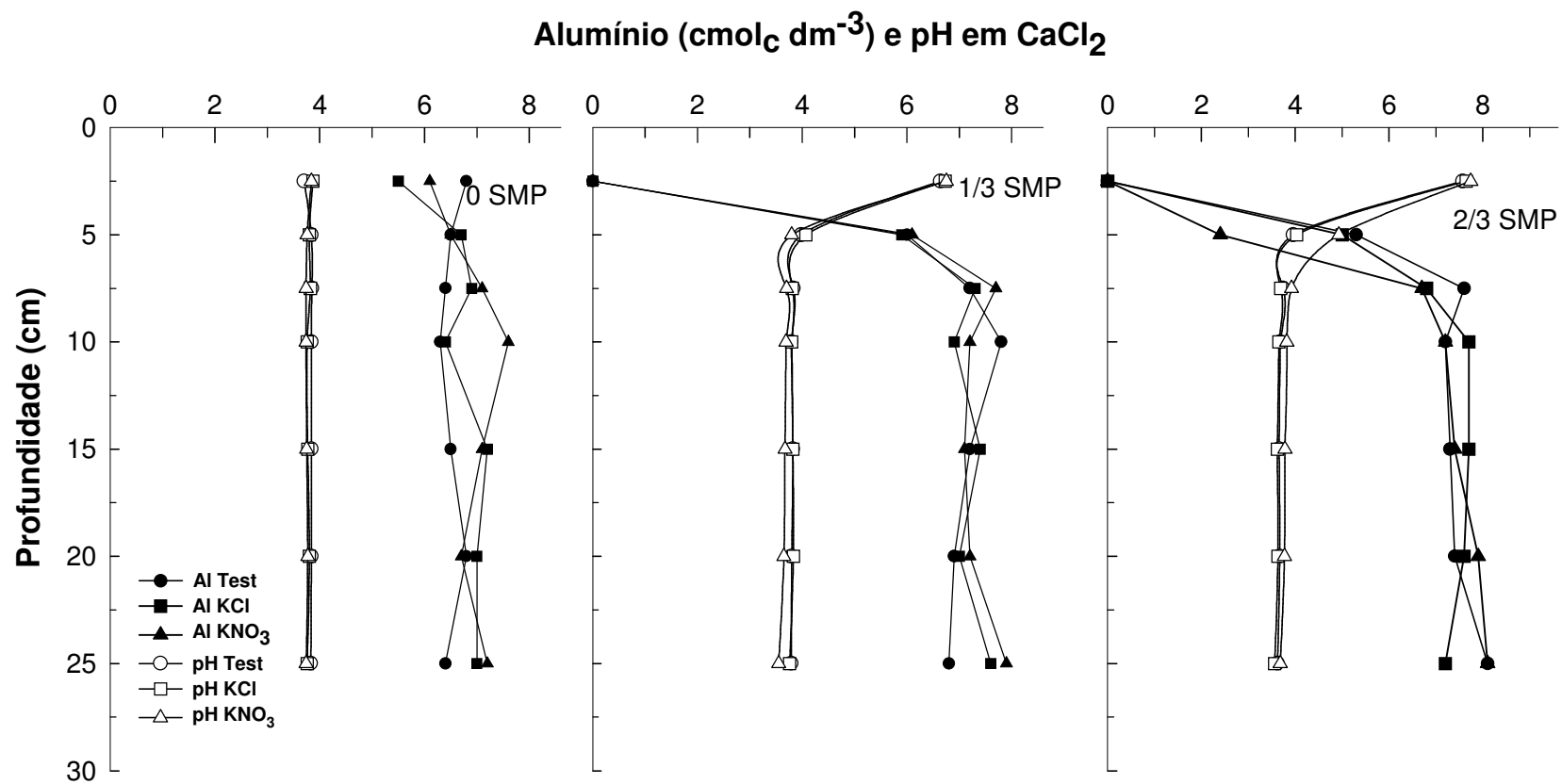


FIGURA 1.6 - Valores de alumínio trocável e pH em CaCl_2 no perfil do solo após vinte e uma percolações em um Cambissolo Húmico submetido a doses da fração da recomendação SMP combinadas com sais de potássio aplicados na superfície. Média de três repetições.

conjuntamente com o Al trocável, pois esse método analítico também determina a soma das duas formas.

A adição de corretivo sobre a superfície do solo aumentou o pH do solo somente nos 2,5 centímetros superficiais e não variou ao longo do perfil. Na ausência da calagem, o valor do pH do solo foi, em média, de 3,7 desde a superfície até os 25 cm de profundidade (Figura 1.6). Nos tratamentos que receberam corretivo em superfície, o pH aumentou com a dose aplicada, chegando a atingir valores de até 7,6 na camada de 0-2,5 na dose 2/3 SMP que, diferiu da dose 1/3 SMP, onde o pH foi 6,7. No entanto, o pH do solo abaixo dessa camada não foi afetado, pois não foi observada variação no decorrer dos restantes 25 cm de solo da coluna, apresentando valores de aproximadamente 3,8. Isto demonstra que o corretivo não chegou abaixo dos locais de aplicação, à semelhança dos resultados encontrados por Pottker & Ben (1998), Ernani et al. (2001), Rheinheimer et al. (2000). Alguns autores têm observado elevação do pH em camadas bem abaixo daquelas onde o calcário tem sido aplicado (Quaggio et al., 1982; Amaral et al., 2004), provavelmente devido ao baixo tamponamento dos solos utilizados e ao tempo das avaliações.

A adição dos sais não afetou o pH do solo na superfície nem em profundidade em nenhum dos tratamentos que receberam corretivo, independente da fonte. Abaixo da camada superficial onde foi realizada a calagem, nenhum dos tratamentos alterou o pH do solo no período estudado, mesmo com a aplicação de sais de potássio.

As modificações nos atributos químicos do solo decorrentes da aplicação superficial de calcário neste experimento são semelhantes aos observados por vários autores que trabalharam com calagem em superfície em experimentos de campo (Ernani & Barber, 1993; Pottker & Ben, 1998; Rheinheimer et al., 2000; Ernani et al., 2001; Amaral & Anghinoni, 2001). Nesses trabalhos, com doses de calcário variando de 0,7 a 17 Mg ha⁻¹ e tempo de reação de um a quatro anos, em solos com diferentes texturas e

tamponamentos, as camadas afetadas variaram de 2,5 cm para pH e alumínio trocável, a 12,5 cm para cálcio e magnésio trocáveis. Em trabalho similar, Petreire & Anghinoni (2001) verificaram, usando colunas indeformadas de solo, que decorridas 25 semanas de aplicação do equivalente a 6 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico na superfície de um Latossolo Vermelho, os efeitos ocorreram até 7,5 cm para pH e alumínio trocável, até 10 cm para magnésio trocável, e até 5 cm para cálcio trocável. Entretanto, somente dois trabalhos anteriormente citados (Rheinheimer et al., 2000; Petreire & Anghinoni, 2001) admitem que os efeitos do calcário no perfil do solo tenham uma participação importante do transporte de partículas de calcário. No entanto, diferem do trabalho de Amaral et al., 2004, que encontrou partículas finas de calcário até 20 cm de profundidade, e atribui o aumento de Ca e Mg na subsuperfície do solo ao movimento vertical dessas partículas.

Várias explicações têm sido atribuídas ao efeito progressivo da frente de neutralização decorrente na aplicação de calcário sobre a superfície do solo, sem incorporação, tais como à percolação de compostos orgânicos hidrossolúveis (Miyazawa et al., 1993; Oliveira & Pavan, 1996; Franchini et al., 1999, 2000 e 2001), ao deslocamento de ânions resultantes da hidrólise do calcário (Amaral & Anghinoni, 2001, Ernani et al, 2001), à migração de partículas finas de calcário pelos bioporos (Petreire & Anghinoni, 2001; Amaral et al, 2004), à dose aplicada, ao tempo decorrente e às próprias características físicas e químicas dos solos (Caires, et al., 1998; Rheinheimer et al., 2000; Amaral & Anghinoni, 2001; Albuquerque et al., 2003).

