

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

**CALAGEM NA SUPERFÍCIE PARA A CULTURA DA SOJA, EM
SEMEADURA DIRETA SOBRE *Brachiaria brizantha***

ROBSON ROLLAND MONTICELLI BARIZON

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Janeiro – 2001

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

**CALAGEM NA SUPERFÍCIE PARA A CULTURA DA SOJA, EM
SEMEADURA DIRETA SOBRE *Brachiaria brizantha***

ROBSON ROLLAND MONTICELLI BARIZON

ORIENTADOR: PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Janeiro – 2001

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio, pelo carinho, e pela referência que são na minha vida.

Ao Professor Dr. Dirceu Maximino Fernandes, pela confiança depositada em mim, e pela orientação que muito contribuiu para minha formação profissional.

Ao Prof. Dr. Adalberto J. Crocci e a Prof^a Dr^a Martha M. Mischan pelo auxílio na análise estatística dos dados apresentados neste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Recursos Naturais/Solos, pelo apoio, pelo convívio e pela disposição em auxiliar na condução deste experimento.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, em especial Eduardo Negrisoni, Gustavo Tofoli, Marcelo M. Muller e Vicente R. S. César, pela amizade e companheirismo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural pelo apoio e pela colaboração prestada durante todo o período de realização do trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Experimental Lageado, em especial ao técnico agrícola Marcos José Gonçalves, pelo apoio imprescindível nas atividades de campo.

Ao Prof. Dr. André Mendes Jorge, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, pela disposição em auxiliar.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA/UNESP – Campus de Botucatu, pela oportunidade de fazer o curso de Pós-Graduação.

À CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Aos funcionários(as) da Biblioteca/FCA, pela gentileza e disposição.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação, pela gentileza e disposição.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1 Plantio Direto	7
4.2 Calagem no sistema plantio direto	12
4.3 Compostos orgânicos na química de solos ácidos	18
5 MATERIAL E MÉTODOS	22
5.1 Localização e caracterização da área experimental, solo e clima	22
5.2 Tratamentos e delineamento experimental	26
5.3 Instalação e condução do experimento	27
5.3.1 Manejo da palhada.....	27
5.3.2 Aplicação do calcário.....	28
5.3.3 Cultivo da soja	31
5.4 Avaliações	31
5.4.1 No solo	31
5.4.2 Na planta	33
5.5 Análise estatística	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6.1 Avaliação das características químicas do solo	35
6.1.1 Acidez ativa (pH)	35
6.1.2 Acidez potencial (H+Al)... ..	38
6.1.3 Alumínio trocável (Al)	41
6.1.4 Cálcio trocável (Ca)	43
6.1.5 Magnésio trocável (Mg)	45

6.1.6	Potássio trocável	49
6.1.7	Fósforo disponível	51
6.1.8	Capacidade de troca de cátions	54
6.1.9	Saturação de bases	56
6.1.10	Micronutrientes	59
6.1.10.1	Cobre	59
6.1.10.2	Ferro.	61
6.1.10.3	Manganês	63
6.1.10.4	Zinco	65
6.1.10.5	Boro	67
6.2	Avaliação dos parâmetros nutricionais da soja	69
6.3	Avaliação dos parâmetros de produção da soja	75
7	CONCLUSÕES	78
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
Quadro 1. Resultado da análise química nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm de profundidade, de amostras de Latossolo Vermelho distroférico da área experimental	24
Quadro 2. Resultados da análise granulométrica na camada de 0-20 cm de profundidade de amostra de Latossolo Vermelho distroférico	25
Quadro 3. Análise química e granulométrica do calcário utilizado no experimento	27
Quadro 4. Composição química da parte aérea da palhada de brizantão, na primeira época de coleta	28
Quadro 5. Relação dos insumos agrícolas utilizados na condução da cultura de soja	32
Quadro 6. Valores de pH(CaCl ₂), nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	37
Quadro 7. Valores de H+Al nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	40
Quadro 8. Valores de alumínio trocável (Al ³⁺), nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	42
Quadro 9. Valores de cálcio, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	46
Quadro 10. Valores de magnésio, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	48
Quadro 11. Valores de potássio, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	50
Quadro 12. Valores de fósforo, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	53
Quadro 13. Valores de capacidade de troca de cátions, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	55
Quadro 14. Valores de saturação de bases, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	58
Quadro 15. Valores de cobre, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	60
Quadro 16. Valores de ferro, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	62
Quadro 17. Valores de manganês, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	64
Quadro 18. Valores de zinco, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	66
Quadro 19. Valores de boro, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário	68

