

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**LIXIVIAÇÃO DE BASES EM FUNÇÃO DA CALAGEM, ADUBAÇÃO  
NITROGENADA E RESÍDUOS VEGETAIS**

**ROSEMEIRE HELENA DA SILVA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU – SP

Abril – 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**LIXIVIAÇÃO DE BASES EM FUNÇÃO DA CALAGEM, ADUBAÇÃO  
NITROGENADA E RESÍDUOS VEGETAIS**

**ROSEMEIRE HELENA DA SILVA**

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU – SP

Abril – 2002

## **DEDICO**

À meus pais pelo amor e incentivo para estudar. Eu os amo!!!

Aos meus irmãos e cunhados pela grande força!

Todo esforço não se justificaria se não fosse por vocês.

Obrigada!!!

## **OFEREÇO**

A DEUS Querido e Amado de minh'alma,

A Ele seja toda Honra e Glória!!!

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me ajudou em todos os momentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

Ao Professor Dr. Ciro Antonio Rosolem pela orientação e a seu grande exemplo profissional.

Ao Professor Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pela oportunidade de participar em suas pesquisas, as quais contribuíram muito para meu crescimento profissional.

Aos professores do Departamento de Produção Vegetal – Agricultura e Melhoramento Vegetal, pela amizade acima de tudo.

A todos os colegas da Pós-Graduação, que, sem exceções, foram grandes companheiros. Jamais os esquecerei!!!.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Setor Agricultura e Melhoramento Vegetal. Ao Dorival Pires de Arruda e ao Célio Roberto de Oliveira, pelo aprendizado no Laboratório de Relações Solo-Planta, e pela grande amizade.

A todos que direta ou indiretamente participaram da minha vida em Botucatu.

Obrigada!!!!!!!

## SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
5.1. Local dos experimentos.....	20
5.2. Solo.....	20
5.3. Características das plantas de cobertura.....	21
5.4. Condução dos experimentos.....	22
5.4.1. Primeiro experimento.....	24
5.4.2. Segundo experimento.....	25
5.4.3. Terceiro experimento.....	26
5.5. Análises químicas de planta, solo e solução do solo.....	27
5.6. Análises estatísticas.....	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6.1. Primeiro experimento.....	30
6.1.1. Alterações no pH e distribuição de bases nas camadas do solo em função dos tipos de resíduos vegetais e das doses de nitrogênio.....	30
6.1.2. Alterações nas características químicas da solução do solo em função dos tipos de resíduos vegetais e das doses de nitrogênio.....	44
6.1.3. Desenvolvimento inicial do milho em função dos tipos de resíduos vegetais e das doses de nitrogênio.....	61
6.2. Segundo experimento.....	68
6.2.1. Alterações no pH e distribuição de bases nas camadas do solo em função dos tipos de resíduos vegetais e da aplicação de calcário na superfície.....	68
6.2.2. Alterações nas características químicas da solução do solo em função dos tipos de resíduos vegetais e da aplicação de calcário na superfície.....	79
6.2.3. Desenvolvimento inicial do milho em função dos tipos de resíduos vegetais e da aplicação de calcário na superfície.....	94
6.3. Terceiro experimento.....	100
6.3.1. Alterações no pH e distribuição de bases nas camadas do solo em função da aplicação de calcário e nitrogênio na superfície.....	100
6.3.2. Alterações nas características químicas da solução do em função da aplicação de calcário e nitrogênio na superfície.....	110
6.3.3. Desenvolvimento inicial do milho em função da aplicação de calcário e nitrogênio na superfície.....	124
7. CONCLUSÕES.....	132
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133

## 1. RESUMO

Em semeadura direta a calagem é realizada na superfície, existindo divergências quanto ao movimento de bases (Ca, Mg e K) no perfil do solo. Acredita-se que o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), devido à sua mobilidade no perfil do solo, pode ter participação no processo. Os experimentos foram conduzidos em vasos contendo LATOSSOLO VERMELHO distrófico em Botucatu-SP para avaliar os efeitos de resíduos vegetais e adubação nitrogenada na lixiviação de Ca, Mg e K, liberado pelo calcário aplicado na superfície, bem como suas conseqüências na nutrição e desenvolvimento inicial do milho.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4, com seis repetições. No primeiro experimento os tratamentos foram constituídos por tipos de cobertura do solo: aveia preta, nabo forrageiro, milho e sem palha; e doses de nitrogênio: 0, 50, 100 e 150  $\text{mg dm}^{-3}$  de N. No segundo experimento os tratamentos foram constituídos por tipos de cobertura do solo: aveia preta, nabo forrageiro, milho e palha; e níveis de saturação por bases: 30 (sem aplicação de calcário em superfície), 50, 70 e, 90%, representados pelas doses de calcário aplicadas na superfície: 0, 6,36, 12,72 e 19,08 g

vaso<sup>-1</sup>. O terceiro experimento consistiu de doses de N: 0, 50, 100 e 150 mg dm<sup>-3</sup> de N; e níveis de saturação por bases: 30 (sem aplicação de calcário em superfície), 50, 70 e, 90%.

O nitrato está associado ao movimento de bases no perfil do solo, com maior participação na lixiviação de K. Independentemente da presença de resíduos vegetais, o calcário aplicado na superfície não foi efetivo na neutralização da acidez do solo nas profundidades abaixo de 5cm. A produção de matéria seca do milho foi prejudicada pela aplicação de altas doses de nitrogênio, porém não foi afetada pela aplicação do calcário na superfície. A absorção de nutrientes pelo milho foi prejudicada pela aplicação de altas doses de calcário na superfície em função do desequilíbrio iônico na solução do solo.

Ca, Mg AND K LEACHING AS AFFECTED BY LIMING, CROP RESIDUES AND NITROGEN MANURE. Botucatu, 2002. 141p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ROSEMEIRE HELENA DA SILVA

Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

## SUMMARY

In no till system the liming is realized in the surface, and exist divergences in relations to bases (Ca, Mg and K) moving in soil profile. Is believed that nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), due its mobility in soil profile, can to have participation in the process. This experiments were carried out in pots containing a dystrophic Red Latosol (Acrortox, loamy sand) at Botucatu, SP, Brazil to evaluate the effects of crop residues and nitrogen manure on the Ca, Mg and K leaching, liberated by limestone applied in soil surface, as well as their consequences in the maize nutrition and early development. The experimental outline used was completely randomized, in a factorial outline 4x4, with six replications. In the first experiment the treatments were constituted by cover crops: black oats, millet, turnip and without straw; and nitrogen rates: 0, 50, 100 and 150  $\text{mg dm}^{-3}$ . In the second experiment the treatments were constituted by cover crops: black oats, millet, turnip and without straw; and base saturation levels: 30 (without limestone application in surface), 50, 70 and, 90%, represented by surface lime rates: 0, 6,36, 12,72 and 19,08  $\text{g pot}^{-1}$ . The third experiment



consisted of nitrogen rates (0, 50, 100 and 150 mg dm<sup>-3</sup>) and base saturation rates: 30 (without limestone application in surface), 50, 70 and, 90%.

The nitrate is partner to base moving in soil profile, with high participation in the K leaching. Irrespectively of the cover crops presence, the surface applied lime wasn't effective in neutralizing soil acidity in the below soil layer from 5cm. The maize dry matter was prejudiced by nitrogen high rates application, but wasn't affected by surface applied lime. The nutrients uptake by maize was prejudiced by surface application lime high rates as affected by ionic unbalance in the soil solution.

---

Keywords: maize, surface liming, plant nutrition, cover crops plants, nitrogen

### **3. INTRODUÇÃO**

A acidez é o fator mais limitante para a produção agrícola em solos brasileiros, sendo imprescindível a aplicação de calcário visando a sua correção. Por ser um material de baixa solubilidade, é necessária a incorporação de calcário para aumentar sua eficiência em profundidade.

Com a implantação de grandes áreas com sistema de semeadura direta, a recomendação de calagem com incorporação do calcário tornou-se uma prática indesejável, pois neste sistema evita-se o removimento do solo.

A aplicação de calcário na superfície em sistema de semeadura direta tem sido prática comum entre os agricultores, e em decorrência disso tornou-se objeto de estudo para muitos pesquisadores. Esse interesse deve-se às complexas alterações nas características químicas do solo neste sistema de cultivo, em função da presença permanente de resíduos sobre o solo.

Em algumas situações tem sido observada a correção da acidez do subsolo com a aplicação de calcário na superfície, caracterizada por elevação do pH e dos teores de cátions trocáveis, principalmente do cálcio e do magnésio.

Dentre os mecanismos propostos para explicar a reação do calcário em profundidade está a formação de canais contínuos pelos micro e macroorganismos do solo, que permitem maior infiltração da água enriquecida com produtos da dissolução do calcário, neutralizando a acidez e aumentando os cátions básicos em profundidade. Porém o mecanismo mais aceito refere-se à atuação dos ânions liberados pela decomposição de resíduos vegetais (ácidos orgânicos) ou pela aplicação de fertilizantes no solo ( $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$ ), os quais levariam os cátions para a subsuperfície como íons acompanhantes

Nos estudos sobre esses mecanismos de movimentação de bases no perfil do solo pouca importância tem sido atribuída à participação do íon  $\text{NO}_3^-$  no processo, embora existam estudos que demonstrem a interação da adubação nitrogenada com a calagem. Por outro lado, os estudos relacionando a movimentação de ácidos orgânicos no solo com a movimentação das bases têm utilizado quantidades elevadas de resíduos vegetais, irrealistas em termos de solos agrícolas.

O objetivo da implantação dos experimentos foi estudar a influência dos resíduos vegetais e da adubação nitrogenada no movimento de cátions básicos provenientes da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo, bem como suas consequências na nutrição e desenvolvimento inicial do milho.

#### **4. REVISÃO DE LITERATURA**

No Brasil, um dos fatores limitantes para a produção agrícola é que grande parte dos solos apresenta baixo pH, baixa capacidade de troca efetiva, baixa saturação por bases, deficiência de cálcio, níveis tóxicos de alumínio na superfície e subsuperfície, cargas variáveis dependentes de pH associadas, principalmente, à matéria orgânica e predomínio de caulinita na fração argila (Olmos & Camargo, 1976; Lopes, 1984). Essas características são desfavoráveis ao desenvolvimento da maioria das espécies anuais, pois prejudicam o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes.

A calagem é a prática usual para a correção do solo, pois promove o aumento do pH e da saturação por bases, tornando os nutrientes mais disponíveis; promove a precipitação do alumínio; e, além disso, é fonte de cálcio e magnésio para as plantas.

Porém, como os materiais corretivos da acidez utilizados são pouco solúveis, e os produtos da reação do calcário com o solo têm mobilidade limitada, a ação da calagem é muito restrita às camadas superficiais do solo (Caires et al., 1998). A pouca mobilidade do calcário ocorre porque os ânions resultantes da sua dissolução ( $\text{OH}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ ),

responsáveis pela neutralização da acidez, são também consumidos nas reações com outros cátions ácidos ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ ) na camada de deposição do calcário (Miyazawa et al., 1996). Assim, a ação em profundidade somente deve ocorrer após neutralização dos cátions ácidos, o que acontece em pH acima de 5,6 (Pavan & Roth, 1992). Além disso, a elevação do pH ocasiona aumento da capacidade de troca de cátions no local onde foi aplicado, e, portanto, ocorre maior retenção de cálcio, magnésio e potássio.

Dessa forma, a acidez do subsolo torna-se uma das principais causas da limitação à produtividade agrícola, pois nesta parte do solo continuam os problemas de deficiência de cálcio e toxicidade de alumínio, os quais têm sido considerados como as principais barreiras químicas ao crescimento de raízes (Ritchey et al. 1982; Pavan et al., 1982).

No preparo convencional a correção do subsolo ácido, embora seja uma prática onerosa, pode ser feita por meio da calagem profunda, com incorporação do calcário, e, conseqüentemente, necessitando de removimento do solo (Caires et al., 1998).

No sistema de cultivo sem preparo do solo (sistema de semeadura direta), a calagem tem sido realizada na superfície e, neste caso, a preocupação com a acidez no subsolo é maior, pois o calcário não é incorporado (Caires et al., 1998).

Considerando os conhecimentos sobre a lenta reatividade do calcário, que provoca sua baixa mobilidade no solo, era esperado que a calagem superficial, no sistema de semeadura direta, causasse sérias restrições ao desenvolvimento das culturas, o que não tem sido observado em muitos trabalhos (Pöttker & Ben, 1998; Caires et al., 1998, 1999).

Portanto, os conceitos já estabelecidos quanto à mobilidade do calcário no solo diz respeito apenas ao sistema de cultivo com preparo convencional do solo. Para o sistema de semeadura direta, tais conhecimentos parecem não se aplicar completamente. Um

exemplo disso é que, quando o calcário é aplicado na superfície em sistema de semeadura direta, tem-se observado a formação de uma frente alcalinizante que avança lentamente no perfil do solo, neutralizando a acidez em subsuperfície (Caires et al., 1998; Amaral et al., 1998).

A profundidade de correção de acidez da subsuperfície do solo por meio da calagem superficial tem variado de acordo com os estudos. Caires et al. (1998), em Latossolo Vermelho textura argilosa, observaram aumento de pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis e diminuição do Al trocável até a profundidade de 10cm. Cassol (1995) e Pöttker & Ben (1998), em solos de textura franca e argilosa, também constataram correção da acidez até os 5 e 10cm de profundidade. Em solos arenosos, Sá (1996) verificou incremento na porcentagem de saturação por bases até 20cm, e no Mg trocável até 30cm.

Petrere & Anghinoni (2001), num Latossolo Vermelho distrófico típico, textura franca e argilosa, verificaram a formação de gradientes nos atributos químicos a partir da superfície do solo, sendo a magnitude e a profundidade da camada afetada proporcionais às doses de calcário aplicadas na superfície. A aplicação de 6t ha<sup>-1</sup>, afetou o pH em água até 12,5-15,0 cm, o alumínio e o cálcio trocáveis até 15,0-17,5 cm e o magnésio trocável até 20,0-22,5 cm.

Caires et al. (2001) verificaram aumentos do pH, Ca e Mg trocáveis e saturação por bases, e redução significativa nos teores de Al trocável e H+Al nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, e ressaltaram os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a correção do subsolo.

Assim, torna-se muito importante o conhecimento dos mecanismos que promovem essa correção do subsolo no cultivo do solo sem preparo.

Refletindo adequadamente sobre o efeito da calagem superficial em sistema de cultivo de semeadura direta, é importante destacar as diferenças existentes entre esse sistema e o convencional. Souza (1992) relatou que nos sistemas conservacionistas, como o de semeadura direta, ocorre a formação de um ambiente diferente do encontrado no sistema convencional, resultante dos efeitos dos resíduos vegetais e da reduzida movimentação do solo.

A permanência de resíduos de plantas na superfície dos solos evita a evaporação excessiva de água, mantendo a umidade do solo por mais tempo, reduz a temperatura do solo, aumenta a agregação do solo, e conseqüentemente, a interação dos efeitos promove maior atividade biológica, quer por micro ou por microorganismos, havendo então a formação de canais contínuos no solo.

A formação desses canais tem sido usada por muitos autores para explicar a movimentação do calcário em profundidade no sistema de semeadura direta. Rheinheimer et al. (2000) destacaram a importância dos canais contínuos construídos e estabilizados pela atividade biológica, pois permitem maior infiltração de água, que está normalmente enriquecida com produtos da dissolução do calcário, neutralizando a acidez e aumentando os cátions em profundidade. Além disso, também pode haver deslocamento de partículas finas de calcário por meio desses canais, sendo eles advindos de raízes mortas (Pearson et al., 1962) ou de galerias da mesofauna (Gassen & Kochhann, 1998), havendo então a reação dessas partículas no subsolo.

De acordo com Oliveira & Pavan (1994), o movimento do calcário em profundidade após 32 meses da aplicação em superfície, foi, provavelmente, através de canais

formados por raízes mortas, que foram mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo.

Rheinheimer et al. (2000) destaca que, devido à baixa solubilidade do calcário e a grande necessidade para corrigir a acidez do solo em subsuperfície, a contribuição dos canais do solo na neutralização da acidez do subsolo e no aumento de cátions básicos em profundidade é muito pequena. Pöttker & Ben (1998) ressaltaram que o maior número de macroporos no sistema de semeadura direta, causada por insetos, raízes e outros processos, não é suficiente para explicar a acentuada movimentação do calcário no solo relatada por diversos autores.

Outro motivo para se questionar a contribuição dos canais na mobilização do calcário em profundidade é a baixa solubilidade dos corretivos agrícolas de acidez, já citada anteriormente. Segundo Ermani et al. (2001), a pequena permanência dos ânions adicionados pelo calcário na solução do solo faz com que quase a totalidade do Ca e do Mg ocupem as cargas negativas, criadas pelo aumento do pH, e pelas cargas anteriormente ocupadas pelo alumínio e, só uma pequena parte fica na solução do solo.

Dessa forma, a taxa de movimentação do cálcio e do magnésio no perfil depende da existência de outros ânions na solução do solo, que expliquem, pelo menos em parte, a mobilidade do calcário.

A presença de resíduos vegetais na superfície do solo durante todo o tempo no sistema de semeadura direta, fez com que alguns pesquisadores estudassem o efeito destes materiais sobre a reação do calcário aplicado na superfície do solo, uma vez que há liberação de ânions orgânicos durante a sua decomposição.



Miyazawa et al. (1996) destacaram que o provável mecanismo de lixiviação de cálcio em áreas de cultivo sem preparo do solo está relacionado com a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas. Ou seja, na camada superficial do solo os ligantes orgânicos de baixo peso molecular resultantes da decomposição de resíduos vegetais (Harter & Naidu, 1995; Aoyama 1996a; 1996b) complexam o cálcio trocável no solo. Na forma orgânica, ocorre alteração na carga líquida do cálcio, reduzindo a energia de ligação com o complexo de troca, o qual facilita a sua mobilidade no solo. Quando chega na camada subsuperficial este cálcio é deslocado pelo alumínio trocável, pois os íons  $Al^{3+}$  formam complexos mais estáveis que o  $Ca^{2+}$  com os ácidos orgânicos. Assim, este processo causa a diminuição da acidez trocável e aumenta o cálcio trocável nessa camada do solo. Para o magnésio as reações são semelhantes.

Os compostos orgânicos hidrossolúveis, além de favorecerem a descida de cátions básicos no perfil do solo, também podem complexar cátions de reação ácida como  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  e  $Al^{3+}$  na solução do solo, liberando ânions  $OH^-$  e  $HCO_3^-$  (Petrere & Anghinoni, 2001). Assim, os ânions  $HCO_3^-$ , provenientes da reação do calcário, também teriam sua contribuição na movimentação de cátions básicos no perfil do solo pela formação de  $Ca(HCO_3)_2$  e  $Mg(HCO_3)_2$  (Oliveira & Pavan, 1996). Em sistema de semeadura direta isso é possível, pois o calcário aplicado na superfície do solo pode elevar o pH da solução na superfície a valores acima de 6,0 (Salet, 1994), sendo que em valores de pH superiores a 5,5 a espécie  $HCO_3^-$  passa a estar presente como forma estável na solução.

É importante destacar que, num primeiro instante, a liberação de ânions orgânicos durante a decomposição dos resíduos vegetais, na superfície do solo, proporciona efeitos maiores sobre a disponibilidade de alumínio, e não no carregamento de

cálcio e magnésio em profundidade, pois existe maior afinidade desses ânions com o alumínio (Oliveira & Pavan, 1996). A matéria orgânica tem a habilidade de se ligar ao alumínio (Hoyt & Turner, 1975; Ermani & Gianello, 1983; Miyazawa et al., 1993), diminuindo a sua atividade na solução do solo (Bloom et al., 1979) e sua toxicidade para as culturas (Miyazawa et al., 1992).

Dessa forma, são diversas as evidências de que no sistema de semeadura direta a acidez do solo não é tão limitante à produtividade das culturas quanto no sistema de preparo convencional, pois os produtos da decomposição de resíduos vegetais na superfície podem complexar o alumínio tóxico, diminuindo sua absorção pelas plantas. Para se ter idéia disso, Kretschamar et al. (1991) demonstraram que a simples adição de palha moída de milho aumentou o pH da solução do solo e reduziu acentuadamente a disponibilidade do alumínio. Miyazawa et al. (1993), utilizando resíduos de várias espécies de plantas adicionados a três tipos de solo, observaram que o material vegetal causou aumentos rápidos no pH imediatamente após a adição no solo, havendo a diminuição gradativa e depois a estabilização. Franquini et al. (1999) observaram que houve aumento do pH do solo e dos teores de Ca, Mg e K, e redução dos teores de alumínio trocável com a adição de resíduos vegetais no solo.

Apesar dos trabalhos citados demonstrarem que a aplicação de resíduos vegetais no solo apresenta efeito semelhante ao da calagem quanto à elevação do pH e complexação de alumínio (Hue & Amien, 1989; Bessho & Bell, 1992), tal efeito não ocorre para todos os tipos de resíduos vegetais, visto que Cassiolato et al. (1999) e Franchini et al. (2001) observaram que o efeito do resíduo vegetal na mobilidade do calcário no solo varia com a espécie de planta, principalmente devido às diferenças na sua composição química.

Miyazawa et al. (1993) avaliaram a capacidade de diversos materiais vegetais em neutralizar  $H^+$ , em soluções de HCl, e sugeriram que aqueles com menores relações C/N são os que proporcionam maior capacidade de neutralização da acidez do solo. Para Hue et al. (1986), o grau de amenização da toxidez de alumínio depende principalmente da concentração e da estabilidade do complexo formado, sendo que os ácidos que possuem grupos  $RCOCOO^-$ ,  $RCOCH_2COO^-$ ,  $RCO-HCOO^-$  e  $RCOHCH_2COO^-$  são os que formam complexos mais estáveis com o Al, do tipo anel com 5 ou 6 átomos. O complexo Al-ligante será mais estável quanto maior for o número desse tipo de ligação (Miyazawa et al., 1992). Para Franchini et al. (1999) a magnitude das alterações na química de solos ácidos incubados com resíduos vegetais é determinada pelo teor total de cátions e carbono na fração hidrossolúvel de resíduos vegetais.

Dentre os mecanismos pressupostos para explicar a melhoria das características químicas do solo após a aplicação de resíduos vegetais, destacam-se: (a) adsorção de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  na superfície do material vegetal (Hoyt & Turner, 1975); (b) precipitação do alumínio pelo aumento do pH devido às reações de trocas entre os ânions orgânicos e hidróxidos terminais dos óxidos de Fe e Al (Hue, 1992); (c) associação de ânions orgânicos com o  $H^+$  no solo (Ritchey & Dolling, 1985) e; (d) complexação do alumínio por ácidos orgânicos (Hue et al., 1986). No entanto, ainda há divergências sobre qual mecanismo contribuiria com maior expressividade nas alterações químicas dos solos após a adição de resíduos vegetais.

Diante dos estudos, é evidente que os resíduos vegetais atuam diretamente na redução da acidez do solo, tanto na superfície como em subsuperfície, seja no aumento do pH, na mobilidade de cátions básicos ou na complexação de alumínio. Dessa

forma, fica claro que ainda é preciso muito estudo visando desvendar os reais efeitos que a decomposição de resíduos vegetais pode causar no solo, principalmente no que diz respeito à acidez.

Devido ao menor efeito da acidez e a menor resposta das culturas à calagem no sistema de semeadura direta consolidado, Caires et al. (1999) ressalta que a necessidade de calcário neste sistema talvez seja menor do que no sistema convencional de preparo do solo. Oliveira & Pavan (1996) observaram que, exceto no primeiro ano, a aplicação anual na superfície de  $\frac{1}{4}$  da quantidade de calcário recomendada, durante quatro anos, foi equivalente ao calcário incorporado.

Portanto, a exigência de calagem no sistema de semeadura direta pode ser menor, mas não é uma prática dispensável, pois, além dos solos ácidos tenderem sempre a manter essa condição, sabe-se que tanto a decomposição de resíduos quanto a utilização de fertilizantes nitrogenados ocasionam acidificação do solo. Além disso, pode haver um esgotamento de cálcio e magnésio na superfície do solo devido à absorção pelas plantas ou à adsorção pelas cargas negativas do solo, as quais impedirão a sua mobilização para o subsolo. Franquini et al. (2000), em experimento sobre alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de cultura, observaram que as perdas de cálcio trocável podem ser superiores às do cálcio aplicado, principalmente em sistemas onde as leguminosas são usadas como plantas de cobertura-adubação verde. Em consequência, há necessidade de reposição do elemento pela aplicação de calcário ou redução do intervalo entre as aplicações de corretivo.

Embora seja reconhecido que os resíduos vegetais têm papel importante na mobilização de cátions básicos no solo, principalmente do cálcio, é preciso ressaltar que no sistema de semeadura direta é grande a liberação de íons  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$ , sejam

eles advindos da decomposição dos resíduos vegetais bem como da aplicação de fertilizantes nas culturas principais. Esses ânions também podem contribuir na mobilização de bases no perfil do solo (Pearson et al., 1962; Blevins et al., 1977; Caires et al., 1998; Amaral et al., 1998), através da formação de pares iônicos, para manter o equilíbrio da solução do solo.

Vários trabalhos têm relatado a intensa lixiviação de cálcio, magnésio e potássio pelo uso de gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) (Pavan et al., 1984; Chaves et al., 1991; Caires et al., 1999). Nesse caso, essa lixiviação ocorre nas formas de  $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$  (Pavan et al., 1984; Chaves et al., 1991), e depende da concentração desses íons na solução do solo.

O  $\text{SO}_4^{2-}$  pode ainda se ligar ao alumínio, sendo que Oates & Cardwell (1985) relataram que a forma  $\text{AlSO}_4^+$  é de lixiviação mais fácil que as demais formas de alumínio, porém, essa associação é de baixa estabilidade e se desfaz por diluição da solução (Silva et al. 1998).

Segundo Shainberg et al. (1989), a principal forma de movimentação de cálcio no solo ocorre com sais de sulfato, porém, em alguns casos, como no trabalho de Silva et al. (1998), observou-se aumento do  $\text{Ca}^{2+}$ , mas não houve aumento de  $\text{SO}_4^{2-}$  em profundidade após a aplicação de  $\text{CaSO}_4$  na superfície. Para os autores, isso indicou que o sulfato não deve ter sido o único ânion acompanhante do cálcio em seu movimento descendente. Caires et al. (1998), em pesquisa sobre as alterações químicas do solo em resposta à aplicação de calcário e gesso na superfície, verificaram que 10% do total de  $\text{SO}_4^{2-}$  remanescente foi encontrado na camada de 0-20cm, e 90% foi encontrado na camada de 20-80cm. Para o cálcio remanescente, observaram-se 25% na camada de 0-20cm e 75% no subsolo (20-80cm). Esses resultados mostraram que o movimento de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  foi mais rápido do que o do cálcio, como já destacado anteriormente por Camargo & Raij (1989). Esses

autores também ressaltaram que o incremento do pH aumenta a retenção de cálcio e diminui a de sulfato, pois ocorre liberação do sulfato adsorvido aos colóides do solo.

Essa divergência entre os padrões de acúmulo de cálcio e sulfato quando da aplicação de gesso no solo, fez com que Farina & Channon (1988) propusessem certo papel para o nitrato como íon acompanhante do cálcio no movimento descendente no perfil do solo.

É importante destacar que o íon nitrato é muito móvel no perfil do solo, pois além de ser muito solúvel, apresenta baixa energia de adsorção às partículas do solo (Bortolini et al., 2000). No cultivo sem preparo do solo esta mobilidade é maior ainda, pois ocorre menor evaporação de água na superfície e, conseqüentemente, o nitrato tende a acompanhar o fluxo de água para camadas mais profundas (Muzilli, 1983).

O efeito da adubação nitrogenada sobre o movimento de cálcio no perfil do solo foi verificado por alguns autores. Weir (1974), citado por Caires (1990), constatou efeitos do calcário e de doses elevadas de adubos nitrogenados na correção da acidez de subsolos, embora com adubos mais acidificantes e menor quantidade de calcário, o subsolo permanecesse ácido. Pearson et al. (1962), trabalhando em solos tropicais de Porto Rico, verificaram efeito da calagem até 61cm de profundidade quando grandes quantidades de calcário e de fertilizantes nitrogenados foram aplicadas na superfície. Observaram também que, sem aplicação de nitrogênio na forma de  $\text{NO}_3^-$ , o movimento do calcário não foi expressivo. Atribuíram este resultado à reação entre o nitrogênio do fertilizante e os elementos oriundos da dissociação do calcário (Ca e Mg), formando sais solúveis, sujeitos à lixiviação pelo movimento descendente da água.

Caires et al. (1999) observaram que a calagem na superfície promoveu aumento do cálcio trocável no subsolo (60-80cm) provavelmente porque as amostragens de solo nas entrelinhas da cultura do milho foram realizadas após a aplicação de N em cobertura, indicando a ocorrência de lixiviação do cálcio acompanhado pelo íon nitrato.

Embora os trabalhos citados nessa revisão evidenciam a participação dos ácidos orgânicos e dos ânions  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$  na mobilização de cátions básicos para a subsuperfície do solo, é importante verificar a possibilidade de formação de pares iônicos entre esses cátions e os ânions presentes na solução do solo.

Segundo Fuoss e Wilkins & Eigen citados por Chaves et al. (1991), o equilíbrio dos pares iônicos entre o cálcio e os íons  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$  depende da força iônica e da atividade dos íons na solução do solo. Chaves et al. (1991), estudando a especiação química do cálcio da solução do solo em função da aplicação de sais de cálcio, verificou que a houve maior concentração de  $\text{CaSO}_4^0$  em relação ao  $\text{CaCl}^+$  e  $\text{CaNO}_3^+$  devido ao maior valor da sua constante de estabilidade de associação iônica. Os autores também comentaram que a presença de  $\text{Al}^{3+}$  na solução de um dos solos estudados proporcionou uma competição com o  $\text{Ca}^{2+}$  pelo  $\text{SO}_4^{2-}$ , e, conseqüentemente, a formação do par de íons  $\text{AlSO}_4^+$  e liberação do  $\text{Ca}^{2+}$ .

Quanto à formação de pares entre os cátions básicos e os ânions orgânicos, Caires et al. (1999) questiona a estabilidade dos complexos orgânicos e seus efeitos sobre a complexação de cálcio para o subsolo e neutralização da acidez em subsuperfície. Isso porque as alterações ocorridas nos valores de pH e teores de cálcio nas camadas mais profundas não foram constatadas quando da avaliação aos 40 meses após a aplicação do calcário em superfície, apesar de o calcário continuar apresentando reação.

Diante dos resultados aqui relatados, é possível ressaltar a importância que os resíduos vegetais, bem como o íon  $\text{NO}_3^-$ , objetos do atual estudo, possuem, visto que, em um sistema sem preparo do solo, estes, provavelmente, auxiliam a correção da acidez em subsuperfície. No entanto, como os mecanismos pelos quais esta correção ocorre ainda não está devidamente claro, são necessárias mais pesquisas visando entender este processo, bem como os tipos de resíduos vegetais que podem fornecer melhores resultados.



## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. Local dos experimentos**

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal – Setor de Agricultura e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, Campus de Botucatu.

### **5.2. Solo**

O solo utilizado nos experimentos foi proveniente da camada arável de um Latossolo Vermelho Distroférico com 69% de areia, 16% de argila e 15% silte, cujo resultado da análise química (Raij et al., 2001) é apresentado no Quadro 1.

QUADRO 1. Resultados da análise do solo.

pH	M.O	Presina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----						%
4,1	18	1	75	0,1	4	1	5	80	7

### 5.3. Características das plantas de cobertura

Foram coletadas amostras de aveia preta e milho no estágio de pleno florescimento, em áreas experimentais da Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônomicas/Unesp, Campus de Botucatu-SP, onde esses materiais foram cultivados para formação de cobertura do solo.

As amostras de nabo forrageiro, no estágio de pleno florescimento, foram coletadas no Núcleo de Produção de Sementes da CATI, situada no município de Ataliba Leonel-SP, numa área cultivada para produção de sementes.

As plantas foram picadas ainda verdes e colocadas em estufa a 60°C durante 60 h. Após estarem secas, coletou-se uma amostra de cada material, que foi moída e analisada quanto aos teores de macronutrientes e carbono (Malavolta, 1997), cujos valores são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Resultados da análise química dos resíduos vegetais.

Palha	N	P	K	Ca	Mg	S	C	C/N
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
Aveia preta	16,4	0,39	16,5	6,7	2,6	1,8	429	35
Milho	12,2	0,40	7,5	6,2	3,6	1,8	405	25
Nabo forrageiro	23,2	1,12	13,1	24,2	8,0	2,1	372	16

O restante da palha foi acondicionado em sacos de papel e armazenado em câmara seca, para evitar a absorção de água do meio, e assim manter a sua composição química inicial.

#### **5.4. Condução do experimento**

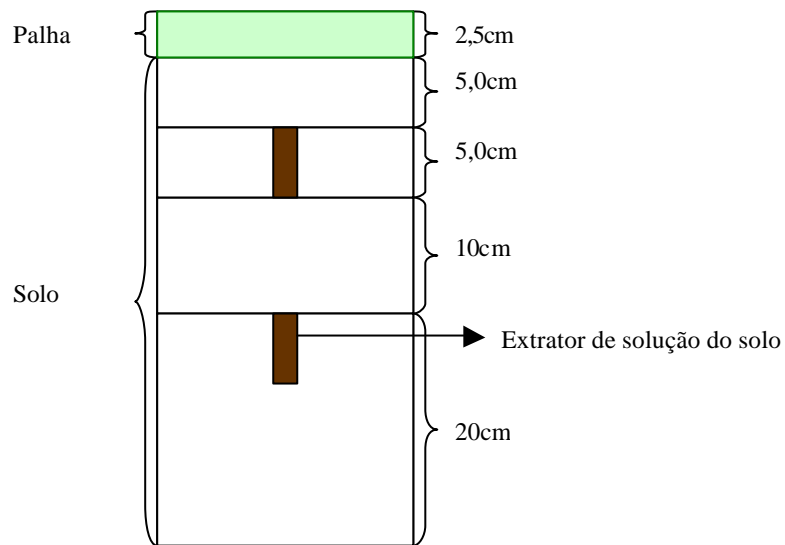
Foram conduzidos três experimentos em colunas de 40 cm de altura, constituídas por tubos de PVC rígidos, com diâmetro de 15 cm, sendo estes divididos em quatro profundidades (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm) (Esquema 1). Em cada coluna foram colocados dois extratores de solução do solo, um a 10 cm e outro a 30 cm da superfície da coluna.

Os extratores de solução do solo foram constituídos pela junção de uma cápsula porosa + 3,5 cm de tubo de PVC de 25mm de diâmetro. Na parte inferior do extrator foram colocados dois tubos tipo espaguete, que o ligam ao meio externo, sendo aplicado o vácuo em um deles, por meio de vacuômetro, e pelo outro tubo fazendo-se a coleta da solução do solo por meio de recipientes (Esquema 2).

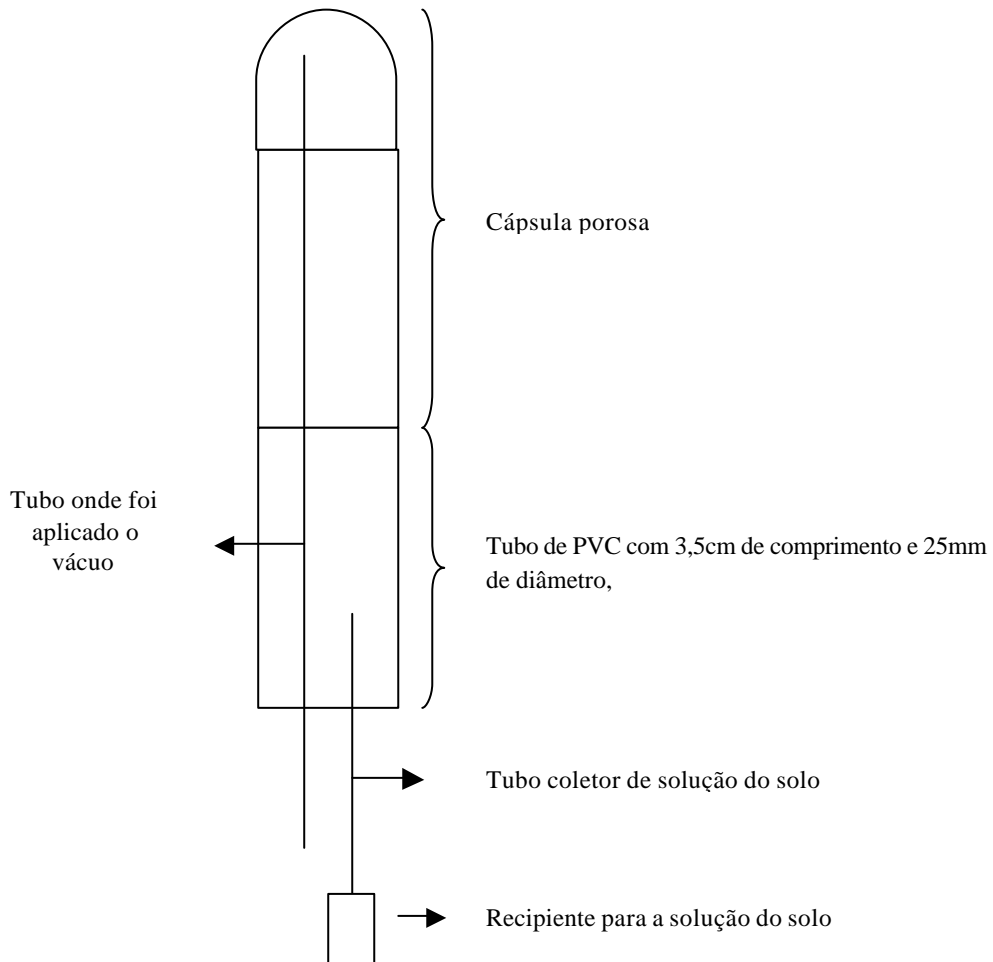
A terra foi peneirada em peneira com malha de 4 mm, e realizou-se a correção da fertilidade com adição de  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de K e  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, respectivamente como cloreto de potássio e superfosfato simples.

Nos experimentos em que os tratamentos incluíram doses de calcário, inicialmente realizou-se uma calagem em todo o solo, com quantidade calculada para elevar a saturação por bases de 7 para 30% ( $7,32 \text{ g vaso}^{-1}$ ), com a finalidade de evitar drásticas restrições ao crescimento radicular das plantas de milho cultivadas.

Esquema 1: Unidade Experimental (Vaso)



Esquema 2: Extrator de solução do solo



A calagem, em todos os experimentos, foi realizada utilizando-se calcário dolomítico com PNE de  $17,95 \text{ mmol} \text{ kg}^{-1}$ , contendo  $228 \text{ g kg}^{-1}$  de CaO e  $109 \text{ g kg}^{-1}$  de MgO, e a necessidade de calcário foi calculada pelo método de saturação por bases, considerando a correção da camada de 20cm de profundidade.

Os vasos foram preenchidos com solo corrigido até o limite superior, encaixando-se os extratores nas profundidades estabelecidas (10 e 30 cm), e foram acrescentados anéis de 2,5cm de espessura (Esquema 1), com o mesmo diâmetro, a fim de acomodar os resíduos vegetais na superfície do solo.

Nos experimentos onde os tratamentos foram tipos de cobertura de solo, as palhas de aveia preta, milho e nabo forrageiro foram secas em estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  durante 60 h, picadas em partículas de aproximadamente 30cm de comprimento e distribuídas na superfície do solo.

O teor de água foi mantido próximo a 80% da capacidade de retenção de água da terra contida nos vasos, sendo feito o controle por pesagens diárias e regas pela superfície.

#### **5.4.1. Primeiro experimento**

Os tratamentos do primeiro experimento foram quatro tipos de cobertura de solo (aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha) e quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e  $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ), com seis repetições.

Quantidades de palha equivalentes a  $8 \text{ t ha}^{-1}$  de massa de matéria seca ( $14,16 \text{ g vaso}^{-1}$ ) foram distribuídas na superfície do solo, e em seguida aplicou-se o calcário

sobre elas, utilizando a quantidade de 20,04 g vaso<sup>-1</sup> (equivalente a 5,670 t ha<sup>-1</sup>), calculada a partir da elevação da saturação por bases de 7 para 70%.