1.5 CONCLUSÕES

1. O pH da solução percolada diminuiu com a adição dos sais neutros e não foi influenciado pela calagem.

2. O cálcio, magnésio e potássio da solução percolada aumentaram com a adição dos sais neutros; o cálcio e o magnésio percolados tiveram aumento pela adição de corretivo sobre a superfície do solo, entretanto o potássio diminuiu com a adição de corretivo.

3. Os parâmetros químicos relacionados com a acidez (pH, Al, Ca e Mg) foram influenciados pela aplicação do corretivo sobre a superfície somente na camada de 0-2,5 cm, e não variaram pela adição dos sais de potássio.

4. A adição dos sais potássicos sobre a superfície do solo, juntamente com o corretivo, aumentou a lixiviação dos cátions básicos pré-existentes no solo, e não influenciou a eficiência da calagem sobre os parâmetros químicos.

1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A., BAYER, C., ERNANI, P. R., MAFRA, A. L. & FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:799-806, 2003.

AMARAL, A. S. & ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, 36:695-702, 2001.

AMARAL, A. S., ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:115-123, 2002.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R. & BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:359-367, 2004.

BLEVINS, R. L., MURDOCK, L. W. & THOMAS, G. W. Effect of lime applications on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.2, p.322-326, 1978.

DE MARIA, I. C., ROSSETO, R., AMBROSANO, E. J. & DE CASTRO, O. M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba. 50 (1):87-98, fev/maio, 1993.

DIAS, L. E., ALVAREZ, V. V. H., COSTA, L. M. & NOVAIS, R. F. Distribuição de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **R. Bras. Ci. Solo**, 18:373-380, 1994.

CAIRES, F. E.; CHAVEIRI, A. W.; MADRUGA, E. F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **R. Bras.Ci. Solo**, 22:27-34, 1998.

DROUINEAU, G. Influence of irrigation on the distribution of fertilizer elements in the soil profile. In: COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 7., Israel 1969. **Anais. Bern, International Potash Institute**, 1969. p. 96-105.

ERNANI, P.R.. Alterações em algumas características químicas da camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 10:241-245, 1986.

ERNANI, P.R. & BARBER, S.A.. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetados pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 17: 41-46, 1993.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO M.F.S. & BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP. 58 (4):825-831, 2001.

ERNANI, P. R.; BAYER, C. & STECKLING, G. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 25 (4):939-946, 2001a.

ERNANI, P. R., MANTOVANI, A., SCHEIDT, F. R. & NESI, C. Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e calcário. CD Room do **XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Ribeirão Preto/SP, 13 a 18 de julho, 2003.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **R. Bras. Ci. Solo**, 23: 533-542, 1999.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M. & GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**, 24: 459-467, 2000.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R. & CASSIOLATO, M. E. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Sci Agric**. 58: 357-360, 2001.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; GATIBONI, L. C.; BORTOLUZZI, E. C. & XAVIER, F. M. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 605-609, 2000.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. & SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **R. Bras. Ci. Solo**, 29: 573-580, 2005.

MIELNICZUK, J.; BURLE, M.; FERNANDES, S. V. ET AL. Eficiência da aplicação de calcário em sistemas de culturas e preparo do solo. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, Viçosa. **Resumos...** SBCS, p. 1848-1850, 1995.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. & CALEGARI, A. O efeito de material vegetal na acidez do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 17: 411-416, 1993.

MUNOZ HERNANDEZ, R.J. & SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, 55 (1):79-85, jan/abr. 1998.

OLIVEIRA, E. L. & PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no tillage system for soybean production. **Soil Till. Res.** 38: 47-57, 1996.

PETRERE, C. & ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:885-895, 2001.

PIKUL, J. L. & ALLMARAS, R. R. Physical and chemical properties of a Haploxeroll after fifty years residue management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 50: 214-219, 1986.

PÖTTKER, D. & BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:675-684, 1998.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 6, p. 189-194, 1982.

QUAGGIO, J.A. Reação do solo e seu controle. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, Piracicaba, 1986. Anais. Campinas: **Fundação Cargill**, 1986. p. 53-59.

RAIJ, B. & CAMARGO, O.A. de. Nitrate elution from soil columns of three Oxisols and one Alfisol. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 10., 1974, Moscow. **Transactions...** Moscow: Nauka Publ. House, 1974. v.2, p.385-391.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J. & XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 263-268, 2000.

SILVA, A. A., VALE, F. R., FERNANDES, L. A., FURTINI NETO, A. E. & MUNIZ, J. A. Efeitos das relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:451-457, 1998.

SMYTH, T. J. & SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.500-504, 1980.

TEDESCO, M.J; VOLKWEISS, S.J & BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: **Faculdade de Agronomia**, Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 188p. (Boletim Técnico, 5).

VOLKWEISS, S. J. Química da acidez dos solos. In: **Anais do II Seminário sobre Corretivos da Acidez do Solo.** Santa Maria, RS. Abril de 1989. 224 p.

WEIRICH NETO, P. H.; CAIRES, E. F.; JUSTINO, A. & DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 257-261, 2000.

2. CAPÍTULO II – DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM SOLO ÁCIDO INFLUENCIADA PELA CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA

2.1 RESUMO

A elevação do pH normalmente aumenta a disponibilidade de P, porém valores extremamente altos podem favorecer a precipitação de fosfatos de cálcio. O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da elevação do pH de um Cambissolo ácido na disponibilidade de fósforo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sobre um solo com pH 4,1, 360 g kg⁻¹ de argila, e 60 g kg⁻¹ de matéria orgânica. Os tratamentos consistiram de um fatorial com quatro doses de P e quatro níveis de pH. As doses de P foram 0, 50, 100 e 200 mg kg⁻¹. Para elevar o pH utilizaram-se doses de calcário dolomítico equivalentes a 0, 10, 20 e 30 t ha⁻¹ que corresponderam respectivamente a 0, ½, 1,0 e 1,5 a necessidade indicada pelo SMP para elevar o pH para 6,0. Cultivaram-se trigo e posteriormente crotalária, ambos durante 50 dias. A adição do fosfato não afetou nenhum parâmetro químico relacionado com a acidez (pH, Al, Ca e Mg). A calagem diminuiu o Al e aumentou o pH e o Ca da fase sólida e da solução do solo, e o Mg trocável. A adição de doses intermediárias de calcário diminuiu o P da solução. A matéria seca das duas espécies aumentou com a adubação fosfatada e com a calagem. A calagem aumentou a concentração de P na parte aérea das duas espécies e a quantidade de P absorvida pelo trigo; na crotalária, o P absorvido diminuiu na maior dose de calcário aplicada, provavelmente em função da ocorrência de precipitação de P, apesar de que a concentração de cálcio não foi influenciada pela adição de P. A elevação demasiada do pH pode diminuir a eficiência da adubação fosfatada devido à formação de fosfatos de cálcio.

2. CAPTER II - NUTRIENT AVAILABILITY IN AN ACID SOIL INFLUENCED BY LIME AND PHOSPHORUS ADDITION

2.1 SUMMARY

The increase of soil pH normally improves P availability. Values of pH extremely high, however, may promote precipitation of calcium phosphates. This study aimed to evaluate the effect of soil pH on P availability. The experiment was carried out in a greenhouse using a Haplumbrept with pH of 4.1, 360 g kg⁻¹ of clay, and 60 g kg⁻¹ of organic matter. Treatments consisted of a factorial with four rates of P and four pH levels. Rates of P were 0, 50, 100 and 200 mg kg⁻¹. To raise soil pH it was used dolomítico limestone in rates equivalent to 0, 10, 20 and 30 t ha⁻¹, that corresponded respectively to 0, ½, 1.0 and 1.5 the lime requirement indicated by the SMP method to increase the soil pH to 6.0. It was grown *Triticum aestivum* followed by *Crotalaria juncea* both during fifty days. Addition of phosphate had no effect in any soil parameter related to acidity (pH, Al, Ca and Mg). Liming decrease soil Al and increased pH and Ca in both solid phase and soil solution, in addition to exchangeable Mg. Intermediate rates of limestone decreased soil solution P. Root and shoot dry matter of both species increased with P and lime rates. Liming increased the percentage of P in both species. The amount of P taken up increased linearly with lime for wheat, but decreased in the highest rate for *Crotalaria juncea*, probably due to precipitation of calcium phosphate, regardless of inexistence of P effect on solution calcium. Thus, raising soil pH to very high values may depress P availability as a consequence of phosphate precipitation.