Quadro 20. Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu) e ferro (Fe) em amostras retiradas no período de florescimento da soja, em função de doses de calcário aplicadas na superfície	71
Quadro 21. Teores foliares de manganês em amostras retiradas no período de florescimento da soja, em função das doses de calcário e manejo da palhada	74
Quadro 22. Valores médios de altura de plantas (cm), número de grãos por vagem, número de vagens por planta, percentual de vagens chochas (%), massa de 1000 grãos (g) e estimativa de rendimento (kg ha ⁻¹) em função de níveis de calagem	77

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Vista geral da pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> , antes da implantação do experimento	23
Figura 2. Precipitação pluviométrica registrada durante o período do experimento	25
Figura 3. Temperaturas médias registradas durante o período do experimento	25
Figura 4. Vista geral do experimento, 20 dias após a semeadura da cultura da soja	29
Figura 5. Operação de trituração da pastagem, anterior à implantação do experimento (Outubro/99)	30
Figura 6. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o valor pH(CaCl ₂), em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	36
Figura 7. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o valor da acidez potencial, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	39
Figura 8. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de alumínio trocável no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	41
Figura 9. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de cálcio trocável no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	44
Figura 10. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de magnésio trocável no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	47
Figura 11. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de potássio trocável no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	49
Figura 12. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de fósforo no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	52
Figura 13. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a capacidade de troca de cátions, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	54
	57

Figura 14.	Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a saturação de bases, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	
Figura 15.	Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o teor de cobre no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	59
Figura 16.	Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o teor de ferro no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	61
Figura 17.	Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o teor de manganês no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	63
Figura 18.	Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o teor de zinco no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	65
Figura 19.	Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o teor de boro no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação	67
Figura 20.	Teores foliares de macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em amostras retiradas no período de florescimento da soja, cultivada no ano agrícola de 1999/2000, em função de doses de calcário aplicado em superfície. Dados médios de 4 repetições	70
Figura 21.	Teores foliares de micronutrientes, boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn), em amostras retiradas no período de florescimento da soja, cultivada no ano agrícola de 1999/2000, em função de doses de calcário aplicado em superfície. Dados médios de 4 repetições	73
Figura 22.	Teores foliares de manganês, em amostras retiradas no período de florescimento da soja, cultivada no ano agrícola de 1999/2000, em função de doses de calcário aplicadas em superfície. Dados médios de 4 repetições	74
Figura 23.	Estimativa de rendimento da soja, cultivada no ano agrícola de 1999/2000, em função do calcário aplicado na superfície de Latossolo Vermelho distroférrico	75

1. RESUMO

Com o objetivo de estudar o efeito do calcário dolomítico aplicado na superfície do solo, com e sem palhada de brizantão (*Brachiaria brizantha*), sobre alguns atributos de fertilidade do solo (pH(CaCl₂), H⁺Al, Al, P_{resina}, Ca, Mg, K, CTC, V%, Cu, Zn, Fe, Mn e B) e sobre a nutrição e produção na cultura da soja. O experimento foi instalado e conduzido em área da Fazenda Experimental Lageado, coordenadas geográficas: 22°51' Latitude Sul e 48°26' Longitude Oeste e altitude média de 760 m, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Universidade Estadual Paulista, num Latossolo Vermelho distroférico, durante os meses de Outubro/99 a Julho/2000, com delineamento experimental em parcelas subdivididas e blocos casualizados e quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação na superfície do solo de doses crescentes de calcário: 1,0; 2,3; 3,4 e 4,5 Mg ha⁻¹, quantidades calculadas para elevar a saturação de bases na camada de 0-20 cm para 50; 65; 80 e 95%, respectivamente, e mais um tratamento testemunha, sem calagem (V=36%). As parcelas foram subdivididas, retirando-se a palhada de brizantão de uma das subparcelas, totalizando 2.236 kg ha⁻¹. A soja (CO-201) foi semeada com 22 sementes/m e