Após a calagem, o nitrogênio foi aplicado sobre os resíduos vegetais nas doses de 0, 0,80, 1,60 e 2,40 g vaso<sup>-1</sup> (0, 2,29, 4,58 e 6,86 g de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), equivalentes a 0, 50, 100 e 150 mg dm<sup>-3</sup>.

O milho Híbrido Simples (XL-251 da Braskalb) foi semeado no dia 14 de julho de 2000, utilizando-se sementes pré-germinadas em rolo de papel (25<sup>o</sup>C durante 2 dias), padronizando-se o tamanho da radícula, e conduzindo-se uma planta por vaso após o desbaste. A pré-germinação das sementes visou evitar desuniformidade das plantas devido à baixa temperatura do período de condução deste experimento.

Aos 30 dias após a emergência das plantas realizou-se uma adubação de cobertura com 50 mg dm<sup>-3</sup> de P, 60 mg dm<sup>-3</sup> de K e 3 mg dm<sup>-3</sup> de Zn (1,686 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O e 0,078 g de ZnSO<sub>4</sub> por litro), visando correção de sintomas de deficiência. Aos 36 dias após a emergência das plantas efetuou-se a primeira, e aos 47 dias, a segunda coleta de solução do solo.

A colheita das plantas foi realizada aos 52 dias após a emergência, quando as plantas apresentavam aproximadamente 8 folhas desenvolvidas.

#### **5.4.2. Segundo experimento**

O segundo experimento constou de quatro tipos de cobertura do solo (aveia preta, milheto, nabo forrageiro e sem palha) e de calcário aplicado na superfície, com

doses de 0, 6,36, 12,72 e 19,08 g vaso<sup>-1</sup>, quantidades calculadas para obter 30 (sem aplicação de calcário em superfície), 50, 70 e, 90% de saturação por bases.

Quantidades de palha equivalentes a 8 t ha<sup>-1</sup> de massa matéria seca (14,16 g vaso<sup>-1</sup>) foram então distribuídas sobre o solo, e em seguida foi aplicado calcário na superfície com as doses pré-estabelecidas. O adubo nitrogenado foi distribuído também na superfície após a aplicação do calcário, na dose de 1,60 g N vaso<sup>-1</sup> (4,58 g de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), equivalente a 100 mg dm<sup>-3</sup>, dose que proporcionou melhor desenvolvimento do milho no primeiro experimento.

O milho Híbrido Simples (Z8410 da Zênica) foi semeado no dia 05 de novembro de 2000, utilizando-se três sementes por vaso, mantendo-se apenas uma planta após o desbaste.

Aos 16 dias após a emergência das plantas efetuou-se a primeira extração de solução do solo. Aos 18 dias após a semeadura realizou-se uma adubação de cobertura com 50 mg dm<sup>-3</sup> de P, 60 mg dm<sup>-3</sup> e 3 mg dm<sup>-3</sup> de Zn (1,686 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O e 0,078 g de ZnSO<sub>4</sub> por litro), para corrigir sintomas de deficiência. Aos 32 dias após a emergência efetuou-se a segunda extração de solução do solo.

A colheita das plantas foi realizada aos 35 dias após a emergência, quando as plantas apresentavam aproximadamente 10 folhas desenvolvidas.

#### **5.4.3. Terceiro experimento**

O terceiro experimento constou da combinação de quatro doses de N (0; 50; 100 e; 150 mg dm<sup>-3</sup>) e calcário aplicado em superfície nas doses 0, 6,36, 12,72 e 19,08

g vaso<sup>-1</sup>, quantidades calculadas para obter 30 (sem aplicação de calcário em superfície), 50, 70 e, 90% de saturação por bases, utilizando palha de milho como cobertura do solo, sendo esta palha a que proporcionou melhor desenvolvimento do milho nos experimentos anteriores.

Quantidades de palha equivalentes a 8 t ha<sup>-1</sup> de massa de matéria seca (14,16 g vaso<sup>-1</sup>) foram distribuídas na superfície do solo, e em seguida foi aplicado calcário em superfície nas doses pré-estabelecidas. Durante dez dias os vasos foram mantidos úmidos e, após esse período, aplicou-se nitrogênio na superfície dos vasos nas doses 0, 0,80, 1,60 e 2,40 g vaso<sup>-1</sup> (0, 2,29, 4,58 e 6,87g de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), equivalentes a 0, 50, 100 e 150 mg dm<sup>-3</sup>.

O milho Híbrido Simples (Z8410 da Zênica) foi semeado no dia 14 de março de 2001, utilizando-se três sementes por vaso, mantendo-se apenas uma planta após o desbaste.

Aos 18 dias após a emergência das plantas efetuou-se a primeira extração de solução do solo. Aos 21 dias realizou-se uma adubação de cobertura com 30 mg dm<sup>-3</sup> de K. Aos 32 dias após a emergência efetuou-se a segunda extração de solução do solo.

A colheita das plantas foi realizada aos 35 dias após a emergência, quando as plantas apresentavam aproximadamente 12 folhas desenvolvidas.

### **5.5. Análises químicas de plantas, solo e solução do solo**

Na colheita dos três experimentos, a parte aérea das plantas de milho foi cortada rente ao solo, colocada em sacos de papel e levada para estufa a 60<sup>0</sup>C, durante 48 horas. Após esse período, foram pesadas, obtendo-se a produção de matéria seca, e moídas



para determinação dos teores de macronutrientes segundo metodologia de Malavolta et al. (1997).

As raízes do milho foram coletadas em três das seis repetições de cada tratamento. Para isso, o solo foi cortado considerando as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm de profundidade. Em cada camada, as raízes foram separadas do solo por meio de lavagem, acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa a 60<sup>0</sup>C, durante 48 horas. Após esse período, foram pesadas, obtendo-se a produção de matéria seca.

Nas três repetições restantes, as colunas de solo foram cortadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm, e em cada camada foram tomadas amostras, que foram secas em temperatura ambiente, passadas em peneiras com malha de 4mm, e realizadas análises químicas.

As análises das amostras de solo quanto ao pH, teores de Ca, Mg, K e N-inorgânico foram feitas segundo as metodologias de Rajj et al. (2001).

A solução do solo, após a extração, foi filtrada em papel de filtro, e levada para análises químicas. A determinação do pH foi feita colocando-se o eletrodo do potenciômetro diretamente no extrato. Os teores de macro e micronutrientes foram determinados por espectrometria de emissão atômica induzida por plasma de argônio.

A especiação química da solução do solo foi realizada com auxílio do software Geochem (Sposito & Mattigod, 1980), utilizando-se as concentrações molares de cálcio, magnésio, potássio e alumínio como metais, e fosfato, nitrato e sulfato como ligantes.

Em alguns tratamentos não foram apresentadas as leituras de pH e concentrações dos nutrientes por não ter sido possível extrair a solução do solo devido à problemas nos extratores.

As análises das soluções do solo, de nitrogênio (solo e planta), e a obtenção dos extratos para análise química das plantas e do solo foram realizadas no Laboratório de Relações Solo-Planta do Departamento de Produção Vegetal, e as leituras de Ca, K e Mg dos extratos foram realizadas no Departamento de Recursos Ambientais, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP, Campus de Botucatu.

### **5.6. Análises estatísticas**

As análises estatísticas dos experimentos foram baseadas em Gomes (1973), utilizando-se os pacotes estatísticos dos programas SANEST e SISVAR. Foi efetuada análise de variância segundo delineamento experimental em esquema fatorial 4x4, com delineamento inteiramente casualizado, com três ou seis repetições, conforme a variável analisada.

As médias do efeito de palhas foram comparadas pelo Teste LSD a 5% de probabilidade, e o efeito de doses de calcário e de nitrogênio foi estudado através de análise de regressão, optando-se pela regressão significativa de maior grau. Para os dados referentes ao solo, o teste de médias e a análise de regressão foram realizadas a 10% de probabilidade.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Primeiro experimento**

#### **6.1.1. Alterações no pH e na distribuição de bases nas camadas de solo em função dos tipos de resíduos vegetais e das doses de nitrogênio**

No Quadro 3 são apresentados os resultados da análise de variância dos valores de pH e teores de bases trocáveis do solo (K, Ca e Mg) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, e 20-40cm, mostrando a significância dos efeitos isolados e da interação dos tratamentos.

A Figura 1 evidencia a interação dos tipos de resíduos vegetais com as doses de nitrogênio sobre o pH nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20cm, demonstrada pela análise de variância (Quadro 3). Em resíduos de aveia preta e no tratamento sem resíduos, as doses de nitrogênio não alteraram os valores de pH em nenhuma das profundidades. Também

se observa que, nesses casos, a reação do calcário se limitou à camada superficial do solo, não havendo efeito em profundidade.

Quadro 3. Análise de variância dos valores de pH e teores de K, Ca e Mg nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm de solo em função do tipo de palha e adubação nitrogenada.

Variáveis	Causas de variação			C.V. (%)
	Palha (P)	Doses de N (N)	PxN	
-----Solo (0-5cm)-----				
pH	4,19**	1,63 ns	2,24**	6,6
Ca	2,80*	1,27ns	0,78ns	24,6
Mg	4,37**	1,48ns	2,19**	22,4
K	6,27**	3,22**	1,66ns	34,7
-----Solo (5-10cm)-----				
pH	1,12 ns	2,58*	1,87*	6,3
Ca	1,86ns	0,82ns	1,21ns	22,9
Mg	8,61**	8,73**	6,65**	13,4
K	6,65**	2,87**	4,72**	16,2
-----Solo (10-20cm)-----				
pH	3,53**	3,93**	3,71**	1,4
Ca	3,05**	1,13ns	0,56ns	13,3
Mg	2,00ns	2,74*	2,73**	15,3
K	2,35*	4,50**	2,18**	14,3
-----Solo (20-40cm)-----				
PH	3,71**	0,86ns	1,78ns	1,7
Ca	9,13**	1,29ns	1,44ns	15,7
Mg	14,81**	0,59ns	1,64ns	11,7
K	18,14**	2,87**	2,93**	12,9

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 5 e 10%, respectivamente, pelo Teste F.

A inalteração do pH quando o adubo nitrogenado foi aplicado sobre resíduos de aveia preta e no tratamento sem palha sugere que, nessas situações, a aplicação do nitrato de amônio imediatamente após a aplicação do calcário pode ter anulado o efeito acidificante do adubo nitrogenado. Há ainda a hipótese de que a própria absorção de  $\text{NO}_3^-$  pela

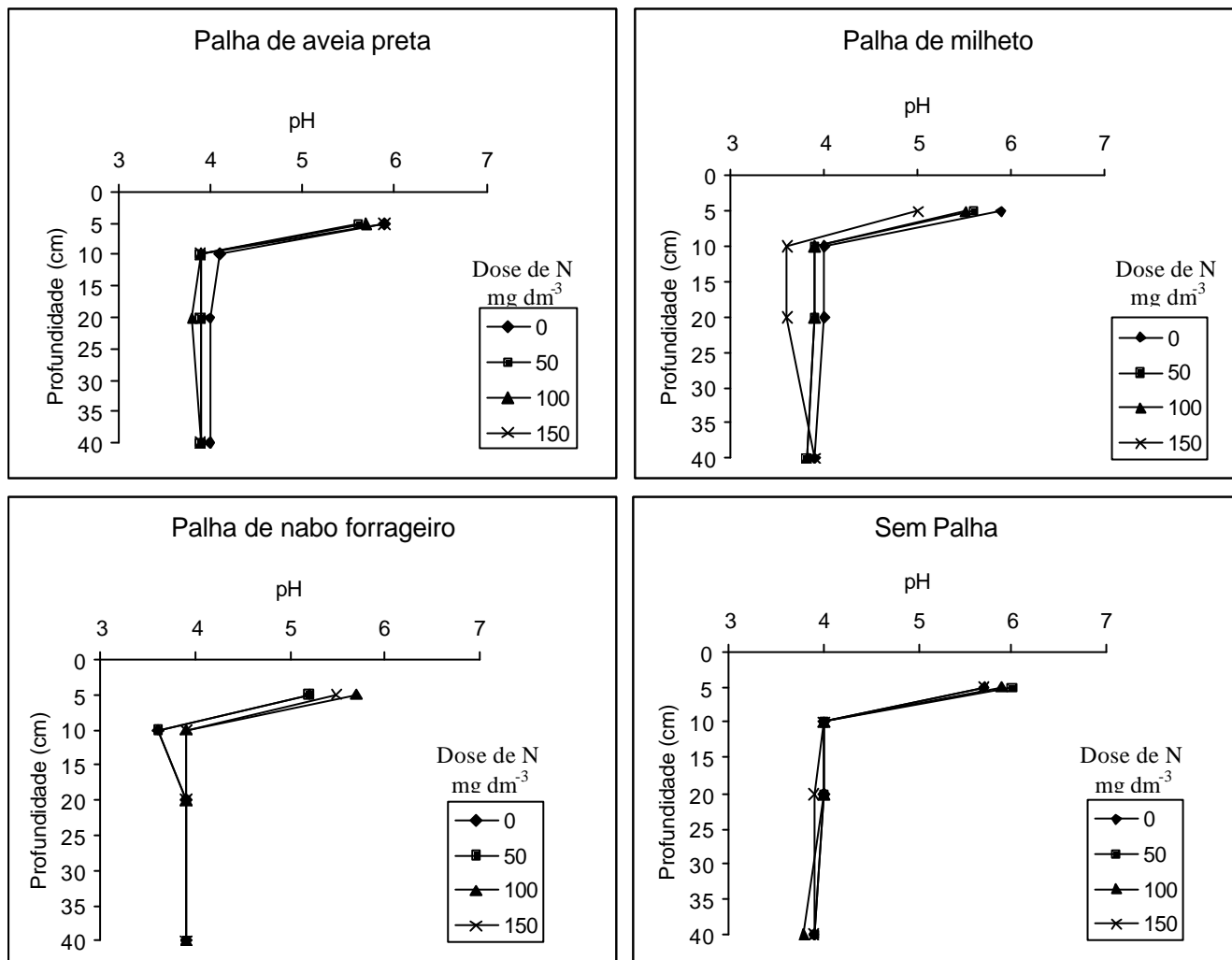


Figura 1. Valores de pH em diferentes camadas de solo em função da aplicação de nitrogênio sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

planta, gerando íons OH<sup>-</sup> na rizosfera, seja responsável pela neutralização do efeito acidificante do adubo nitrogenado.

Em resíduos de milheto, na medida em que as doses de nitrogênio foram aumentadas houve redução dos valores de pH na camada de 0-5cm. Isso demonstra que o adubo nitrogenado provocou um efeito acidificante nessa camada do solo. O pH variou de 5,9, na dose zero de N, para pH 5,0 com a aplicação de 150 mg dm<sup>-3</sup> de N. O efeito de acidificação do solo devido à aplicação de adubos nitrogenados é esperado, pois são considerados como um dos fatores causadores de acidez do solo (Büll, 1989). Nesse caso também não houve reação do calcário em profundidade.

Em resíduos de nabo forrageiro, houve diferença entre as doses de nitrogênio sobre os valores de pH nas camadas de 0-5 e 5-10cm. Na camada mais superficial, quando não se aplicou nitrogênio houve menor elevação do pH, com valor em torno de 5,2. Na camada de 5-10cm, sem aplicação de N, o valor de pH foi menor que na aplicação de nitrogênio. É possível que, na camada superficial, a decomposição dos resíduos de nabo forrageiro tenha sido a causa da redução no pH, uma vez que os íons hidrogênio ligados covalentemente aos resíduos são liberados no solo (McBride, 1994; Stevenson, 1994). Porém, a maior reatividade do calcário na profundidade de 5-10cm demonstra sua movimentação para essa profundidade, e que provavelmente o efeito não foi devido ao nitrogênio, pois ocorreu em todas as doses.

Franquini et al. (1999) observaram efeitos positivos de resíduos de nabo forrageiro em relação aos resíduos de soja e trigo quanto à neutralização da acidez do solo, e atribuíram isso à sua maior capacidade de neutralização de hidrogênio. Porém, no atual

experimento, ao contrário daquele, a palha foi deixada na superfície do solo, esperando, portanto, que as alterações ocorressem a partir dessa camada.

É mais provável que os compostos hidrossolúveis de baixo peso molecular contidos nos resíduos de nabo forrageiro tenham causado a elevação do pH em profundidade, e que esse efeito tenha sido retardado pela aplicação do adubo nitrogenado.

Embora no Quadro 3 se tenha verificado efeito isolado de tipos de palha no pH na camada de 20-40cm, ao analisar-se a Figura 1 nota-se que as diferenças tanto entre doses como entre palhas são quase inexistentes.

Com relação ao teor de cálcio trocável no perfil do solo (Figura 2), nota-se que a maior dose de N tendeu, embora sem efeito significativo, a diminuir o teor desse nutriente na camada de 0-5cm, quando foi aplicada sobre resíduos de milho, nabo forrageiro e no tratamento sem resíduos. Porém, isso não implicou em aumento do teor de cálcio trocável em profundidade. A aveia preta e o nabo forrageiro fizeram com que, em média, o teor de Ca trocável na camada superficial fosse maior em relação ao tratamento sem palha, ocorrendo o inverso para o milho (Figura 2 e Quadro 3). No caso do nabo forrageiro, provavelmente isso ocorreu devido à alta concentração de cálcio na matéria seca (Quadro 2), podendo os teores de cálcio do solo, em superfície, serem devidos à lavagem da palha. Entretanto, para a aveia preta, isso não seria verdadeiro. Franquini et al. (1999) também encontraram altos teores de cálcio no nabo forrageiro em relação a outras espécies por eles estudadas, e que isso implicou em maiores teores do nutriente no solo devido à adição desses resíduos.

Com relação ao teor de Mg trocável, embora a análise de variância tenha acusado diferenças significativas para a interação palha x nitrogênio nas camadas de 0-5,

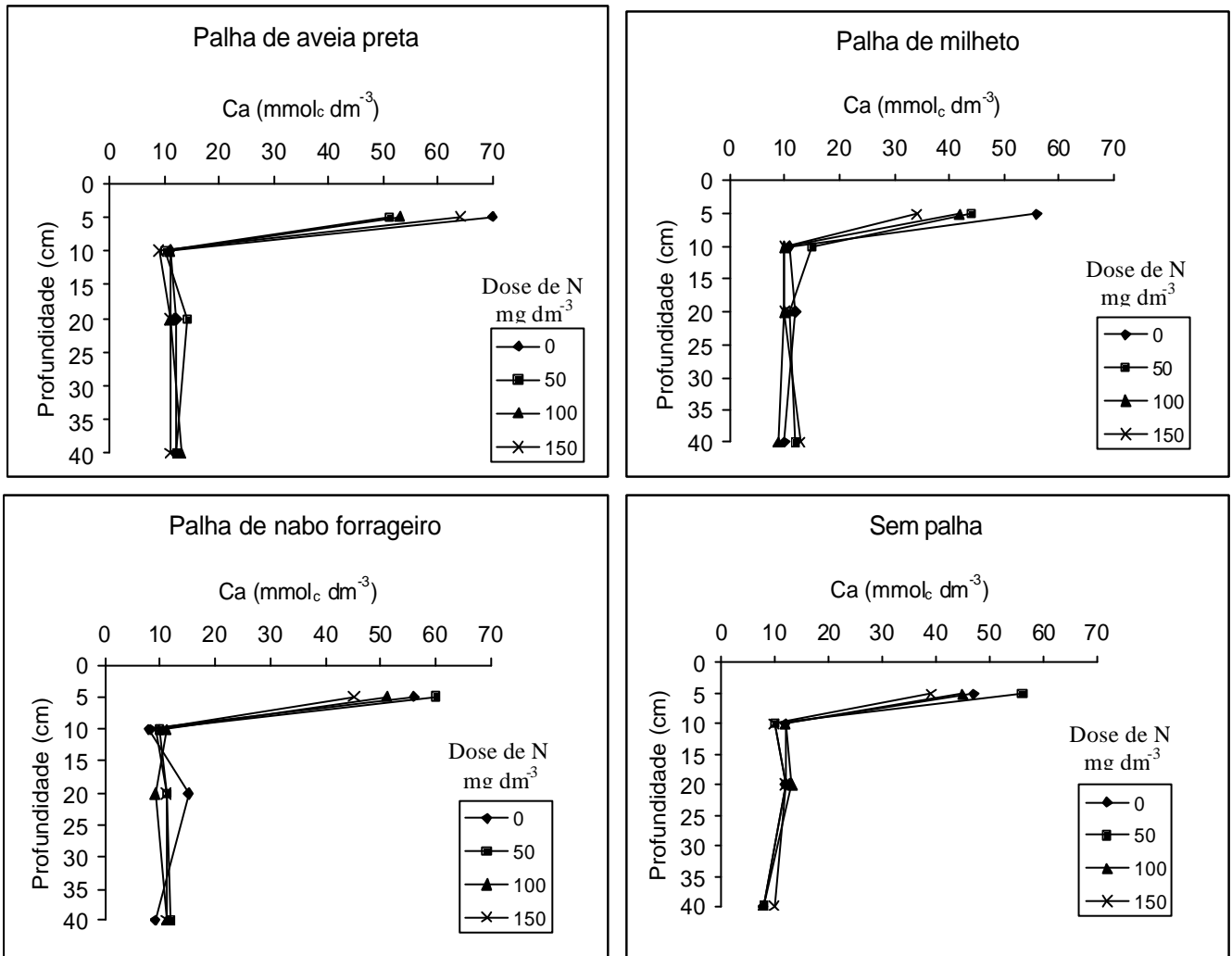


Figura 2. Teores de Ca em diferentes camadas de solo em função da aplicação de nitrogênio sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.



5-10 e 10-20cm (Quadro 3), a Figura 3 mostra que estas têm pouco significado biológico e seriam de difícil explicação. No entanto, aveia preta proporcionou, em média, maiores teores de Mg na superfície do solo que os demais tratamentos. Se considerarmos a composição química dos resíduos, vemos que o maior teor de magnésio na matéria seca do nabo forrageiro não proporcionou o mesmo efeito que a aveia preta.

Quanto aos teores de potássio trocável, na camada de 0-5cm houve uma relação negativa entre doses de N e teor de K no solo, exceto no tratamento sem palha (Figura 4). Quando na ausência de adubação nitrogenada, tanto aveia preta como nabo forrageiro proporcionaram maiores teores de K no solo que o milho e sem palha.

É interessante notar que a aveia preta e o nabo forrageiro apresentaram quantidades bem maiores de K na matéria seca que o milho (Quadro 2). Assim, na ausência de N, esta camada estaria refletindo maior lavagem do K da palha para o solo, o que é comumente observado por outros autores como Bartz (1998). Com aplicação de N e pH acima de 5,5 a nitrificação é favorecida, fornecendo  $\text{NO}_3^-$  que seria lixiviado, acompanhado pelo K (Pavan, 1983).

Os resultados encontrados neste experimento discordam daqueles obtidos por vários autores (Miyazawa et al., 1992; Santos, 1997; Caires et al., 1998; Lima, 2001), quanto ao caminamento de cálcio em profundidade, em resposta à calagem superficial. No entanto, as condições de cada experimento têm sido causa de grande variação nos resultados, visto que fatores como quantidade de palha e umidade do solo são relevantes, pois podem causar respostas variadas quanto à distribuição de bases no perfil do solo. Um exemplo disso é que no experimento de Franchini et al. (1999) foi utilizado o equivalente a  $40 \text{ t ha}^{-1}$  de palha,

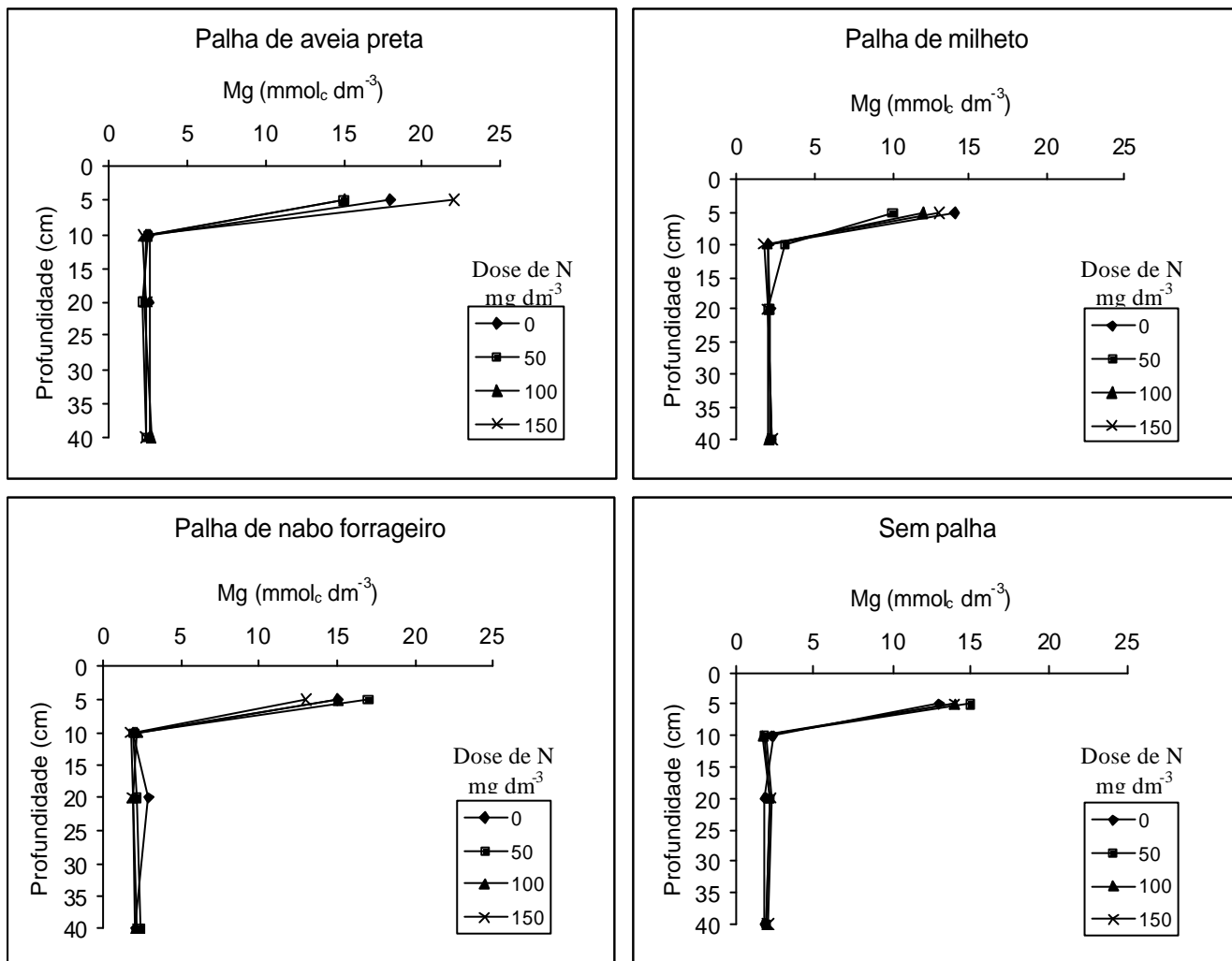


Figura 3. Teores de Mg em diferentes camadas de solo em função da aplicação de nitrogênio sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

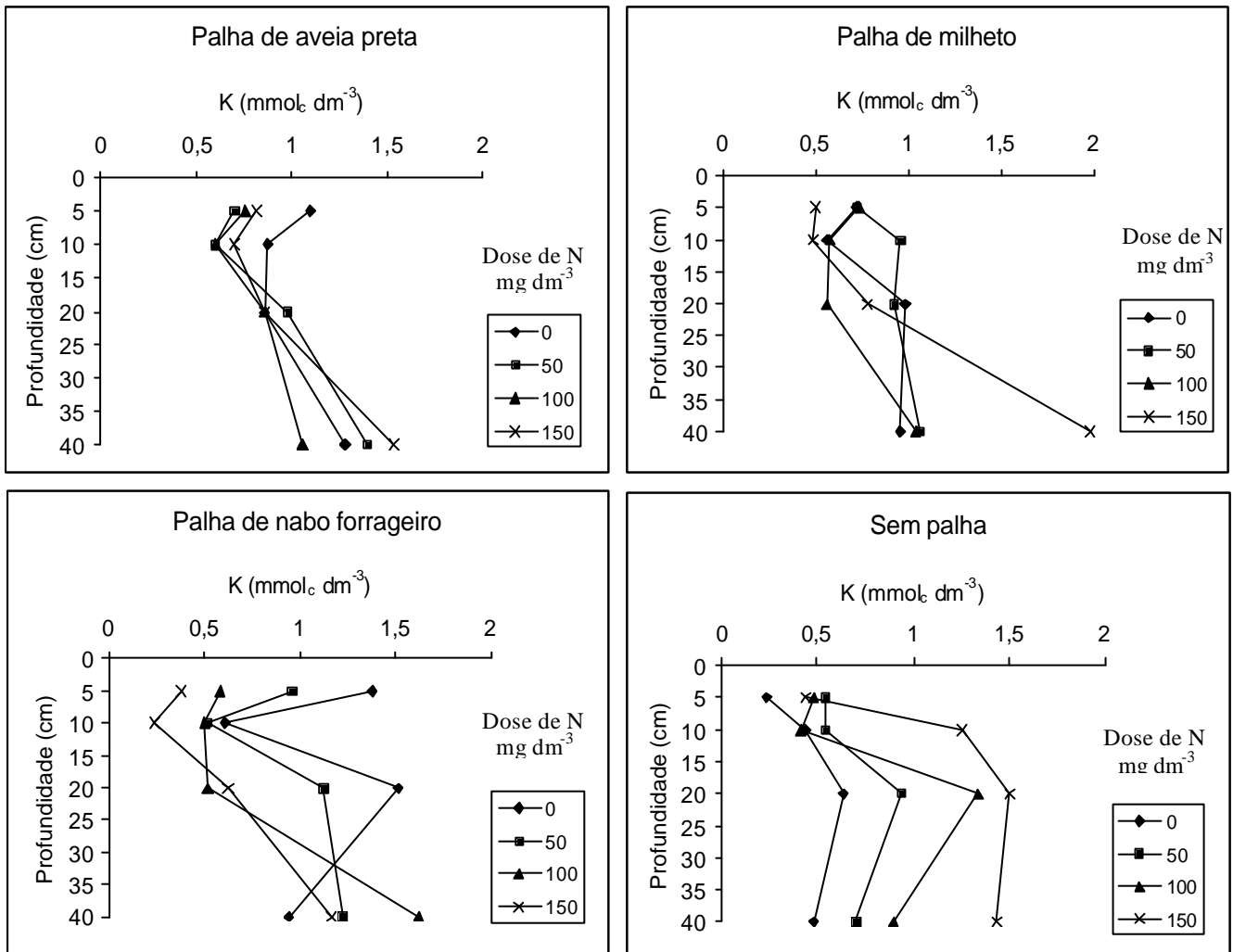


Figura 4. Teores de K em diferentes camadas de solo em função da aplicação de nitrogênio sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

enquanto no atual experimento, preferiu-se utilizar a quantidade equivalente a  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , condição esta mais condizente com a realidade em termos de Estado de São Paulo.

O efeito da adubação nitrogenada no movimento de bases no perfil do solo também é discutível, pois Foloni et al. (2001) observou maior lixiviação de bases em função do aumento da adubação nitrogenada. No entanto, a fonte de nitrogênio utilizada naquele experimento foi o sulfato de amônio, enquanto no presente experimento foi utilizado o nitrato de amônio como fonte de nitrogênio. Portanto, outro importante fator a ser considerado é a participação do íon sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) no movimento de cálcio. Chaves et al. (1991) ressalta a maior afinidade do íon  $\text{Ca}^{2+}$  com o sulfato do que com o nitrato.

No Quadro 4 consta o resumo da análise de variância para o nitrogênio mineral ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ) nas diferentes profundidades do solo. Embora o efeito da interação dos tratamentos tenha se manifestado apenas na profundidade de 10-20cm, nota-se que em resíduos de aveia preta, em todas as profundidades, sempre houve, em média, menores teores de  $\text{N-NH}_4^+$  do que nos outros tipos de palha (Figura 5). Esse resultado é um indicio de maior imobilização do nitrogênio pela população microbiana do solo, estimulada pela maior relação C/N dos resíduos de aveia preta em relação aos outros resíduos.

Conforme observado no Quadro 2, a relação C/N da aveia preta foi de 35, enquanto que o milho apresentou valor de 25, e o nabo forrageiro valor de 16. Quando a relação C/N situa-se entre 20 e 30 ocorre um equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização do nitrogênio pelos microorganismos do solo (Siqueira & Franco, 1988), e nesse caso ocorre maior liberação de  $\text{N-NH}_4^+$ , como ocorrido no presente trabalho para milho e nabo forrageiro. Porém quando essa relação atinge valores superiores a 30, como no caso da

aveia preta, a imobilização supera a mineralização, havendo menor liberação de  $\text{N-NH}_4^+$  no meio.

Quadro 4. Análise de variância dos valores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de solo.

Variáveis	Causas de variação			C.V. (%)
	Palha (P)	Dose de N (N)	PxN	
-----Solo (0-5cm)-----				
$\text{N-NH}_4^+$	8.10**	4.95**	0.72 ns	13.94
$\text{N-NO}_3^-$	4.20**	7.76**	0.59 ns	18.90
-----Solo (5-10cm)-----				
$\text{N-NH}_4^+$	7.34**	7.18**	1.39 ns	21.33
$\text{N-NO}_3^-$	12.48**	7.18**	0.47 ns	17.66
-----Solo (10-20cm)-----				
$\text{N-NH}_4^+$	12.39**	19.94**	2.85*	23.32
$\text{N-NO}_3^-$	17.83**	10.01**	2.87*	27.13
-----Solo (20-40cm)-----				
$\text{N-NH}_4^+$	2.56 ns	45.75**	1.38 ns	17.52
$\text{N-NO}_3^-$	6.86**	27.4**	1.58 ns	21.50

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 1 e 5% respectivamente, pelo Teste F.

Os resultados aqui observados quanto ao efeito da relação C/N na mineralização do nitrogênio estão de acordo com os encontrados por diversos autores (Sá, 1993; Gonçalves, 1997; Bortolini et al., 2000; Aita et al., 2001; Heinrichs et al., 2001).

Ainda na Figura 5, como era esperado, nota-se que, independentemente da presença de resíduos ou de sua relação C/N, as maiores doses de nitrogênio proporcionaram maiores teores de  $\text{N-NH}_4^+$ , principalmente nas camadas mais profundas do solo (20-40cm). Porém, no tratamento sem resíduo essa lixiviação foi maior que na presença de resíduos até a camada de 10-20cm.

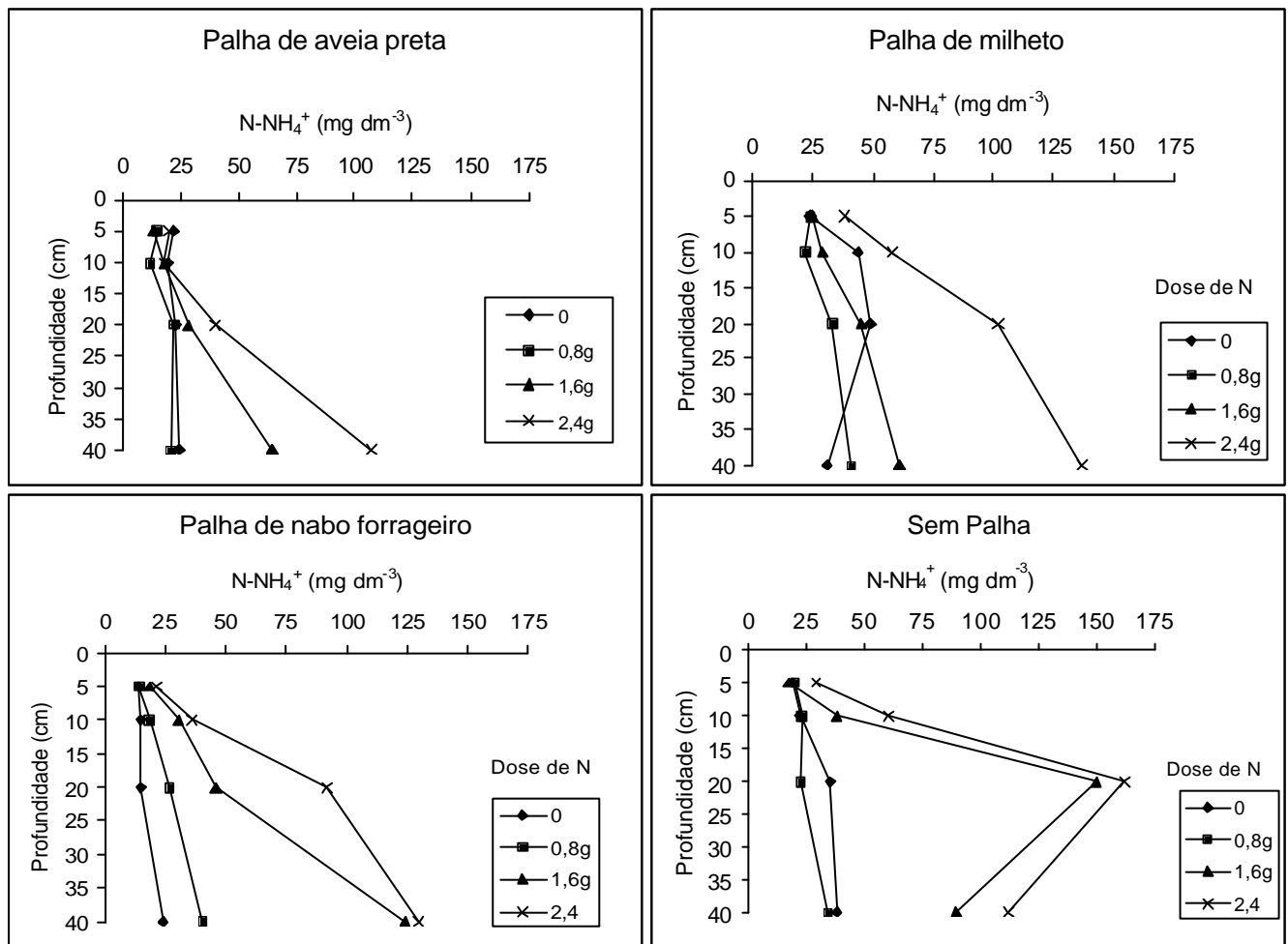


Figura 5. Teores de  $NH_4^+$  em diferentes camadas de solo em função da aplicação de nitrogênio sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

Para os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  (Figura 6) houve a mesma tendência observada para os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  (Figura 5), confirmando os efeitos da composição química dos diferentes resíduos na mineralização/imobilização de nitrogênio pelos microorganismos do solo.

No tratamento sem palha e com nabo forrageiro, na profundidade de 5-40cm, e no tratamento com resíduos de nabo forrageiro na profundidade de 10-20cm, observam-se maiores teores de  $\text{N-NO}_3^-$  com a aplicação de doses mais altas de nitrogênio, evidenciando maior lixiviação nesses casos. Esse resultado demonstra o aumento da imobilização do nitrogênio por microorganismos, quando do uso de aveia preta e milho, em função dos valores da relação C/N desses materiais.

Por outro lado, a maior lixiviação de nitrogênio nas doses mais elevadas de nitrogênio, sem ter ocorrido caminhamento de Ca (Figura 2), confirma que não houve ligação entre o movimento de Ca no perfil do solo e a adubação nitrogenada, discordando de Pearson et al. (1962), Farina & Channon (1988), Weir (1974), citado por Caires (1990), e Caires et al. (1999).

A comparação entre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  (Figura 5) e os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  (Figura 6) mostra que, em média, houve maior teor de nitrato do que de amônio na camada mais superficial do solo (0-5cm). A partir dessa camada houve uma inversão, com maior teor de amônio do que de nitrato. Isso provavelmente deve-se a maior atividade dos microorganismos nitrificadores na superfície do solo, em função da maior aeração e dos efeitos da calagem superficial nessa camada (Marschner, 1995).