2.2 INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento das plantas na maioria dos solos brasileiros. Os solos de regiões tropicais normalmente são altamente intemperizados, e em decorrência disso são ácidos e possuem altas concentrações de óxidos de ferro e alumínio na fração argila (Novais & Smyth, 1999), que lhes confere uma alta capacidade de adsorção de P.

A insolubilização do fósforo adicionado ao solo ocorre principalmente por meio de reações de adsorção e por precipitação. Na adsorção, o P é retido especificamente aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio por meio de complexos de superfície, e essa reação é mais intensa em valores baixos de pH. Com o passar do tempo, parte do P adsorvido à superfície dos agregados do solo difunde-se para o seu interior desses minerais e forma o chamado “P ocluso” (Smyth & Sanchez, 1980). A adsorção de P é um processo lento que pode levar anos para atingir o equilíbrio.

A precipitação de P acontece com diferentes íons, principalmente com Fe, Al e Ca. A formação de fosfatos de ferro ou de fosfatos de alumínio acontece em condições de elevada acidez, enquanto que os fosfatos de cálcio acontecem em condições próximas da neutralidade e em situações alcalinas (Mello et al., 1992; Alvarez & Fonseca, 1990). Além da formação de precipitados de fosfato de cálcio de baixa solubilidade (Adams & Odon,

1985), a calagem proporciona a criação de superfícies recém precipitadas de ferro e alumínio que têm alta capacidade de adsorção de fósforo (Silva, 1993).

A precipitação de P em solos torna-se particularmente importante durante a dissolução de grânulos de fertilizantes fosfatados, onde são ultrapassados os produtos da solubilidade de componentes da reação solo-fertilizante. Nas adjacências dos grânulos de fosfatos, a formação de fosfato de alumínio (Salinas & Sanchez, 1976) contribui para a diminuição da toxicidade desse elemento caso o pH seja baixo.

A calagem é realizada principalmente com o objetivo de reduzir a acidez e a atividade do alumínio na solução. Em adição a isso, ela diminui a adsorção do fósforo, pois aumenta a quantidade de cargas elétricas negativas nos solos que têm predomínio de cargas variáveis (Smyth & Sanchez, 1980; Naidu et al., 1990). Segundo Mello et al. (1992), a maior disponibilidade de fósforo acontece na faixa de pH entre 6,0 e 7,0. Trabalhos conduzidos em solos de regiões tropicais mostram, entretanto que a disponibilidade de P é máxima para valores de pH entre 5,0 e 6,0, porém presume-se que o efeito da calagem sobre a disponibilidade de P varia com o tipo de solo e com a cultura utilizada.

Avaliando o rendimento de grãos de soja e trigo, em resposta à adição de calcário e de fósforo, Vidor & Freire (1972) verificaram a existência de uma interação entre estes fatores. Siqueira (1972) e Anghinoni & Salet (2000) observaram maior resposta das culturas à aplicação de fósforo quando comparada à aplicação de calcário, tendo ocorrido interação positiva entre os dois fatores nas doses mais baixas.

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da adição de doses crescentes de P e de calcário no rendimento de massa seca de duas espécies, em casa-de-vegetação, assim como na alteração de alguns atributos químicos de um Cambissolo Húmico, principalmente com ênfase na formação de fosfatos de cálcio.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC, no período de 2005 (maio a julho) a 2006 (janeiro a março). Foi utilizado um solo Cambissolo Húmico (CH), coletado em área de vegetação campestre nativa na profundidade de 0-20 cm neste município. A composição química natural do solo era: pH-H₂O = 4,1, Al⁺³ = 4 cmol_c kg⁻¹, Ca = 0,6 cmol_c kg⁻¹, Mg = 0,5 cmol_c kg⁻¹, P = 1,8 mg kg⁻¹, K = 58 mg kg⁻¹, 360 g kg⁻¹ de argila; e 60 g kg⁻¹ de matéria orgânica (M.O.).

Os tratamentos consistiram de uma combinação fatorial de quatro níveis de pH do solo e quatro doses de fósforo. Os níveis de calcário foram 0, 0,5, 1,0 e 1,5 vez a necessidade de calcário indicada pelo método SMP para elevar o pH para 6,0, o que correspondeu a 0, 10, 20 e 30 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT 100%. Após a adição do calcário, o solo permaneceu incubado por um período de 15 dias com umidade de 70% da capacidade de campo. Em seguida, foram aplicados os tratamentos de fósforo, que consistiram de 0, 50, 100 e 200 mg kg⁻¹ de P tendo como fonte o fosfato diamônio (DAP). Foram utilizadas duas espécies (trigo e posteriormente, crotalária) que foram cultivadas em vasos de 4,0 litros com 3,5 kg de solo por vaso. Todos os tratamentos receberam adubação complementar com nitrogênio (N) e potássio (K), na dose de 100 mg kg⁻¹ para cada nutriente, via líquida, a partir de soluções preparadas com uréia e cloreto de potássio. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições.

No primeiro cultivo (inverno), utilizou-se a cultura do trigo (*Triticum aestivum*), cultivar Ônix, implantada no dia 15 de maio de 2005. Cinco dias após a emergência, fez-se o desbaste, deixando-se 8 plantas/vaso. Durante o período experimental, os vasos foram mantidos úmidos, usando como limite superior 70% umidade retida na capacidade de campo, com reposição diária de água destilada, sempre controlada por pesagem.

Aos 50 dias após a emergência das plantas a parte aérea foi coletada, seca em estufa e pesada. Posteriormente este material foi moído e digerido com ácido sulfúrico e água oxigenada para determinação de fósforo e cálcio, seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al (1985). O sistema radicular também foi coletado, lavado em peneira de malha 0,053 mm, seco em estufa para a posterior obtenção da massa seca. Amostras de solo foram coletadas de cada vaso, após o cultivo, secas em estufa a 65° C, moídas, e passadas em peneiras com malha de 2 mm. Nelas, avaliaram-se algumas características químicas da fase sólida e líquida do solo. Na fase sólida, foram determinados: pH-H₂O, Ca, Mg, Al e K trocáveis além do P disponível. O Ca, Mg e Al foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; K trocável e P extraível foram extraídos com solução de ácidos diluídos (Mehlich-1) e determinados por fotometria de chama e por colorimetria, respectivamente, conforme procedimentos descritos por Tedesco et al (1985).

Para extrair a fração líquida do solo, foram agitadas amostras de 50 g de solo com 50 ml de água destilada, durante 20 minutos. Após uma noite em repouso, as suspensões foram transferidas para um frasco de kitazato acoplado a uma bomba de vácuo. Colocou-se uma folha de papel filtro na base do funil e obteve-se a fração líquida após a aplicação de vácuo (Ernani, 2000). Na fração líquida, doravante denominada de solução do solo, foi determinado o pH, as concentrações de Ca por espectrofotometria de absorção atômica, e de P pelo método descrito por Murphy & Riley (1962).

O segundo cultivo (verão) foi implantado no dia 28 de janeiro de 2006, utilizando-se a espécie *Crotalaria juncea* visando avaliar o efeito residual dos tratamentos de P e de calcário. Aos 10 dias após a emergência, procedeu-se o desbaste deixando-se 10 plantas/vaso. Durante o período experimental, a umidade do solo foi mantida com o mesmo critério da cultura antecedente. Todos os vasos, aos 25 dias após a emergência, receberam adubação complementar com 50 mg kg⁻¹ de N na forma de uréia, via solução. Aos 50 dias após a emergência, a parte aérea foi coletada e submetida às mesmas análises realizadas no primeiro cultivo.