população visando 440.000 plantas/ha. No florescimento da soja, foram coletadas folhas para determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B). Antes da colheita da soja foram coletadas 12 plantas por parcela para determinação de altura de plantas, percentagem de vagens chochas, número de grãos/vagem, número de vagens/planta e massa de 1000 grãos. O solo foi coletado 3 meses após a colheita da soja em 4 profundidades: 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm. Os resultados mostraram que o calcário aplicado na superfície aumentou o valor de pH, o teor de cálcio trocável e a saturação de bases até a profundidade de 40 cm, porém, o efeito foi mais pronunciado até a profundidade de 10 cm. A calagem reduziu os teores foliares de fósforo e magnésio na cultura da soja. Com relação aos parâmetros de produção, observou-se aumento na produção de soja com a aplicação do calcário. A palhada de brizantão reduziu o teor foliar de boro e manganês na cultura da soja, sendo que no caso do manganês, esta redução só foi observada na ausência de calcário, e não afetou os atributos avaliados do solo.

Palavras chaves: Calagem na superfície, plantio direto, brizantão, palhada, *Brachiaria brizantha*.

SUPERFICIAL LIMING ON SOYBEAN (*Glycine max.* (L.) Merrill), UNDER NO-TILLAGE ON *Brachiaria brizantha*.

(Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Robson Rolland Monticelli Barizon

Adviser: Dirceu Maximino Fernandes

2. SUMMARY

This study was carried out on a Red Distroferric Latossol (Oxisol) to examine the effect of superficial liming and “Brizantão” (*Brachiaria brizantha*) straw on some soil fertility parameters ($\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$, H^+Al , Al , P_{resina} , Ca , Mg , K , CEC , saturation of bases, Cu , Zn , Fe , Mn and B) and on soybean nutrition and yield. A completely randomized block design was used, with four replications, in the split-plot design. Treatments consisted on the application of increasing rates of lime on the soil surface: 0; 1; 2,3; 3,4; 4,5 Mg ha^{-1} , respectively, 36, 50, 65, 80 and 95% of the saturation of bases. On each plot, “Brizantão” straw was entirely removed from one of the subplots. Removal was done twice and totalized 2.236 Kg ha^{-1} . Soybean (CO-201) was sowed in order to reach a stand of 440.000 plants ha^{-1} (22 seeds m^{-1}). Leaves were collected on flowering stage for tissue analysis, being determined the macro and micronutrients concentrations. Before harvest, 12 plants were collected on each plot for determining: plant height; percentage of failed pods; number of grains per pod; number of pods per plant; and mass of 100 grains. Soil samples were collected three months after harvest to represent the following soil layers: 0-5; 5-10; 10-20; and 20-40

cm. Results showed that superficial liming increased pH value, exchangeable calcium and the saturation of bases until 40 cm depth, with more pronounced effect on the first 10 cm. Liming increased the grain yield in spite of having reduced the concentration of phosphorus and magnesium on soybean leaves. “Brizantão” straw reduced the concentrations of Boron and Manganese on soybean leaves. For Manganese this reduction was only observed when lime was absent.

Keywords: Surface liming, no-tillage, straw, *Braquiaria brizantha*.

3. INTRODUÇÃO

A necessidade de conciliar um manejo de solo conservacionista com a realidade de nossos produtores faz com que o interesse pelo sistema de plantio direto cresça de forma pujante. Estima-se que mais de 14 milhões de hectares estejam sendo cultivados sob o sistema de plantio direto no Brasil (FEBRAPDP, 2000).

O sistema de plantio direto tem como característica principal o revolvimento do solo somente na linha de semeadura, mantendo os resíduos vegetais em sua superfície e minimizando os efeitos erosivos das precipitações intensas que ocorrem em climas tropicais. Por outro lado, o não-revolvimento traz alguns questionamentos do ponto de vista químico do solo, um destes está ligado à correção da acidez, em razão da baixa solubilidade dos corretivos empregados na agricultura brasileira, dificultando a correção da acidez ao longo do perfil do solo.