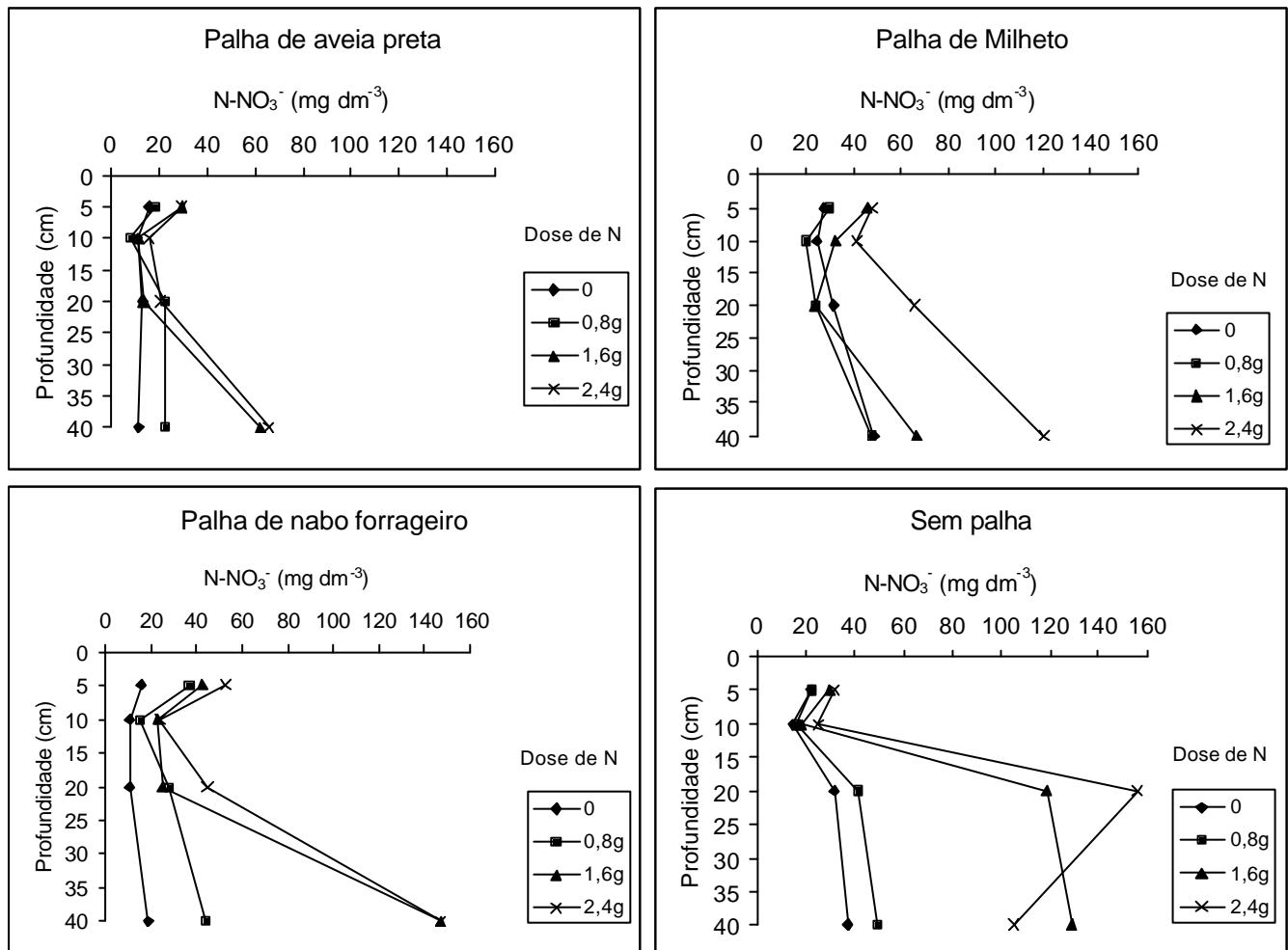


Figura 6. Teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas diferentes camadas de solo em função da aplicação de nitrogênio sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.



### **6.1.2. Alterações nas características químicas da solução do solo em função dos tipos de resíduos vegetais e das doses de nitrogênio**

Os valores de pH da solução do solo extraída aos 36 dias após a emergência das plantas de milho (Figura 7A), em média, foram maiores na profundidade de 10cm do que na profundidade de 30cm. Porém, na avaliação aos 47 dias após a emergência (Figura 7B), os valores de pH da superfície foram menores em relação à primeira extração, demonstrando efeito acidificante do adubo nitrogenado.

Esses valores de pH da solução do solo são conflitantes com os obtidos para o pH na fase sólida do solo (Figura 1), quando não foram verificados aumentos significativos do pH em profundidade.

Ernani et al. (2001) também encontrou valores de pH mais altos na solução do solo do que o pH do solo. Os autores atribuíram esse resultado ao efeito diluição em consequência do grande volume de água percolada pela coluna de solo num curto espaço de tempo, não havendo tempo para a água que passa pelo solo estabelecer um novo equilíbrio com a fase sólida. No presente experimento o mesmo pode ter ocorrido, pois houve necessidade de grande volume de água para a extração das soluções do solo.

A concentração de cálcio na profundidade de 10cm, em média foi menor do que na profundidade de 30cm (Figura 8A), independentemente das doses de nitrogênio e dos tipos de resíduos vegetais. É interessante ressaltar que para o cálcio trocável ocorreu o contrário, com maiores teores na camada de 0-5cm (Figura 2). Tal resultado, demonstra que parte dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  não adsorvidos no complexo de troca se movimentou em

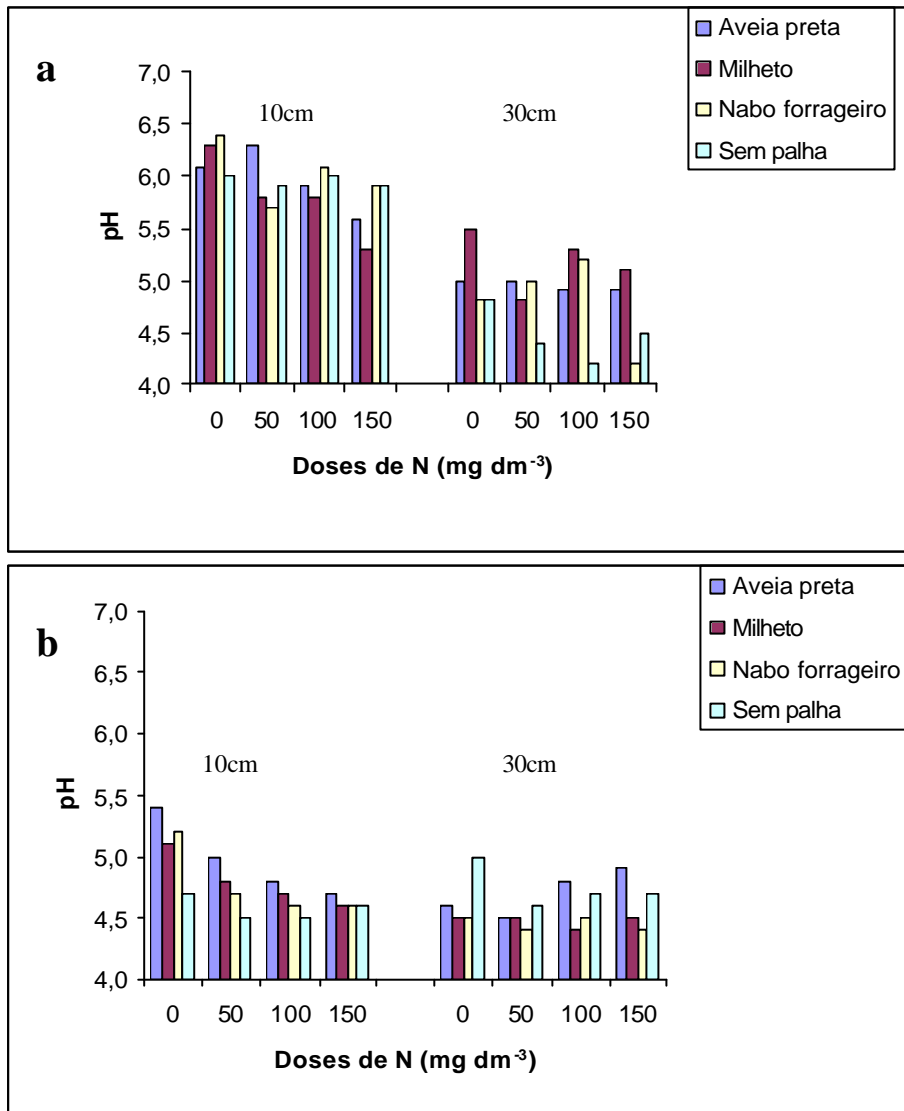


Figura 7. Valores de pH das soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.

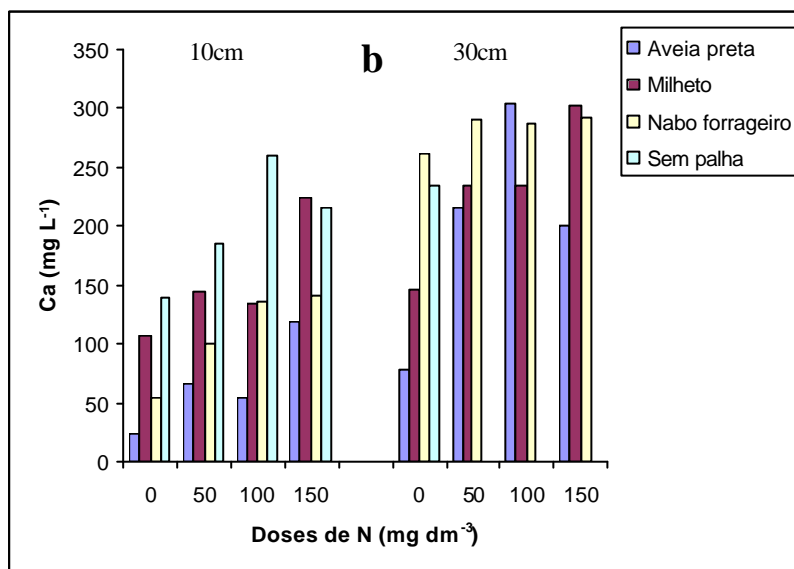
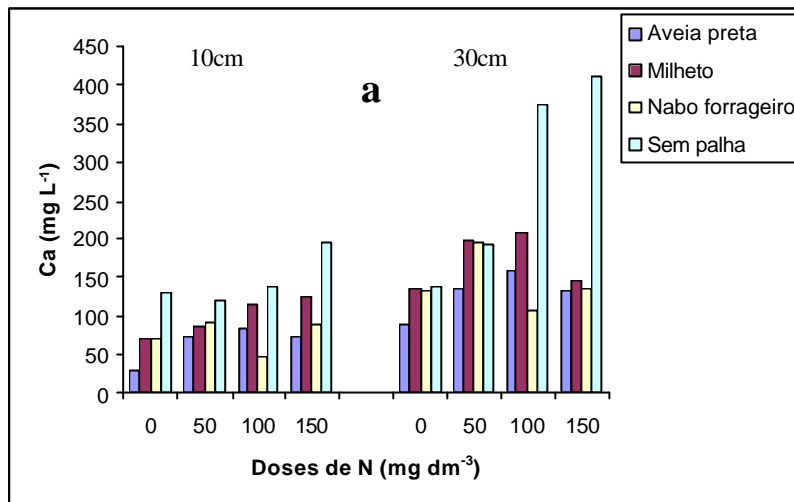


Figura 8. Concentrações de cálcio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.

profundidade. Como esse efeito ocorreu tanto na presença como na ausência de resíduos vegetais, esse caminhar de cálcio não deve estar relacionado com a liberação de ânions orgânicos, como preconiza as hipóteses levantadas por diversos autores (Santos, 1997; Caires et al., 1999).

Como a reação do calcário aplicado à superfície foi maior na camada de 0-5cm, com elevação do pH a valores próximos de 5,5 (Figura 1), existe a possibilidade de que, devido à formação de íons  $\text{HCO}_3^-$  estáveis nessa condição de pH (Bohn et al., 1979), o cálcio tenha migrado para as camadas mais profundas como  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , como observado no experimento de Costa (2000) e Petreire & Anghinoni (2001).

Embora na segunda extração de solução de solo não tenha sido possível determinar a concentração de cálcio na profundidade de 30cm nos tratamentos sem palha (doses 50, 100 e 150  $\text{mg dm}^{-3}$ ), em geral observa-se que houve tendência de maior liberação de cálcio nessa condição de cobertura do solo (Figura 8A, B). Provavelmente isso foi devido a maior retenção do calcário na superfície dos resíduos vegetais, o que retardou sua dissolução e conseqüente liberação de cálcio para o solo.

As concentrações de magnésio na solução do solo, quando da primeira extração (Figura 9A), mostraram comportamento semelhante ao do cálcio, embora, exceto para o tratamento sem palha, tenha ocorrido maior uniformidade entre valores nas duas profundidades amostradas. Na segunda extração as médias das concentrações de magnésio foram um pouco mais elevadas (Figura 9B).

No tratamento sem palha, os resultados de maior concentração de magnésio na profundidade de 30cm, com a aplicação de doses mais elevadas de nitrogênio, é

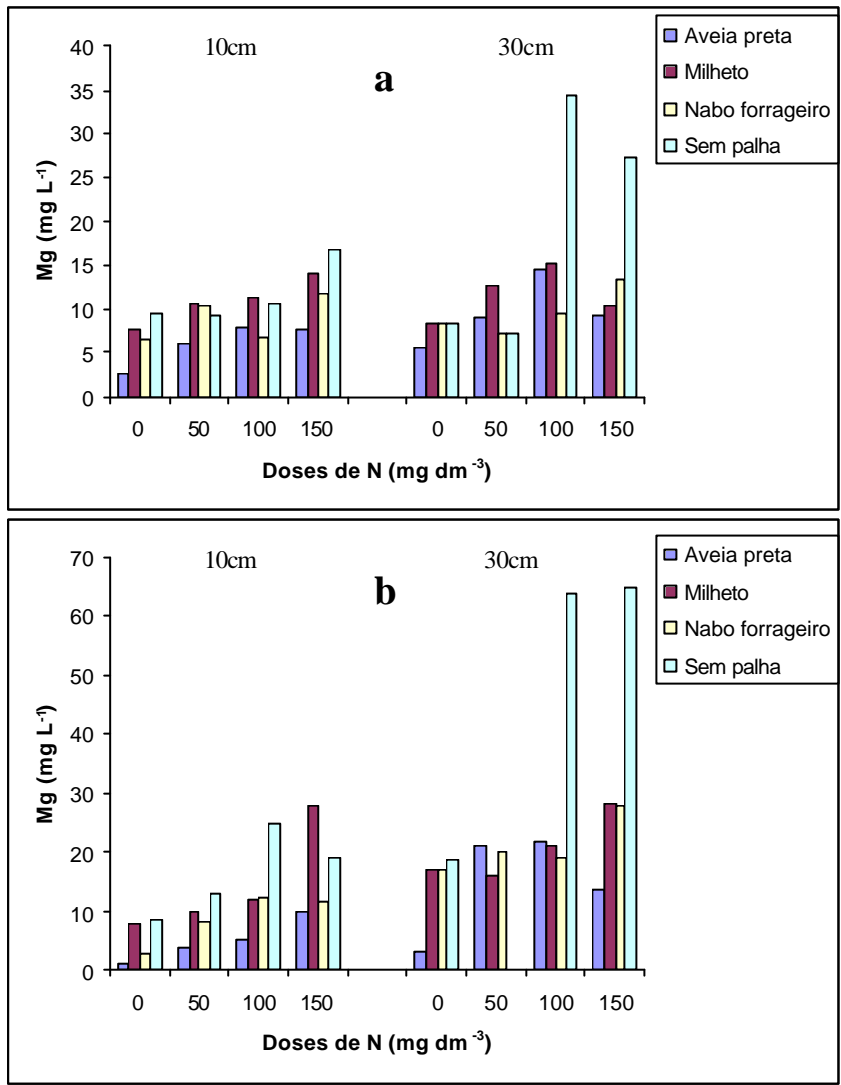


Figura 9. Concentrações de magnésio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade

de difícil explicação, pois maior parte dos íons  $Mg^{2+}$  foi encontrado na forma livre (Quadros 5, 6, 7 e 8), sendo que a possibilidade de caminamento desse íon em profundidade seria como  $MgSO_4^0$  e não como  $MgNO_3^+$ .

Quanto à concentração de potássio na solução do solo (Figura 10), na primeira extração (Figura 10A) observa-se que nos tratamentos com nabo forrageiro e sem palha, o aumento das doses de nitrogênio causou maior liberação de potássio no perfil do solo. Foi observado ainda, maior retenção do elemento na superfície nesses tratamentos. Na segunda extração (Figura 10B), houve indício de maior esgotamento do elemento na superfície do solo, o qual pode ser devido à absorção pela planta de milho, visto que boa parte do potássio é absorvida por difusão (Barber, 1984). A maior parte do potássio foi encontrada na forma livre  $K^+$  (Quadros 5, 6, 7 e 8). Como o potássio foi misturado em toda a terra do vaso, por meio de aplicação de cloreto de potássio, é difícil discutir os resultados obtidos, visto que no presente experimento não se quantificou a contribuição de palha e adubo na liberação desse nutriente.

Na primeira extração de solução do solo, como era esperado, o aumento das doses de nitrogênio proporcionou elevação dos teores de amônio, com maiores valores na profundidade de 10cm (Figura 11A). Embora tenha existido aumento dos teores de nitrato nas duas profundidades pela elevação das doses de nitrogênio (Figura 12A), pode-se inferir que durante este período houve baixa atividade de microorganismos nitrificadores na superfície do solo, e que o nitrato existente deve ter sido produto da dissolução do adubo nitrogenado.

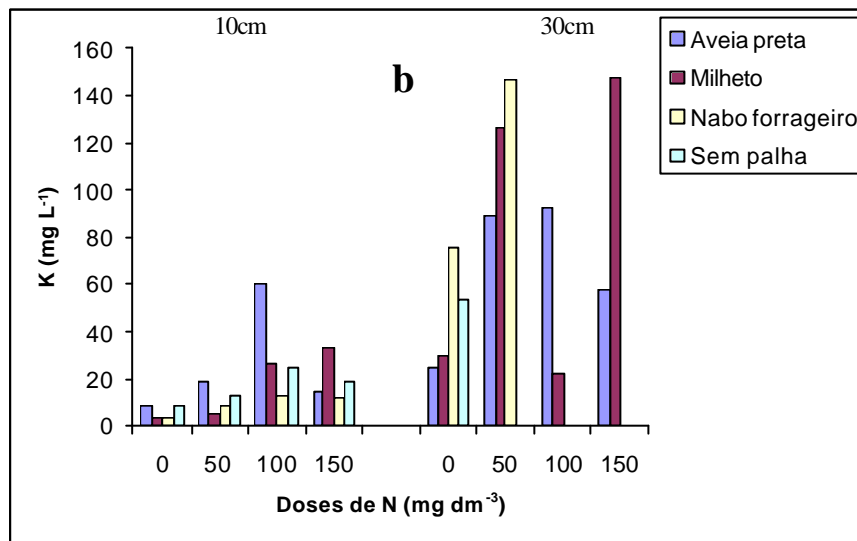
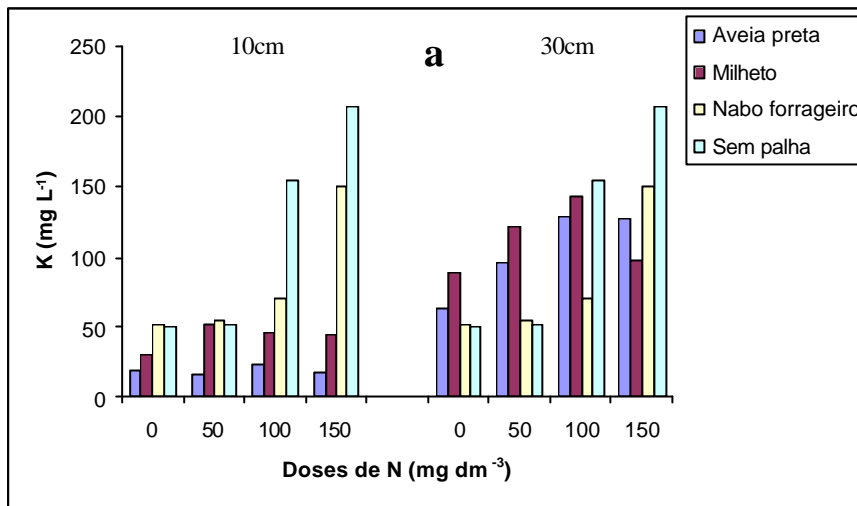


Figura 10. Concentração de potássio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade

QUADRO 5. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 10 cm de profundidade aos 36 dias após a emergência das plantas de milho.

Palha	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
		%															
Aveia Preta	0	94,69	-	5,31	-	95,73	-	4,26	-	99,72	0,28	100	-	99,41	0,59	-	-
	50	94,86	-	5,13	-	95,88	-	4,12	-	99,70	0,30	100	0,04	98,81	0,02	0,03	-
	100	94,91	-	5,08	-	95,91	-	4,08	-	99,70	0,30	100	0,02	99,03	0,93	0,01	0,01
	150	94,35	-	5,65	-	95,46	-	4,54	-	99,67	0,33	100	0,02	99,77	0,20	0,01	-
Milheto	0	93,22	0,02	6,76	-	99,54	-	5,45	-	99,59	0,41	100	-	99,49	0,51	-	-
	50	92,31	-	7,69	-	93,79	-	6,21	-	99,51	0,49	100	0,01	99,73	0,21	0,01	-
	100	95,02	-	4,98	-	96,00	-	3,99	-	99,69	0,31	100	-	99,91	0,09	-	-
	150	94,52	-	5,48	-	95,59	-	4,40	-	99,66	0,34	100	0,08	99,62	0,02	0,05	-
Nabo Forrageiro	0	93,75	0,01	6,24	-	94,97	-	5,02	-	99,55	0,45	100	-	99,78	0,22	-	-
	50	93,76	-	6,23	-	94,98	-	5,01	-	99,62	0,38	100	0,02	99,74	0,01	0,01	0,02
	100	91,25	-	8,74	-	92,92	-	7,07	-	99,49	0,51	100	-	99,48	0,52	-	-
	150	90,96	-	9,03	-	92,68	-	7,31	-	99,43	0,57	100	0,01	99,72	0,27	-	-
Sem palha	0	90,75	-	9,24	-	92,51	-	7,49	-	99,39	0,61	100	-	99,81	0,19	-	-
	50	93,82	-	6,17	-	95,03	-	4,96	-	99,61	0,39	100	-	99,82	0,18	-	-
	100	96,02	-	3,97	-	96,81	-	3,18	-	99,75	0,25	100	-	99,85	0,15	-	-
	150	96,26	-	3,73	-	97,01	-	2,99	-	99,75	0,25	100	-	99,93	0,07	-	-



QUADRO 6. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 30 cm de profundidade aos 36 dias após a emergência das plantas de milho.

Palha	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
		-----%															
Aveia Preta	0	87.43	-	12.57	-	89.75	-	10.25	-	99.16	0.84	100	2.12	92.03	2.09	3.62	0.14
	50	93.80	-	6.20	-	95.01	-	4.98	-	99.60	0.40	100	1.43	96.03	1.36	1.03	0.16
	100	93.85	-	6.15	-	95.05	-	4.95	-	99.60	0.40	100	1.85	95.58	1.21	1.26	0.10
	150	92.03	-	7.96	-	93.57	-	6.43	-	99.47	0.53	100	0.66	98.22	0.45	0.63	0.05
Milheto	0	94.93	-	5.07	-	95.93	-	4.07	-	99.69	0.31	100	-	99.95	0.05	-	-
	50	93.74	-	6.25	-	94.97	-	5.03	-	99.57	0.47	99.99	1.22	97.31	0.57	0.85	0.06
	100	93.71	-	6.29	-	94.94	-	5.06	-	99.57	0.43	100	0.23	99.05	0.53	0.15	0.04
	150	96.06	-	3.93	-	96.85	-	3.15	-	99.75	0.25	100	0.26	99.25	0.33	0.11	0.06
Nabo Forrageiro	0	96.45	-	3.55	-	97.16	-	2.84	-	99.78	0.22	100	1.40	97.15	0.75	0.57	0.13
	50	96.81	-	3.19	-	97.45	-	2.55	-	99.74	0.21	100	0.40	99.08	0.37	0.14	-
	100	96.34	-	3.66	-	97.07	-	2.99	-	99.78	0.22	100	0.06	99.79	0.12	0.03	-
	150	95.73	-	4.27	-	96.58	-	3.42	-	99.73	0.27	100	17.43	71.44	2.91	8.18	0.05
Sem palha	0	96.56	-	3.44	-	97.25	-	2.75	-	99.79	0.21	100	3.54	92.94	1.88	1.35	0.29
	50	96.97	-	3.03	-	97.58	-	2.42	-	99.80	2.42	100	30.58	54.05	5.07	9.96	0.33
	100	97.96	-	2.04	-	98.37	-	1.63	-	99.85	0.15	100	78.34	0	6.33	14.43	0.90
	150	99.62	-	0.38	-	99.70	-	0.30	-	99.97	0.03	100	13.23	83.79	2.23	0.43	0.32

QUADRO 7. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 10 cm de profundidade aos 47 dias após a emergência das plantas de milho.

Palha	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
		-----%-----															
Aveia Preta	0	97.17	-	2.84	-	97.73	-	2.27	-	99.86	0.14	100	0.15	98.87	0.84	0.06	0.08
	50	95.32	-	4.68	-	96.25	-	3.75	-	99.73	0.23	100	0.55	98.38	0.62	0.33	0.13
	100	96.65	-	3.34	-	97.32	-	2.68	-	99.81	0.19	100	2.03	95.61	1.23	0.84	0.28
	150	96.90	-	3.10	-	97.52	-	2.48	-	99.82	0.18	100	1.88	96.54	0.76	0.66	0.16
Milheto	0	95.39	-	4.60	-	96.31	-	3.69	-	99.72	0.28	100	1.03	96.68	1.50	0.58	0.21
	50	95.09	-	4.91	-	96.06	-	3.94	-	99.69	0.31	100	0.78	98.29	0.41	0.44	0.08
	100	95.65	-	4.35	-	96.51	-	3.49	-	99.73	0.27	100	1.86	96.42	0.74	0.93	0.06
	150	96.57	-	3.42	-	97.26	-	2.74	-	99.77	0.23	100	5.03	91.77	1.30	1.74	0.15
Nabo Forrageiro	0	95.74	-	4.25	-	96.59	-	3.41	-	99.75	0.25	100	0.73	97.20	1.51	0.37	0.17
	50	95.36	-	4.64	-	96.28	-	3.72	-	99.72	0.28	100	2.85	94.20	1.21	1.60	0.14
	100	95.39	-	4.61	-	96.31	-	3.69	-	99.72	0.28	100	3.48	93.54	1.03	1.81	0.13
	150	94.75	-	5.25	-	95.79	-	4.21	-	99.67	0.33	100	3.50	93.23	1.03	2.10	0.15
Sem palha	0	93.25	-	6.75	-	94.56	-	5.43	-	99.57	0.43	100	2.96	93.17	1.17	2.39	0.31
	50	94.51	-	5.49	-	95.59	-	4.41	-	99.64	0.36	100	5.82	89.11	1.25	3.58	0.23
	100	94.35	-	5.65	-	95.46	-	4.54	-	99.60	0.40	100	55.20	-	10.57	32.85	1.39
	150	95.11	-	4.89	-	96.08	-	3.92	-	99.66	0.34	100	5.02	90.96	1.33	2.60	0.09

QUADRO 8. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 30 cm de profundidade aos 47 dias após a emergência das plantas de milho.

Palha	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
		-----%-----															
Aveia	0	93.88	-	6.11	-	95.08	-	4.92	-	99.64	0.36	100	6.38	86.18	2.12	4.94	0.37
Preta	50	93.67	-	6.32	-	94.91	-	5.09	-	99.56	0.44	100	8.73	83.23	1.76	6.01	0.27
	100	94.59	-	5.41	-	95.66	-	4.34	-	99.60	0.40	100	1.16	97.67	0.48	0.63	0.06
	150	94.15	-	5.85	-	95.30	-	4.70	-	99.60	0.40	100	0.39	99.06	0.25	0.25	0.05
Milheto	0	92.48	-	7.52	-	93.93	-	6.07	-	99.50	0.50	100	11.17	76.19	2.48	9.97	0.19
	50	93.57	-	6.43	-	94.82	-	5.18	-	99.54	0.46	100	11.18	78.65	2.19	7.67	0.31
	100	93.92	-	6.08	-	95.11	-	4.89	-	99.57	0.43	100	15.59	71.45	2.37	10.27	0.33
	150	95.02	-	4.97	-	96.01	-	3.99	-	99.64	0.36	100	7.83	86.84	1.41	3.79	0.12
Nabo	0	91.64	-	8.36	-	93.24	-	6.76	-	99.39	0.61	100	5.90	87.44	1.13	5.46	0.07
Forrageiro	50	93.87	-	6.13	-	95.07	-	4.93	-	99.55	0.45	100	12.86	77.08	1.83	8.00	0.22
	100	93.97	-	6.03	-	95.15	-	4.85	-	99.55	0.45	100	15.92	71.58	2.78	9.31	0.41
	150	94.51	-	5.49	-	95.59	-	4.41	-	99.59	0.41	100	14.30	75.63	1.98	7.88	0.21
Sem palha	0	92.49	-	7.50	-	93.94	-	6.05	-	99.47	0.53	100	0.13	99.66	0.10	0.11	-
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-

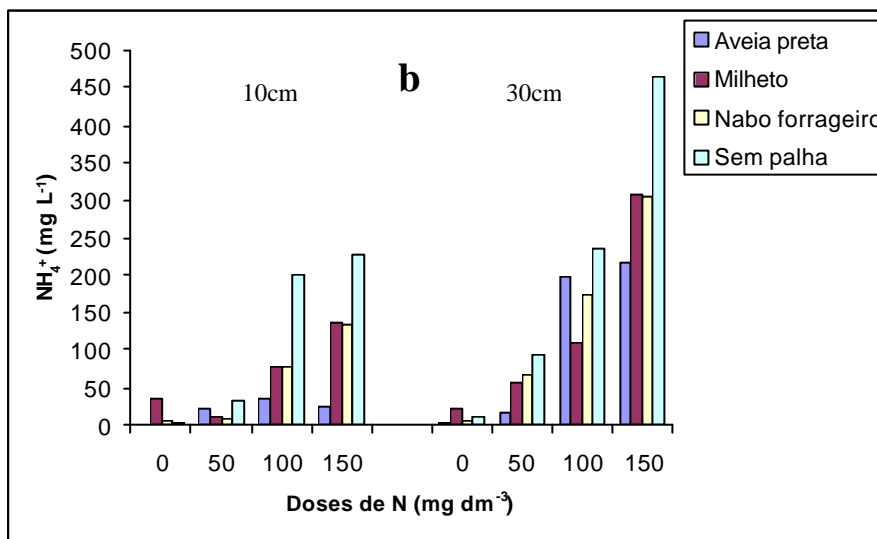
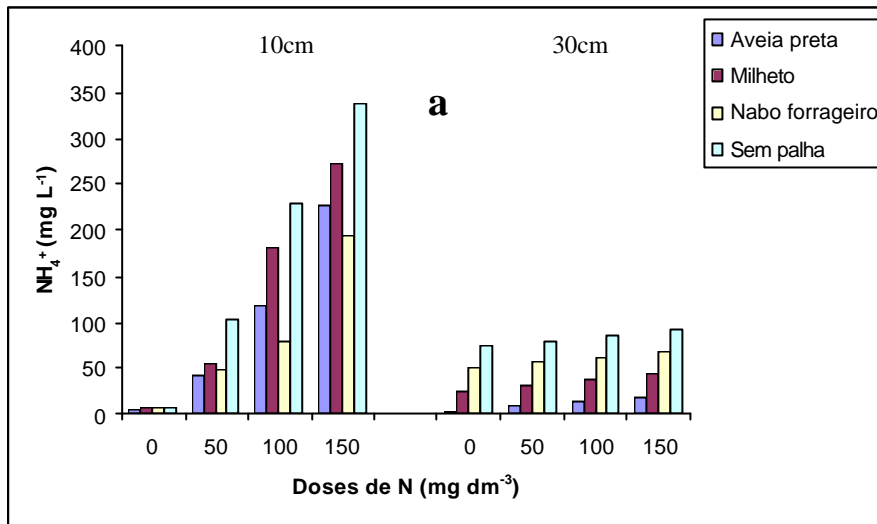


Figura 11. Concentração de amônio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade

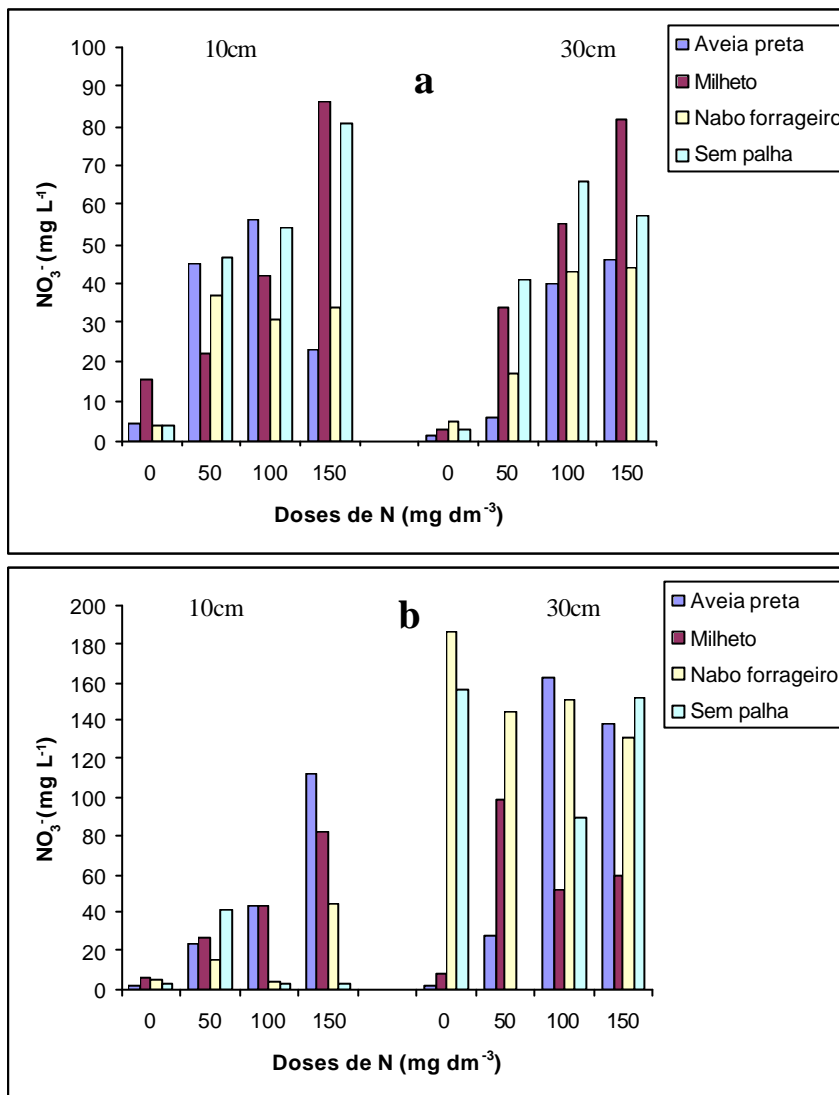


Figura 12. Concentração de nitrato nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade

Como os valores de pH obtidos tanto para a fase sólida como para a solução do solo foram maiores que 5,2, esperava-se um favorecimento à atividade de microorganismos nitrificadores, como observado em alguns trabalhos (Azevedo et al., 1996).

Na segunda extração, ao contrário da primeira, os maiores teores de amônio foram verificados na profundidade de 30cm (Figura 11B), e para os teores de nitrato, também observou-se, em média, maiores valores nessa profundidade (Figura 12B). Esse resultado evidencia a maior nitrificação nesse período, embora boa parte do nitrato produzido deve ter sido lixiviado, demonstrado pelos menores valores na profundidade de 10cm.

Assim como foi observado na fase sólida do solo, houve maior quantidade de nitrogênio na forma de amônio que de nitrato na solução do solo. Nota-se ainda que nos tratamentos sem palha houve maiores teores de  $\text{N-NH}_4^+$  do que nos tratamentos com resíduos. Tal resultado parece não se relacionar com a relação C/N do material vegetal, pois ocorreu tanto em resíduos de aveia preta como de milho e nabo forrageiro.

Em ambas extrações houve alta concentração de enxofre na solução do solo, independentemente do tipo de resíduo e do aumento de doses de nitrogênio (Figura 13). Provavelmente essa alta concentração foi devido à dissolução do adubo fosfatado (superfosfato simples), que contém enxofre em sua composição, na forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Dessa forma, esse íon pode ter favorecido tanto o caminhar de cálcio como o de magnésio na solução do solo (Figuras 8 e 9). As porcentagens dos pares iônicos  $\text{CaSO}_4^0$  e  $\text{MgSO}_4^0$  obtidos pela especiação química dos nutrientes na solução do solo (Quadros 5, 6, 7 e 8) demonstram essa possibilidade, concordando com os resultados encontrados por Chaves et al. (1991).

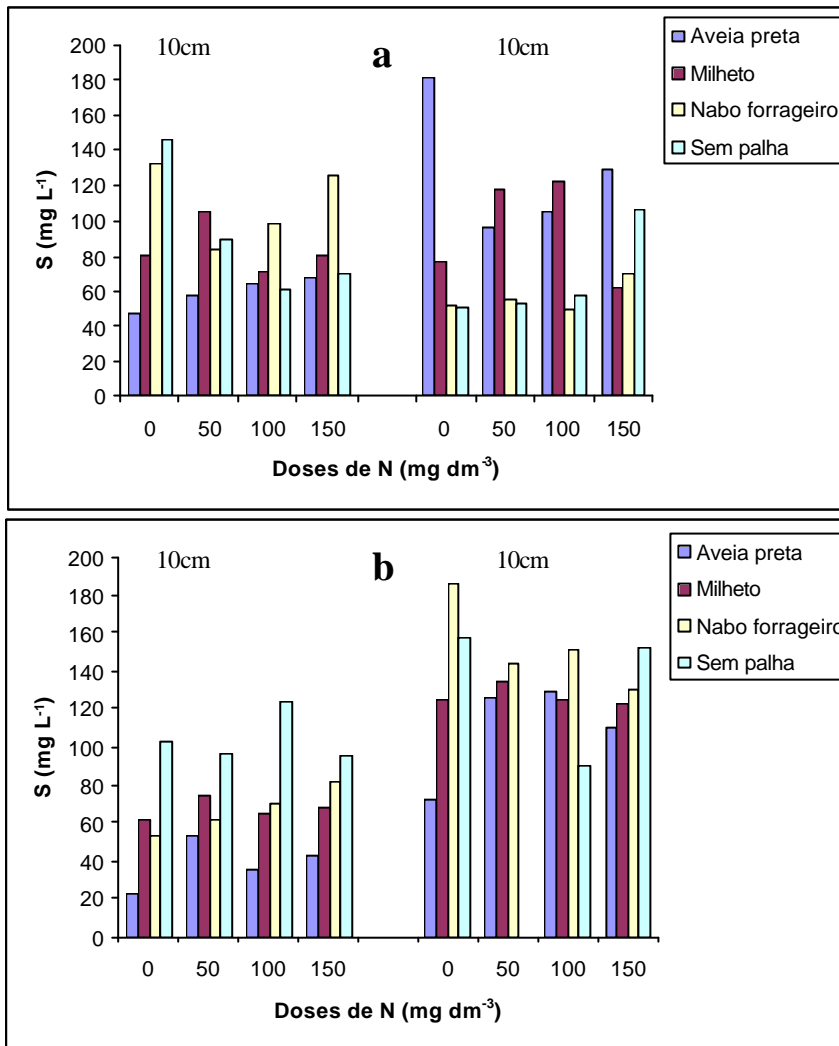


Figura 13. Concentração de enxofre nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade

Enquanto que mais de 90% dos íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e de  $\text{K}^+$  foram encontrados na forma livre (Quadros 5, 6, 7 e 8), o  $\text{Al}^{3+}$  foi, quase que totalmente, complexo na forma de  $\text{Al}(\text{OH}_3)^0$ . Isto é compreensível, uma vez que os valores de pH encontrados no experimento ficaram em torno de 5,5, valor em que grande parte do  $\text{Al}^{3+}$  é neutralizado (Büll, 1993).