Os dados de produção de massa seca da parte aérea e de raiz, e de fósforo absorvido foram submetidos à análise de variância. Quando as médias apresentarem diferença significativa, elas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para os níveis de pH e doses de P foram realizadas análises de regressão.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1. Efeito no pH

O pH do solo aumentou com o aumento da quantidade de calcário aplicada (Figura 2.1). Na testemunha, o pH era de aproximadamente 4,0, e aumentou linearmente em aproximadamente 0,08 unidades para cada tonelada aplicada ($Y = 3,93 + 0,0765x$; $R^2 = 0,97$). Não houve interação entre as doses de calcário e de P para o pH. Houve uma estreita relação entre os valores de pH do solo (x) e de pH da solução (Y), sendo esta obtida pelo equilíbrio do solo com água seguido de centrifugação ($R^2 = 0,92$) (Figura 2.2).

As doses de fósforo não afetaram o pH (Apêndice 2). Sabe-se que alguns adubos fosfatados, a exemplo do superfosfato triplo (SFT) e do fosfato monoamônio (MAP), têm a habilidade de diminuir o pH ao redor dos grânulos (Ernani et al., 2000), porém isso não ocorreu no presente trabalho porque as doses de P foram moídas e misturadas com todo o volume de solo diluindo o efeito das reações.

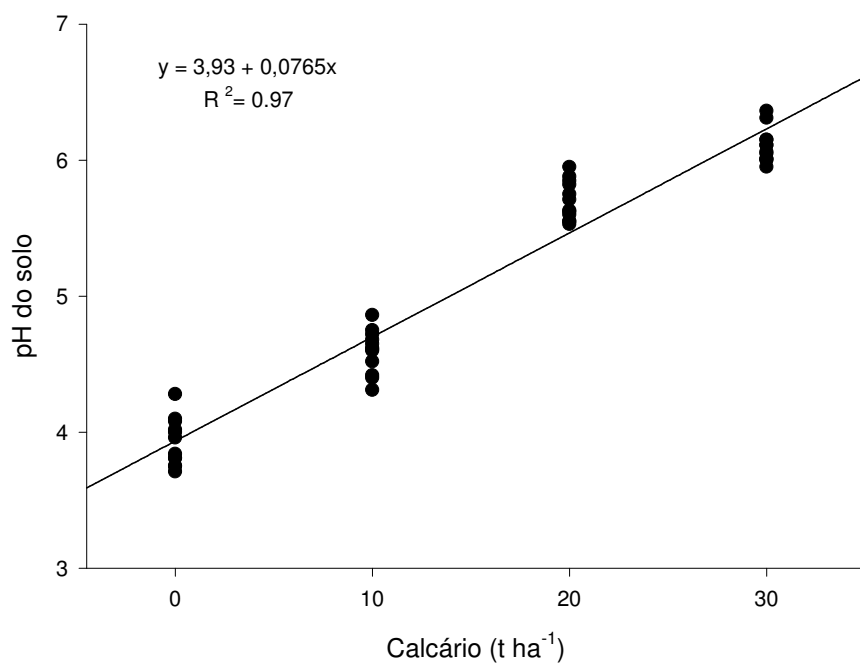


Figura 2.1 – Valores de pH do solo em água em função da adição de doses de calcário em um Cambissolo Húmico.

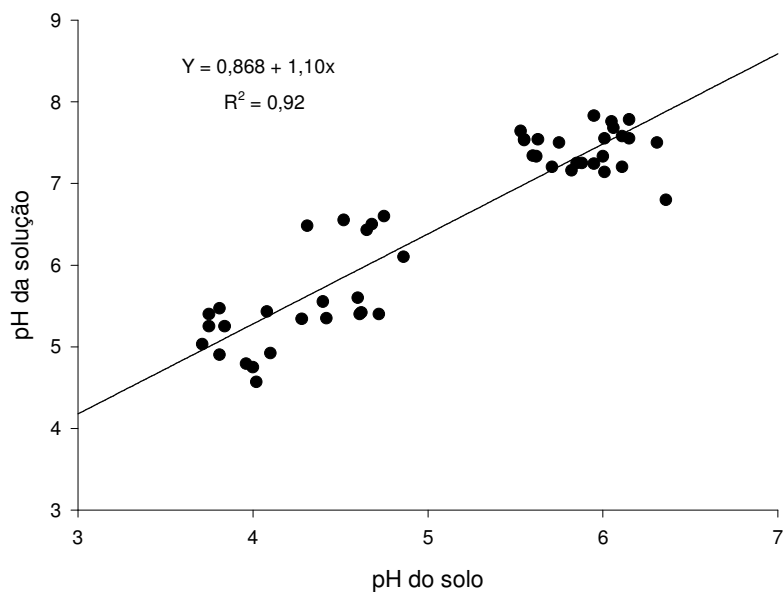


Figura 2.2 - Relação entre o pH do solo em água e o pH da solução do solo em função da adição de doses de calcário em um Cambissolo Húmico.

2.4.2. Efeito no Ca e Mg

Os teores de Ca e Mg trocáveis aumentaram com o aumento do pH do solo e com a calagem (Figuras 2.3A e 2.4 e Tabela 2.1). Na média dos tratamentos, os teores de Ca e Mg na testemunha (sem calcário) foram de 1,0 e 0,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ respectivamente, e cada aumento de uma unidade no pH proporcionou um incremento de 4,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no Ca ($Y = -15,115 + 4,23x$; $R^2 = 0,96$) e de 1,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no Mg ($Y = -6,18 + 1,66x$; $R^2 = 0,96$) (Figuras 2.3A e 2.4). O teor de Ca na solução do solo aumentou linearmente na taxa de 15 mg L^{-1} para cada incremento de uma unidade no pH da solução ($R^2 = 0,84$) (Figura 2.3B) e não foi influenciado pela adubação fosfatada (Tabela 2.1).

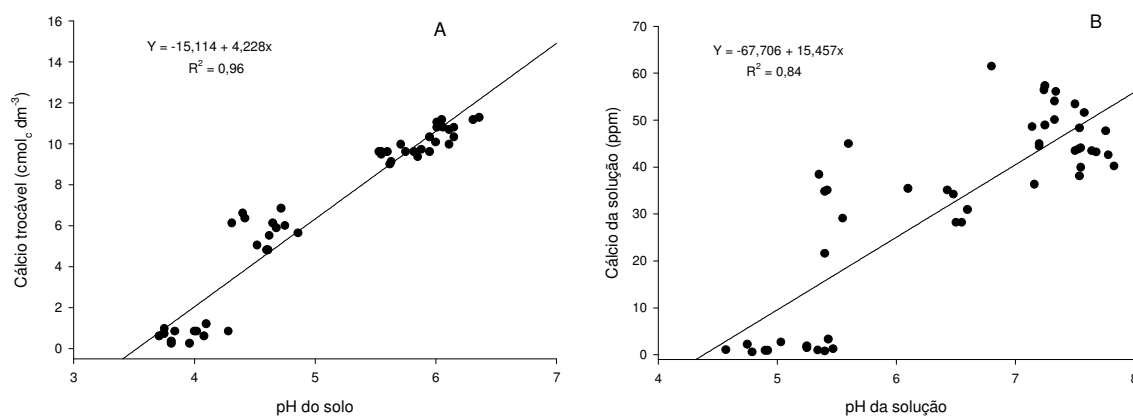


Figura 2.3 – Relação entre o pH do solo em água e Ca trocável (A) e do Ca da solução (B) em função da adição de doses de calcário num Cambissolo Húmico.