Trabalhos tem demonstrado a viabilidade da adoção da calagem em superfície no sistema plantio direto, porém, os mecanismos envolvidos que permitem tais resultados carecem ser melhor estudados. Alguns autores acreditam que a decomposição de

raízes, a atividade da micro e macrofauna e fendilamentos nos planos de fraqueza do solo, podem favorecer o deslocamento de partículas finas de calcário no perfil do solo (Sá, 1995). Entretanto, a análise isolada desta hipótese não permite entender a dinâmica química observada em solos cultivados neste sistema.

A complexação do alumínio, cálcio e magnésio por compostos orgânicos hidrossolúveis oriundos da decomposição dos resíduos vegetais acumulados na superfície (Santos, 1999), tem demonstrado ser um importante fator envolvido nas reações de calagem neste sistema de cultivo. Desta forma, a produção de cobertura vegetal torna-se importante não somente para a conservação do solo, mas também para o manejo da acidez do solo.

As plantas diferem entre si quanto à capacidade de complexação destes elementos, provavelmente devido a proporção produzida destes compostos orgânicos ser diferenciada para cada espécie (Miyasawa et al., 2000). Sendo assim, a escolha das espécies utilizadas na rotação de culturas assume grande importância na viabilização da calagem realizada em superfície no sistema de plantio direto.

Com a crescente adoção do sistema de integração lavoura-pecuária, onde as pastagens são utilizadas como cobertura vegetal, aumenta também o interesse pelos efeitos das pastagens sobre a dinâmica química do solo, porém, muito pouco é conhecido a esse respeito.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação superficial do calcário e sua interação com a palhada de capim brizantão (*Brachiaria brizantha*) sobre algumas características químicas do solo, nutrição e produção da soja.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Plantio Direto

O conceito inicialmente adotado, para plantio direto (PD), foi derivado da expressão “no-tillage”, que significa sem preparo, definido por Jones et. al. (1968) como sendo um procedimento de semeadura de uma cultura diretamente sobre uma cobertura morta quimicamente manejada, ou sobre os resíduos da cultura anterior, sem o preparo mecânico do leito de semeadura.

Posteriormente, Muzilli (1981) amplia o conceito definindo-o como o processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das sementes com a terra.

Atualmente, este conceito assume a visão integrada de um sistema, envolvendo a combinação de práticas culturais ou biológicas, tais como: uso de produtos

químicos e práticas mecânicas no manejo de culturas destinadas à adubação verde; manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo; adoção de métodos integrados de controle de plantas daninhas; e o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura (Sá, 1995).

O plantio direto tem como característica principal a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo. Estes resíduos formam uma cobertura que o protege do processo erosivo ocasionado por chuvas intensas, reduzindo assim perdas de solo e nutrientes (Hernani et al., 1997; Hernani et al., 1999). Além disso, algumas modificações físicas são observadas em solos sob plantio direto: menor proporção de partículas menores que 1mm, maior tamanho de agregados e maior diâmetro médio geométrico de agregados (Singh et al., 1994); maior conteúdo de água no solo (Buschiazzo et al., 1998; Unger & Jones, 1998).

Outro atributo físico que é influenciado pelo plantio direto é a densidade do solo, que costuma apresentar valores maiores, principalmente na superfície do solo (Francis & Knight, 1993; Unger & Jones, 1998; Gomez et al., 1999). A densidade do solo está relacionada com a distribuição de poros, sendo que no plantio direto, a proporção de macroporos na camada superficial do solo é menor quando comparada com sistemas de preparo com revolvimento do solo (Ferrerias et al., 2000; Francis & Knight, 1993).

As modificações nos atributos físicos do solo não parece ser fator limitante para o desenvolvimento radicular das culturas. Avaliando o efeito de métodos de preparo sobre o desenvolvimento do sistema radicular do milho em um solo Podzólico Vermelho-Escuro, Mello Ivo & Mielniczuk (1999), não observaram diferenças na massa seca de raízes. DeMaria et al. (1999a), encontraram valores de densidade de raízes de soja maiores

no plantio direto num Oxisol argiloso, comparado ao plantio convencional, apesar do plantio direto ter apresentado valores elevados de resistência a penetração e densidade do solo.

De forma similar às propriedades físicas, as propriedades químicas são alteradas no plantio direto. Muzilli (1983) mostrou um nítido acúmulo de fósforo nas camadas superficiais do solo em plantio direto, estando de acordo com resultados obtidos por outros autores (Bayer & Mielniczuk, 1997; Hargrove et al., 1982; Kitur et al., 1994). Santos et al. (1995), observaram teores de P superiores no plantio direto, quando comparados ao plantio convencional, na camada de 0-5 cm, sendo atribuído tal resultado ao não-revolvimento do solo e à baixa mobilidade deste nutriente.