Na Figura 14, o efeito do pH na disponibilidade do alumínio fica claro, pois na profundidade de 10cm, na primeira extração, os valores de pH acima de 5,5 foram acompanhados por menores teores médios de  $\text{Al}^{3+}$ , enquanto que na profundidade de 30cm, onde o pH ficou abaixo de 5,5, houve maiores teores de  $\text{Al}^{3+}$ .

Exceto para o  $\text{K}^+$  e o  $\text{NH}_4^+$ , houve pouco efeito das doses de nitrogênio e dos resíduos vegetais nas concentrações e formas dos elementos na solução do solo. Por outro lado, o aumento das doses de nitrogênio proporcionou elevação das concentrações de praticamente todos os íons na solução do solo, inclusive de  $\text{Al}^{3+}$ , principalmente na profundidade de 30cm.

O aumento da concentração de íons na solução do solo em profundidade, provavelmente foi devido ao excesso de íons livres verificado nos Quadros 5 e 6, pois quando existe essa condição, os íons são facilmente lixiviados pela água de percolação (Raij, 1986).

Nas duas coletas de solução do solo, em ambas profundidades, houve 100% do nitrato na forma livre  $\text{NO}_3^-$  (Quadros 5, 6, 7 e 8), porém não é possível afirmar que este ânion não formou par iônico com nenhum dos cátions, pois devido ao baixo valor de sua constante de estabilidade de associação iônica (Sposito & Mattigot, 1980), as espécies iônicas



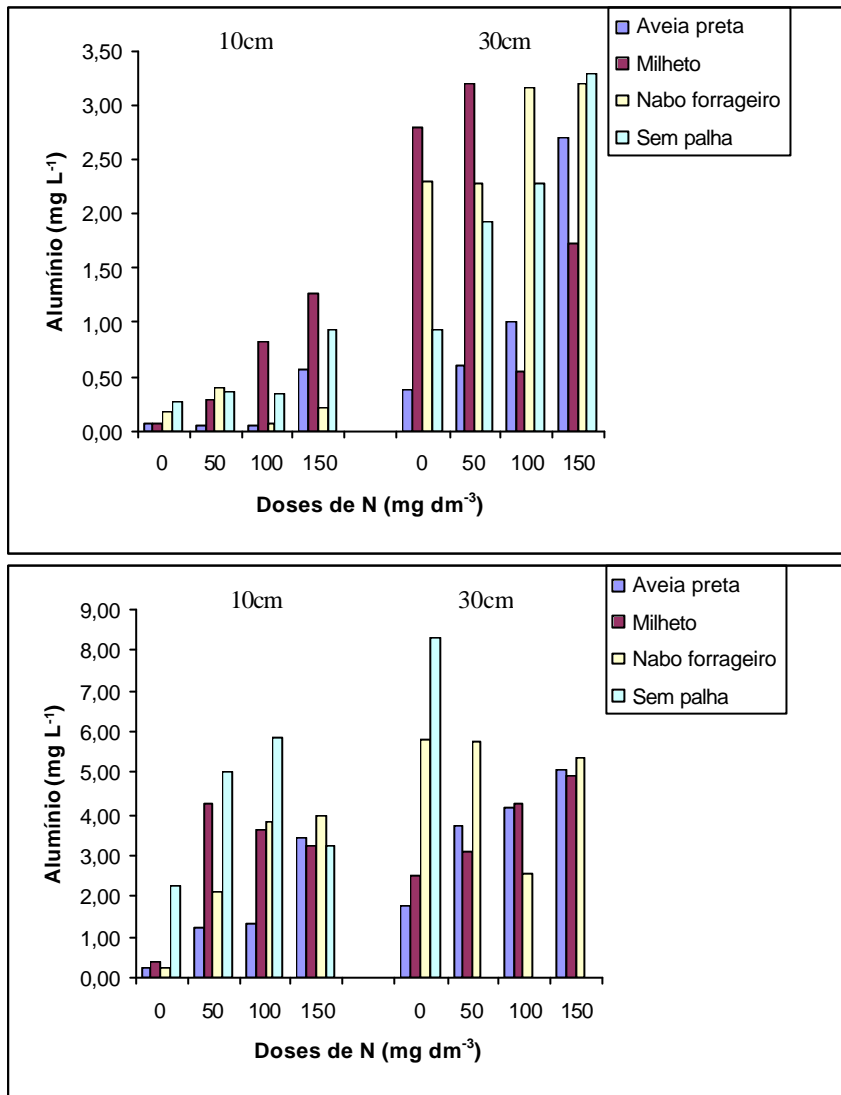


Figura 14. Concentração de alumínio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.

possivelmente formadas são difíceis de serem detectadas através da análise química das soluções.

As porcentagens e concentrações das formas de nutrientes encontradas neste experimento estão bem próximas daquelas encontradas por Chaves et al. (1991) e Wong (1998).

### **6.1.3. Desenvolvimento inicial do milho em função dos tipos de resíduos vegetais e das doses de nitrogênio**

Os teores de nitrogênio da parte aérea das plantas foi influenciado pelos tipos de palha e pelas doses de N, mas não pela interação dos tratamentos (Quadro 9).

O aumento das doses de nitrogênio proporcionaram resposta linear positiva quanto aos teores de nitrogênio na parte aérea das plantas, independentemente do tipo de resíduo (Quadro 10). Ritchie et al. (1993) enfatizaram que, apesar das exigências nutricionais do milho nos estádios iniciais serem pequenas, altas concentrações de nutrientes na zona radicular são benéficas, pois promovem um “arranque” inicial. Dessa forma, no presente experimento, as maiores doses de N aumentaram a disponibilidade do elemento, e conseqüentemente, promoveram sua maior absorção pela planta. A resposta linear positiva dos teores do nutriente ao aumento das doses de nitrogênio, esteve mais relacionada com a concentração do elemento na solução (Figuras 11 e 12) do que na fase sólida do solo (Figuras 5 e 6).

Quadro 9. Análise de variância do acúmulo de matéria seca (MSPA) e de macronutrientes pela parte aérea das plantas de milho.

Variáveis	Causas de variação			
	Palha (P)	Doses de N (N)	PxN	C.V. (%)
N	8.39**	56.60**	1.60ns	18.19
P	5.73**	2.62ns	1.34ns	18.95
K	5.79**	24.15**	7.16**	15.90
Ca	9.92**	20.36**	4.70**	16.95
Mg	2.35ns	46.79**	1.51ns	22.09
S	0.78ns	7.81**	1.38ns	2.98
MSPA	46.83**	5.69**	4.34**	20.01

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo Teste F.

Quadro 10. Teores de nitrogênio na parte aérea do milho.

Doses de N (mg dm <sup>-3</sup> )	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
0	11,46	19,46	14,14	14,77	14,96 <sup>(1)</sup>
50	18,34	22,66	23,73	25,88	22,65
100	25,99	26,02	28,65	30,40	27,77
150	25,96	30,94	27,98	35,02	29,96
Média	20,43 C	24,77 AB	23,62 B	26,52 A	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

$$^{(1)} y = 0,1002x + 16,317 \quad r^2 = 0,94^*$$

Entre os tipos de palha na superfície, observa-se que os teores de N na parte aérea das plantas foi maior no tratamento sem palha em relação aos resíduos de nabo forrageiro e de aveia preta (Quadro 10). Estes resultados concordam com vários autores que relataram sobre a menor absorção de nitrogênio pelo milho quando cultivado sobre resíduos vegetais, principalmente os de aveia preta (Pöttker & Roman, 1994; Argenta, 1998). Isso se deve a menor disponibilidade do nitrogênio mineral devido à imobilização pelos microorganismos do solo (Sá, 1997; Salet et al., 1997; Sangoi et al., 1999; Heinrichs et al., 2001).

No Quadro 11 observa-se maior teor de fósforo na parte aérea do milho quando foi cultivado sobre resíduos de nabo forrageiro, provavelmente devido a maior

decomposição desses resíduos na superfície do solo, uma vez que a análise da sua composição química mostrou alto teor desse nutriente na matéria seca (Quadro 2). Esse resultado está de acordo com as observações em campo que revelaram a rápida decomposição de resíduos de nabo forrageiro na superfície do solo (Basso & Ceretta, 2000).

Quadro 11. Teores de fósforo na parte aérea do milho.

Doses de N (mg dm <sup>-3</sup> )	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	----- P (g kg <sup>-1</sup> )-----				
0	0,97	0,92	1,15	0,92	0,99
50	0,92	1,00	1,35	0,95	1,05
100	1,00	1,12	1,13	1,03	1,07
150	1,07	1,28	1,17	1,08	1,15
Média	0,99 B	1,08 B	1,20 A	1,00 B	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

Os teores de potássio da parte aérea do milho foi influenciado pela interação dos tratamentos (Quadro 9), evidenciando diferentes respostas ao aumento das doses de nitrogênio, dependendo do tipo de palha. Em geral, percebe-se que houve redução no teor de potássio no milho em todos os tipos de palha, porém em resíduos de aveia preta essa redução foi mais acentuada (Figura 15). Este resultado está bem relacionando com àquele obtido para o K trocável no solo (Figura 4), onde foi observado que menores valores do elemento com a aplicação de nitrogênio em resíduos de aveia preta.

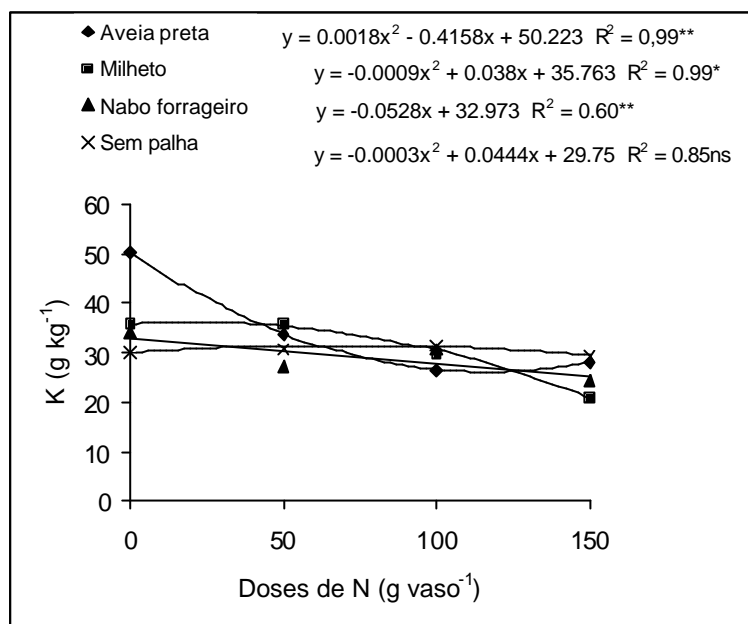


Figura 15. Teores de K na parte aérea do milho.

Provavelmente o aumento da concentração de íons  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo devido à aplicação do adubo nitrogenado causou competição pelos sítios de absorção das raízes de milho, já que o íon  $\text{K}^+$  é absorvido com menor velocidade do que o amônio (Malavolta et al., 1997).

O aumento das doses de nitrogênio, ao contrário do que ocorreu para os teores de potássio, proporcionou elevação nos teores de cálcio na parte aérea do milho (Figura 16), principalmente em resíduos de nabo forrageiro e no tratamento sem palha. Esse resultado é compreendido pela maior concentração de cálcio na solução do solo (Figura 8), que foi aumentada com a aplicação das doses de nitrogênio, principalmente na superfície do solo.

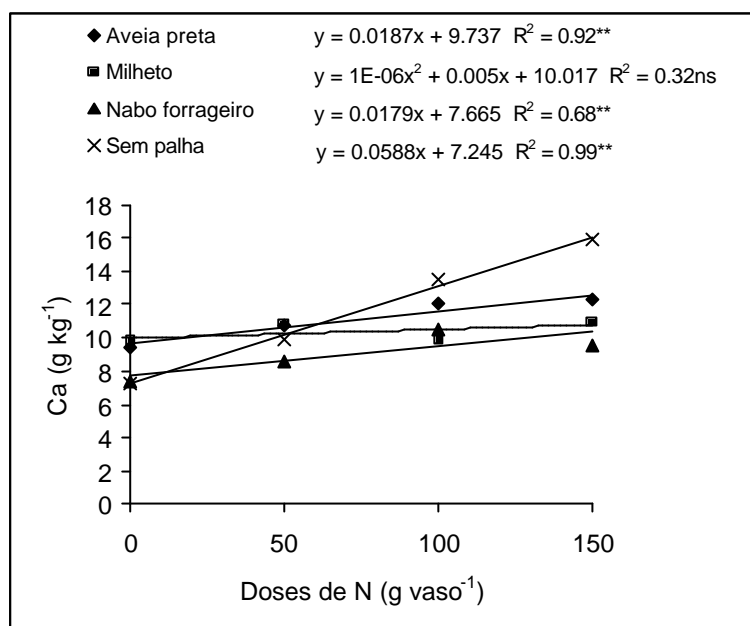


Figura 16. Teor de cálcio na parte aérea das plantas.

Quanto aos teores de magnésio (Quadro 12), houve resposta linear ao aumento das doses de nitrogênio, independentemente dos tipos de palha, o qual também pode ser atribuído a maior concentração na solução do solo obtida na profundidade de 10cm (Figura 9). É interessante observar que em resíduos de nabo forrageiro houve menor teor do elemento na parte aérea do milho, sendo que, em função do maior teor na matéria seca (Quadro 2), esperava-se sua maior disponibilidade, principalmente porque esses resíduos devem ter sido decompostos mais rapidamente que os outros.

Para os teores de enxofre na parte aérea do milho (Quadro 13), houve aumento com a aplicação de nitrogênio até a dose de 85 mg dm<sup>-3</sup>, reduzindo a partir dessa dose. Como a aplicação de nitrogênio aumentou a disponibilidade de nutrientes na solução do solo, a maior absorção de enxofre foi consequência desse efeito. Outra suposição é que geralmente há maior solubilização de fósforo quando se utiliza o amônio como fertilizante

nitrogenado (Malavolta et al., 1997). Assim, a disponibilidade de enxofre seria um efeito indireto do adubo nitrogenado sobre a dissolução do adubo fosfatado.

Quadro 12. Teores de magnésio na parte aérea do milho.

Doses de N (mg dm <sup>-3</sup> )	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	Mg (g kg <sup>-1</sup> )				
0	1,03	1,80	1,08	1,18	1,35 <sup>(1)</sup>
50	1,93	2,17	1,83	1,78	1,85
100	2,58	2,23	2,33	2,47	2,34
150	2,82	2,87	2,40	3,00	2,84
Média	2,09 AB	2,27 A	1,91 B	2,11 AB	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

$$^{(1)} y = 1,35 + 0,0099x \quad r^2 = 0,98^{**}$$

Quadro 13. Teores de enxofre na parte aérea do milho.

Doses de N (mg dm <sup>-3</sup> )	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	S (g kg <sup>-1</sup> )				
0	1,80	1,85	1,78	1,80	1,81 <sup>(1)</sup>
50	1,87	1,92	1,87	1,88	1,86
100	1,87	1,83	1,87	1,87	1,88
150	1,88	1,83	1,83	1,88	1,85
Média	1,84	1,85	1,86	1,86	

$$^{(1)} y = 1,81 + 0,00137x - 0,000008x^2 \quad r^2 = 0,74^{**}$$

Em geral os teores de nutrientes no milho mostraram valores abaixo daqueles considerados como adequados para a planta (Malavolta et al., 1997), atribuindo-se esse resultado ao menor metabolismo da planta devido à condução do experimento no período de inverno.

A produção de matéria seca da parte aérea do milho foi influenciada pela interação dos efeitos de tipos de palha com as doses de nitrogênio (Quadro 9). Em resíduos de aveia preta, houve resposta positiva quanto à produção de matéria seca da parte aérea até a aplicação de 85 mg dm<sup>-3</sup> de N (Figura 17), reduzindo a partir dessa dose. Em

resíduos de milho, nabo forrageiro e no tratamento sem palha, a aplicação de nitrogênio causou redução dessa variável.

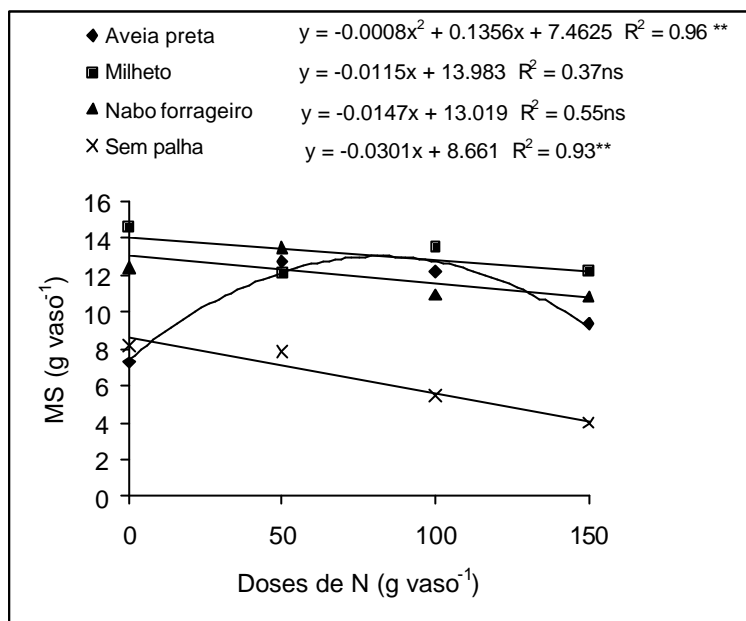


Figura 17. Produção de matéria seca da parte aérea.

Como o aumento das doses de nitrogênio não causou sérias limitações quanto à absorção dos outros nutrientes, pode-se atribuir a redução da produção de matéria seca da parte aérea à menor absorção de potássio pelas plantas de milho. Este resultado concorda com a observação de que as aplicações de doses elevadas de nitrogênio sem um aumento correspondente de potássio podem resultar em relações N:K inadequadas dentro da planta, com conseqüente queda de produção (Büll, 1993).

Exceto no tratamento sem aplicação de nitrogênio, a produção de matéria seca da parte aérea do milho sempre foi menor no tratamento sem palha que nos tratamentos com resíduos.



Quanto ao desenvolvimento das raízes do milho, a maior dose de nitrogênio causou redução na produção de matéria seca total de raízes, exceto quando o milho foi cultivado sobre resíduos de milho (Quadro 14). Observa-se ainda um menor desenvolvimento das raízes do milho devido à aplicação das doses de nitrogênio no tratamento sem resíduos.

Quadro 14. Massa seca total (MST) e porcentagem de raízes nas camadas do solo.

Profundidade	Tipos de resíduos															
	Aveia preta				Milheto				Nabo forrageiro				Sem palha			
	0	50	100	150	0	50	100	150	0	50	100	150	0	50	100	150
(cm)	-----raízes (%)-----															
0-5	9	22	26	29	19	25	27	27	21	22	21	31	18	19	21	41
5-10	13	15	15	15	13	15	17	20	10	18	19	22	20	20	18	16
10-20	21	28	29	26	32	30	29	28	26	29	26	26	32	32	28	32
20-40	57	35	30	30	36	30	28	24	43	31	34	22	30	29	33	11
MST (g vaso <sup>-1</sup> )	2,5	4,0	3,9	2,2	3,5	3,4	3,4	3,5	3,4	3,8	3,9	2,3	3,1	2,3	1,6	0,06

Em geral, mais de 60% do sistema radicular se concentrou na camada de 0-20cm, demonstrando a característica de enraizamento superficial da planta de milho (Fornasieri Filho, 1992). Foi observado ainda que, exceto na palha de milho, geralmente houve redução da matéria seca total das raízes na maior dose de nitrogênio, inferindo-se que o desenvolvimento radicular, nesses casos, foi prejudicado pela alta concentração de sais na solução do solo.

## 6.2. Segundo experimento

### 6.2.1. Alterações no pH e na distribuição de bases nas camadas de solo em função dos tipos de resíduos vegetais e da aplicação de calcário na superfície

Os resultados da análise de variância mostraram efeito da interação dos resíduos vegetais com as doses de calcário aplicadas na superfície sobre os teores de cálcio (exceto na profundidade de 5-10cm), de magnésio (exceto na profundidade de 20-40cm), e no pH em CaCl<sub>2</sub> (Quadro 15).

Quadro 15. Resumo da análise de variância dos valores de K, Ca e Mg nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm de solo, em função dos tipos de palha e da calagem superficial.

Variáveis	Causas de variação			C.V. (%)
	Palha (P)	Doses de calcário (C)	PxC	
-----Solo (0-5cm)-----				
PH	73.3**	944**	44**	2.1
Ca	8.2**	461**	5.50**	13.6
Mg	7.6**	206**	2.74**	15.8
K	11.3**	44**	0.19ns	20.7
-----Solo (5-10cm)-----				
PH	7.5**	9.4**	4.8**	3.3
Ca	20.1**	23.8**	1.0ns	16.2
Mg	3.7**		7.0**	25.2
K	1.6ns	2.3*	1.2ns	35.8
-----Solo (10-20cm)-----				
PH	2.20ns	3.1**	2.8**	3.0
Ca	40.4**	1.9ns	13.4**	8.9
Mg	6.2**	5.1**	21.0**	11.0
K	61.9**	3.9**	4.5**	15.6
-----Solo (20-40cm)-----				
pH	17**	25.9**	23.5**	2.7
Ca	33**	15.2**	10.7**	9.4
Mg	15**	0.23ns	1.74ns	17.9
K	136**	19.3**	4.14**	11.2

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo Teste F.

Como esperado, as doses de calcário elevaram o pH na superfície (0-5cm), porém, em resíduos de nabo forrageiro e no tratamento sem palha, o efeito das doses de calcário ocorreu também na profundidade de 5-10cm (Figura 18). A profundidade de correção proporcionada pela calagem superficial tem sido divergente na literatura, visto que Pöttker & Ben (1998) observaram correção da acidez e aumento de pH somente na camada de 0-5cm,

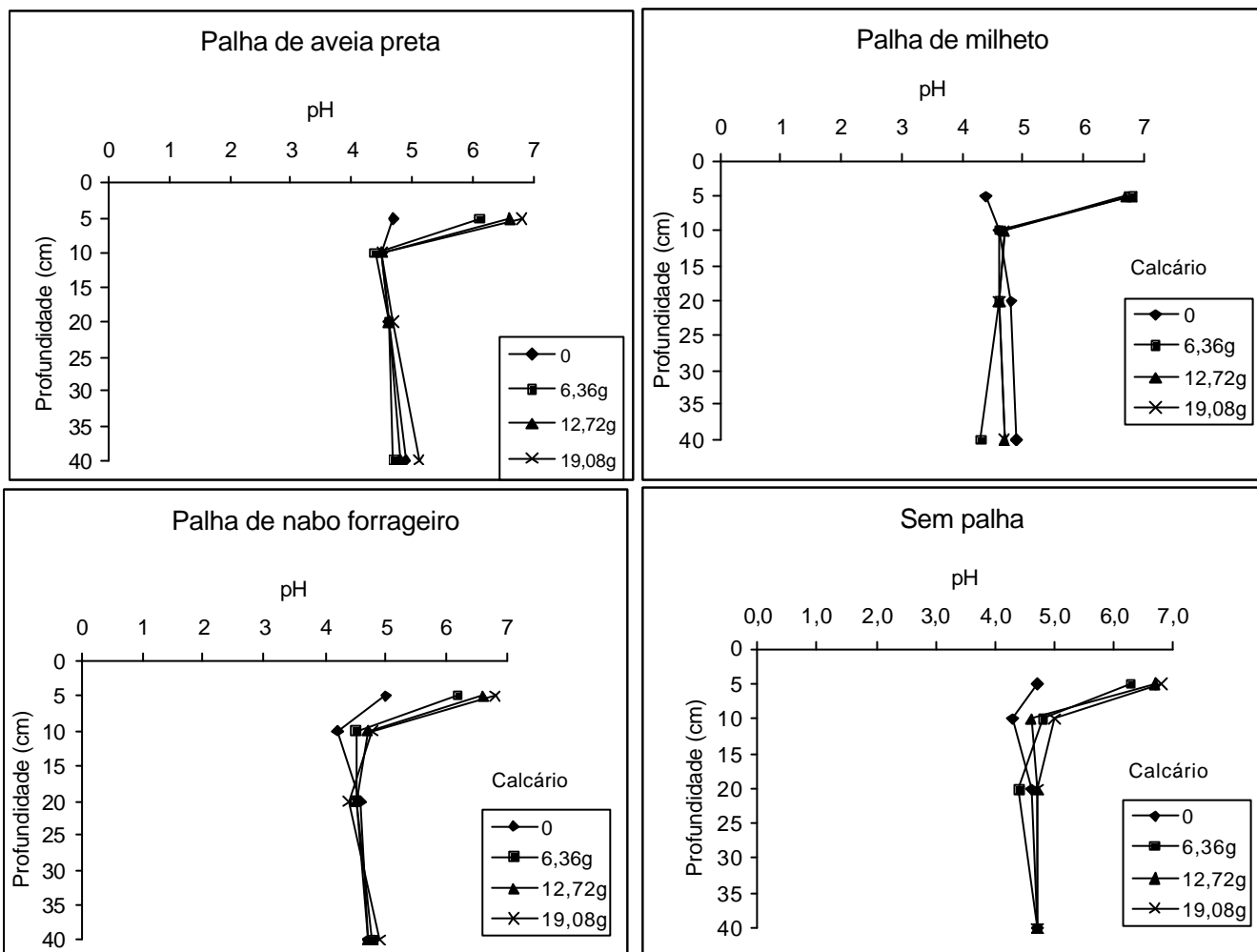


Figura 18. Valores de pH em diferentes camadas de solo em função da aplicação de calcário sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

enquanto que Oliveira e Pavan (1994) e Caires et al. (1999) observaram aumento do pH até 40cm de profundidade.

No presente experimento, a variação na profundidade de correção da acidez parece estar mais relacionada com o grau de contato entre o calcário e o solo do que com a presença de resíduos vegetais na superfície do solo. Isso porque os resíduos de nabo forrageiro se decompõem mais rapidamente que os de aveia preta e milheto, permitindo maior contato entre o calcário e o solo, criando uma situação mais próxima da existente no tratamento sem palha. Supondo que nessa condição o adubo nitrogenado aplicado na superfície do solo agiria mais facilmente com o calcário, seria possível a formação de par iônico entre os produtos de dissociação do calcário e do fertilizante nitrogenado.

Para justificar a idéia acima, na Figura 19, observa-se que o efeito das doses de calcário sobre os teores de cálcio na camada de 5-10cm acompanha os resultados obtidos para o pH. Assim, é possível que tenha ocorrido movimentação de cálcio formando par iônico com o nitrato liberado pelo adubo nitrogenado, concordando com vários autores que observaram caminhamento de cálcio com a aplicação de adubo nitrogenado (Pearson et al., 1962; Blevins et al., 1977; Helyar, 1991; Caires et al., 1998; e Amaral et al., 1998). Porém esse resultado diverge daqueles obtidos no primeiro experimento, mostrando que pode haver diferença entre as doses de calcário e de nitrogênio sobre o caminhamento do cálcio no solo.

Quanto ao magnésio trocável no solo (Figura 20), as doses de calcário proporcionaram aumento dos teores nas camadas de 0-5 e 5-10cm, exceto quando o calcário foi aplicado sobre resíduos de aveia preta, portanto não mostrando o mesmo padrão observado para o pH e o cálcio. No entanto, ressalta-se que os resíduos de aveia preta apresentaram menores teores de magnésio na matéria seca que os resíduos de milheto e nabo forrageiro, podendo-se inferir que

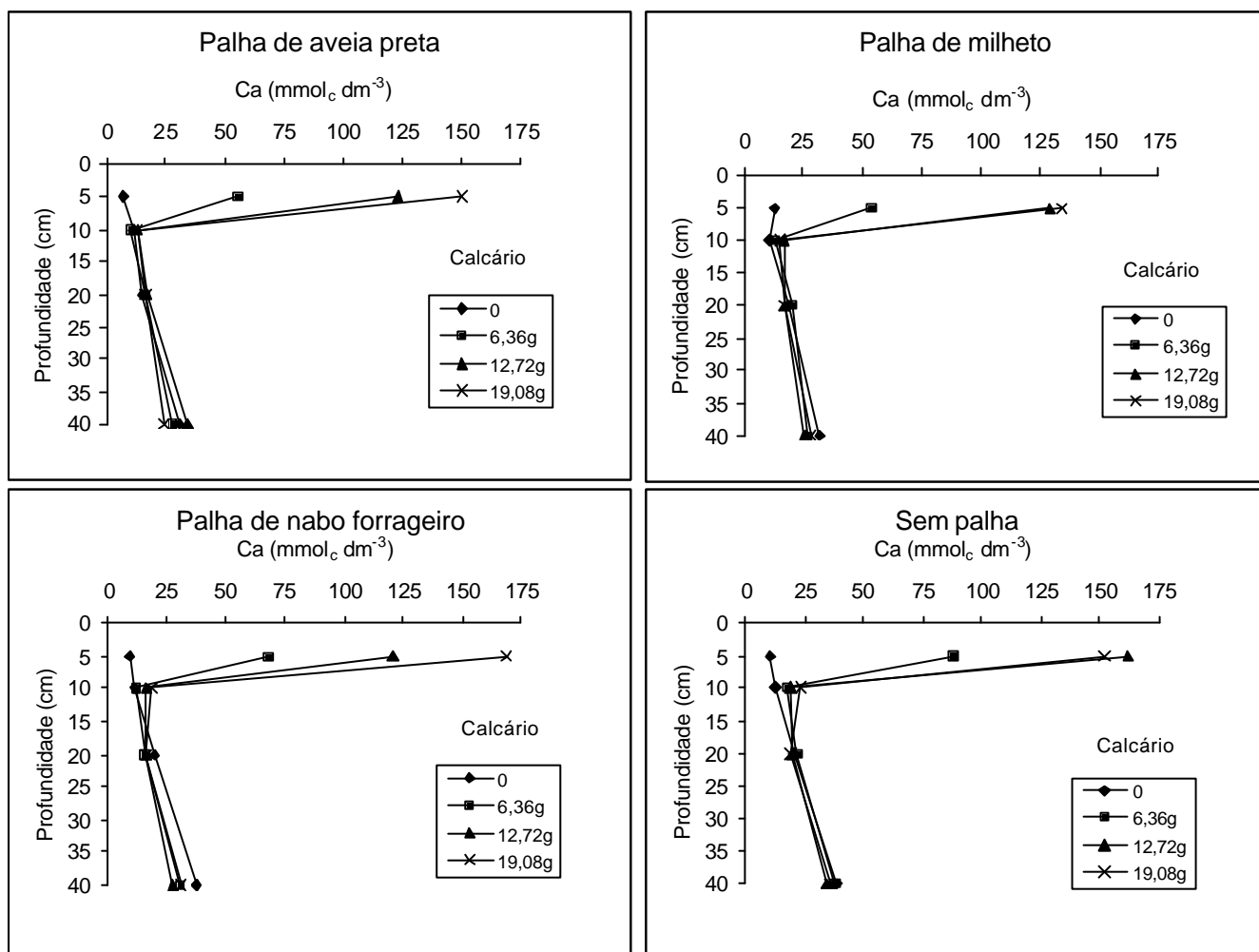


Figura 19. Teores de Ca em diferentes camadas de solo em função da aplicação de calcário sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

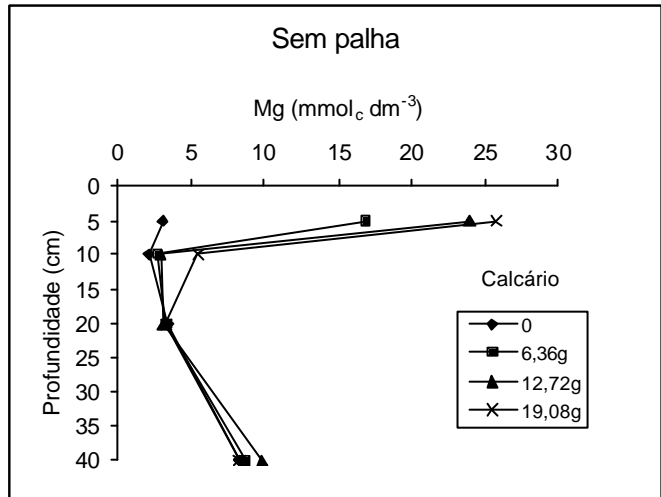
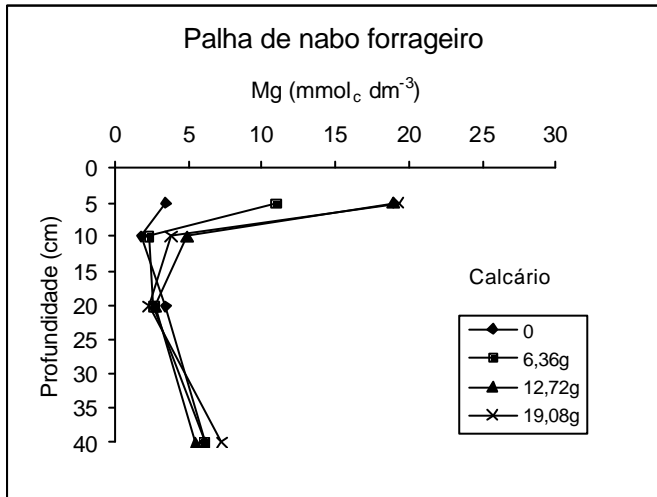
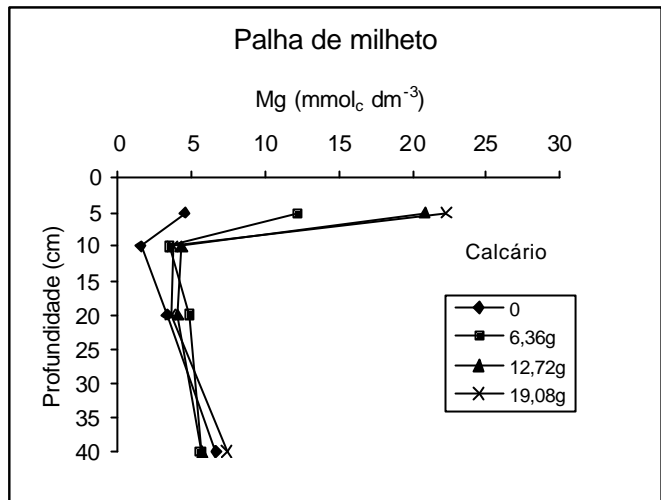
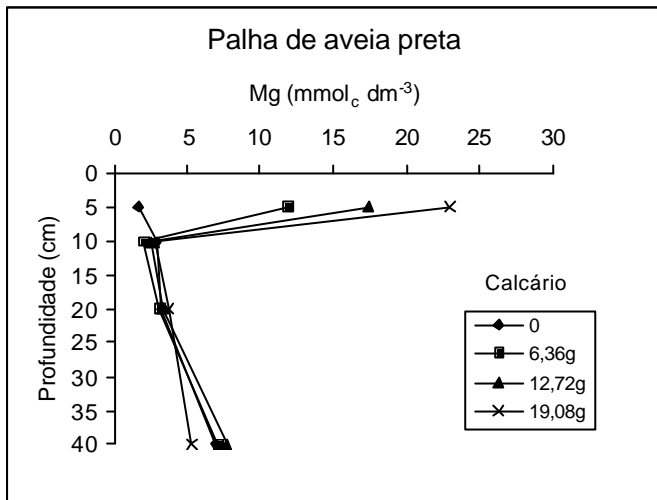


Figura 20. Teores de Mg em diferentes camadas de solo em função da aplicação de calcário sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

a presença de magnésio em resíduos de milho, além do efeito do calcário, é também proveniente de sua decomposição.

O aumento das doses de calcário proporcionou redução nos teores de potássio na camada superficial do solo (Figura 21), discordando de alguns trabalhos onde observaram-se redução da lixiviação de potássio com a calagem (Amaral et al., 1998). No entanto este resultado concorda com Caires et al. (2001), que observou redução do K trocável no solo em consequência da calagem. Esse efeito é verificado principalmente quando ocorre uma “supercalagem”, ou seja, ocorre aumento de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que deslocam o  $\text{K}^+$  dos sítios de troca da CTC do solo, elevando sua concentração na solução e, conseqüentemente aumentando sua lixiviação para as camadas mais profundas do solo (Lantmann & Palhano, 1983). Por outro lado, neste experimento, o esgotamento de potássio ocorrido na camada superficial pode estar relacionado ao aumento da disponibilidade de potássio na solução do solo e sua conseqüente absorção pela planta.

No Quadro 16 são apresentados os resultados da análise de variância para os teores de nitrogênio mineral nas diferentes camadas do solo.

A calagem, independentemente da dose utilizada, causou a redução no teor de amônio em todas as camadas do solo, embora com menor intensidade na camada de 5-10cm (Figura 22). Nas camadas superficiais, esse resultado pode indicar maior atividade dos microorganismos nitrificadores devido ao aumento do pH e da disponibilidade de nutrientes (Marschner, 1995). Por outro lado, a redução ocorrida nas maiores profundidades pode ser devido aos efeitos na superfície do solo. Houve tendência de aumento de  $\text{NH}_4^+$  em profundidade, principalmente a 20-40cm.

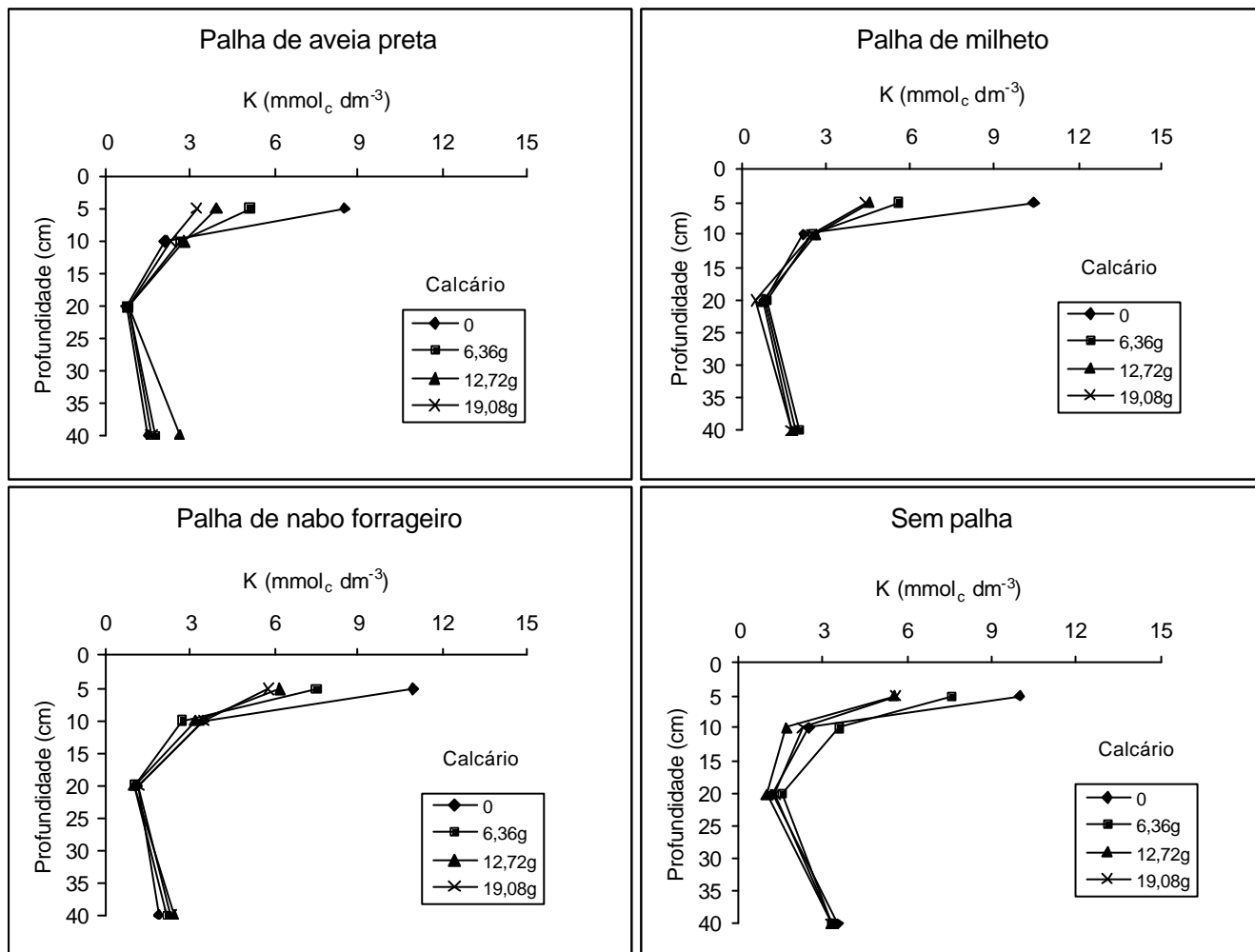


Figura 21. Teores de K em diferentes camadas de solo em função da aplicação de calcário sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.