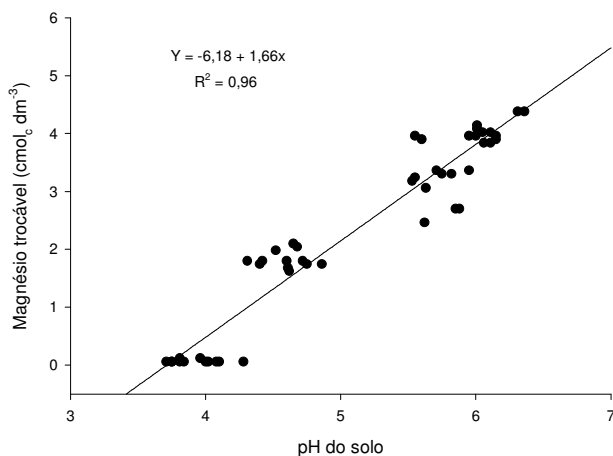


Figura 2.4 - Relação entre o pH do solo em água e Mg trocável em função da adição de doses de calcário num Cambissolo Húmico.

Os níveis de fósforo aplicado não tiveram efeito sobre os teores de Ca e Mg trocáveis (Tabela 2.1), e na média dos tratamentos com P, os teores desses cátions foram respectivamente de 6,8 e 2,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Tabela 2.1. Conteúdo de cálcio e magnésio trocável no solo em função da calagem e da adubação fosfatada em um Cambissolo Húmico. Média de três repetições.

	0 SMP	0,5 SMP	1 SMP	1,5 SMP	Médias
Fósforo	-----Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) -----				
0 ppm	0,92	5,04	9,36	10,12	6,36 b
50 ppm	0,88	5,68	9,60	10,92	6,77 a
100 ppm	0,68	5,92	9,44	11,00	6,76 a
200 ppm	0,72	6,60	9,68	10,76	6,83 a
Médias	0,8 d	5,81 c	9,52 b	10,70 a	
	-----Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) -----				
0 ppm	0,06	1,70	2,62	3,90	2,07 b
50 ppm	0,14	1,96	3,26	4,24	2,40 a
100 ppm	0,08	1,76	3,22	4,08	2,28 a
200 ppm	0,10	1,92	3,74	3,94	2,39 a
Médias	0,095 d	1,82 c	3,21 b	4,04 a	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

2.4.3. Efeito no Al trocável do solo

Os teores de alumínio trocável diminuíram com o aumento do pH do solo em água (Figura 2.5), porém não foram afetados pelas doses de P. Na ausência da calagem, a concentração máxima de Al trocável foi de 7,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Segundo Volkweiss (1989), os teores de alumínio trocável são muito baixos e passam a inexistir em solos com pH igual ou superior a 5,5 devido à solubilidade do $\text{Al}(\text{OH})_3$ e de outros óxi-hidróxidos de alumínio ser baixa e muito dependente do pH.

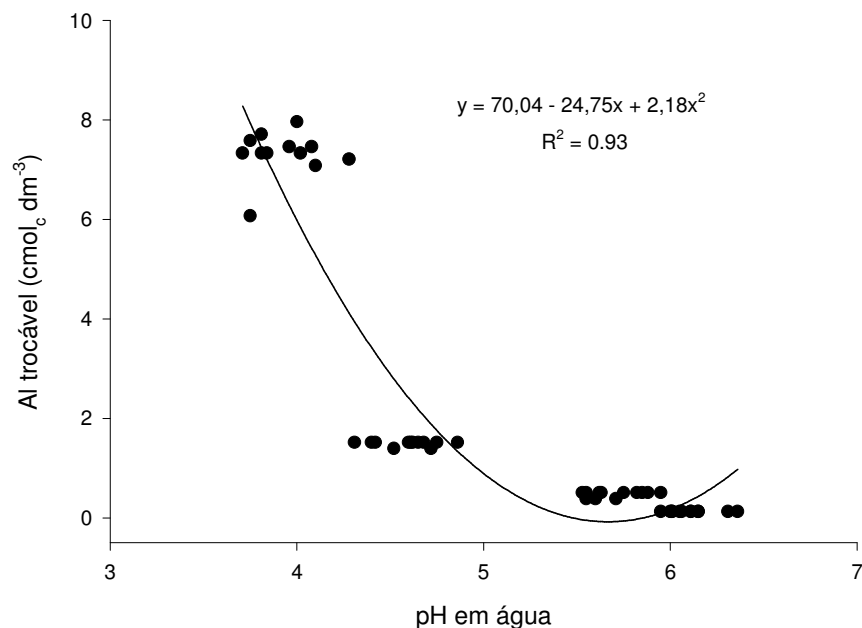


Figura 2.5 - Relação entre o pH do solo em água e Al trocável em função da adição de doses de calcário num Cambissolo Húmico.

2.4.4. Efeito no P

A aplicação de calcário não influenciou o teor de fósforo do solo determinado pelo método Mehlich-1 (Tabela 2.2), e também não houve interação entre as doses de calcário e de P. Vários autores têm observado a existência de uma relação de substituição positiva entre a adubação fosfatada e a aplicação de calcário (Vidor & Freire, 1972, ernani et al., 2000; Carvalho et al., 1988). Entretanto, ao mesmo tempo em que a elevação do pH decorrente da calagem pode reduzir a adsorção de fósforo no solo, a precipitação de íons Al^{+3} na forma de polímeros catiônicos de hidróxi-Al pode proporcionar a formação de novas superfícies de adsorção para P (Carvalho et al., 1988). Trabalhos de Ernani et al (2000) observaram aumento da eficiência do P nos maiores valores de pH para um Latossolo Bruno no cultivo de milho, que pode ter sido causado pela maior liberação de ânions orgânicos, que competem com o P pelos sítios de adsorção, pela diminuição ou eliminação do Al trocável (Ernani & Barber, 1991), pelo aumento das cargas negativas do

ânion fosfato, e principalmente pelo aumento das cargas negativas das superfícies sólidas do solo (Kaminski et al., 2005).

A aplicação de P aumentou os teores de fósforo disponível no solo (Tabela 2.2). Na ausência da adubação fosfatada, o solo apresentou teor médio de 8 mg dm⁻³ de P. Este valor, para a classificação textural do solo em estudo (36 mg kg⁻¹ de argila, classe 3) e para o método de extração utilizado, é considerado baixo (Manual de Adubação..., 2004). Com a adição de doses crescentes de P ao solo, os teores se elevaram, atingindo 23 mg de P dm⁻³ já na dose de 50 ppm de P kg⁻¹, o que é considerado muito alto para os solos desta classe.

Tabela 2.2. Conteúdo de fósforo no solo, extraído pelo método Mehlich-1 em função da calagem e da adubação fosfatada em um Cambissolo Húmico. Média de três repetições.

Fósforo	P (mg dm ⁻³)				Médias
	0 SMP	0,5 SMP	1 SMP	1,5 SMP	
0	7,9	6,1	4,4	5,4	5,9 d
50	29,3	23,0	25,2	19,5	23,9 c
100	53,5	42,8	57,5	46,7	50,1 b
200	112,7	116,9	87,0	90,2	101,7 a
Médias	50,8 a	46,8 ab	43,5 bc	40,4 c	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A concentração de P na solução do solo diminuiu com o aumento do pH até aproximadamente pH 6,5 (Figura 2.6). Nos valores de pH mais baixos o teor de P na solução foi de 0,02 mg dm⁻³, tendo baixado para 0,01 mg dm⁻³ em valores de pH de aproximadamente 6,5 (R² = 0,52). A adubação fosfatada influenciou o P na solução (R² = 0,47), no entanto não diferiu entre as doses (Figura 2.7).