Mesmo nutrientes com maior mobilidade no solo tendem a apresentar maiores concentrações nas camadas superficiais de solos sob plantio direto. O potássio, apesar de não ligar-se a compostos orgânicos, tem suas concentrações aumentadas na camada superficial (DeMaria et al., 1999b; López-Fando & Almendros, 1995; Muzilli, 1983; Rheinheimer et al., 1998). Porém, Santos et al. (1995), conduzindo experimento em Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa, não observaram diferenças nos níveis de K nas profundidades e nos sistemas de preparo avaliados.

Hargrove et al. (1982), entretanto, mostraram menores concentrações de K na camada de 0-7,5 cm de um Ultisol com textura argilosa, no tratamento plantio direto. Segundo o autor, esta menor concentração de K observada poderia ser devido a perdas por escoamento superficial, o que é pouco provável, haja visto que o plantio direto reduz as perdas por erosão. Liberação de K pelos minerais do solo através de operações de preparo é outra hipótese que o autor formula para explicar as maiores concentrações de K observadas nos tratamentos com revolvimento do solo.

O cálcio, de forma semelhante ao K, tende a acumular na superfície dos solos sob plantio direto (DeMaria et al., 1999b; Kitur et al., 1994; Rheinheimer et al., 1998). Em rotações de cultura onde a soja é incluída, a estratificação do Ca no perfil do solo dá-se de forma mais evidente (Muzilli, 1983).

Já para o magnésio, os resultados obtidos até o momento não permitem inferir sobre o seu comportamento em solos sob plantio direto. Hargrove et al. (1982) observaram menores teores de Mg no plantio direto na camada de 0-5 cm. Resultados mostrando maiores teores de Mg na camada superficial são apresentados por Bayer & Mielniczuk (1997) e Muzilli (1983).

A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo reduz a taxa de decomposição destes resíduos por microorganismos, resultando num aumento dos teores de carbono orgânico na camada superficial do solo (Barber et al., 1996; Bayer & Mielniczuk, 1997; Rheinheimer et al., 1998; Torbert et al., 1997). Em estudo de longa duração, DeMaria et al. (1999b) encontraram aumento do teor de carbono orgânico na camada de 0-5 cm, 3 anos após a implantação do experimento. Após 11 anos, o aumento do teor de carbono orgânico estendeu-se à camada de 5-10 cm.

Em consequência do aumento do teor de carbono orgânico no solo verificado no plantio direto, a capacidade de troca de cátions (CTC) tende a apresentar valores mais elevados neste sistema (Kitur et al., 1994; Rheinheimer et al., 1998). De forma similar aos teores de carbono orgânico, o aumento da CTC é mais pronunciado na camada superficial do solo. Bayer & Mielniczuk (1997) obtiveram aumento de $3,14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na CTC de solo Podzólico Vermelho-Escuro, textura argilosa, com o incremento de 1 g dm^{-3} de carbono orgânico no solo.

A dinâmica do nitrogênio, no plantio direto, comporta-se de maneira distinta ao plantio convencional. Em razão do acúmulo de resíduos culturais na superfície e a ausência de revolvimento do solo, as taxas de decomposição são menores e reguladas principalmente pela quantidade de carbono e nitrogênio existentes nestes resíduos. O solo parece ser um ambiente eficiente na manutenção de nitrogênio resultante de resíduos vegetais, pois segundo Pavinato (1993), cerca de 40% do N adicionado permaneciam no solo após oito anos de plantio direto. Em razão disto, o teor de N no solo tende a aumentar no plantio direto, principalmente na camada superficial (Francis & Knight, 1993; Torbert et al., 1997). O teor de N no solo porém, depende de vários fatores, como sistema de rotação de culturas, textura do solo e clima. A interação entre estes fatores e o manejo do solo determina o teor de N no solo. López-Fando & Almendros (1995), não observaram aumento significativo no teor de N de um Alfisol de textura franco-argilosa, embora a concentração de N tendesse a ser maior no plantio direto.