Quanto ao nitrato (Figura 23), não houve um padrão de resposta às doses de calcário. No entanto, ressalta-se que, devido essa forma de nitrogênio ser a preferencialmente absorvida pelas plantas (Malavolta et al., 1997), é possível existir grande variação em seus teores no solo.

Quadro 16. Resumo da análise de variância dos valores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de solo, em razão de tipos de palha e de doses de calcário aplicado superficialmente.

Variáveis	Causas de variação			C.V. (%)
	Palha (P)	Dose de Calcário (C)	PxC	
-----Solo (0-5cm)-----				
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	9.07**	37.14**	2.78**	10.39
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.37 ns	0.76 ns	1.54 ns	15.40
-----Solo (5-10cm)-----				
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.70 ns	0.77 ns	0.50 ns	11.78
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.81 ns	4.20*	1.11 ns	11.07
-----Solo (10-20cm)-----				
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	24.96**	4.73**	1.01 ns	10.95
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.97*	1.32 ns	1.54 ns	14.06
-----Solo (20-40cm)-----				
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	16.58**	3.49*	0.52 ns	12.16
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8.71**	0.31 ns	0.50 ns	19.48

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 1 e 5% respectivamente, pelo Teste F.

É interessante destacar que no tratamento sem palha houve maior lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , independentemente da dose de calcário aplicada. Esse resultado é de difícil explicação, pois discorda dos comumente encontrados na literatura, uma vez que tanto a calagem (Dynea & Camargo, 1999) como a presença de resíduos vegetais na superfície (Hoyt & Turner, 1975) proporcionaram aumento da lixiviação de nitrato no solo.

Por outro lado, no atual experimento sugere-se que tenha ocorrido maior retenção do nitrato na superfície dos resíduos vegetais, impedindo seu movimento para as camadas mais profundas. É possível também que a presença da palha tenha retardado a

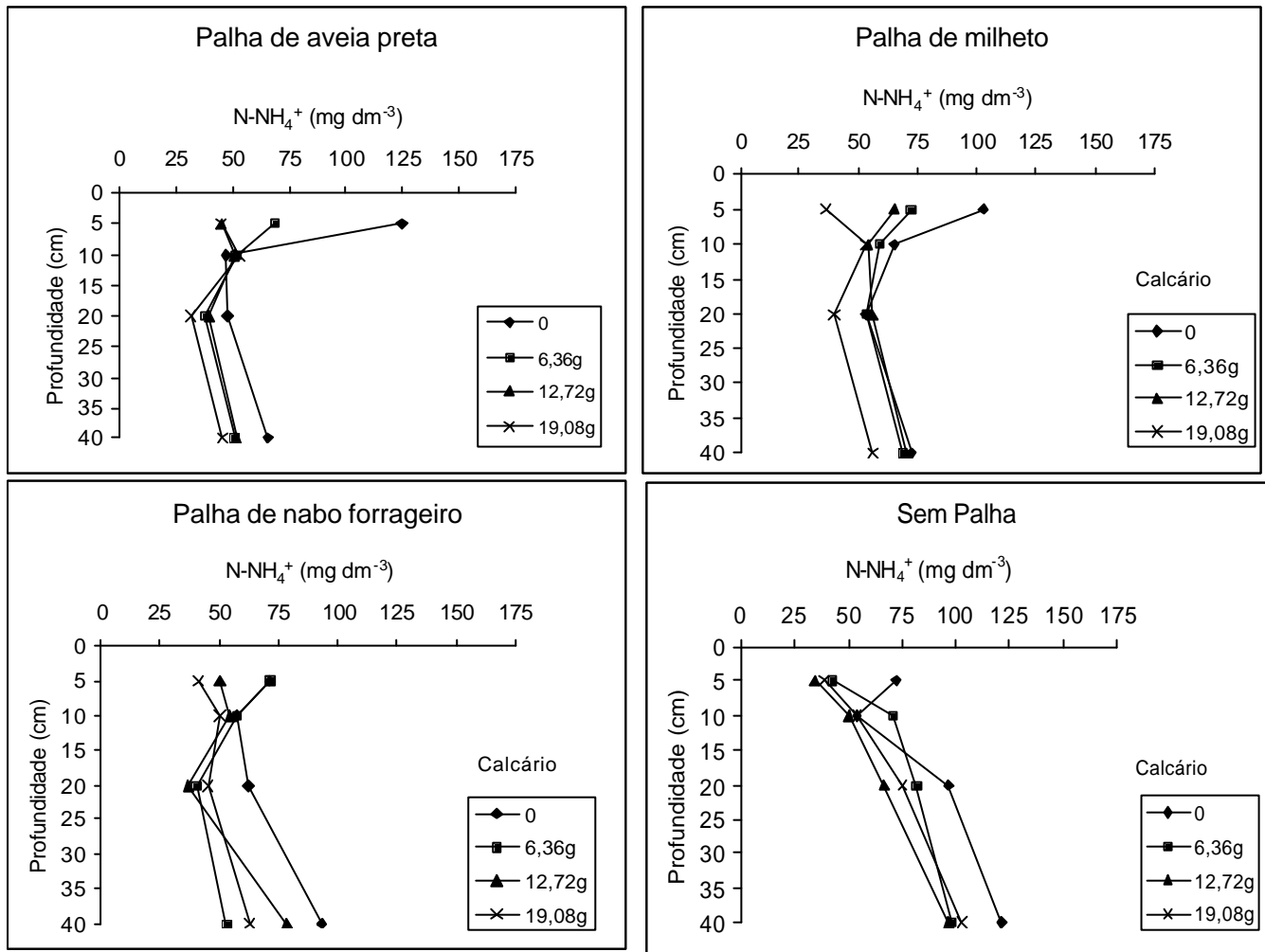


Figura 22. Teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em diferentes camadas de solo em função da aplicação de nitrogênio sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

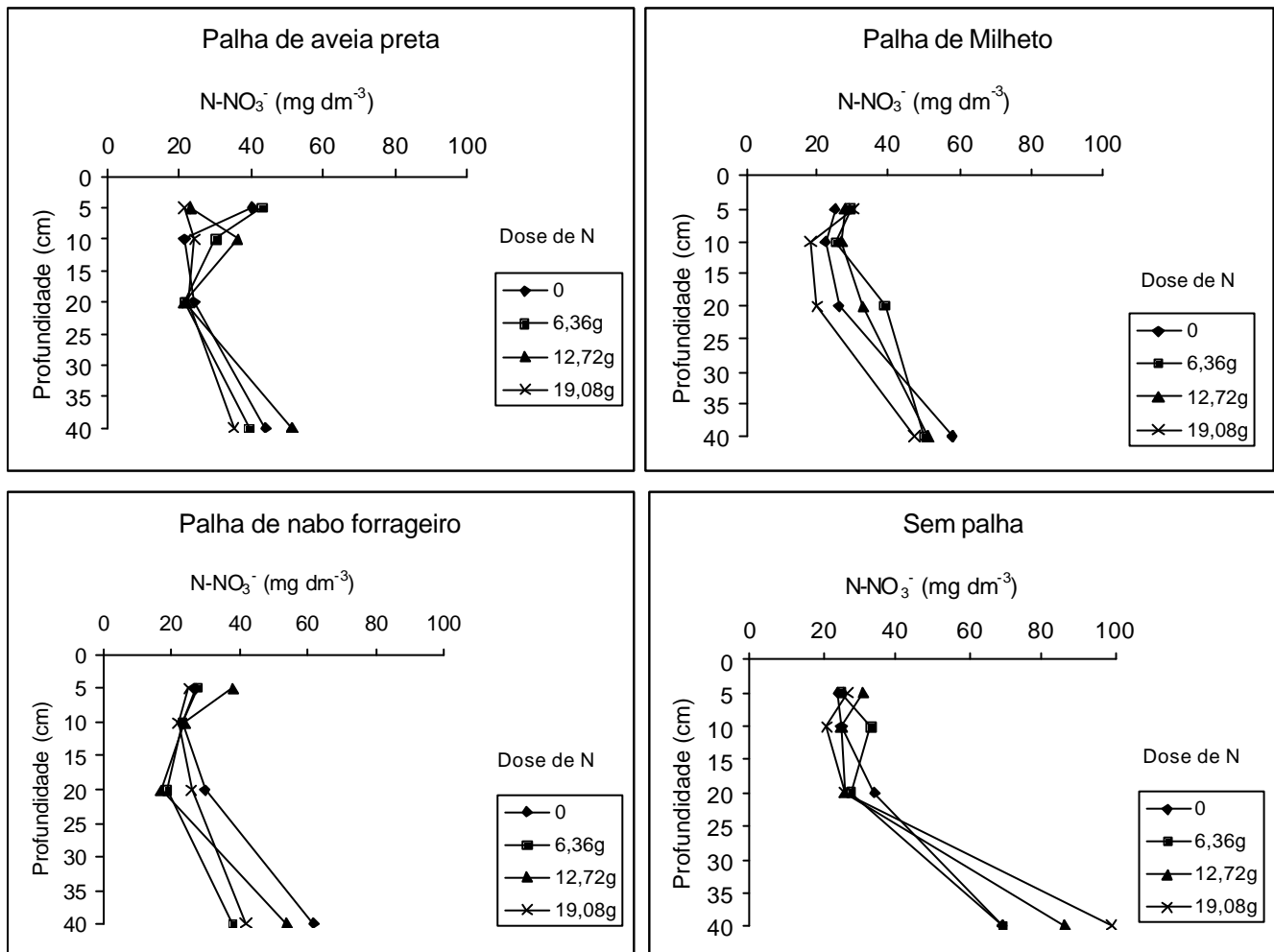


Figura 23. Teores de  $N-NO_3^-$  em diferentes camadas de solo em função da aplicação de nitrogênio sobre palha de aveia preta, milho, nabo forrageiro e sem palha.

nitrificação do  $\text{N-NH}_4^+$  devido à imobilização do nitrogênio pelos microorganismos do solo (Fries, 1997).

### **6.2.2. Alterações nas características químicas da solução do solo em função dos tipos de resíduos vegetais e da aplicação de calcário na superfície**

Na Figura 24 são apresentados os valores médios de pH da solução do solo obtida aos 16 dias (Figura 24A) e 32 dias (Figura 24B) após a emergência das plantas de milho nas profundidades de 10 e 30cm.

Observa-se que, exceto para o tratamento sem palha na profundidade de 10cm, onde o pH da solução obtida na primeira coleta aumentou com a elevação das doses de calcário, em geral os valores de pH não refletiram a calagem, pois era esperada elevação do pH à medida em que se aumentassem as doses de calcário.

Na primeira extração, exceto na ausência de aplicação do calcário, os valores médios de pH ficaram abaixo do pH da fase sólida do solo (Figura 18), ocorrendo o contrário em profundidade (Figura 24A). Na segunda extração, são observados maiores valores de pH na superfície em relação à primeira coleta (Figura 24B).

Os valores de pH obtidos neste experimento parecem não se relacionarem com a calagem e nem com os tipos de resíduos presentes na superfície do solo. Por outro lado, tais resultados podem ser atribuídos à absorção de nitrato advindo do adubo nitrogenado pelas plantas de milho, pois várias são as observações na literatura que ressaltam a ocorrência de redução da acidez do solo pela absorção de nitratos, denominada “absorção alcalina” (Marschner, 1995; Raij et al., 1988; e Malavolta et al., 1997).

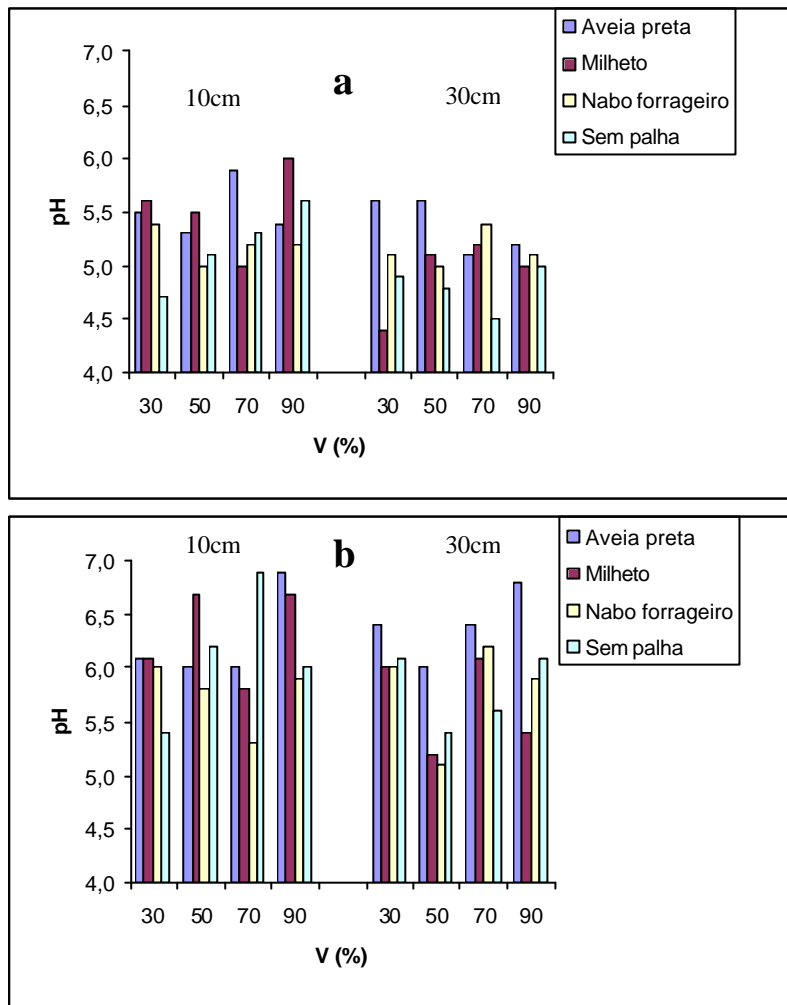


Figura 24. Valores de pH das soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade

As concentrações de cálcio (Figura 25), magnésio (Figura 26) e potássio (Figura 27) na solução do solo tiveram menores valores na profundidade de 10cm do que na profundidade de 30cm, provavelmente refletindo a maior absorção de nutrientes na superfície do solo pela planta de milho (Fornasier Filho, 1992).

Assim como observado para o pH, os teores de cálcio, magnésio e potássio tiveram pouca relação com a calagem, sendo que se observa altas concentrações desses elementos mesmo quando não se aplicou calcário em superfície.

A comparação entre os teores trocáveis desses elementos no solo (Figuras 19, 20 e 21) e as respectivas concentrações na solução do solo mostra que, ao contrário do que ocorreu para a fase sólida, na camada mais profunda houve maior concentração de cálcio, magnésio e potássio na solução do solo.

O caminhamento de bases na solução do solo em profundidade poderia ser atribuído ao movimento de nitrato no solo, porém, nas concentrações dos elementos e teores de pH obtidos na solução do solo em ambas extrações e profundidades, a probabilidade de formação de pares iônicos entre o ânion nitrato e os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  são inexistentes (Quadros 17, 18, 19 e 20), concordando com Chaves et al. (1991). Além disso, observa-se que as concentrações de nitrato na solução do solo é relativamente baixa (Figura 29), considerando que o amônio (Figura 28) está presente em concentrações bem mais altas, confirmando a baixa atividade dos microorganismos nitrificadores destacada na discussão para os teores de nitrogênio mineral na fase sólida do solo (Figuras 22 e 23).

Por outro lado, as concentrações de enxofre na solução do solo (Figura 30) indica que, possivelmente esses ânions tenham sido responsáveis pelo movimento de

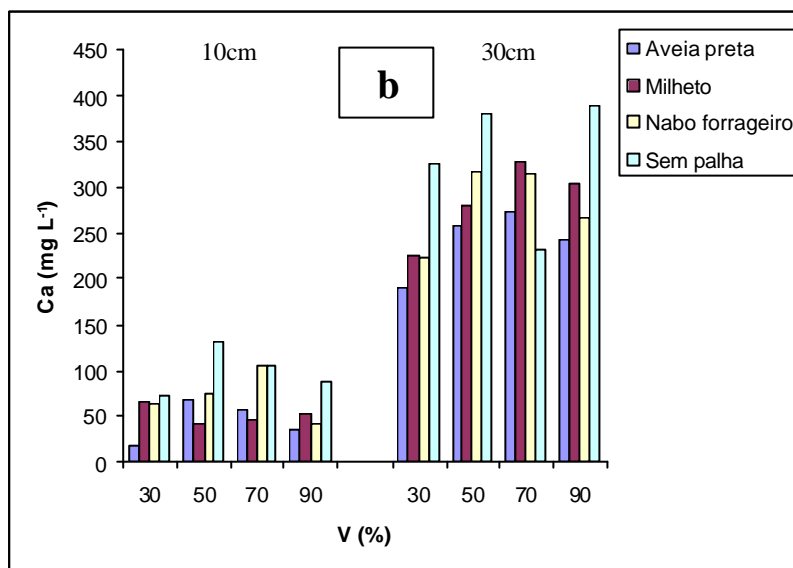
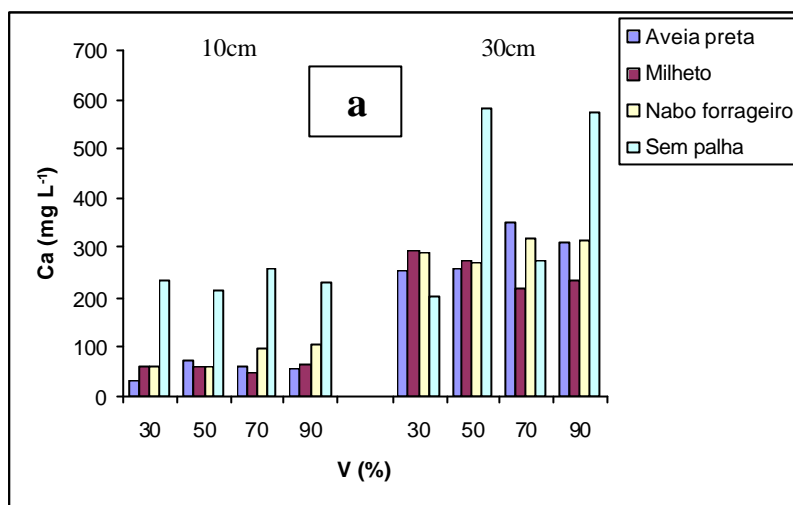


Figura 25. Concentração de cálcio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.

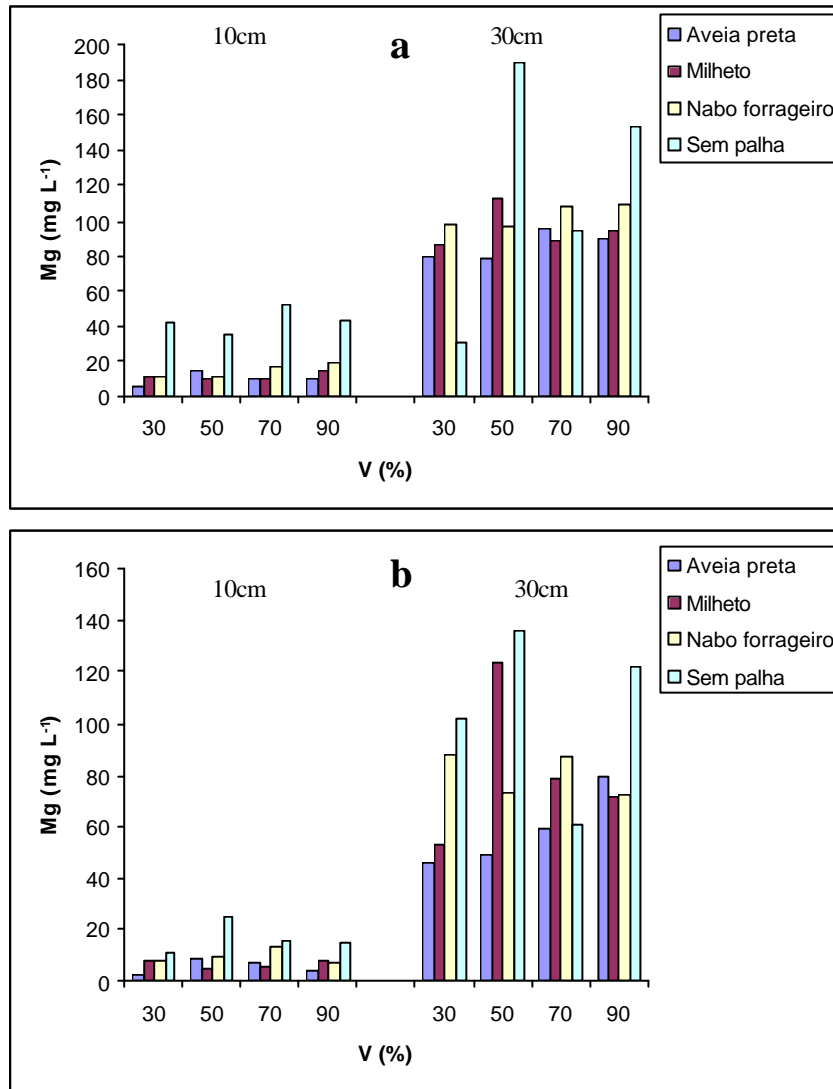


Figura 26. Concentração de magnésio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.



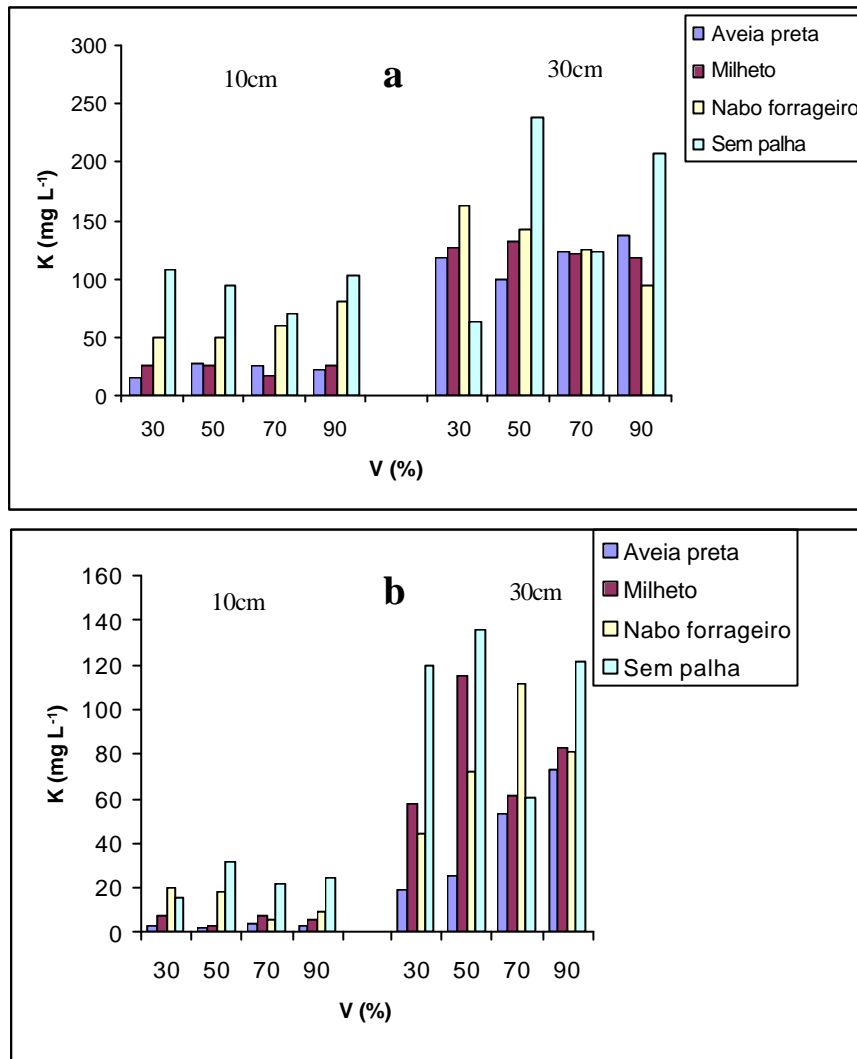


Figura 27. Concentração de potássio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.

QUADRO 17. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 10 cm de profundidade aos 16 dias após a emergência das plantas de milho.

Palha	V%	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
-----																	
%																	
-----																	
Aveia	30	93.18	-	6.81	-	94.51	-	5.49	-	99.63	0.37	100	0.06	99.42	0.43	0.05	0.04
Preta	50	91.72	-	8.28	-	93.31	-	6.69	-	99.50	0.50	100	0.10	99.45	0.30	0.11	0.03
	70	92.40	-	7.59	-	93.87	-	6.12	-	99.55	0.45	100	-	99.79	0.19	-	-
	90	93.41	-	6.59	-	94.69	-	5.30	-	99.61	0.39	100	0.10	99.32	0.45	0.08	0.05
Milheto	30	91.9	-	8.80	-	92.87	-	7.12	-	99.47	0.53	100	0.03	99.68	0.24	0.03	0.02
	50	92.51	-	7.48	-	93.96	-	6.04	-	99.56	0.44	100	0.05	99.58	0.31	0.04	0.03
	70	94.62	-	5.38	-	95.68	-	4.32	-	99.70	0.30	100	0.65	98.02	0.75	0.45	0.13
	90	92.16	-	7.83	-	93.67	-	6.32	-	99.52	0.48	100	-	99.83	0.16	-	-
Nabo	30	91.54	-	8.45	-	93.16	-	6.83	-	99.48	0.52	100	0.09	99.41	0.37	0.09	0.04
Forageiro	50	92.83	-	7.17	-	94.22	-	5.78	-	99.57	0.43	100	0.89	97.21	0.96	0.82	0.12
	70	91.26	-	8.74	-	92.93	-	7.07	-	99.44	0.56	100	0.18	99.23	0.34	0.20	0.05
	90	91.75	-	8.24	-	93.34	-	6.6	-	99.46	0.54	100	0.27	98.91	0.49	0.27	0.07
Sem palha	30	92.78	-	7.22	-	94.18	-	5.82	-	99.46	0.54	100	5.18	88.91	1.69	3.97	0.25
	50	92.94	-	7.06	-	94.31	-	5.69	-	99.49	0.51	100	0.23	99.31	0.26	0.17	0.03
	70	93.09	-	6.90	-	94.43	-	5.56	-	99.49	0.51	100	0.21	99.18	0.44	0.15	0.03
	90	93.94	-	6.05	-	95.13	-	4.87	-	99.57	0.43	100	0.03	99.75	0.19	0.02	0.01

QUADRO 18. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 30 cm de profundidade aos 16 dias após a emergência das plantas de milho.

Palha	V%	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
----- % -----																	
Aveia	30	91.69	-	8.31	-	93.28	-	6.72	-	99.35	0.65	100	0.13	99.37	0.34	0.11	0.03
Preta	50	89.71	-	10.28	-	91.65	-	8.35	-	99.18	0.82	100	0.89	97.36	0.66	0.99	0.10
	70	90.62	-	9.37	-	92.41	-	7.59	-	99.26	0.74	100	0.28	99.02	0.38	0.27	0.05
	90	91.05	-	8.94	-	92.76	-	7.24	-	99.26	0.74	100	0.32	98.93	0.42	0.29	0.05
Milheto	30	91.21	-	8.78	-	92.98	-	7.11	-	99.31	0.69	100	12.29	72.79	3.56	10.79	0.56
	50	92.61	-	7.39	-	94.04	-	5.96	-	99.41	0.59	100	0.71	98.00	0.68	0.51	0.09
	70	91.02	-	8.97	-	92.74	-	7.26	-	99.31	0.69	100	0.18	99.25	0.36	0.17	0.05
	90	91.84	-	8.15	-	93.41	-	6.59	-	99.36	0.64	100	0.01	99.89	0.08	0.01	-
Nabo	30	93.09	-	6.90	-	94.43	-	5.56	-	99.45	0.55	100	0.74	97.91	0.71	0.50	0.14
Forrageiro	50	90.96	0.88	8.26	-	93.14	-	6.72	-	99.33	0.67	100	1.23	64.72	0.87	1.03	32.15
	70	94.92	-	5.07	-	95.93	-	4.07	-	99.60	0.40	100	0.11	99.50	0.30	0.05	0.04
	90	91.12	-	8.88	-	92.82	-	7.18	-	99.30	0.70	100	-	99.97	-	-	-
Sem palha	30	96.82	-	3.18	-	97.46	-	2.54	-	99.79	0.21	100	1.89	95.99	1.18	0.62	0.31
	50	92.98	-	7.02	-	94.34	-	5.66	-	99.35	0.65	100	3.75	92.69	1.14	2.19	0.23
	70	94.57	-	5.43	-	95.64	-	4.36	-	99.58	0.42	100	13.08	77.51	2.27	6.82	0.33
	90	95.32	-	4.68	-	96.25	-	3.75	-	99.57	0.43	100	0.61	98.74	0.34	0.24	0.06

QUADRO 19. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 10 cm de profundidade aos 16 dias após a emergência das plantas de milho.

Palha	V%	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
		-----%-----															
Aveia Preta	30	98.31	0.01	1.67	-	98.65	0.01	1.33	0.01	99.92	0.08	100	-	99.94	0.06	-	-
	50	96.19	0.01	3.80	-	96.95	-	3.04	-	99.79	0.21	100	-	99.93	0.07	-	-
	70	96.37	0.01	3.61	-	97.10	-	2.89	-	99.81	0.19	100	-	99.88	0.12	-	-
	90	97.54	0.05	2.38	0.03	98.01	0.04	1.90	0.05	99.88	0.12	100	-	99.78	0.22	-	-
Milheto	30	95.80	0.01	4.18	-	96.63	-	3.35	-	99.77	0.23	100	-	99.93	0.07	-	-
	50	96.28	0.03	3.68	-	97.01	0.02	2.94	0.02	99.80	0.20	100	-	99.91	0.09	-	-
	70	97.21	0.02	2.71	0.07	97.78	-	2.17	0.05	99.86	0.14	100	-	99.93	0.05	-	0.02
	90	96.61	-	3.34	0.02	97.27	0.02	2.67	0.03	99.82	0.18	100	-	99.90	0.10	-	-
Nabo	30	94.95	0.03	5.02	0.02	95.95	-	4.03	0.02	99.71	0.29	100	-	99.96	0.04	-	-
Forrageiro	50	95.50	-	4.47	0.03	96.40	-	3.58	0.02	99.73	0.27	100	-	99.95	0.04	-	-
	70	94.28	-	5.71	-	95.40	-	4.59	-	99.65	0.35	100	0.06	99.69	0.18	0.04	0.02
	90	96.94	-	3.05	0.01	97.55	-	2.44	-	99.84	0.16	100	-	99.91	0.08	-	-
Sem palha	30	96.70	-	3.29	-	97.37	-	2.63	-	99.81	0.19	100	0.11	99.33	0.47	0.04	0.04
	50	94.41	-	5.58	0.01	95.50	-	4.48	0.01	99.65	0.35	100	-	99.94	0.05	-	-
	70	95.05	0.04	4.89	0.02	96.01	0.03	3.92	0.03	99.70	0.30	100	-	99.70	0.30	-	-
	90	94.25	-	5.69	0.05	95.38	-	4.57	0.04	99.66	0.34	100	-	99.89	0.10	-	0.02

QUADRO 20. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 30 cm de profundidade aos 32 dias após a emergência das plantas de milho.

Palha	V%	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
-----%-----																	
Aveia	30	92.58	-	7.40	-	94.01	-	5.97	-	99.47	0.53	100	-	99.91	0.09	-	-
Preta	50	91.40	-	8.59	-	93.04	-	6.95	-	99.37	0.63	100	-	99.91	0.09	-	-
	70	92.21	0.01	7.78	-	93.71	-	6.28	-	99.41	0.59	100	-	99.96	0.04	-	-
	90	91.05	0.03	8.92	-	92.75	0.02	7.22	-	99.31	0.69	100	-	99.94	0.06	-	-
	Milheto	30	90.41	-	9.59	-	92.23	-	7.77	-	99.27	0.73	100	-	99.74	0.25	-
FORAGEIRO	50	93.13	-	6.87	-	94.46	-	5.53	-	99.42	0.58	100	0.10	99.70	0.12	0.07	-
	70	90.29	-	9.71	-	92.13	-	7.87	-	99.23	0.77	100	-	99.97	0.02	-	-
	90	91.88	-	8.12	-	93.44	-	6.56	-	99.36	0.64	100	-	99.96	0.02	-	-
	Nabo	30	95.67	0.01	4.31	-	96.53	-	3.46	-	99.62	0.32	100	-	99.98	0.02	-
FORAGEIRO	50	90.19	-	9.81	-	92.05	-	7.95	-	99.20	0.80	100	0.21	99.35	0.21	0.22	0.01
	70	90.67	-	9.32	-	92.44	-	7.55	-	99.24	0.76	100	-	99.98	0.02	-	-
	90	93.20	-	6.79	-	94.52	-	5.47	-	99.49	0.51	100	-	99.97	0.02	-	-
SEM PALHA	30	91.74	-	8.25	-	93.33	-	6.67	-	99.34	0.66	100	-	99.95	0.05	-	-
	50	93.87	-	6.12	-	95.07	-	4.93	-	99.48	0.52	100	0.10	99.59	0.25	0.06	-
	70	92.36	-	7.64	-	93.84	-	6.16	-	99.43	0.57	100	0.02	99.87	0.10	0.01	-
	90	93.01	-	6.98	-	94.37	-	5.63	-	99.41	0.59	100	-	99.94	0.05	-	-

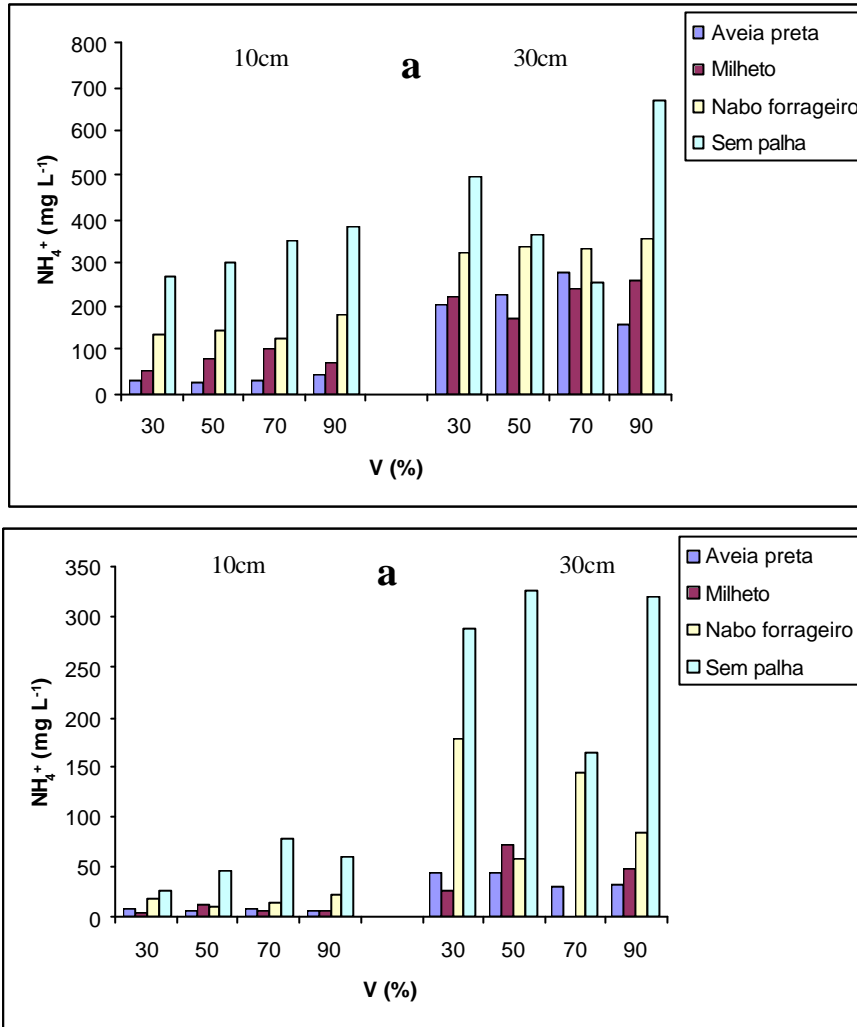


Figura 28. Concentração de amônio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.

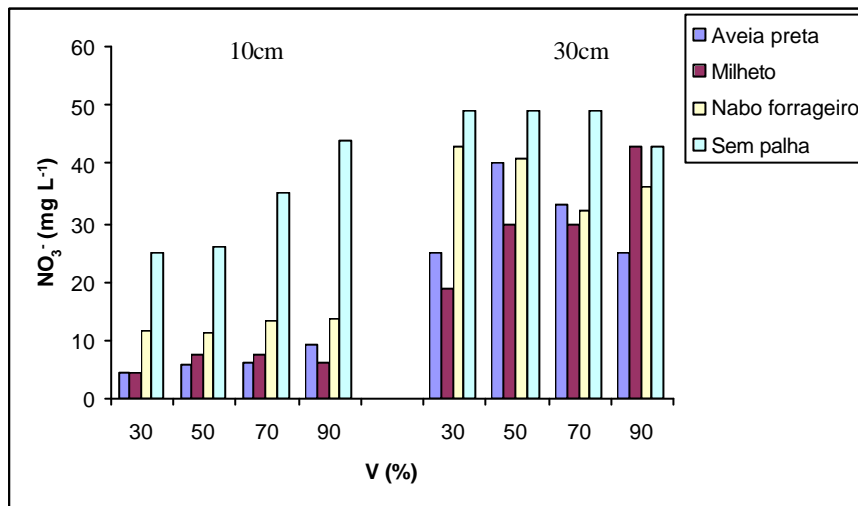
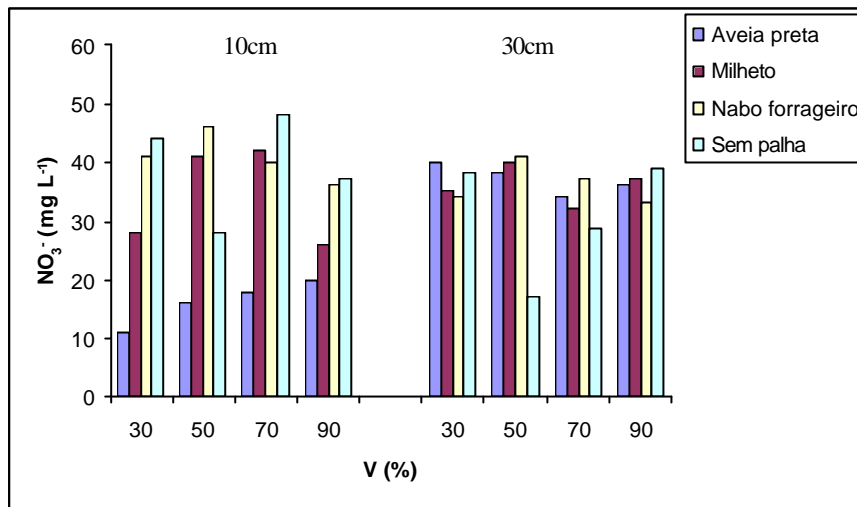


Figura 29. Concentração de nitrato nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.