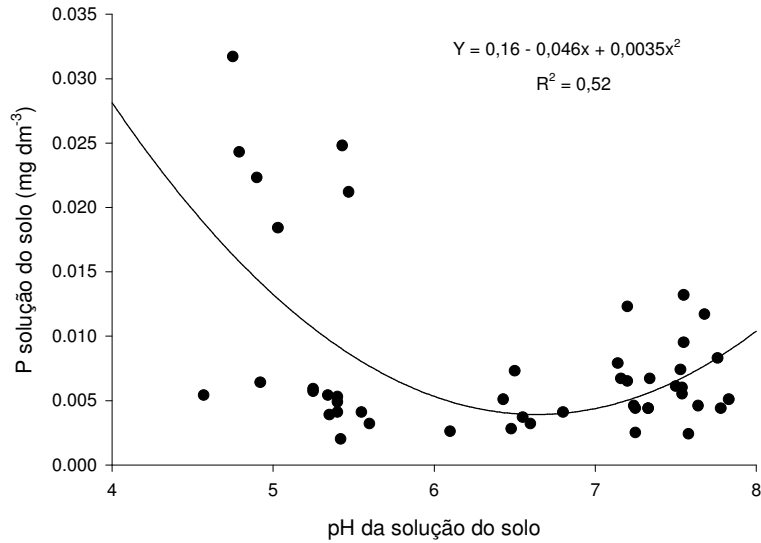


Figura 2.6 - Relação entre o pH da solução do solo e do fósforo da solução do solo em função da adição de doses de calcário e de fósforo num Cambissolo Húmico.

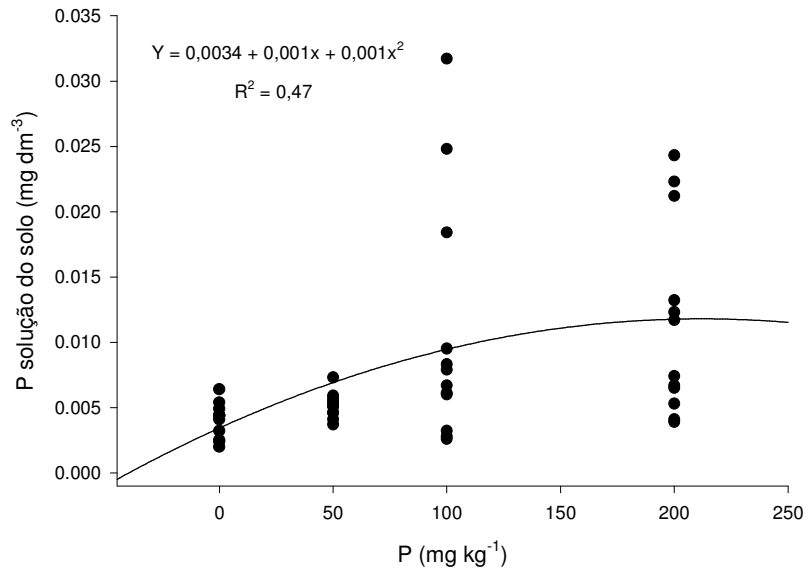


Figura 2.7 - Relação entre as doses da adubação fosfatada e do fósforo da solução do solo em função da adição de doses de calcário e de fósforo num Cambissolo Húmico.

2.4.5. Produção de massa seca das culturas

A produção de massa seca (MS) da parte aérea (PA) e das raízes do trigo (1º cultivo) e da *Crotalaria juncea* (2º cultivo) foi influenciada pela aplicação de calcário (P• 0,05), porém não ocorreu diferença entre as doses aplicadas para o trigo (Tabela 2.3). Na

ausência da calagem, os rendimentos de MS foram baixos para as duas espécies. Para o trigo, houve diferença apenas da testemunha para as demais doses de calcário, que na média dos tratamentos chegou a 2,98 e 1,74 g MS vaso⁻¹ para a parte aérea e para a raiz, respectivamente.

Tabela 2.3. Peso da massa seca da parte aérea e raiz (g) de trigo e de *C. juncea* em função da calagem e da adubação fosfatada num Cambissolo Húmico. Média de três repetições.

	0 SMP	0,5 SMP	1 SMP	1,5 SMP	Médias
Massa seca da PA do trigo					
	-----g vaso ⁻¹ -----				
Fósforo					
0	0,25	0,67	0,55	0,64	0,52 c
50	0,36	3,53	3,25	2,99	2,53 b
100	0,50	4,10	4,39	3,63	3,15 a
200	0,56	4,57	3,79	3,78	3,17 a
Médias	0,42 b	3,22 a	2,98 a	2,76 a	
Massa seca de raízes do trigo					
	-----g vaso ⁻¹ -----				
0 ppm	0,58	1,11	0,83	0,87	0,85 b
50 ppm	0,57	2,22	1,73	2,10	1,65 a
100 ppm	0,59	1,84	2,32	1,93	1,67 a
200 ppm	0,51	1,88	2,10	1,96	1,61 a
Médias	0,56 b	1,76 a	1,74 a	1,72 a	
Massa seca da PA da <i>C. juncea</i>					
	-----g vaso ⁻¹ -----				
0 ppm	1,26	2,52	2,53	1,91	2,06 c
50 ppm	1,43	2,68	2,67	2,44	2,31 bc
100 ppm	1,41	3,09	3,26	2,42	2,55 ab
200 ppm	1,47	3,28	3,30	2,86	2,73 a
Médias	1,40 c	2,90 a	2,94 a	2,41 b	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

No 2º cultivo (crotalaria), o rendimento do tratamento sem calcário foi, em média, de apenas 1,40 g vaso⁻¹, crescendo, em aproximadamente 120% pela aplicação das duas doses intermediárias da fração SMP (0,5 e 1,0), e diminuiu na maior dose aplicada (fração 1,5 SMP). Na menor dose utilizada (fração 0,5 SMP) o pH era inferior a 5,0 e existia Al trocável no solo. A ausência de toxicidade de Al nesse caso, pode ser atribuída, pelo menos

em parte, ao alto teor de matéria orgânica que o solo apresenta (60 g kg^{-1}) sobre a atividade do Al, o qual diminui sua intensidade com o tempo (Ernani et al., 2000).

Na presença de Al, normalmente há diminuição do sistema radicular (Vilela & Anghinoni, 1984) e no crescimento das plantas (Costa et al., 1989) devido ao efeito fitotóxico desse elemento, com reflexos negativos no rendimento. Ernani et al (2001), utilizando esse mesmo solo, também verificaram diminuição no rendimento de massa seca de várias espécies vegetais nos valores mais elevados de pH., provavelmente devido a formação de precipitados de fosfatos de cálcio.

No trigo, a adição de P proporcionou um incremento no rendimento da massa seca semelhante ao proporcionado pela calagem, porém na crotalária a calagem foi o parâmetro que teve o maior efeito no incremento do rendimento (Tabela 2.3). Nos dois cultivos, não houve interação entre doses de P e de calcário.

2.4.6. Conteúdo de fósforo e de cálcio no tecido das culturas

A aplicação de calcário aumentou o conteúdo de fósforo no tecido do trigo, não havendo diferença entre as doses, porém não afetou a concentração desse nutriente na *C. juncea* (Tabela 2.4). Isso demonstra que, se houve a formação de precipitados de fosfatos de cálcio, a magnitude não chegou a influenciar a concentração de P no tecido das culturas. Na ausência da calagem, o conteúdo de P no tecido de trigo foi de apenas 0,42 %, enquanto que na média dos tratamentos que receberam calcário foi de 0,49 %.

Freitas et al. (2000) e Abichequer et al. (2003) observaram resultados semelhantes ao trabalharam com diferentes variedades de trigo submetidas à adubação fosfatada e à calagem. Já Ben & Dechen (1996) encontraram valores mais elevados de P no tecido de trigo em solos ácidos do que em solos corrigidos. Este mesmo autor afirma que isso pode ocorrer devido a maior dependência das plantas à adubação fosfatada em solo ácido, ainda

que se utilizem genótipos tolerantes a acidez. Outros autores, trabalhando com outras espécies, como Silva et al. (1993) e Miola (1999) em experimentos com milho, e Rosolem & Marcello (1998) em experimentos com soja, também observaram pequeno efeito das doses de calcário no conteúdo de fósforo no tecido vegetal das espécies estudadas.