As alterações nas propriedades físico-químicas de solos no plantio direto irão expressar-se no desenvolvimento das culturas, principalmente na produtividade, havendo grande discordância entre os resultados, em grande parte devido as características ambientais e condições de implantação e condução dos experimentos. Vários autores não observaram diferenças significativas no rendimento das culturas (DeMaria et al., 1999b; López-Fando et al., 1995; Santos et al., 1995), apesar de terem sido constatadas diferenças entre tratamentos nas propriedades físico-químicas destes solos.

Buschiazzo et al. (1998) mostraram rendimentos maiores de soja, sorgo e trigo no plantio direto, sendo atribuído os melhores rendimentos no plantio direto à

melhoria das propriedades do solo. Concordando com tal resultado, Francis & Knight (1993) mostraram maiores rendimentos de trigo no plantio direto.

Já Barber et al. (1996), encontraram os menores rendimentos de soja, milho e girassol neste sistema. Para soja, o menor rendimento no plantio direto foi atribuído ao controle ineficiente de plantas daninhas, para milho e girassol à maior compactação do solo.

4.2 Calagem no sistema plantio direto

No sistema plantio direto, a dinâmica da matéria orgânica e a liberação de nutrientes no solo são alteradas. Com o acúmulo de resíduos vegetais na superfície e conseqüente aumento da atividade biológica, as reações de mineralização dos compostos orgânicos, principalmente dos aminoácidos, são intensificadas. Essas reações, juntamente com as aplicações de fertilizantes nitrogenados, provocam acidificação da camada superficial do solo (Gomes et al., 1997).

A acidificação decorrente da aplicação de fertilizantes nitrogenados assume grande importância em solos de clima temperado. Cultivando milho sucessivamente por 16 anos no estado de Kentucky, EUA, Grove & Blevins (1988) observaram intensa acidificação num Alfisol de textura franco-siltosa, principalmente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Após 3 anos à aplicação superficial do calcário, os baixos valores de pH persistiram nos tratamentos com doses de N superiores a 168 kg ha⁻¹. Da mesma forma, Blevins et al. (1978) observaram acidificação da camada de 0-5 cm em um Ultisol textura franco-siltosa, cultivado por 5 anos com milho no sistema plantio direto, sendo esta acidificação atribuída a aplicação anual de nitrato de amônia na cultura do milho.

No Brasil, Carvalho et al. (1992), verificaram o efeito acidificante do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura de pastagem cultivada em Latossolo Vermelho-Escuro, sendo observado redução do pH no tratamento que recebeu a maior quantidade de N (400 kg ha^{-1}), após 19 meses à aplicação do calcário em superfície.

O manejo inadequado dos fertilizantes nitrogenados (uso de doses elevadas de N) pode levar à formação de uma camada muito ácida próxima à superfície, chegando a inibir o desenvolvimento do sistema radicular nesta camada (Pavan, 1995).

Para corrigir esta acidez, uma prática bastante utilizada é a calagem, devido sua rápida reação, alterando assim, propriedades químicas, físicas e biológicas (Pavan, 1997). Devido à baixa mobilidade do calcário no solo (Chaves et al., 1988), a sua incorporação é recomendada, obtendo-se resultados positivos (Gonzalez-Erico et al., 1984). Porém, no plantio direto, procura-se evitar o revolvimento do solo, mantendo assim as características favoráveis deste sistema de cultivo: maior teor de matéria orgânica, maior capacidade de troca de cátions, melhor estruturação do solo (Pötter & Ben, 1998), maior retenção de água (Singh et al., 1994).

A aplicação do calcário em superfície tem demonstrado melhorar as condições químicas do solo, elevando os valores de pH, os teores de Ca e Mg, e reduzindo os teores de Al trocável, principalmente na camada superficial (Conradie, 1995). Apesar da menor superfície de contato entre o colóide e a partícula de calcário nesta forma de aplicação, alguns autores não têm encontrado diferenças nas propriedades químicas do solo, quando o calcário é incorporado ao solo ou aplicado em superfície (Blevins et al., 1978; Santos et al., 1995).