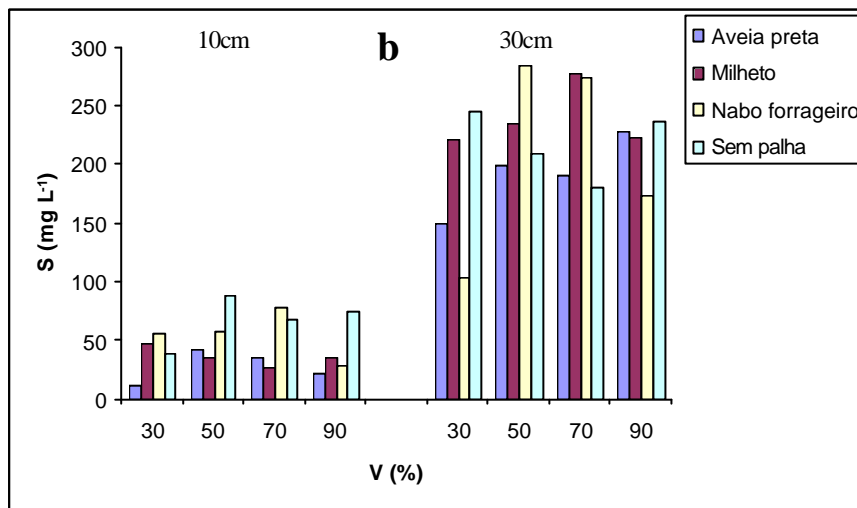
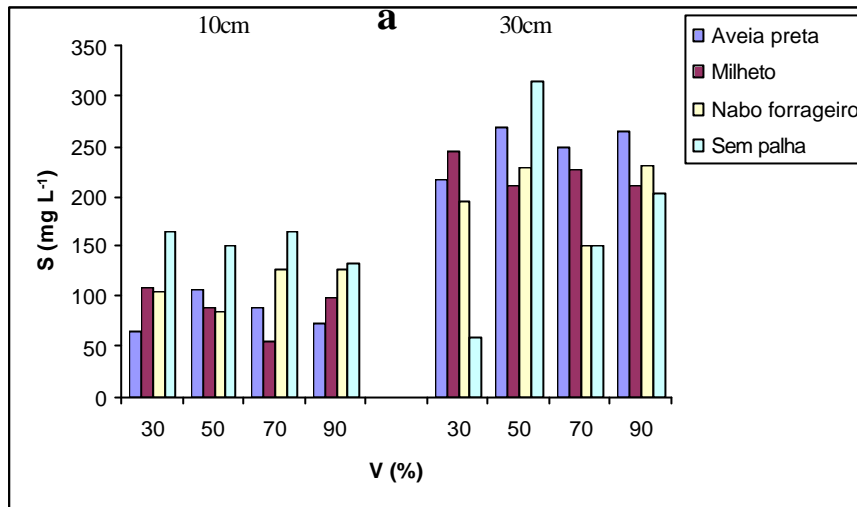


Figura 30. Concentração de enxofre nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.



bases no perfil do solo nas formas de  $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$ , como relatado por diversos autores (Pavan et al., 1984; Caires et al., 1998; Caires et al., 2001).

No primeiro experimento supôs-se que uma parte da complexação do cálcio na solução do solo em profundidade fosse devido à formação de par iônico entre o cálcio e ânion  $\text{HCO}_3^-$ , porém, neste experimento, embora as condições de pH permitissem, parece que a participação desse íon não deve ter sido expressiva, pois mesmo no tratamento sem aplicação de calcário foi observada a movimentação de bases em profundidade.

Quanto ao alumínio (Figura 31), na primeira extração de solução do solo, no tratamento sem resíduos, as doses mais elevadas de calcário em superfície reduziram a concentração do elemento na profundidade de 10cm, e proporcionaram respectivo aumento na profundidade de 30cm. Este resultado é um indício de precipitação de alumínio pela ação da calagem. Por outro lado, na solução do solo obtida na segunda extração este efeito, embora em menor proporção, foi observado apenas em resíduos de aveia preta.

Em geral, não se observou um efeito padronizado da calagem superficial sobre os teores de alumínio, notando-se divergências entre os teores encontrados na solução e as doses de calcário aplicadas em superfície. Além disso, observa-se que em torno de 99% do alumínio foi encontrado na forma precipitada (Quadros 17, 18, 19 e 20), mesmo sem a aplicação do calcário, mostrando a importância da verificação da atividade do íon na solução do solo (Fuoss, 1958; Wilkins & Eigen, 1965; citados por Chaves et al., 1991).

Ao contrário dos resultados obtidos por Costa (2000), no presente experimento os teores dos elementos trocáveis no solo não permitiram uma boa estimativa das alterações ocorridas na solução do solo. Os valores obtidos neste experimento estão bem próximos daqueles encontrados por Wong (1998), mas são bem maiores que aqueles

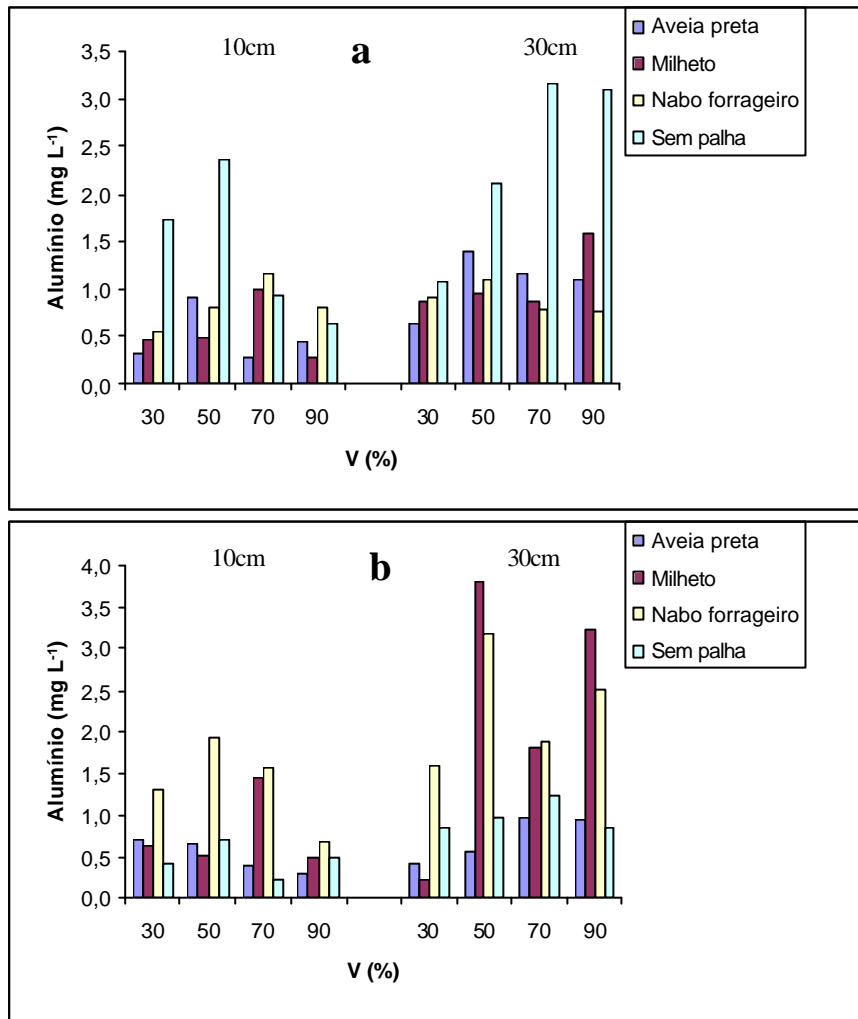


Figura 31. Concentração de alumínio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extrações a 10 e 30cm de profundidade.

encontrados quando da análise do extrato obtido por pasta de saturação (Costa, 2000), porém em condições e solos diferentes.

### 6.2.3. Desenvolvimento inicial do milho em função dos tipos de resíduos vegetais e da aplicação de calcário na superfície

Houve efeito isolado dos tipos de resíduos vegetais sobre os teores de nitrogênio na parte aérea das plantas de milho (Quadro 21). No tratamento sem resíduos o teor de nitrogênio foi maior do que no milho cultivado sobre resíduos de aveia preta e milheto (Quadro 22). Este resultado mostra uma estreita relação com as concentrações de amônio encontrada na solução do solo (Figura 28), onde observa-se maiores valores nesses tratamentos.

Provavelmente houve maior imobilização do nitrogênio aplicado sobre resíduos de aveia preta e milheto, devido aos valores de relação C/N, causando maior competição com o milho pela absorção do elemento, concordando com os resultados relatados na literatura (Sá, 1997; Salet et al., 1997; Sangoi et al., 1999; Heinrichs et al., 2001).

Quadro 21. Análise de variância do acúmulo de matéria seca (MSPA), de macronutrientes e de zinco pela parte aérea das plantas de milho em razão dos tipos de palha e da calagem superficial.

Variáveis	Causas de variação			C.V. (%)
	Palha (P)	Doses de calcário (C)	PxC	
N	4.12**	1.54ns	0.65ns	11.59
P	10.96**	1.54ns	1.38ns	18.56
K	21.11**	3.88*	1.36ns	14.74
Ca	7.26**	0.26ns	0.63ns	8.76
Mg	1.01ns	2.14ns	0.38ns	16.56
S	13.65**	1.17ns	2.26*	18.31
Zn	0.58ns	0.02ns	0.66ns	27.88
MSPA	12,30**	0,043 ns	0,22 ns	23,50

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo Teste F.

Quadro 22. Teores de nitrogênio na parte aérea do milho.

Saturação por bases (%)	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	----- N (g kg <sup>-1</sup> ) -----				
30	30,5	32,8	27,0	34,8	31,3
50	31,1	30,6	34,0	32,4	30,0
70	29,8	27,6	30,8	33,4	30,4
90	31,0	31,2	32,0	34,4	32,1
Média	30,6 B	30,53 B	30,95 AB	33,75 A	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

O teor de fósforo na parte aérea do milho foram maiores no tratamento sem resíduos (Quadro 23). Embora não se verificou efeito das doses de calcário (Quadro 21), nota-se que o maior teor de fósforo no tratamento sem palha foi devido aos maiores teores obtidos nas doses mais elevadas de calcário em superfície, o que não foi observado nos outros tipos de resíduos (Quadro 23). Portanto, era esperado que as doses de calcário proporcionassem efeito significativo sobre o teor de fósforo do milho, pois a correção da acidez torna esse elemento mais disponível no solo (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997).

Quadro 23. Teores de fósforo na parte aérea do milho.

Saturação por bases (%)	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	----- P (g kg <sup>-1</sup> ) -----				
30	2,62	2,53	2,18	2,77	2,52
50	2,70	2,18	2,15	2,77	2,45
70	2,02	2,18	2,28	3,03	2,38
90	2,87	2,33	2,28	3,13	2,65
Média	2,55 B	2,31 BC	2,22 C	2,92 A	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

Quanto ao teor de potássio (Quadro 24), a aplicação da dose de calcário para elevar a saturação por bases a 70% foi a que proporcionou o maior valor na parte aérea do milho, independentemente do tipo de resíduo.

Quadro 24. Teores de potássio na parte aérea do milho.

Saturação por bases (%)	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	K (g kg <sup>-1</sup> )				
30	23,1	24,0	30,5	30,5	26,9 <sup>(1)</sup>
50	28,6	26,0	28,6	35,4	29,7
70	27,9	27,8	29,7	39,1	30,8
90	28,8	26,8	27,8	36,8	30,1
Média	26,1 C	27,1 BC	29,2 B	35,2 A	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

$$^{(1)} y = 19,37 + 0,317x - 0,00219x^2 \quad r^2 = 0,97^*$$

Em vista da alta concentração de cálcio na solução do solo (Figura 25), esperava-se uma diminuição da absorção de potássio pelo milho devido à ocorrência de desequilíbrio catiônico, conforme citado por vários autores (Büll, 1993; Malavolta et al., 1997; Bull et al., 1993a, b, c, d; Andreotti, 1998). No entanto, no presente experimento, como o potássio não foi limitante, o aumento do teor na planta foi consequência da maior disponibilidade do elemento no solo em função da elevação do pH na superfície proporcionado pela calagem (Marshner, 1984; Malavolta et al., 1997).

Com relação ao teor do potássio trocável no solo, ressalta-se que o esgotamento de K trocável ocorrido na camada superficial, em consequência do aumento da aplicação de calcário (Figura 21), foi devido à absorção do elemento pela planta.

Observa-se ainda que o tratamento sem resíduos proporcionou maior teor de potássio na planta em relação ao tratamento com resíduos (Quadro 24). Este efeito está relacionado com a concentração deste elemento na solução do solo (Figura 21), indicando que o maior efeito do calcário ocorrido nesse tratamento proporcionou maior resposta na planta quanto ao teor de potássio.

Ao contrário do que se esperava, o aumento das doses de calcário não implicou em elevação dos teores de cálcio na planta (Quadro 25), provavelmente devido à alta concentração do elemento na solução do solo, mesmo sem aplicação de calcário (Figura 26).

Quadro 25. Teores de cálcio na parte aérea do milho.

Saturação por bases (%)	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	Ca (g kg <sup>-1</sup> )				
30	10,73	11,97	11,95	12,32	11,74
50	11,50	11,90	11,65	12,90	11,99
70	11,53	11,75	12,28	12,23	11,95
90	10,78	11,82	12,30	12,62	11,88
Média	11,14 C	11,86 B	12,04 AB	12,52 A	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

Nota-se que os teores de cálcio na planta ficaram abaixo do comumente encontrado nas plantas de milho (Büll, 1993), mostrando que, embora tenha ocorrido altas concentrações do elemento na solução do solo, sua absorção foi mais relacionada com o teor trocável no solo (Figura 19). Ressalta-se que, embora tenha ocorrido alta concentração do cálcio na solução do solo, o mesmo ocorreu para os outros cátions (K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), o que deve ter provocado sua menor absorção, pois apresenta menor velocidade de absorção do que esses elementos (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997).

O teor de magnésio (Quadro 26) no milho não foi influenciado pelos tipos de resíduos vegetais, nem tampouco pelas doses de calcário, embora esperava-se a elevação com a calagem. Assim como para o cálcio, essa ausência de resposta deve-se à sua alta concentração na solução do solo (Figura 26), mesmo na ausência de calagem em superfície.

Quadro 26. Teores de magnésio na parte aérea do milho.

Saturação por bases (%)	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	Mg (g kg <sup>-1</sup> )				
30	1,38	1,45	1,40	1,38	1,40
50	1,43	1,55	1,55	1,45	1,50
70	1,52	1,53	1,55	1,58	1,55
90	1,38	1,60	1,63	1,67	1,57
Média	1,43	1,52	1,53	1,54	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

Os teores de enxofre no milho foi influenciado pela interação dos tipos de resíduos com as doses de calcário (Quadro 21). Em resíduos de aveia preta, milho e sem resíduo não houve resposta do milho às doses de calcário quanto aos teores de enxofre (Figura 32), porém, em resíduos de nabo forrageiro, o aumento das doses proporcionou redução no teor do elemento, não existindo uma explicação para essa resposta.

A produção de matéria seca da parte aérea do milho foi afetada somente pelos tipos de resíduos vegetais (Quadro 21), revelando maior valor dessa variável

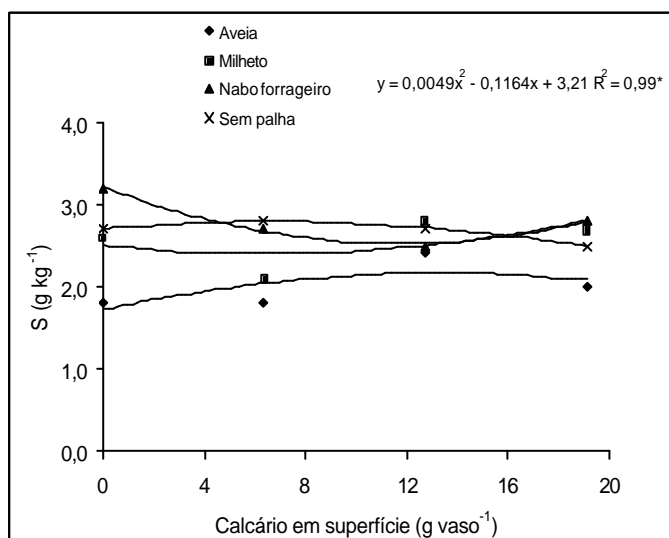


Figura 32. Teor de enxofre na parte aérea do milho.

quando foi cultivado na presença de resíduos vegetais na superfície do solo (Quadro 27). Em razão dos altos teores de quase todos os nutrientes na parte aérea do milho, cultivado na ausência de palha, certamente ocorreu efeito concentração, evidenciado pela menor produção de matéria seca nesse tratamento. Provavelmente, a ausência de resíduos na superfície do solo permitiu maior evaporação de água e, em consequência, a planta tenha apresentado menor desenvolvimento.

Quadro 27. Produção de matéria seca da parte aérea do milho.

Saturação por bases (%)	Tipos de palha				Média
	Aveia preta	Milheto	Nabo forrageiro	Sem palha	
	Mg (g kg <sup>-1</sup> )				
30	21,0	20,5	19,5	14,4	18,8
50	20,6	21,4	20,4	13,6	19,0
70	22,6	20,4	20,4	12,7	19,0
90	20,6	22,0	20,3	14,2	19,3
Média	21,2 A	21,1 A	20,1 A	13,7 B	

Médias acompanhadas por letras distintas diferem entre si na linha.

Quadro 28. Produção de matéria seca total (PMST) e porcentagem de raízes nas camadas do solo.

Profundidade (cm)	Tipos de resíduos															
	Aveia preta				Milheto				Nabo forrageiro				Sem palha			
	30	50	70	90	30	50	70	90	30	50	70	90	30	50	70	90
	(% raízes)															
0-5	16	18	19	23	19	18	18	20	12	19	22	17	19	29	28	19
5-10	15	14	13	14	13	13	14	17	18	17	16	14	17	16	20	25
10-20	23	22	22	22	25	22	21	22	30	21	22	27	22	27	30	32
20-40	46	46	45	41	43	47	46	41	46	43	40	41	42	28	32	24
Total (g vaso <sup>-1</sup> )	2.1	2.6	2.6	2.3	2.4	2.9	2.9	2.3	2.4	2.3	2.1	1.9	1.2	0.9	1.0	1.4

É vasta a quantidade de trabalhos na literatura que ressaltam os efeitos positivos dos resíduos vegetais na manutenção da umidade do solo, proporcionando melhor aproveitamento de água pelas plantas (Pinto & Crestana, 1998; Silva & Rosolem, 2001).



O efeito da ausência de resíduos na superfície do solo refletiu também no desenvolvimento radicular das plantas de milho (Quadro 28), pois houve menores valores de produção de matéria seca total das raízes.

### **6.3. Terceiro experimento**

#### **6.3.1. Alterações no pH e na distribuição de bases nas camadas de solo em função da aplicação de calcário e nitrogênio na superfície do solo**

Os resultados da análise de variância para os valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  nas diferentes profundidades são apresentados no Quadro 29.

Embora tenha sido verificada interação dos tratamentos, observa-se que não houve correção da acidez em subsuperfície (Figura 33), independentemente das doses de calcário e nitrogênio, sendo que os valores de pH em profundidade ficaram em torno de 4,5, e a reação do calcário se limitou à camada superficial. Esses resultados diferem daqueles encontrados em diversos trabalhos com calagem superficial (Sá, 1996; Caires et al., 1998; Cassol, 1995; Pöttker & Ben, 1998; Petreire & Anghinoni, 2001), onde houve correção da acidez do solo em profundidades abaixo de 10cm, porém ressalta-se que esses resultados foram obtidos em campo com mais de 5 anos em sistema de semeadura direta.

Para os teores de cálcio, os resultados da análise de variância indicaram a interação dos efeitos de doses de calcário e doses de nitrogênio em todas as profundidades (Quadro 29). Sem aplicação de calcário, praticamente não houve alteração dos

Quadro 29. Resumo da análise de variância dos valores de K, Ca e Mg nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de solo, em razão de doses de calcário e de nitrogênio aplicados superficialmente.

Variáveis	Causas de variação			
	Dose de calcário (C)	Dose de N (N)	CxN	C.V. (%)
-----Solo (0-5cm)-----				
pH	907**	0.12ns	1.77*	2.3
Ca	681**	7.58**	4.37**	13.8
Mg	314**	11.61**	7.81**	14.0
K	4.69**	12.47**	0.67ns	22.5
-----Solo (5-10cm)-----				
pH	15.2**	3.06**	3.32**	2.37
Ca	25.8**	4.70**	3.07**	15.8
Mg	30.8**	7.1**	2.83**	15.6
K	1.04ns	19.9**	0.11ns	25.0
-----Solo (10-20cm)-----				
pH	4.82**	3.15**	2.68**	2.38
Ca	6.32**	15.64**	5.36**	13.9
Mg	5.68**	6.46**	7.80**	18.4
K	3.41**	1.38ns	1.47ns	30.6
-----Solo (20-40cm)-----				
pH	7.20**	3.76**	2.86**	2.4
Ca	14.23**	6.65**	3.85**	10.7
Mg	2.64*	6.39**	1.31ns	12.3
K	9.92**	3.11**	5.71**	21.3

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 1 e 5% respectivamente, pelo Teste F.

teores de cálcio com a aplicação das doses de nitrogênio (Figura 34), havendo essa mesma resposta em todas as profundidades do solo.

Quando se aplicou a dose de calcário para elevar a saturação por bases a 50%, a aplicação das doses de nitrogênio proporcionou pequenos aumentos dos teores de cálcio nas profundidades de 10-20 e 20-40cm, porém, nas maiores doses de calcário esse mesmo efeito em profundidade não foi verificado. Dessa forma, pode-se inferir que o efeito do nitrogênio sobre o caminhar de cálcio no perfil deve estar relacionado com a quantidade

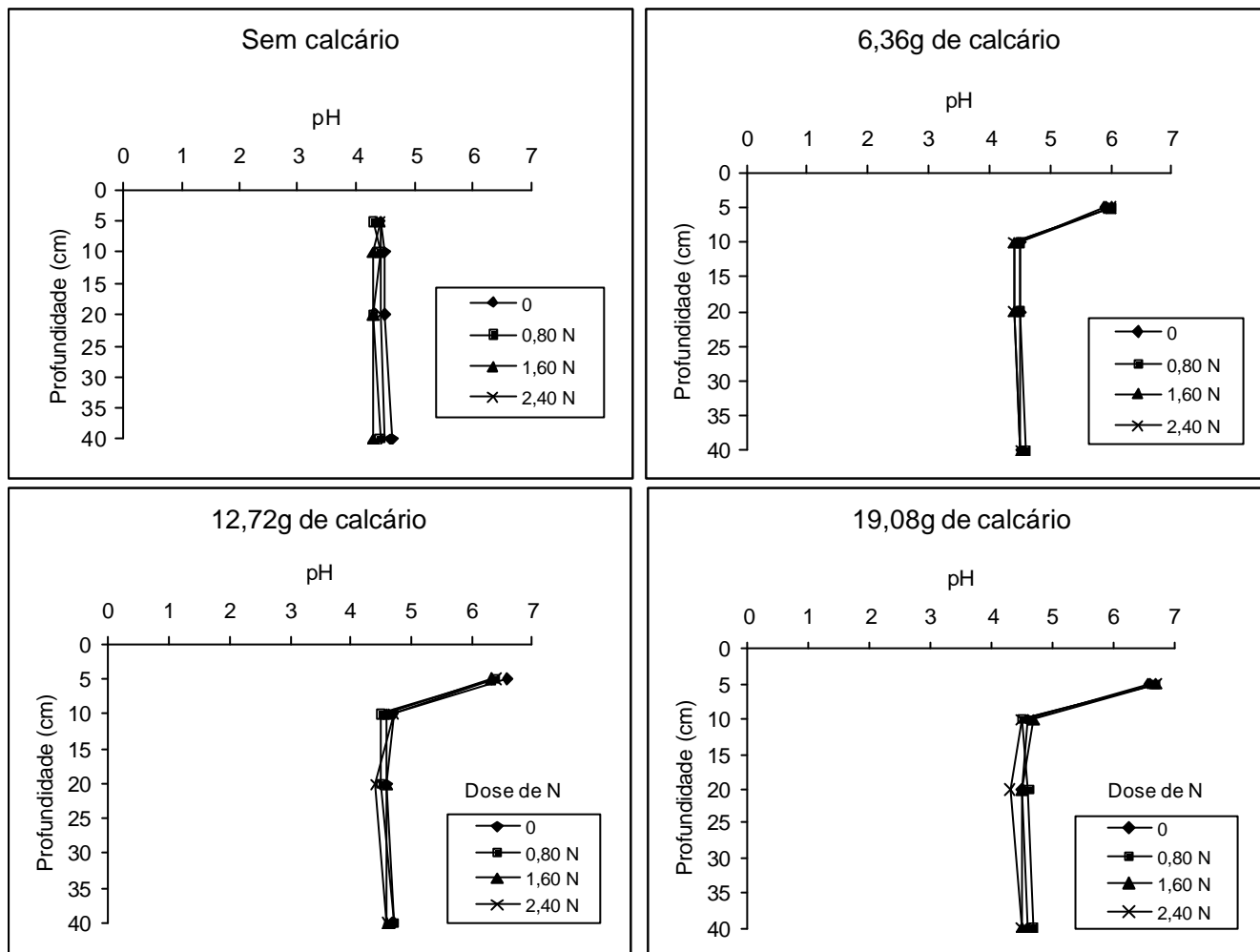


Figura 33. Valores de pH em diferentes camadas de solo em função da aplicação de doses de nitrogênio dentro das doses zero (a), 6,36g (b), 12,72g (c) e 19,08g (d) sobre palha de milho.

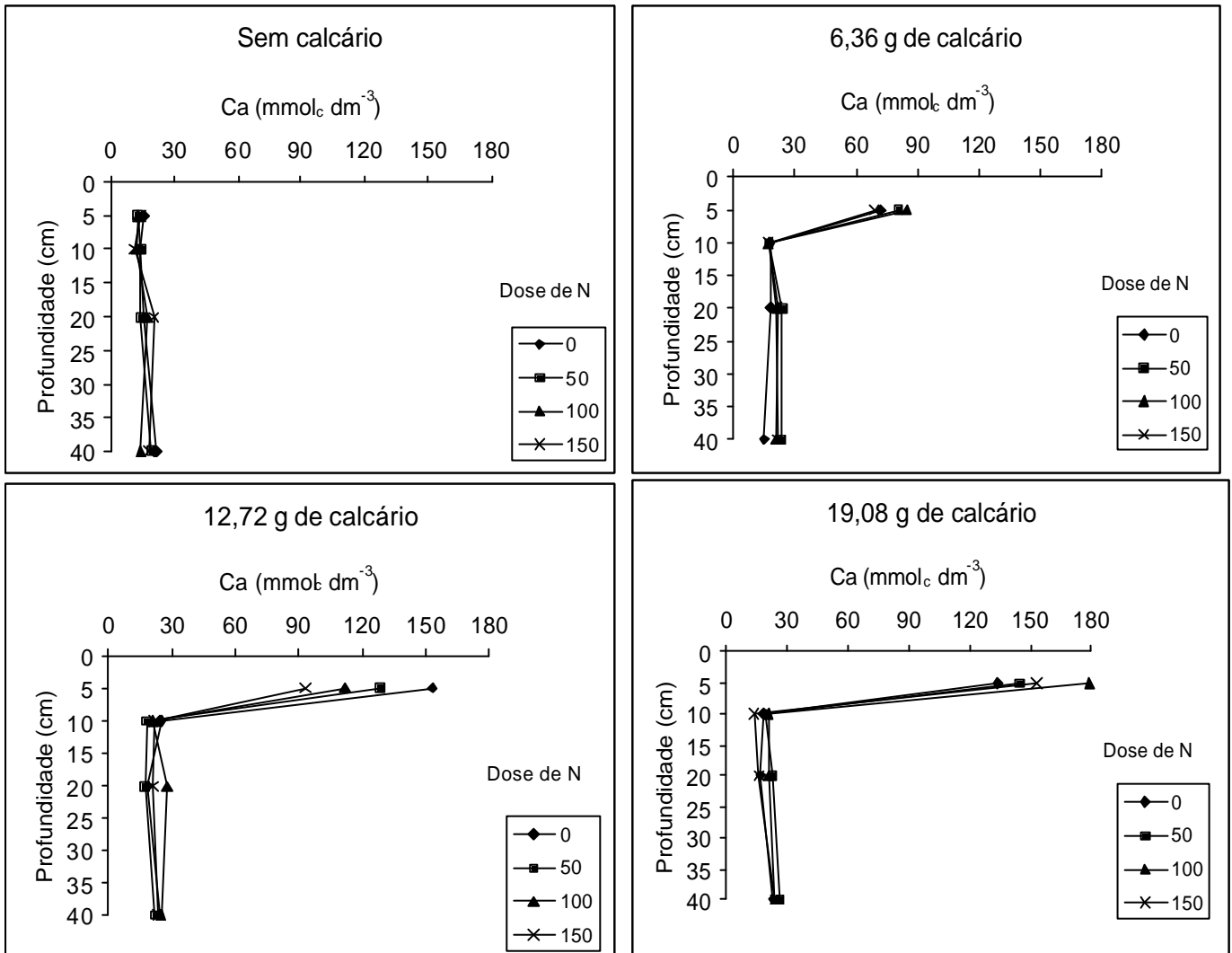


Figura 34. Teores de cálcio nas diferentes profundidades em função das doses de calcário e de nitrogênio.

de calcário aplicada em superfície. Ao contrário do que se esperava, pequenas quantidades de calcário tiveram maior contribuição para a movimentação de cálcio no solo.

É interessante observar que a elevação do teor de cálcio na camada de 0-40cm, quando da aplicação de 6,36g de calcário, não foi acompanhado por aumento do pH nessa profundidade (Figura 33), concordando com a observação de Sumner (1995) de que o movimento de cálcio em profundidade não deve ser usado como índice de correção da subsuperfície do solo.

Para o magnésio ocorreu interação dos tratamentos até a camada de 10-20cm (Quadro 29). No entanto, não se obteve respostas padronizadas ao aumento das doses de nitrogênio, e nem tampouco às doses de calcário (Figura 35). Verifica-se também que houve teores elevados de magnésio no solo, mesmo quando não se aplicou calcário na superfície. Esse resultado poderia ser atribuído à decomposição dos resíduos de milheto, embora tenha baixa concentração do elemento em sua matéria seca (Quadro 2), ou mesmo pela reação do calcário aplicado em todo o solo para elevar a saturação por bases a 30%.

Para os teores de potássio (Figura 36), observa-se que, independentemente da dose de calcário, a aplicação das doses de nitrogênio proporcionaram menores teores desse elemento nas camadas de 0-5 e 5-10cm. Seria possível atribuir esse resultado à maior lixiviação de potássio com o nitrato, como observado por alguns autores (Pavan, 1983; Loyola & Pavan, 1989). No entanto, nem sempre a aplicação de nitrogênio proporcionou aumento nos teores de potássio em profundidade, o que era esperado se tivesse ocorrido lixiviação. Por outro lado, a adubação nitrogenada pode ter estimulado a absorção de potássio pela planta, pois é reconhecido a interação positiva entre esses dois elementos no solo (Büll, 1993).

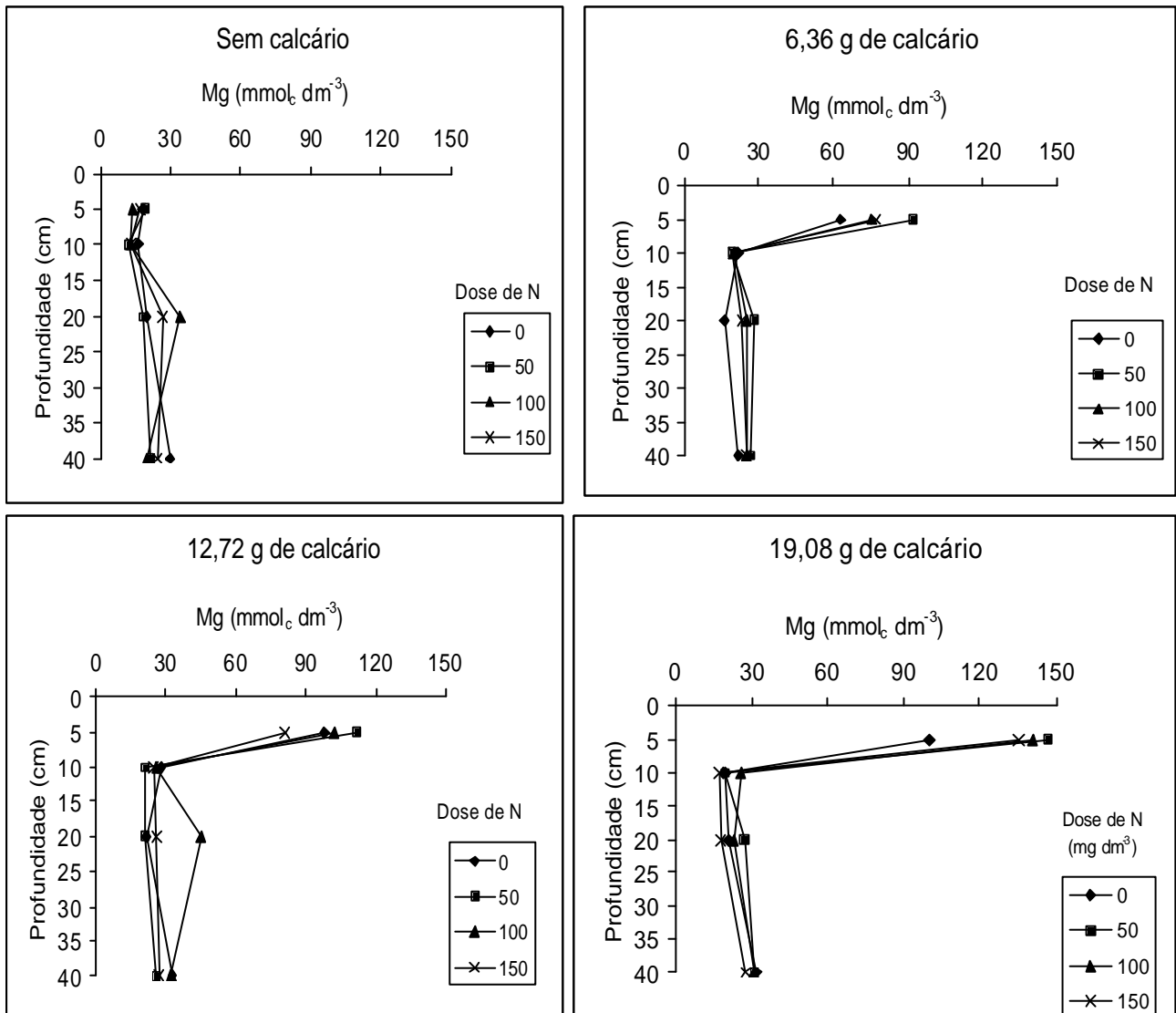


Figura 35. Teores de magnésio nas diferentes profundidades do solo em função das doses de calcário e de nitrogênio.

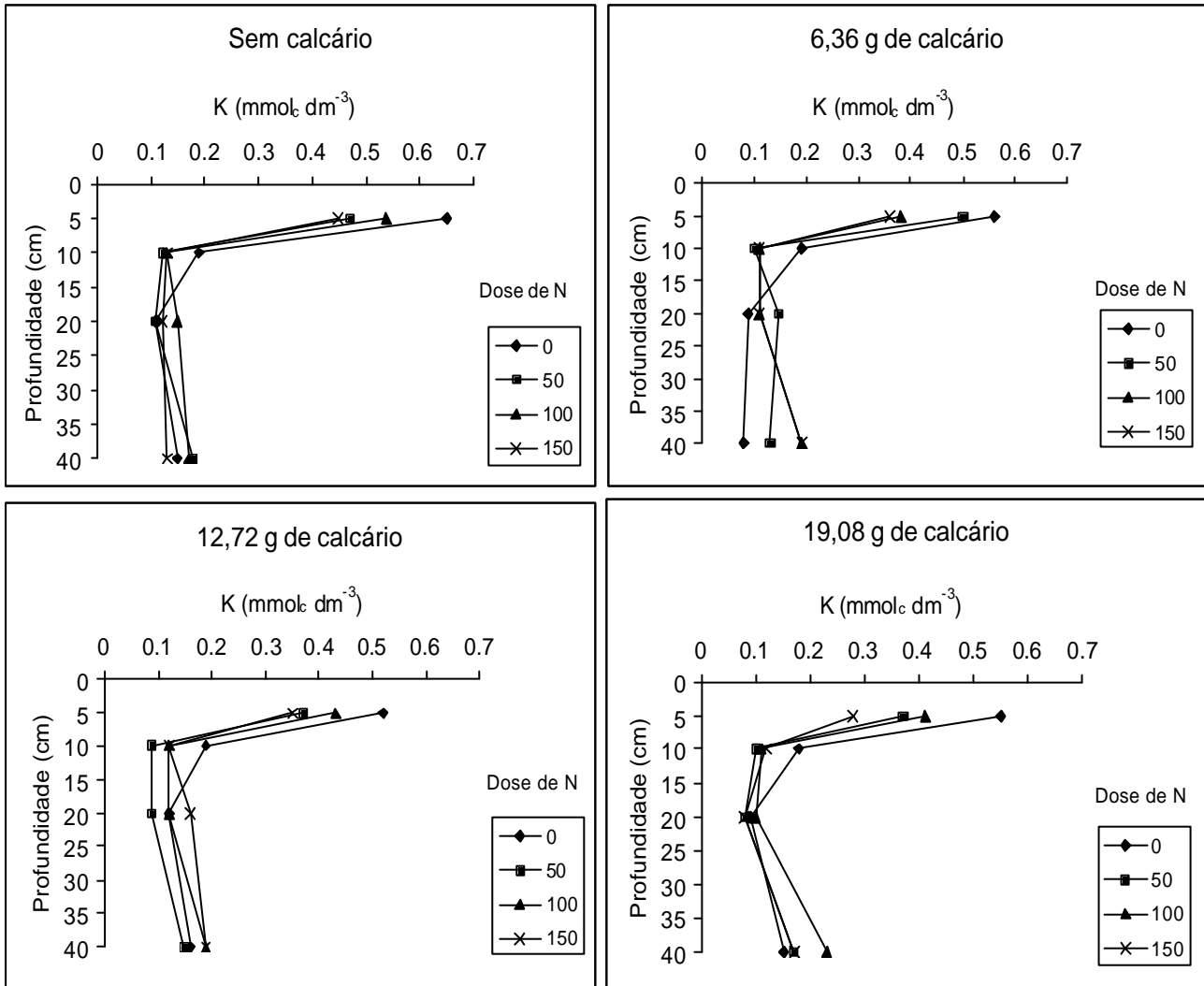


Figura 36. Teores de potássio na superfície do solo em função das doses de calcário e de nitrogênio.

No tratamento sem aplicação de calcário, observam-se altos teores de potássio na superfície do solo, que provavelmente foi proveniente da decomposição dos resíduos de milho. Por outro lado, a aplicação de calcário reduziu o potássio trocável na superfície do solo, demonstrando o seu deslocamento dos sítios de troca devido à maior concentração de cálcio e magnésio no solo (Raij, 1986).

No Quadro 30 observa-se apenas o efeito isolado das doses de nitrogênio, sendo que o aumento das doses proporcionou elevação nos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  (Figura 37) e  $\text{NO}_3^-$  (Figura 38) em praticamente todas as camadas do solo.

Quadro 30. Resumo da análise de variância dos valores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de solo, em razão de doses de calcário e de doses nitrogênio aplicados superficialmente.