Tabela 2.4. Concentração de fósforo e de cálcio (%) no tecido de trigo e de *C. juncea* em função da calagem e da adubação fosfatada num Cambissolo Húmico. Média de três repetições.

	0 SMP	0,5 SMP	1 SMP	1,5 SMP	Médias
Teor de P (%) trigo					
Fósforo	----- % -----				
0 ppm	0,16	0,20	0,15	0,18	0,17 d
50 ppm	0,38	0,51	0,54	0,47	0,48 c
100 ppm	0,52	0,59	0,54	0,56	0,55 b
200 ppm	0,63	0,69	0,66	0,66	0,66 a
Médias	0,42 b	0,50 a	0,47 a	0,47 a	
Teor de Ca (%) trigo					
Fósforo	----- % -----				
0 ppm	0,05	0,17	0,21	0,21	0,16 b
50 ppm	0,06	0,21	0,22	0,22	0,18 a
100 ppm	0,06	0,21	0,22	0,23	0,18 a
200 ppm	0,06	0,21	0,23	0,25	0,18 a
Médias	0,06 c	0,20 b	0,22 a	0,23 a	
Teor de P (%) <i>C. juncea</i>					
Fósforo	----- % -----				
0 ppm	0,17	0,18	0,17	0,23	0,19 b
50 ppm	0,24	0,17	0,20	0,24	0,21 a
100 ppm	0,21	0,18	0,22	0,21	0,21 a
200 ppm	0,20	0,20	0,15	0,17	0,18 c
Médias	0,21 a	0,18 b	0,19 b	0,21 a	
Teor de Ca (%) <i>C. juncea</i>					
Fósforo	----- % -----				
0 ppm	0,08	0,28	0,39	0,46	0,30 a
50 ppm	0,11	0,27	0,40	0,51	0,32 a
100 ppm	0,11	0,28	0,42	0,51	0,33 a
200 ppm	0,14	0,30	0,47	0,46	0,35 a
Médias	0,11 d	0,28 c	0,42 b	0,48 a	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A adição de fósforo aumentou a concentração de P no tecido de trigo, porém não na *C. juncea* (Tabela 2.4). O conteúdo de cálcio no tecido das culturas não diferiu entre os

níveis da adubação fosfatada (Tabela 2.3). Para o trigo, na ausência da adubação fosfatada, o teor de cálcio foi de 0,16 %, enquanto que na média dos tratamentos com P, independente da dose, foi 0,18 %. O teor médio de Ca na *C. juncea*, foi de 0,32 %.

O conteúdo de cálcio no tecido das culturas aumentou ($P < 0,05$) com a aplicação de doses crescentes de calcário (Tabela 2.4). Na ausência da calagem, o teor de cálcio foi de 0,06 e 0,11 %, respectivamente para o trigo e para a *C. juncea*. Nos tratamentos com doses crescentes do corretivo, independente do nível da adubação fosfatada, o conteúdo de Ca atingiu níveis máximos de 0,23 % na maior dose aplicada no trigo; na *C. juncea*, o conteúdo de cálcio quase dobra na fração de 0,5 SMP para a 1,0 SMP.

2.4.7. Quantidade de fósforo absorvido pelas culturas

A absorção de P das duas espécies aumentou com o aumento da dose do fosfato aplicada. (Tabela 2.5). A maior absorção de fósforo foi, provavelmente, consequência do aumento da difusão de P no solo em direção às raízes, decorrente do aumento da concentração de P na solução e do estímulo ocasionado no crescimento radicular (Ernani & Barber, 1991).

A quantidade de P no tecido do trigo foi influenciada pela aplicação de calcário, porém não houve diferença entre as doses aplicadas (Tabela 2.5). Na ausência da calagem, o conteúdo de P absorvido foi de apenas 1,98 mg, o qual aumentou para 18,90 mg já na primeira fração do SMP. Este comportamento foi semelhantemente ao observado para a concentração de P no tecido (Tabela 2.4). Trabalho de Guilherme et al. (1989) em experimento com arroz irrigado observou menor quantidade de fósforo absorvido em função da calagem para um Cambissolo, afirmando que este decréscimo se deu em função da fixação de fósforo nativo do solo em presença de CaCO_3 em solo inundado, o que

favorece a formação de fosfato de cálcio de baixa solubilidade devido à elevação do pH do solo.

Tabela 2.5. Quantidade de fósforo absorvido (mg) pelo trigo e pela *C. juncea* em função da calagem e da adubação fosfatada num Cambissolo Húmico. Média de três repetições.

	0 SMP	0,5 SMP	1 SMP	1,5 SMP	Médias
Quantidade de P absorvido pelo trigo					
Fósforo	----- mg -----				
0 ppm	0,41	1,40	0,75	1,18	0,94 c
50 ppm	1,36	18,10	17,64	14,34	12,86 b
100 ppm	2,57	24,35	23,86	20,42	17,78 a
200 ppm	3,57	31,73	24,90	25,07	21,32 a
Médias	1,98 b	18,90 a	16,80 a	15,25 a	
Quantidade de P absorvido pela <i>C. juncea</i>					
Fósforo	----- mg -----				
0 ppm	2,21	4,57	4,44	4,50	3,93 b
50 ppm	3,41	4,66	5,30	5,98	4,84 ab
100 ppm	3,05	5,73	7,23	5,14	5,29 a
200 ppm	3,06	6,74	5,15	4,80	4,94 a
Médias	2,93 c	5,43 a	5,53 a	5,11 b	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A quantidade de fósforo absorvida pela parte aérea da *C. juncea* foi influenciada pela adubação fosfatada e também pela calagem (Tabela 2.5). Na maior dose de calcário aplicada, entretanto, o teor de P absorvido diminuiu o que pode estar relacionado com a precipitação desse nutriente na forma de fosfato de cálcio. Trabalhos realizados por Costa et al. (1989), Rheinheimer et al. (1992), Pessoa et al (1994) e Rheinheimer & Kaminski (1994) em experimentos com guandu, tremoço azul, pensacola e capim-pensacola mostraram que a calagem e a adubação fosfatada foram fundamentais para a absorção de fósforo pelas forrageiras.

2.5 CONCLUSÕES

1. Os parâmetros químicos relacionados com a acidez do solo (pH, Al, Ca e Mg) foram influenciados pela aplicação de calcário, porém não variaram com a adubação fosfatada.

2. O pH e o Ca da solução do solo aumentaram com a calagem e não foram influenciados pela adubação fosfatada. O P da solução teve pequena diminuição em pH 6,5 e aumentou com a adubação fosfatada.

3. O efeito da calagem e da adubação fosfatada na produção de massa seca, conteúdo de P e Ca no tecido e absorção de P variaram com a quantidade aplicada de calcário e doses de fósforo, variando também com a cultura utilizada.

4. A calagem proporcionou melhora nos atributos químicos do solo, favorecendo o desenvolvimento e a nutrição das culturas. A eficiência da adubação fosfatada pode diminuir em níveis de pH mais altos, diminuindo a absorção do mesmo pelas plantas, devido à precipitação do fósforo na forma de fosfato de cálcio.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H. & ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:373-378, 2003.

ADAMS, J.F.; ODON, J.W. Effects of pH and phosphorus rates on soil-solution phosphorus and phosphorus availability. **Soil Science**, v. 140, p.202-205. 1985.

ALVAREZ, V. H. & FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, 14:49-55, 1990.

BEN, J., R. & DECHEN, A. R. Comportamento de genótipos de trigo em relação a fósforo no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:77-82, 1996.

CARVALHO, M. M.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, F. T. T. & MARTINS, C. E. Respostas de leguminosas forrageiras tropicais à calagem e ao fósforo, em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, 12:153-159, 1988.

COSTA, N. L., PAULINO, V. T. & SCHAMMAS, E. A. Produção de forragem, composição mineral e nodulação do guandu afetadas pela calagem e adubação fosfatada. **R. Bras. Ci. Solo**, 13:51-58, 1989.