Variáveis	Causas de variação			C.V. (%)
	Dose de calcário (C)	Dose de N (N)	CxN	
-----Solo (0-5cm)-----				
$\text{N-NH}_4^+$	0.94 ns	5.90**	0.20 ns	22.5
$\text{N-NO}_3^-$	0.03 ns	6.37**	0.68 ns	23.5
-----Solo (5-10cm)-----				
$\text{N-NH}_4^+$	2.06 ns	22.16**	1.21 ns	6.69
$\text{N-NO}_3^-$	1.79 ns	20.73**	1.09 ns	13.4
-----Solo (10-20cm)-----				
$\text{N-NH}_4^+$	1.21 ns	11.10**	0.70 ns	14.91
$\text{N-NO}_3^-$	0.94 ns	5.90**	0.20 ns	22.5
-----Solo (20-40cm)-----				
$\text{N-NH}_4^+$	2.46 ns	6.01**	0.89 ns	3.2
$\text{N-NO}_3^-$	2.06 ns	22.16**	1.21 ns	9.7

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 1 e 5% respectivamente, pelo Teste F.

Assim como foi observado no primeiro experimento, a lixiviação de nitrato em profundidade não implicou em movimento do cálcio para a subsuperfície do solo (Figura 35), discordando dos relatos de Pearson et al. (1962), Farina & Channon (1988), Weir (1974), citado por Caires (1990), e Caires et al. (1999).



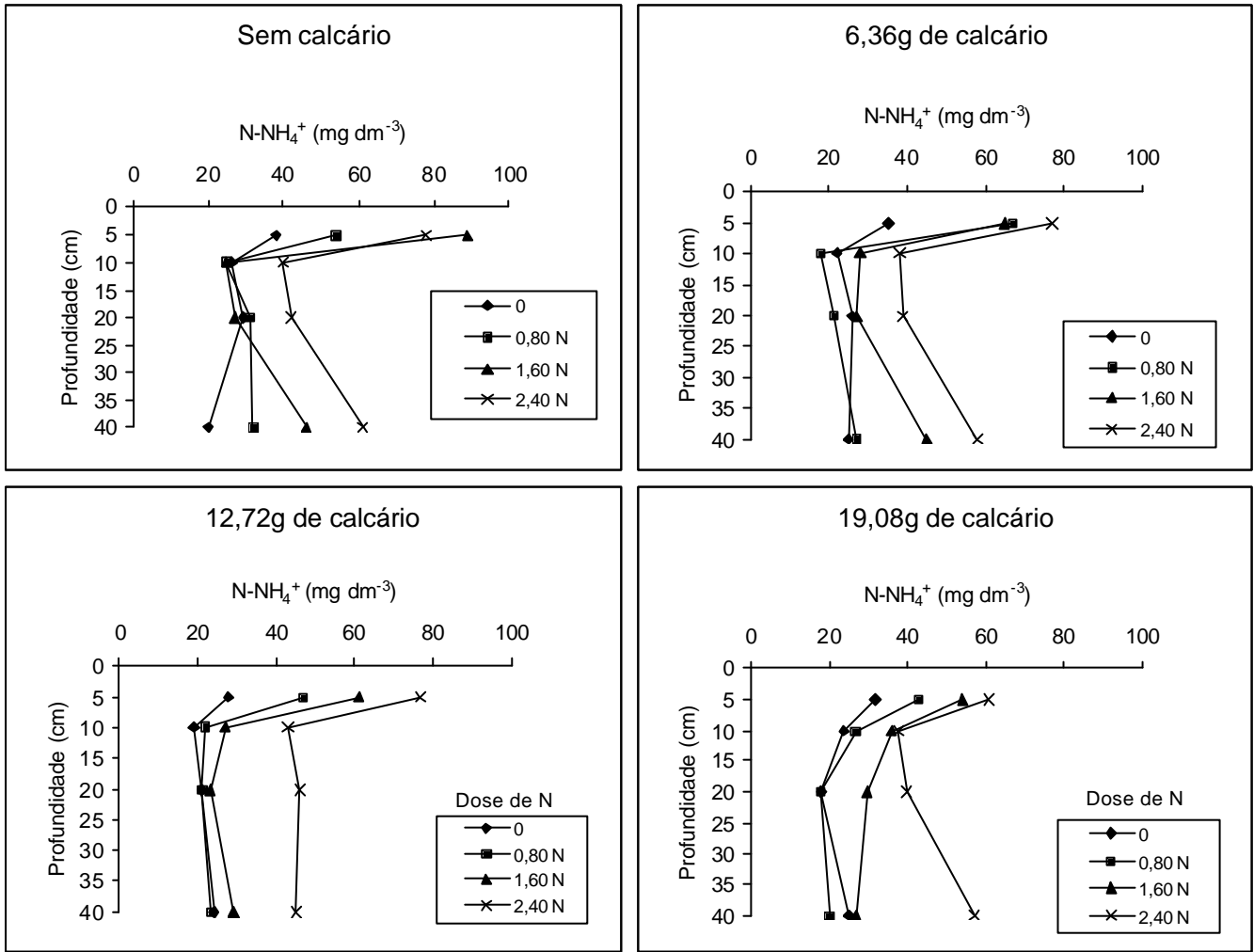


Figura 37. Teores de amônio no solo em função das doses de calcário e de nitrogênio.

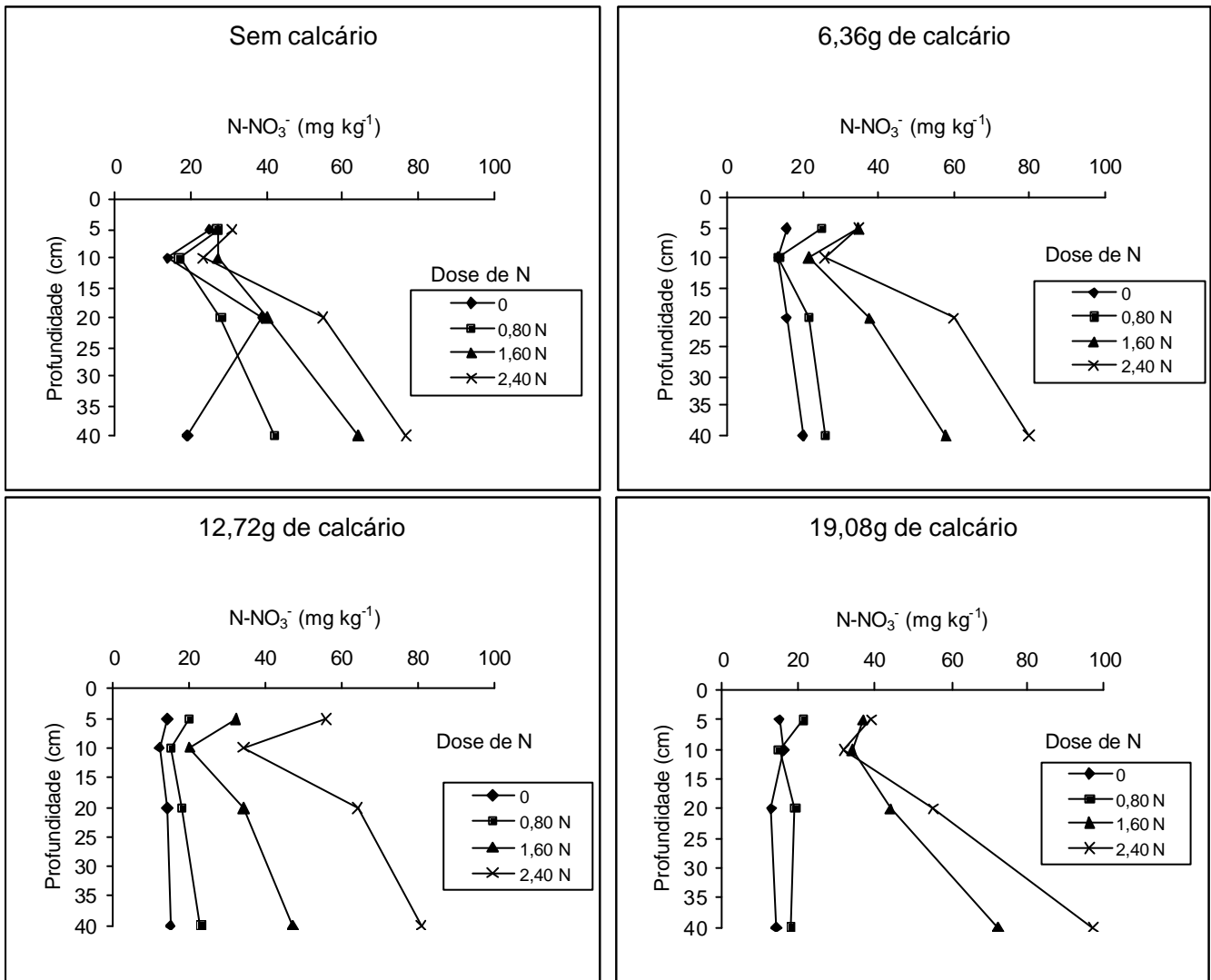


Figura 38. Teores de nitrato no solo em função das doses de calcário e de nitrogênio.

Ainda ressalta-se que, ao contrário dos outros experimentos, os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  foram bem menores, e mais próximos dos valores obtidos para o  $\text{N-NO}_3^-$ . Esse resultado parece demonstrar maior equilíbrio entre a absorção de nitrato pela planta e a nitrificação do amônio pelos microorganismos do solo, uma vez que foi utilizado o mesmo tipo de resíduo vegetal em todos os tratamentos.

### **6.3.2. Alterações nas características químicas da solução do solo em função da aplicação de calcário e nitrogênio na superfície do solo**

Na Figura 39 estão representados os valores de pH nas soluções do solo das profundidades de 10 e 30cm obtidas aos 18 (Figura 39A) e 32 (Figura 39B) dias após a emergência das plantas de milho. Observa-se que os valores de pH na primeira extração do solo a 10cm de profundidade foram decrescendo com a aplicação de nitrogênio, exceto para o tratamento com dose de calcário para elevar a saturação por bases a 50%. Na profundidade de 30cm não se observou essa tendência, havendo maior uniformidade entre os valores em cada tratamento.

Na segunda extração de solução do solo, a 10 cm de profundidade, praticamente não houve alteração do pH da solução do solo com a aplicação das doses de nitrogênio. Por outro lado, houve aumentos proporcionais do pH com aplicação das doses de calcário. Esse resultado reflete o efeito da calagem no pH da fase sólida do solo, porém não confere com o ocorrido devido às doses de nitrogênio.

A análise das Figuras 40A, 41A, 42A e 43A permite inferir que, em geral, o aumento das doses de nitrogênio causou elevação nas concentrações de cálcio,

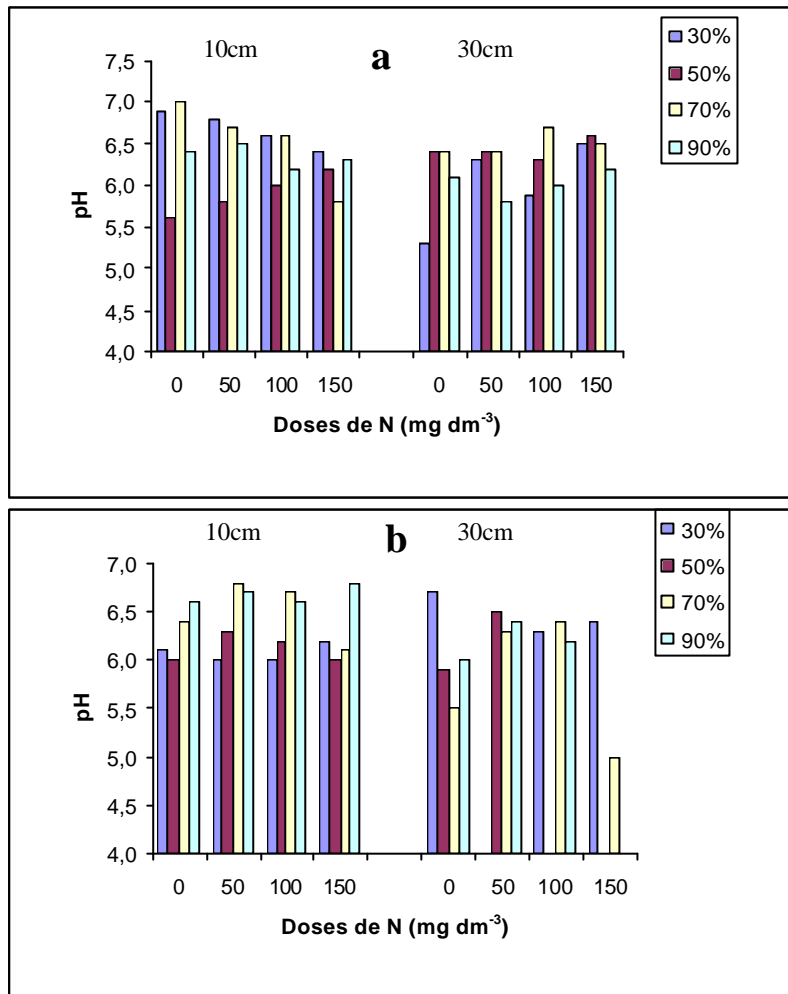


Figura 39. Valores de pH nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.

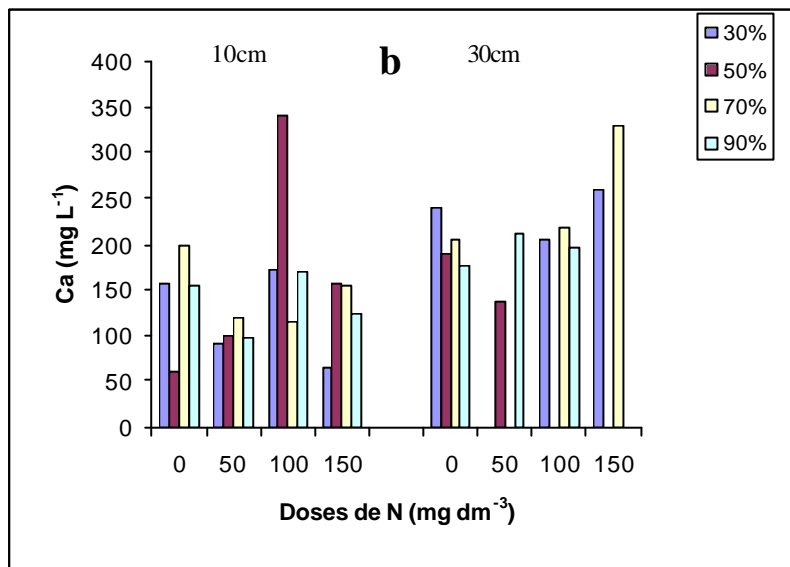
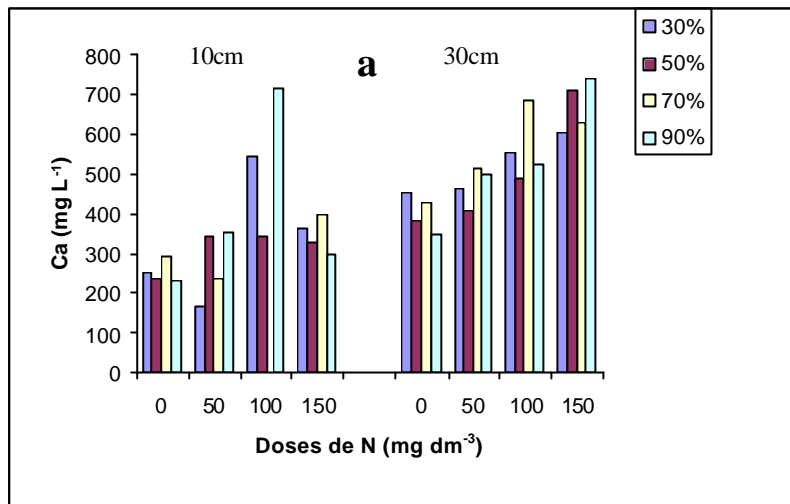


Figura 40. Concentração de cálcio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.

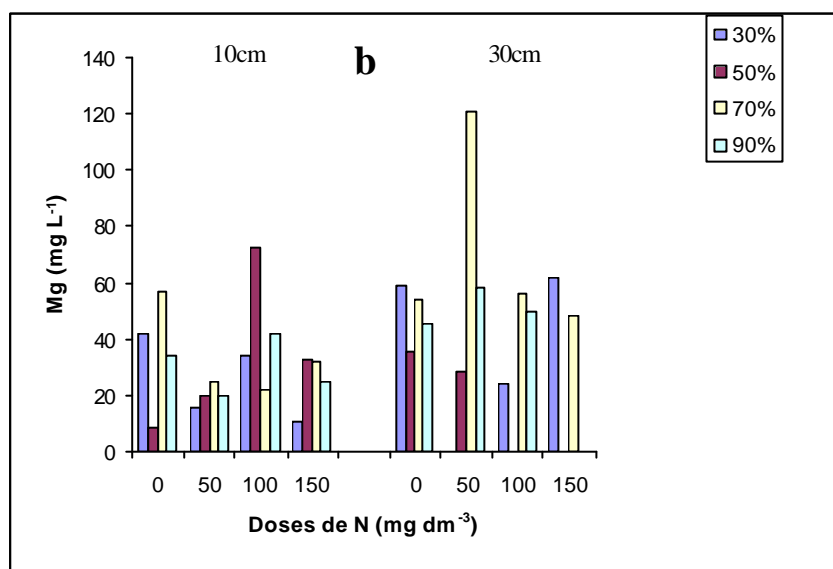
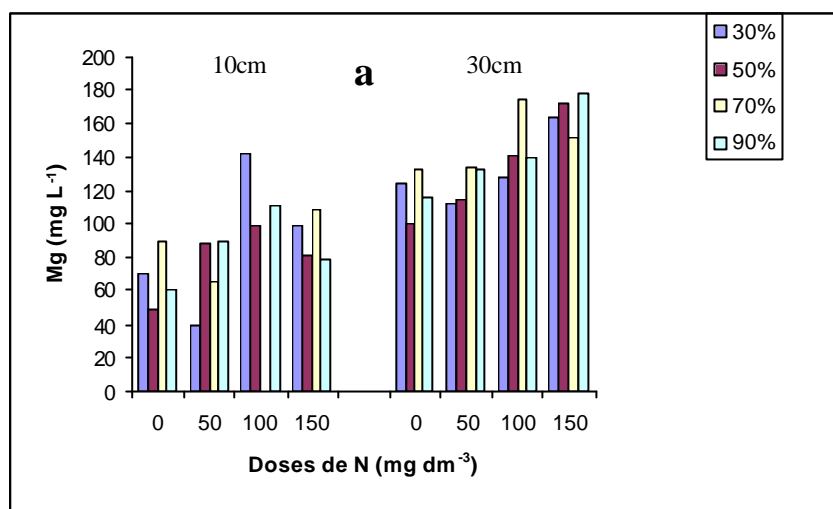


Figura 41. Concentração de magnésio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.

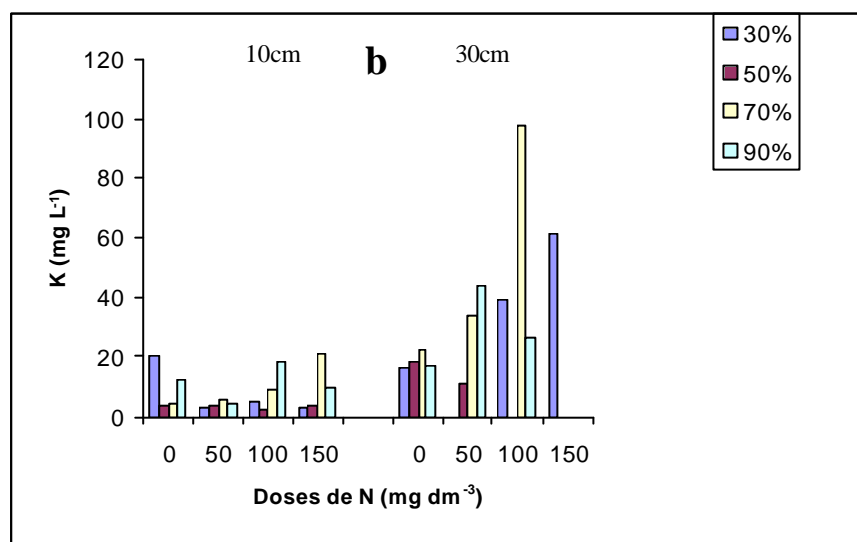
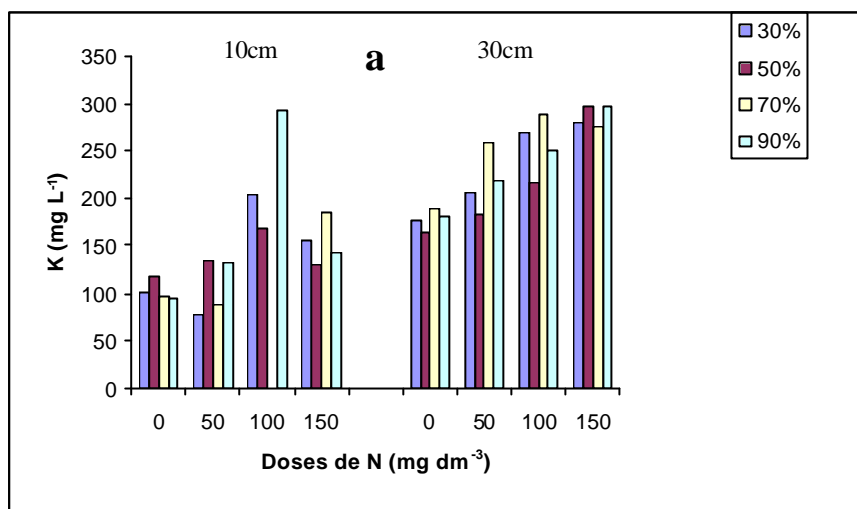


Figura 42. Concentração de potássio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.

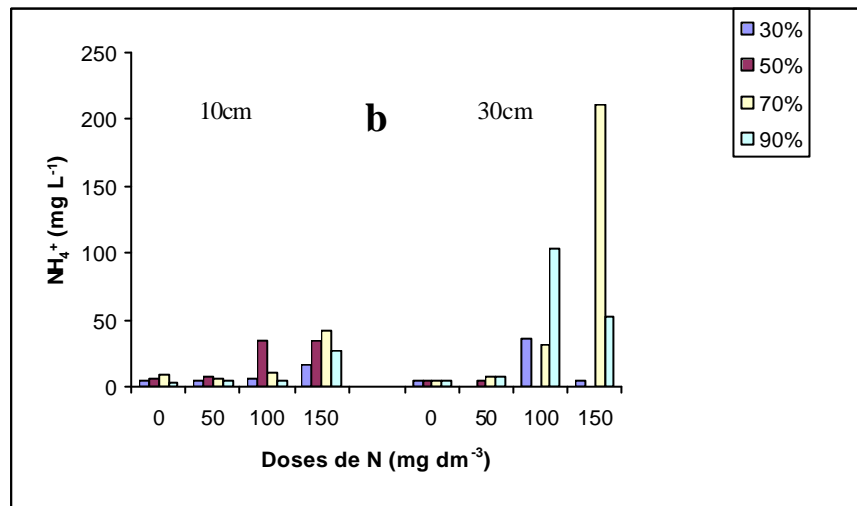
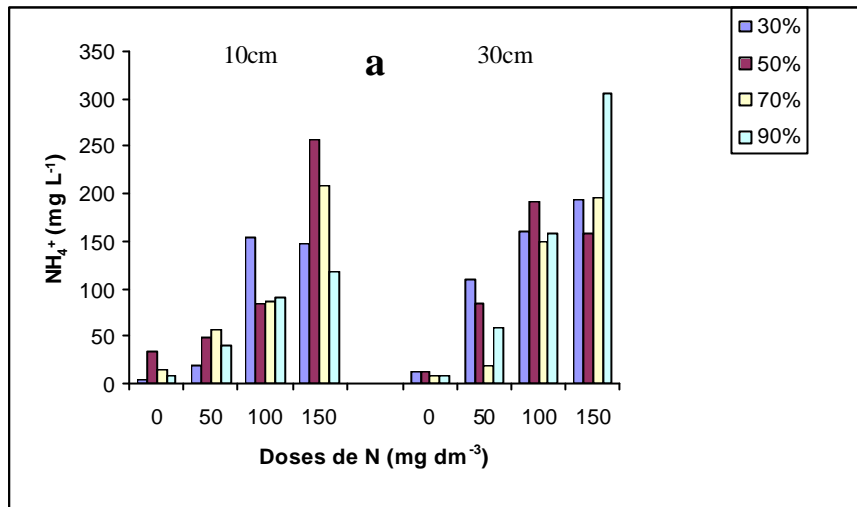


Figura 43. Concentração de amônio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.



magnésio, potássio e amônio na profundidade de 30cm. No entanto, a ausência desse efeito para o nitrato (Figura 44A) parece indicar que este íon não esteve relacionado com a lixiviação das bases no perfil do solo. Por outro lado, em vista da grande concentração de enxofre nessa profundidade (Figura 45A), novamente ressalta-se que esse íon certamente participou no caminamento de bases, conforme várias citações sobre o assunto (Pavan et al., 1984; Caires et al., 1998; Caires et al., 2001), e de acordo com os resultados da especiação iônica da solução do solo (Quadros 31, 32, 33 e 34).

Os resultados obtidos para pH e concentrações desses elementos na solução do solo não refletiram àqueles obtidos para a fase sólida do solo, ao contrário das observações de Costa (2000), cujo experimento mostrou relação estreita entre essas características.

A desuniformidade e os menores valores das concentrações desses elementos nas soluções do solo obtidas na segunda extração (Figuras 41B, 42B, 43B e 44B) foram devidos à absorção pelas plantas. Observa-se também que o esgotamento de potássio e de nitrogênio ( $\text{NH}_4^+$ ) na camada superficial seguiram padrões semelhantes, podendo indicar uma interação positiva entre os dois elementos (Büll, 1993), como mencionado na discussão sobre o potássio trocável no solo (Figura 37).

No caso do alumínio (Figura 46), as concentrações na solução do solo não permitem observações sobre os efeitos dos tratamentos em sua disponibilidade, sendo que, em função dos valores de pH encontrados, a maior parte desse elemento foi encontrado na forma insolúvel (Quadros 31, 32, 33 e 34) (Raij, 1986).

Pavan (1983) destacou a necessidade de melhor entendimento da dinâmica de íons na solução do solo, principalmente aquela decorrente da aplicação de

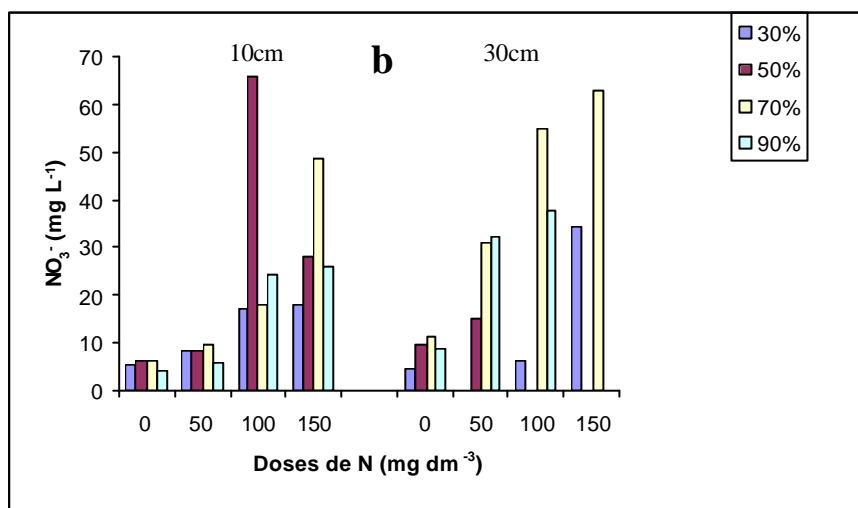
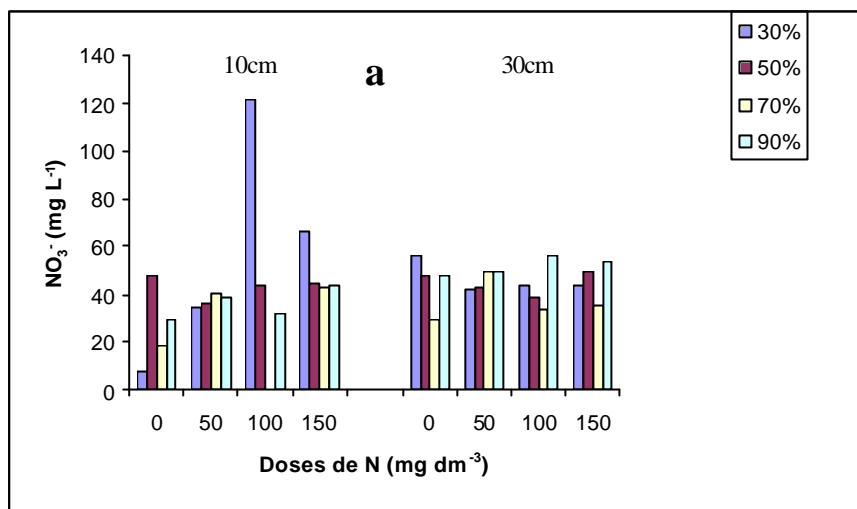


Figura 44. Concentração de nitrato nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.

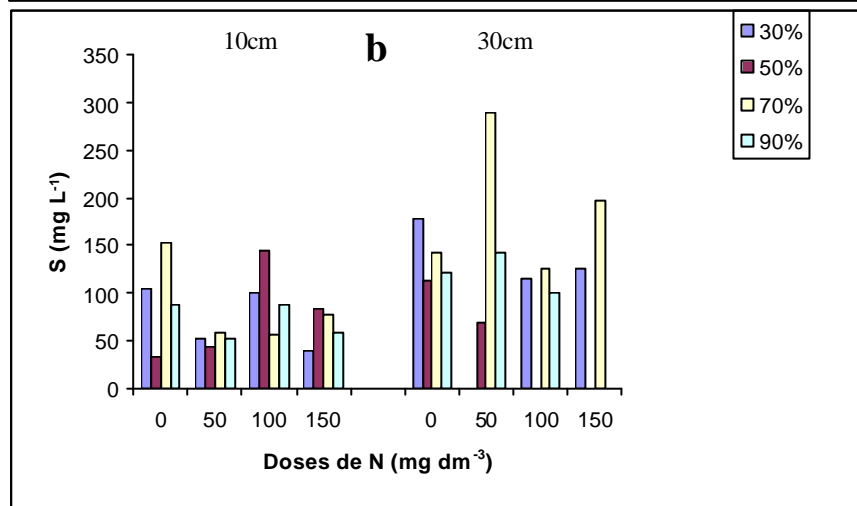
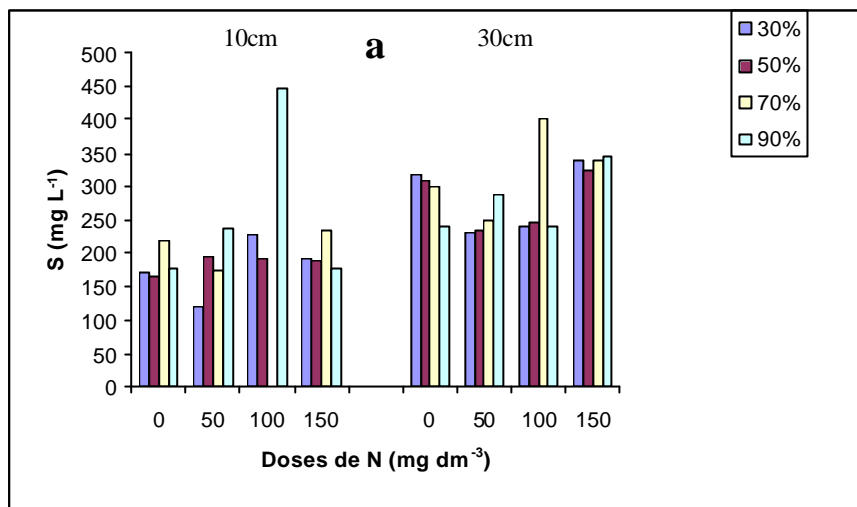


Figura 45. Concentração de enxofre nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.

QUADRO 31. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 10 cm de profundidade aos 18 dias após a emergência das plantas de milho.

V%	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
										%							
30	0	92.93	0.04	7.03	-	94.30	0.03	5.66	-	99.47	0.53	99.99	-	99.41	0.59	-	-
	50	93.73	0.03	6.23	-	94.94	0.02	5.01	0.02	99.57	0.47	100	-	99.81	0.19	-	-
	100	94.53	0.02	5.45	-	95.60	0.01	4.38	-	99.51	0.49	100	-	99.90	0.10	-	-
	150	93.87	0.01	6.11	-	95.07	-	4.92	-	99.50	0.50	99.99	-	99.86	0.14	-	-
50	0	92.78	0.02	7.20	-	94.17	0.01	5.80	0.01	99.47	0.57	99.99	-	99.90	0.10	-	-
	50	93.41	-	6.58	-	94.69	-	5.30	-	99.48	0.52	100	0.02	99.66	0.30	0.01	-
	100	93.69	-	6.30	-	94.92	-	5.07	-	99.49	0.51	99.99	-	99.77	0.21	-	-
	150	93.43	-	6.55	-	94.71	-	5.28	-	99.48	0.52	99.99	-	99.89	0.11	-	-
70	0	92.06	0.04	7.89	-	93.58	0.04	6.37	-	99.37	0.63	100	-	99.44	0.56	-	-
	50	92.58	0.02	7.39	-	94.01	0.02	5.96	-	99.45	0.55	100	-	99.73	0.27	-	-
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	92.99	-	7.00	-	94.35	-	5.64	-	99.41	0.59	99.99	-	99.89	0.09	-	-
90	0	92.51	0.01	7.48	-	93.95	-	6.03	-	99.44	0.56	99.99	-	99.88	0.12	-	-
	50	92.26	-	7.72	-	93.75	0.01	6.23	-	99.37	0.63	99.99	-	99.91	0.09	-	-
	100	90.64	-	9.35	-	92.42	-	7.57	-	99.09	0.91	99.99	-	99.90	0.10	-	-
	150	93.46	-	6.52	-	94.74	-	5.25	-	99.49	0.51	99.99	-	99.91	0.09	-	-

QUADRO 32. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 30 cm de profundidade aos 32 dias após a emergência das plantas de milho.

V%	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
		-----%-----															
30	0	91.44	-	8.56	-	93.08	-	6.92	-	99.24	0.76	100	-	95.01	2.24	-	-
	50	93.60	-	6.39	-	94.84	-	5.14	-	99.45	0.55	99.99	-	99.77	0.22	-	-
	100	89.16	-	10.83	-	91.20	-	8.80	-	99.17	0.83	100	-	99.95	0.04	-	-
	150	92.48	0.01	7.51	-	93.93	-	6.06	-	99.30	0.70	100	-	99.92	0.08	-	-
50	0	90.76	-	9.23	-	92.52	-	7.47	-	99.22	0.78	100	-	99.96	0.04	-	-
	50	93.15	0.01	6.84	-	94.48	-	5.51	-	99.42	0.58	99.99	-	99.93	0.07	-	-
	100	93.84	-	6.15	-	95.04	-	4.95	-	99.46	0.54	99.99	-	99.91	0.08	-	-
	150	93.45	-	6.54	-	94.72	0.01	5.26	-	99.37	0.63	99.99	-	99.86	0.14	-	-
70	0	91.94	-	8.05	-	93.49	-	6.50	-	99.29	0.71	99.99	-	99.91	0.09	-	-
	50	93.72	-	6.27	-	94.94	-	5.04	-	99.43	0.57	100	-	99.92	0.08	-	-
	100	91.91	0.02	8.07	-	93.46	0.01	6.52	-	99.21	0.79	99.99	-	99.90	0.10	-	-
	150	92.61	0.01	7.38	-	92.57	0.05	7.37	-	99.30	0.70	99.99	-	99.96	0.04	-	-
90	0	92.52	-	7.47	-	93.97	-	6.03	-	99.38	0.62	99.99	-	99.92	0.08	-	-
	50	95.65	-	7.35	-	94.07	-	5.93	-	99.34	0.66	100	0.01	99.84	0.14	-	-
	100	94.05	-	5.94	-	95.22	-	4.78	-	99.47	0.53	99.99	-	99.90	0.10	-	-
	150	93.21	-	6.78	-	94.53	-	5.46	-	99.34	0.66	99.99	-	99.93	0.07	-	-

QUADRO 33. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 10 cm de profundidade aos 18 dias após a emergência das plantas de milho.

V%	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup> %	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
30	0	94.26	-	5.73	-	95.39	-	4.60	-	99.62	0.38	100	-	100	-	-	-
	50	95.85	-	4.14	-	96.67	-	3.32	-	99.76	0.24	100	-	99.89	0.11	-	-
	100	94.54	-	5.46	-	95.61	-	4.38	-	99.64	0.36	100	-	99.90	0.09	-	-
	150	96.43	-	3.55	0.01	97.14	-	2.14	0.01	99.80	0.20	100	-	99.86	0.14	-	-
50	0	96.85	-	3.13	-	97.48	-	2.51	-	99.83	0.17	100	-	99.91	0.09	-	-
	50	96.81	0.01	3.17	-	97.44	-	2.54	0.01	99.81	0.11	100	-	99.84	0.16	-	-
	100	94.76	-	5.23	-	95.79	-	4.20	-	99.59	0.41	100	-	99.93	0.06	-	-
	150	95.15	-	4.84	-	96.11	-	3.88	-	99.68	0.32	100	-	99.91	0.09	-	-
70	0	92.72	0.01	7.26	-	94.13	-	5.86	-	99.49	0.51	100	-	99.82	0.18	-	-
	50	95.99	0.03	3.96	0.02	96.78	0.03	3.17	0.02	99.76	0.24	100	-	99.56	0.44	-	-
	100	95.97	0.03	3.99	0.02	96.76	0.02	3.20	0.02	99.76	0.24	100	-	99.79	0.21	-	-
	150	95.52	-	4.46	-	96.41	-	3.58	-	99.71	0.29	100	-	99.94	0.06	-	-
90	0	94.81	0.02	5.16	-	95.83	0.03	4.15	0.01	99.67	0.33	100	-	99.79	0.21	-	-
	50	95.97	0.03	3.99	0.02	96.76	0.02	3.19	0.02	99.77	0.23	100	-	99.73	0.27	-	-
	100	95.23	0.02	4.74	0.01	96.17	0.0	3.80	0.01	99.68	0.32	100	-	99.87	0.13	-	-
	150	96.10	0.03	3.85	0.01	96.87	0.24	3.09	0.02	99.67	0.24	100	-	99.85	0.15	-	-

QUADRO 34. Porcentagem das espécies de N, Ca, Mg, K e Al encontradas na solução do solo a 30 cm de profundidade aos 32 dias após a emergência das plantas de milho.

V%	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgHPO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al(OH) <sub>3</sub> sol.	Al(OH) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub>
-----%-----																	
30	0	92.35	0.01	7.73	0.01	93.74	-	6.24	0.01	99.42	0.58	100	-	99.82	0.17	-	-
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
	100	93.84	0.03	6.12	0.01	95.03	0.02	4.92	0.02	99.58	0.42	100	-	99.77	0.23	-	-
	150	93.69	0.02	6.28	0.01	93.62	0.10	6.27	-	99.56	0.44	100	-	99.83	0.17	-	-
50	0	94.35	-	5.64	-	95.46	-	4.53	-	99.61	0.39	100	-	99.94	0.06	-	-
	50	95.64	0.02	4.32	0.02	96.50	0.02	3.46	0.02	99.72	0.28	100	-	99.75	0.25	-	-
	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
70	0	93.92	-	6.08	-	95.11	-	4.89	-	-	-	100	0.11	99.24	0.53	0.07	0.04
	50	89.73	-	10.26	-	91.66	-	8.33	-	-	-	100	-	99.83	0.17	-	-
	100	94.31	0.01	5.67	-	95.42	-	4.56	-	-	-	100	-	99.65	0.35	-	-
	150	92.56	-	7.44	-	94.00	-	6.00	-	-	-	100	3.39	91.50	2.50	2.57	0.04
90	0	93.55	-	6.44	-	94.81	-	5.18	-	-	-	100	0.01	99.43	0.55	-	-
	50	93.48	0.01	6.50	-	94.75	-	5.24	-	-	-	100	-	99.52	0.47	-	-
	100	95.07	-	4.92	-	96.04	-	3.95	-	-	-	100	-	99.85	0.14	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-

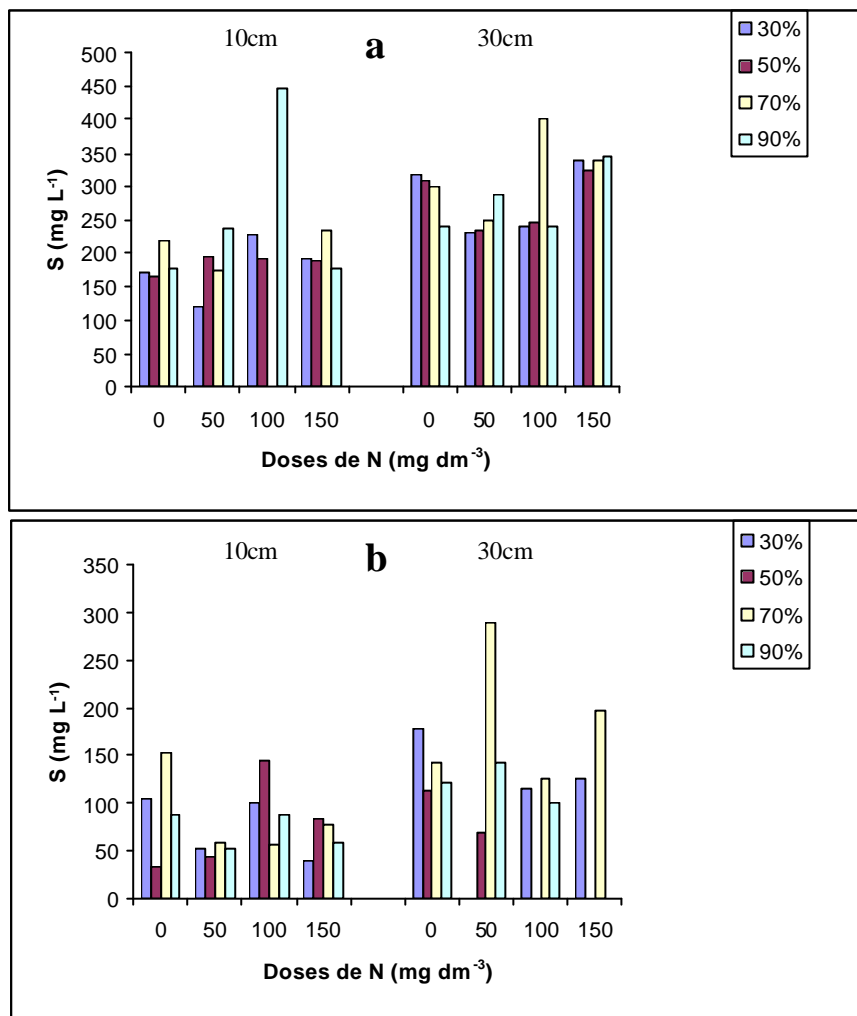


Figura 45. Concentração de enxofre nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.



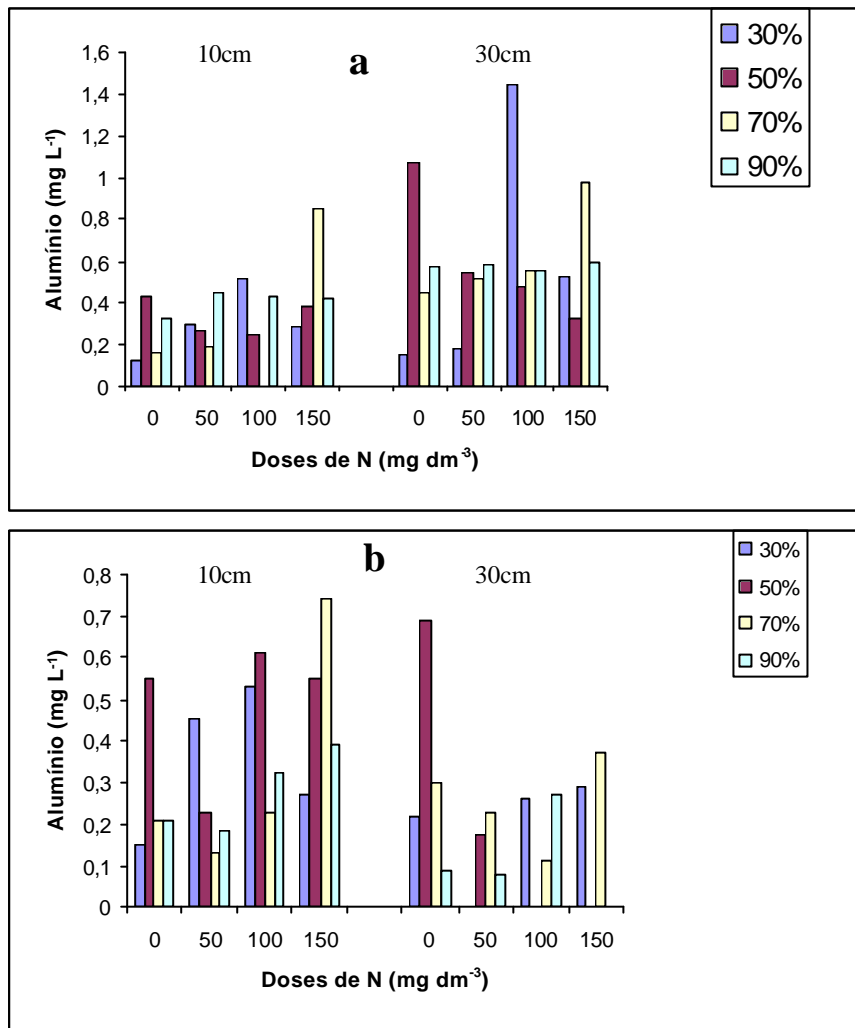


Figura 46. Concentração de alumínio nas soluções do solo obtidas na primeira (a) e na segunda (b) extração a 10 e 30cm de profundidade.

corretivos e fertilizantes. A maior preocupação é que essas alterações nem sempre são favoráveis, pois pode-se criar um ambiente de competição entre íons, indisponibilizando os elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas. No presente experimento, assim como nos dois anteriores, as concentrações dos elementos na solução do solo foram muito altas em relação às normalmente encontradas na literatura (Chaves et al., 1991).

### **6.3.3. Desenvolvimento inicial do milho em função da aplicação de calcário e nitrogênio na superfície do solo**

Para os teores de nitrogênio da parte aérea das plantas de milho houve efeitos isolados das doses de calcário e de nitrogênio (Quadro 35). O aumento das doses de calcário aplicadas na superfície proporcionou redução dos teores de nitrogênio (Figura 47). Esse resultado reflete o ocorrido para os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo (Figura 37), onde se observou que quanto maior a dose de calcário menores foram os teores de amônio na camada superficial do solo. Embora o amônio seja preferencialmente mais absorvido que o  $\text{Ca}^{+2}$ , devido a sua menor valência (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997), provavelmente, o aumento excessivo das concentrações de cálcio na solução do solo (Figura 40) foi a causa da redução na absorção do nitrogênio pela planta.

O aumento das doses de nitrogênio proporcionou maior teor desse elemento na parte aérea do milho (Figura 48). Este resultado está de acordo com o encontrado por Ritchie et al. (1993), onde altas concentrações de nitrogênio na zona radicular promoveram um arranque inicial no desenvolvimento do milho.

Quanto aos teores de fósforo na parte aérea, o aumento das doses de nitrogênio proporcionou resposta linear positiva (Figura 49). Embora fosse esperado um efeito positivo da calagem sobre os teores de fósforo na planta decorrente do aumento da sua disponibilidade, não foi observado resposta às doses de calcário (Quadro 35).

Quadro 35. Resumo da análise de variância do acúmulo de matéria seca (MSPA) e de macronutrientes da parte aérea das plantas de milho em razão de doses de calcário e de nitrogênio aplicados superficialmente.

Variáveis	Causas de variação			C.V. (%)
	Dose de calcário (C)	Dose de N (N)	CxN	
N	9.21**	367**	0.95 ns	7.22
P	0.84 ns	8.98**	1.52 ns	12.85
K	1.53 ns	11.82**	7.63**	14.56
Ca	19.22**	9.76**	1.23 ns	6.06
Mg	18.03**	37.75**	1.89 ns	13.98
S	1.41 ns	54.86**	2.21**	16.54
MS Parte aérea	0.35 ns	3.46*	0.50 ns	11.56

ns, \* e \*\* Não significativo, significativo a 1 e 5% respectivamente, pelo Teste F.

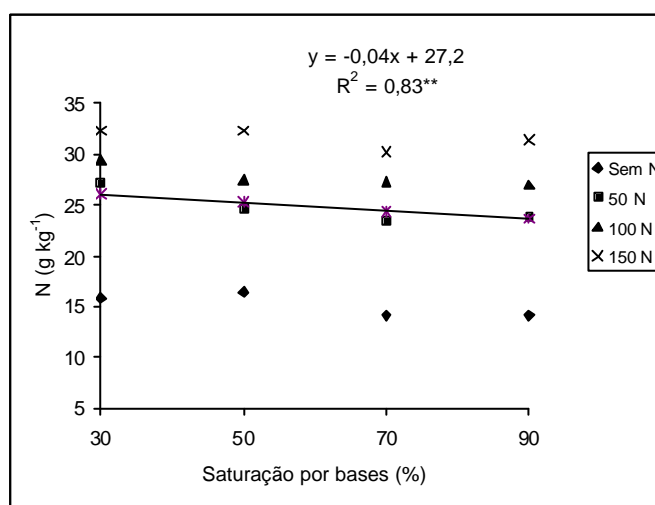


Figura 47. Teor de nitrogênio na parte aérea do milho em função das doses de calcário.

Para o potássio foi verificado efeito da interação das doses de calcário com as doses de nitrogênio sobre o teor na planta (Quadro 35). O desdobramento da interação

(Figura 50) indicou que as doses intermediárias de nitrogênio (50 e 100 mg dm<sup>-3</sup>) sem aplicação de calcário foram as condições que proporcionaram respostas mais positivas. Esse resultado foi reflexo do aumento dos teores trocáveis de potássio na superfície do solo (Figura 36), e provavelmente ocorreu devido a um equilíbrio de cátions e ânions no solo (Büll, 1993).

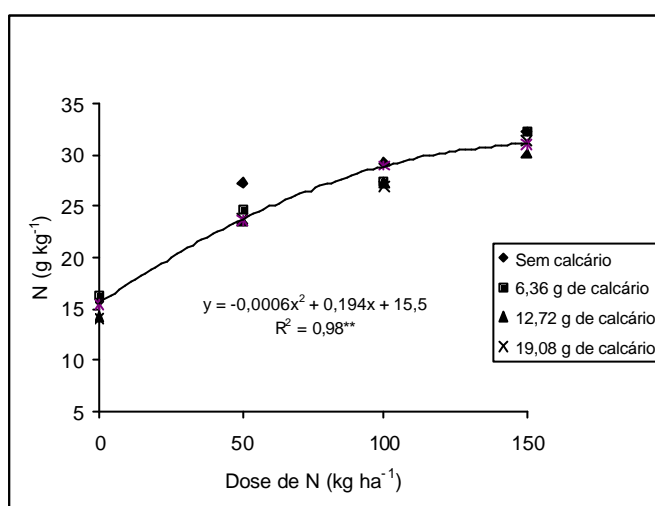


Figura 48. Teores de N na parte aérea do milho em função das doses de nitrogênio.

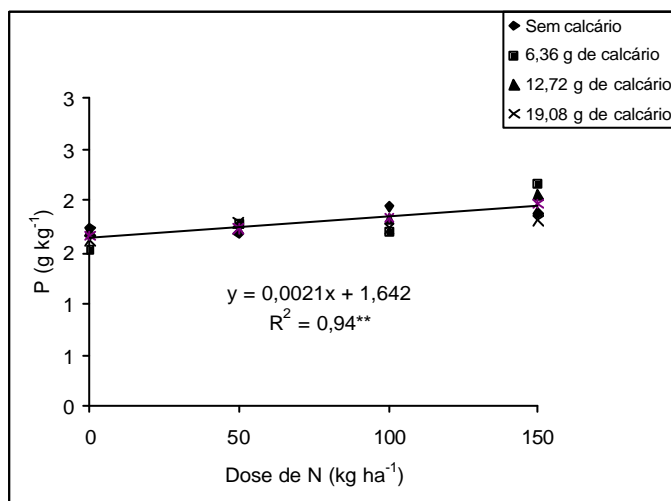


Figura 49. Teores de P na parte aérea do milho em função das doses de nitrogênio.

Tanto para o cálcio (Figura 51) como para o magnésio (Figura 52) houve efeito isolado das doses de calcário e de nitrogênio (Quadro 35). Os teores dos dois elementos na planta foram aumentados conforme a elevação das doses de calcário na superfície, sendo esse efeito esperado, pois seu fornecimento os torna mais disponíveis para a absorção pelas plantas.

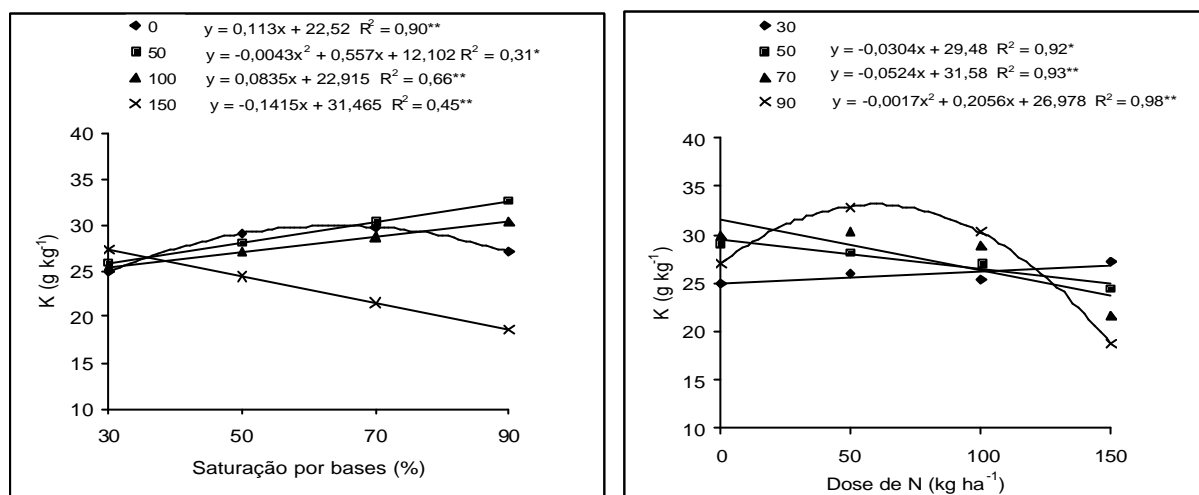


Figura 50. Desdobramento da interação de doses de calcário com as doses de nitrogênio nos teores de K na parte aérea do milho.

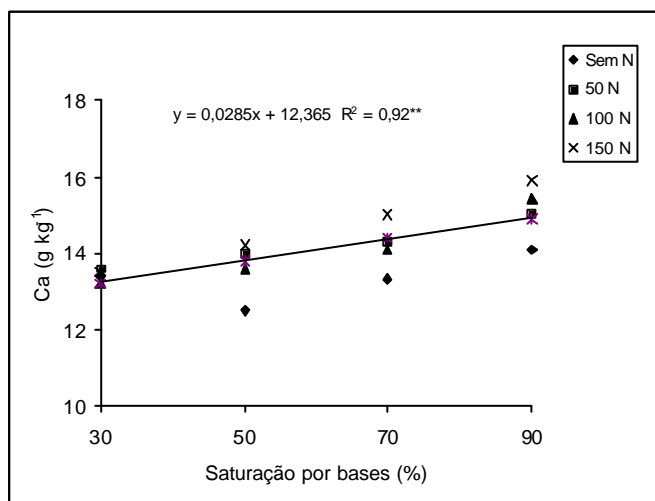


Figura 51. Teores de Ca na parte aérea do milho em função das doses de calcário.

Os teores de cálcio também tiveram aumento linear positivo devido à elevação das doses de nitrogênio (Figura 53). Possivelmente esse resultado esteve relacionado com a absorção de nitrogênio pela planta, que por sua vez deve ter estimulado a absorção de cálcio. Ressalta-se que esse maior teor de cálcio em função do aumento das doses de nitrogênio reflete os resultados obtidos na solução do solo da camada superficial (Figura 40A).

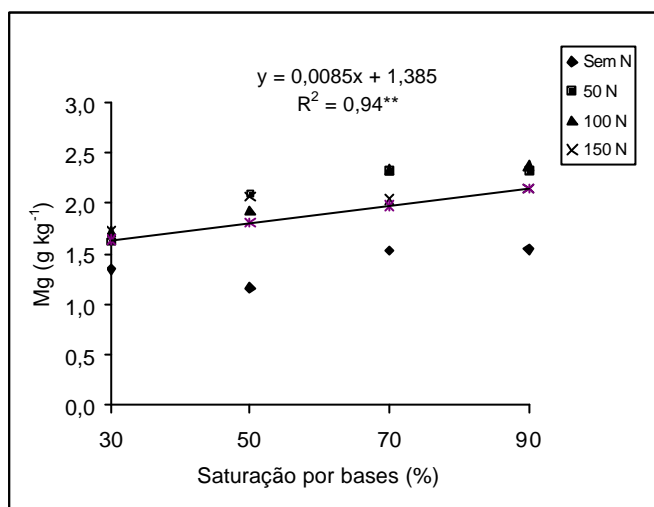


Figura 52. Teores de Mg na parte aérea do milho em função das doses de calcário.

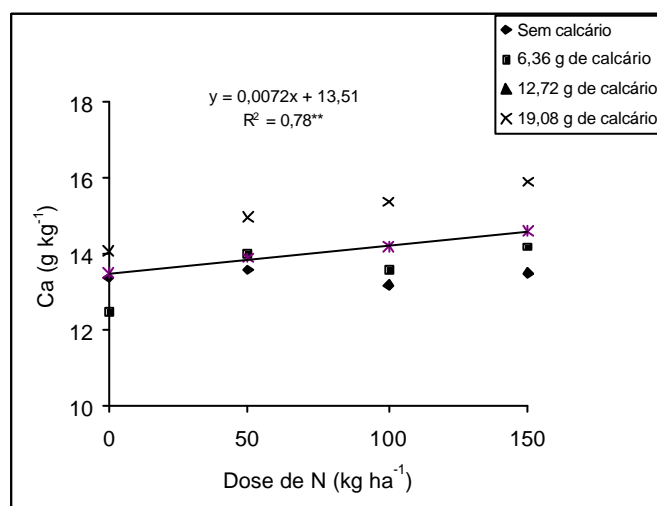


Figura 53. Teores de Ca na parte aérea do milho em função das doses de nitrogênio.

Os teores de magnésio (Figura 54) apresentaram resposta quadrática ao aumento das doses de nitrogênio, com o teor máximo ocorrendo na dose de 96 mg dm<sup>-3</sup>. A redução ocorrida a partir dessa dose pode estar relacionada tanto com o aumento dos teores trocáveis e com a disponibilidade do potássio no solo (Büll, 1993; Andreotti, 1998).

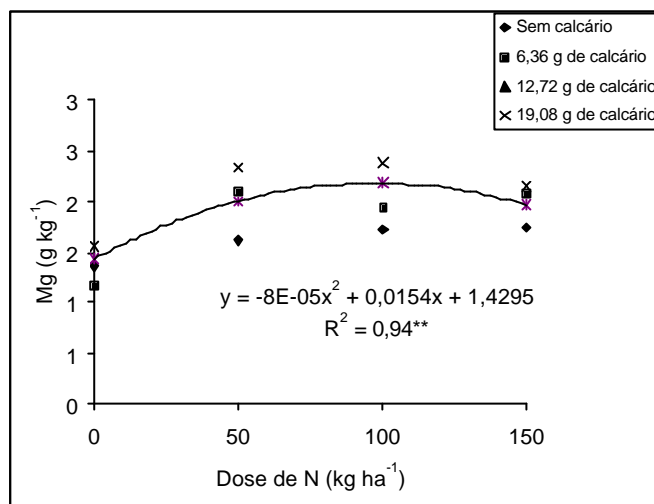


Figura 54. Teores de Mg na parte aérea do milho em função das doses de nitrogênio.

O desdobramento da interação dos tratamentos (Figura 55) revela que a maior dose de nitrogênio combinada com a maior dose de calcário proporcionou redução do teor de enxofre na parte aérea do milho, provavelmente porque o aumento da concentração de íons na solução do solo promove maior lixiviação do sulfato, bem como a formação de precipitados na solução do solo (Pavan, 1983), diminuindo sua disponibilidade para absorção pelas plantas.

Quanto à produção de matéria seca da parte aérea do milho, verifica-se que não houve resposta à calagem superficial (Quadro 35), enquanto que para as doses de nitrogênio a resposta foi quadrática (Figura 56), com máximo valor obtido na dose de 87 mg dm<sup>-3</sup>. Vários trabalhos realizados em campo relataram a ausência de resposta das culturas à

calagem superficial (Caires et al., 1998, 1999). Por outro lado, a resposta positiva do milho à adubação nitrogenada é destacada por diversos autores.

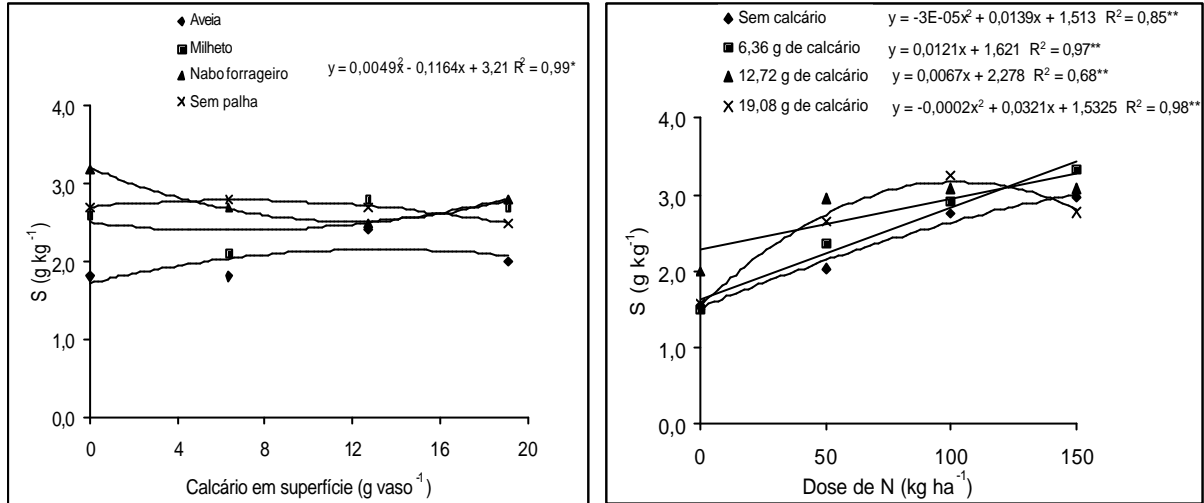


Figura 55. Desdobramento da interação de doses de calcário com as doses de nitrogênio nos teores de S na parte aérea do milho.

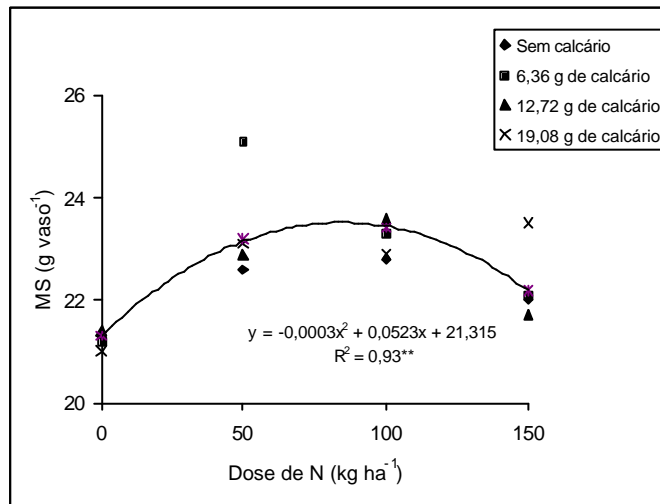


Figura 56. Produção de matéria seca da parte aérea do milho em função das doses de nitrogênio.

No Quadro 36 observa-se que o aumento das doses de nitrogênio reduziu a produção de matéria seca de raízes em todos os níveis de calagem superficial. O



aumento da disponibilidade de nutrientes na superfície permitiu menor gasto de energia para produção de raízes.

Quadro 36. Produção de matéria seca total (PMST) e porcentagem de raízes nas camadas do solo.

Profundidade (cm)	Saturação por bases															
	30%				50%				70%				90%			
	0	50	100	150	0	50	100	150	0	50	100	150	0	50	100	150
	------(%)-----															
0-5	22	19	19	24	17	17	18	21	24	18	17	22	19	20	21	21
5-10	13	12	12	14	11	12	13	14	13	15	15	12	12	12	12	12
10-20	18	19	20	21	20	21	19	19	19	20	20	18	18	19	19	18
20-40	48	50	48	41	52	51	50	46	45	47	49	48	51	49	48	49
Total (g vaso <sup>-1</sup> )	5.5	4.5	3.8	3.6	5.5	4.9	4.3	3.9	4.5	4.1	3.7	3.3	4.7	4.5	4.2	3.8

## 7. CONCLUSÕES

O nitrato está associado ao movimento de bases no perfil do solo, com maior participação na lixiviação de K.

Independentemente da presença de resíduos vegetais, o calcário aplicado na superfície não foi efetivo na neutralização da acidez do solo nas profundidades abaixo de 5cm.

A produção de matéria seca do milho foi prejudicada pela aplicação de altas doses de nitrogênio, porém não foi afetada pela aplicação do calcário na superfície.

A absorção de nutrientes pelo milho foi prejudicada pela aplicação de altas doses de calcário na superfície em função do desequilíbrio iônico na solução do solo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C., BASSO, C. J., CERETTA, C.A., GONÇALVES, C. N., Da ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.25, n.1, p.157-65, 2001.

AMARAL, F.C. S., VETTORAZZO, S. C., CHTOLINA, J. C. Efeito do fluoreto de cálcio e do carbonato de cálcio na decomposição química da solução percolada de um solo ácido. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.22, p.397-85, 1998.

ANDREOTTI, M. *Resposta do milho ao potássio em função da saturação do solo por base*. Botucatu, 1998. 85p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

AOYAMA, M. Fractionation of water-soluble organic substance formed during plant residue decomposition and high performance size exclusion chromatography of the fractions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, v.42, p.21-30, 1996a.

AOYAMA, M. Use of high performance size exclusion chromatography to monitor the dynamics of water-soluble organic substances during the decomposition of plant residues in soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, v.42, p.31-40, 1996b.

ARGENTA, G. *Manejo do nitrogênio em milho implantado em semeadura direta, em dois ambientes*. Porto Alegre, 1998. 108p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AZEVEDO, A. C., KAMPF, N., BOHNERN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de latossolo Bruno pela calagem. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.20, p.191-8, 1996.

BABER, S. A. *Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach*. New York. John Wiley, 1984. 398p.

BARTZ, H. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM: PLANTIO DIRETO EM SOLOS ARENOSOS: ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA A SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA, 6, 1998, Santa Maria. *Palestras apresentadas...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1998. p. 52-81.

BASSO, C. J., CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a planta de cobertura do solo, sob plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.24, p.905-15, 2000.

BESSHO, T., BELL, L. C. Soil solid and solution phase changes and mung bean response during amelioration of aluminum toxicity with organic matter. *Plant Soil*, v.140, p.183-93, 1992.

BLEVINS, R. L., THOMAS, G. W., CORNELUIS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agron. J.*, v.69, p.383-6, 1977.

BLOOM, P. R., McBRIDE, M. B., WEAVER, R. M. Aluminum organic matter in acid soils, buffering and solution aluminum activity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.43, p.488-93, 1979.

BORTOLINI, C. G., SILVA, P. R. F., ARGENTA, G. Sintomas consorciado de aveia preta e ervilha comum como cobertura de solos e seus efeitos na cobertura do milho em sucessão. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.24, p.897-903, 2000.

BÜLL, L. T. Acidez e calagem In: BÜLL, L. T., ROSOLEM, C.A. *Interpretação da análise química de solo e planta para fins de adubação*. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícolas e Florestais, 1989. 360p.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. C.(Ed). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 1993. p.63-146.

BÜLL, L.T., BOARETTO, A. E., MELLO, F.A.F., SOARES, E. Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras. II. Absorção de potássio em função da relação K/(Ca+Mg) no complexo de troca do solo. *Científica*, v.21, p.67-75, 1993a.

BÜLL, L.T., MELLO, F.A.F., SOARES, E., BOARETTO, A. E. Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras. I. Absorção de potássio em função da espécie vegetal. *Científica*, v.21, p.55-66, 1993b.

BÜLL, L.T., SOARES, E., BOARETTO, A. E., MELLO, F.A.F. Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras. III. Absorção de potássio em função do potencial de potássio do solo. *Científica*, v.21, p.77-86, 1993c.

BÜLL, L.T., SOARES, E., BOARETTO, A. E., MELLO, F.A.F. Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras. IV. Produção de matéria seca. *Científica*, v.21, p.87-95, 1993d.

CAIRES, E. F. *Resposta diferencial de genótipos de amendoim (Arachis hypogaeae) à calagem*. Botucatu, 1990, 114p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciência Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

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

CAIRES, E. F., FONSECA, A. F., FERDHASUS, I. C., BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.25, p.1029-40, 2001.

CAIRES, E. F., FONSECA, A. F., MENDES, J., CHUEIRI, W. A., MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.23, p.315-27, 1999.

CAMARGO, O. A., RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.13, p.275-80, 1989.

CASSIOLATO, M. E., MEDA, A. R., PAVAN, M. A., MIYAZAWA, M., OLIVEIRA, J.C. Avaliação de cultivares de aveia quanto a mobilização do calcário em solo ácido. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, 19, 1999, Porto Alegre. *Resumos...* Porto Alegre: Universidade Federal Rio Grande do Sul, 1999. p.346-7.

CASSOL, L. C. *Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo*. Porto Alegre, 1995. 97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CERETTA, C. A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema plantio direto. In: ATUALIZAÇÃO EM RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM. ÊNFASE EM PLANTIO DIRETO, 5, Santa Maria, 1997. *Palestras apresentadas...*, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 131p.

CHAVES, J.C. D., PAVAN, M. A., MIYAZAWA, M. Especificação química da solução do solo para interpretação da absorção de cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.26, p.447-57, 1991.

COSTA, A. *Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja trigo em sistema plantio direto*. Botucatu, 2000. 146p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- DYNIA, J.F., CAMARGO, O.A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.34, p.141-4, 1999.
- ERNANI, P. R., GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.7, p.161-5, 1983.
- ERNANI, P. R., RIBEIRO, M. S., BAYER, C. Modificação química em solos ácidos ocasionados pelo métodos de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. *Sci. Agric.*, v.58, n.4, p.825-831, 2001.
- FARINA, M. P. W., CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.52, p.175-80, 1988.
- FOLONI, J. S. S., OLIVEIRA, R. H., GONÇALVES, J. R. P., AMARAL, J.G.C., ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação com N no algodão: crescimento vegetal lixiviação de bases e dinâmicas do nitrogênio no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 28, Londrina. *Resumos...* Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2001. p.162.
- FORNASIERI FILHO, D. *A cultura do milho*. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.
- FRANCHINI, J. C., MALAVOLTA, E., MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.23, p.533-42, 1999.
- FRANCHINI, J. C., MEDA, A. R., CASSILATO, M. E., MIYAZAWA, M., PAVAN, M. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por métodos biológicos. *Sci. Agric.*, v.58, p.357-60, 2001.
- FRANQUINI, J. C., BORKERT, C. M., FERREIRA, M. M., GAUDÊNCIO, C. A. Alteração na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.24, p.457-9, 2000.
- FRIES, M. R. Micronutrientes e matéria orgânica: recuperação pelo sistema direto. In: ATUALIZAÇÃO EM RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM. ÊNFASE EM PLANTIO DIRETO, 5, Santa Maria, 1997. *Palestras apresentadas...*, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1997. p.47-74
- GASSEN, D. N., KOCHHANN, R. A. Benefícios da fauna do solo de plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.) *Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto*. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 1998. p.151-60.
- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 5.ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1973. 430p.
- GONÇALVES, C. N. *Plantas de cobertura de solo no inverno e seus efeitos sobre carbono, nitrogênio e fósforo de solo e na produtividade do milho em , sucessão, sob plantio direto*.

Santa Maria, 1997. 115p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Santa Maria.

HARTER, R. D., NAIDU, R. Role of metal-organic complexation in metal sorption by soils. *Adv. Agron.*, v.55, p.219-63, 1995.

HEINRICHES, R., AITA, C., AMADO, T. J. C., FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilha: relação c/n da fitomassa e produtividade do milho em sucessão *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.25, p.331-40, 2001.

HELYAR, K. R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R. J., BALIGAR, V. C., MURRNAN, R. P. (Eds.) *Plant-soil interactions at low pH*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p.365-82.

HOYT, P. B., TURNER, R. C. Effect of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH<sub>4</sub> and crop yields. *Soil Sci.*, v.119, p.227-37, 1975.

HUE, N. V. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.23, p.241-64, 1992.

HUE, N. V., AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.20, p.1499-511, 1989.

HUE, N. V., CRADDOCK, G. R., ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.50, p.28-34, 1986.

KRETZSCHAMAR, R. M., HAFNER, H., BATIONO, A., MARSCHNER, H. Long and short-term effects of crop residues on aluminum toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in acid sandy soil. *Plant Soil*, v.136, p.215-23, 1991.

LANTMANN, A. F., PALHANO, J. B. Adubação potássica. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1983, Londrina. *Palestras apresentadas...* Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1983. p.197-226.

LIMA, E. V. *Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja à cobertura vegetal e à calagem superficial na implantação do sistema de semeadura direta*. Botucatu: 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

LOPES, A. S. *Manejo de solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo*. Piracicaba: Potafos, 1984. 162p.

LOYOLA Jr., E., PAVAN, M. A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.13, p.131-8, 1989.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

McBRIDE, M. B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1994. 406p.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MIYAZAWA, M., CHIERICE, G. O., PAVAN, M. A. Amenização de toxidez de alumínio às raízes de trigo pela complexação de ácidos orgânicos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.16, p.209-15, 1992.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Rev. Bras.Ciênc. Solo*, v.17, p.411-6, 1993.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4, 1996, Belo Horizonte. *Abstracts...* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CPATSA, 1996. p.8.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.7, p.95-102, 1983.

OATES, K. M., CALDWELL, A. G. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.49, p.915-8, 1985.

OLIVEIRA, E. L., PAVAN, M. A. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina. *Anais...* Petrolina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CPATSA, 1994. p.178.

OLMOS, J. I. L., CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Cienc.Cult. (São Paulo)*, v.28, p.171-8, 1976.

PAVAN, M.A. Ação dos corretivos e fertilizantes na dinâmica de íons no solo. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1983, Londrina. *Palestras apresentadas...* Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1983. p.47-63.

PAVAN, M. A. Movimentação de calcário no solo através de técnica de manejo da cobertura em pomares de macieira. *Rev.Bras.Frusic.*, v.16, p.86-91, 1984.

PAVAN, M. A., BINGHAM, F. T., PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee (*Coffea arabica* L.) in Ultisols and Oxisols amended with amended with  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.46, p.1201-7, 1982.

PAVAN, M. A., BINGHAM, F. T., PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.48, p.33-8, 1984.



- PAVAN, M.A., ROTH, C.H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol. *Cienc. Cult.*, v.44, p.391-4, 1992.
- PEARSON, R. W., ABRUNA, F., VICE-CHANDLER, J. Effect of lime and nitrogen application on downward movements of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. *Soil Sci.*, v.93, p.77-82, 1962.
- PETRERE, C., ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.25, p.885-95, 2001.
- PINTO, L. F. G., CRESTANA, S. Viabilidade do uso da adubação verde nos agrossistemas da região de São Paulo, SP. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.22, p.329-36, 1998.
- PÖTTKER, D., ROMAN, E. S., Efeito de resíduos de cultura e do pousio de inverno sobre a resposta de milho a nitrogênio. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.29, p.763-70, 1994.
- PÖTTKER, D., BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas em sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.22, p.675-84, 1998.
- RAIJ, B. van, ANDRADE, J. C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 284p.
- RAIJ, B. van. Propriedades eletroquímicas de solo. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1, 1986, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Fundação Cargill, 1986. p.9-39.
- RHEINHEIMER, D. S., SANTOS, E. J. S., KAMINSKI, J., BORTUZZI, E. C., GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.24, p.797-805, 2000.
- RITCHEY, K. D., SILVA, J. E., COSTA, V. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of Savannah Oxisols. *Soil Sci.*, v.133, p.378-82, 1982.
- RITCHIE, S.W., HANWAY, J.J., BENSON, G.O. *How a corn plant develops*. Ames: Cooperative Extension Service, Iowa State University of Science and Technology, 1993. 21p. (Special Report, 48)
- RITCHIE, G. S. P., DOLLING, P. J. The role of organic matter in soil acidification. *Aust. J. Soil Res.*, v.23, p.569-76, 1985.
- SÁ, J. C. M. *Manejo da fertilidade do solo no plantio direto*. Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.
- SÁ, J. C. M. Manejo do nitrogênio na cultura do milho. In: FANCELLI, A. L., DOURADO-NETO, D., (Eds.). *Tecnologia da produção de milho*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1997. p.84-103.

SÁ, J. C. *Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto*. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 23p.

SALET, R. L., VARGAS, L. K., ANGHINONI, I., KOCHHANN, R. A., CONTE, E. Por quê a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema direto? In: SEMINARIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Passo Fundo. *Anais...* Passo Fundo: 1997. p.217-9.

SALET, R. L. *Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema de plantio direto*. Porto Alegre, 1994. 110p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANGOI, L., ERNANI, P. R., RAMPAZZO, C., GRACIETTI, L. C., KONFLRANZ, V. A. Dinâmica do nitrogênio no solo em função do manejo da planta e da forma de aplicação do fertilizante nitrogenado. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE: MILHO E FEIJÃO, 2, 1999, Lages. *Resumos...* Lages: UDES/EPAGRI, 1999. v.1, p.213-8.

SANTOS, J. C. F. *Mobilização de cálcio e alumínio em solos ácidos por compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais*. Piracicaba, 1997. 72p. Tese (Doutorado em Ciências/Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

SHAINBERG, I., SUMNER, M. E., MILLER, W. P., FARINA, M. P. W., FEY, M. V. Use of gypsum on soils: a review. *Adv. Soil Sci.*, v.9, p.1-111, 1989.

SILVA, A. A., VALE, F. R., FERNANDES, L. A., FURTINI NETO, A. E., MUNIZ, S. A. Efeitos de relações  $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$  na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.22, p.451-7, 1998.

SILVA, M. T. B., ANTONIOLLI, Z. I., PETRESE, C., BIANCHI, M. A., GIRACCA, M. N. Influência de larvas de *Diloboredus abderus* (Sturm) na densidade de organismos e características químicas do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.21, p.347-51, 1997.

SILVA, R. H., ROSOLEM, C. A. Influencia da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.36, p.1269-75, 2001.

SIQUEIRA, J. O., FRANCO, A. A. *Bioteχνologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura, 1988. 236p.

SOUZA, L. S. *Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo*. Porto Alegre, 1992. 162p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SPOSITO, G., MATTIGOD, S. V. *GEOCHEM*: a computer program for the calculation of chemical equilibrium in soil solution and other natural water systems. Riverside: Kearney Foundation of Soil Science, University of California, 1980. 110p.

STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: genesis composition, reactions*. 2nd.ed. New York: John Wiley, 1994. 496p.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S., STEWART, B.A. (Eds.) *Subsoil management techniques*. Athens: Lewis Publishers, 1995. p.147-85.

WONG, J. *Disponibilidade de nutrientes e produção de soja em solos de Mato Grosso do Sul em função da calagem*. Botucatu, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.