ERNANI, P.R. & BARBER, S.A. Corn growth and changes of soil and root parameters as affected by phosphate fertilizers and liming. **Pesq. Agropec. Bras.**, 26:1309-1314, 1991.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L. & CAMILLO, R. J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 24: 537-544, 2000.

ERNANI, P. R., BAYER, C., FONTOURA, S. M. V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:897-904, 2001.

FREITAS, J. G., CANTARELLA, H., CAMARGO, C. E. O., FERREIRA FILHO, A. W. P. et al. Resposta ao calcário e ao fósforo de genótipos de trigo com diferentes tolerâncias ao alumínio. **Pesq. Agropec. Bras. Brasília**, v.35, n.3, p.557-566, mar. 2000.

GUILHERME, L. R. G.; CURI, N & GUEDES, G. A.A. Calagem e disponibilidade de fósforo para o arroz irrigado cultivado em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, 13:341-347, 1989.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. & SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **R. Bras. Ci. Solo**, 29: 573-580, 2005.

MANUAL DE ADUBAÇÃO E DE CALAGEM PARA OS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Comissão de Química e Fertilidade do Solo**. 10a. edição. 400p. Porto Alegre, 2004.

MELLO, J. W. V.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, A. C & NOVAIS, R. F. Inundação e calagem em solos de várzea: II. Adsorção/precipitação de fosfatos. **R. Bras. Ci. Solo**, 16:319-324, 1992.

MIOLA, G. L.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O. Teor de água do solo na extração de fósforo por papel de filtro impregnado com óxido de ferro. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 721-723, 2000.

MUNOZ HERNANDEZ, R.J.; SILVEIRA, R.I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.) **Sci. Agric., Piracicaba.**, 55(1):79-85, jan/abr. 1998.

MURPHY, J. & RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36, 1962.

NAIDU, R.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.W. & KIRKMAN, J.H. Effect of liming and added phosphate on charge characteristics of acid soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, 41:157-164, 1990.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG. UFV, 1999. 399p.

PESSOA, A. C. S.; KAMINSKI, J.; CASSOL, L. C.; RHEINHEIMER, D. S. Efeito do calcário, do fósforo e do zinco no rendimento de pensacola. **Ciência Rural**, v. 24, n. 1, p. 35-39, 1994.

RHEINHEIMER, D. S.; PETRY, C.; BISPO Jr., J. R.; KAMINSKI, J. Alterações no sistema radicular e concentração de fósforo em tremoço azul provocadas por alumínio. **Ciência Rural**, v. 22, n. 1, p. 11-14, 1992.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Resposta do capim-pensacola à adubação fosfatada e à micorrização em solo com diferentes valores de pH. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 18:201-205, 1994.

ROSOLEM, C. A., MARCELLO, C. S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Sci. Agric., Piracicaba.**, 55(3):448-455, set/dez. 1998.

SALINAS, J.G; SANCHEZ, P.A. Tolerance to aluminum toxicity and low available phosphorus. **Annual Report, 1975**, North Carolina, p. 40-65, 1976.

SILVA, D. J.; ALVARENGA, R. C.; ALVAREZ V. H. & SOARES, P. C. Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 17:203-209, 1993.

SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.500-504, 1980.

TEDESCO, M.J; VOLKWEISS, S.J; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia**, Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 188p. (Boletim Técnico, 5).

VIDOR, C. & FREIRE, J.R.J. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a fixação simbiótica do nitrogênio pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Agr. Sulriog.**, 7:181-190, 1972.

VILELA, L. & ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **R. Bras. Ci. Solo**, 8: 91-96, 1984.

VOLKWEISS, S. J. Química da acidez dos solos. In: **Anais do II Seminário sobre Corretivos da Acidez do Solo**. Santa Maria, RS. Abril de 1989. 224 p.

APENDICE 1 – Médias e Coeficientes de Variação dos atributos químicos das percolações acumuladas (mg coluna^{-1}) e camadas de solo (cm) em função da aplicação de corretivo de acidez e sais de potássio em superfície num Cambissolo Húmico, Lages – SC, 2006.

Variável	Médias	CV (%)
Ca acumulado	97,4	2,53
Mg acumulado	19,3	13,4
K acumulado	42,4	5,77
Ca camadas ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,1	41,33
Mg camadas ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,5	28,77
Al camadas ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	6,2	8,54
pH do solo camadas	4,1	3,0

APENDICE 2 – QUADRO DA ANOVA – Atributos químicos do solo, da solução do solo e da massa seca do trigo e da *C. juncea* em função da aplicação de calcário e adubação fosfatada num Cambissolo Húmico, Lages – SC, 2006.

	GL	QM	SQ	F	P	Média	CV (%)
----- pH do solo -----							
Calcário	3	36,0981	12,0327	467,25	0,000	5,08	3,16
Fósforo	3	0,0689	0,0230	0,89	0,4558		
Cal*fosf	9	0,1200	0,0133	0,42	0,8508		
Erro	32	0,8241	0,0258				
Total	47	37,1111					
----- Ca trocável no solo -----							
Calcário	3	730,356	243,452	2950,93	0,000	6,7	4,30
Fósforo	3	1,673	0,558	6,76	0,0012		
Cal*fosf	9	4,464	0,496	6,01	0,0001		
Erro	32	2,640	0,083				
Total	47	739,133					
----- Mg trocável no solo -----							
Calcário	3	108,697	36,2324	2356,58	0,000	2,3	5,43
Fósforo	3	0,846	0,2820	18,34	0,000		
Cal*fosf	9	1,470	0,1633	10,62	0,000		
Erro	32	0,492	0,0154				
Total	47	111,505					
----- Ca da solução no solo -----							
Calcário	3	16935,2	5645,06	252,43	0,000	32,35	14,62
Fosforo	3	103,3	34,42	1,54	0,2233		
Cal*fosf	9	508,5	56,50	2,53	0,0558		
Erro	32	715,6	22,36				
Total	47	18262,5					
----- Al trocável no solo -----							
Calcário	3	406,812	135,604	3807,46	0,000	2,35	8,02
Fosforo	3	0,262	0,087	2,45	0,0811		
Cal*fosf	9	0,976	0,108	3,04	0,0962		

Erro	32	1,140	0,036				
Total	47	409,190					
----- P disponível no solo -----							
Calcário	3	722,8	240,9	8,58	0,0003	45,4	11,67
Fosforo	3	62535,2	20845,1	742,78	0,000		
Cal*fosf	9	1966,3	218,5	7,79	0,000		
Erro	32	898,0	28,1				
Total	47	66122,3					
----- P da solução do solo -----							
Calcário	3	0,00086	0,00028	8,98	0,0002	0,00086	65,69
Fosforo	3	0,00041	0,00013	4,24	0,0124		
Cal*fosf	9	0,00153	0,0001	5,35	0,0621		
Erro	32	0,00103	0,000032				
Total	47	0,00383					
----- Massa seca PA do trigo -----							
Calcário	3	60,712	20,2373	311,74	0,000	2,35	10,86
Fosforo	3	56,553	18,8509	290,39	0,000		
Cal*fosf	9	10,683	1,2853	1,55	0,0856		
Erro	32	2,077	0,0649				
Total	47	130,025					
----- Massa seca RAIZ do trigo -----							
Calcário	3	12,4760	4,15866	34,79	0,000	1,45	23,86
Fosforo	3	5,7425	1,91418	16,01	0,000		
Cal*fosf	9	1,0173	0,11525	1,80	0,1123		
Erro	32	3,8253	0,01945				
Total	47	23,0611					
----- Massa seca PA da <i>C. juncea</i> -----							
Calcário	3	18,5703	6,19011	90,99	0,000	2,41	10,82
Fosforo	3	3,0817	1,02723	15,10	0,000		
Cal*fosf	9	0,8864	0,09849	1,45	0,2099		
Erro	32	2,1771	0,06803				
Total	47	24,7155					

P < 0,05