DeMaria et al. (1999b), estudando formas de aplicação de calcário, observaram maior valor de pH e teores de Ca e Mg na camada de 0-5 cm no plantio direto, após 11 anos de cultivo. Abaixo desta camada, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, demonstrando que o calcário aplicado na superfície teve eficiência semelhante àquele incorporado ao solo. De modo similar, Santos et al. (1995), não encontraram diferenças entre o calcário aplicado na superfície ou incorporado, para pH em água, Al, Ca + Mg, na camada de 20 cm, após três anos de cultivo. Blevins et al. (1978) também mostraram resultados semelhantes entre as formas de aplicação de calcário. Tanto o calcário incorporado quanto o aplicado em superfície foram eficientes em aumentar pH e Ca na camada de 0-30 cm.

A acidez subsuperficial caracteriza grande parte dos solos tropicais, sendo um dos principais fatores limitantes à obtenção de produtividades elevadas, em razão do menor aproveitamento de água e nutrientes pelas raízes das plantas cultivadas (Sumner et al., 1986). Nestas condições, poder-se-ia esperar baixa eficiência da calagem superficial na correção da acidez subsuperficial. Porém, alguns trabalhos vem demonstrando a possibilidade da correção da acidez subsuperficial pela aplicação do calcário em superfície, ou, ao menos amenizar seus efeitos prejudiciais às plantas.

Avaliando a correção da acidez do solo mediante calagem na superfície de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, Caires et al. (1999) constataram aumento nos valores de pH até 10 cm de profundidade e também nas camadas mais profundas do solo (40-60 e 60-80 cm) 18 meses após a aplicação do calcário. Tal efeito não foi observado 40 meses após a aplicação do calcário, apesar deste continuar reagindo no solo, constatado pelo aumento de pH na camada de 20 cm neste mesmo período. Os teores de alumínio trocável também foram reduzidos pela calagem em maiores profundidades (até 80

cm). Porém, de forma semelhante ao ocorrido para o valor de pH, tal efeito não foi mais observado após 40 meses. Para cálcio, a calagem proporcionou aumento até a profundidade de 10 cm e no subsolo (60-80 cm), não sendo mais verificado tal efeito após 40 meses. Pavan (1994), 2 anos após a aplicação de calcário em superfície, constatou aumento de pH e Ca e redução do Al até 40 cm de profundidade, nas entrelinhas de pomar de macieira.

Oliveira & Pavan (1996) estudando a ação de corretivos na camada subsuperficial de um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, mostraram aumento do valor de pH, da concentração de cátions básicos e redução do Al em todo o perfil de 0-40 cm das parcelas com calcário aplicado na superfície. Rechcigl et al. (1985) observaram redução do Al até 50 cm de profundidade e aumento do pH na camada até 15 cm, com a calagem em superfície em um Ultisol textura franco-siltosa. A alfafa, planta utilizada como indicadora das modificações do solo devido sua alta sensibilidade a acidez, apresentou maior desenvolvimento radicular em profundidade superior a 100 cm.

Porém, a eficiência do calcário aplicado em superfície em corrigir a acidez do solo não foi verificada em alguns trabalhos. Em condições de clima temperado, Edwards & Beegle (1988) não observaram alteração do pH abaixo da camada de 0-5 cm em um Alfisol com elevada acidez superficial (pH = 4,4 de 0-5 cm) gerada pelo uso de fertilizantes nitrogenados. Grove & Blevins (1988), também estudando calagem em solos acidificados por fertilizantes nitrogenados (alfisol textura franco-siltosa), mostraram aumento dos valores de pH apenas na camada de 0-10 cm. Neste experimento, o tempo de reação do calcário foi lento, sendo observado diminuição nos teores foliares de Mn no milho, somente 2 anos após a aplicação do calcário em superfície.

Em condições de clima sub-tropical, Smith et al. (1994) avaliando o efeito da calagem superficial em algumas propriedades químicas de um Alfisol, observaram aumento do pH, Ca e Mg e redução do Al e Mn, extraídos com 0,01 M CaCl_2 , apenas na camada superficial de 0-5 cm, 18 meses após à calagem superficial. No Brasil, Carvalho et al. (1992), observaram aumento dos valores de pH somente na camada 0-5 cm, não obstante a redução da concentração de Al trocável ter sido observada até 15 cm de profundidade.

Os resultados divergentes em relação à correção da acidez do solo através de calagem em superfície deve-se, em grande parte, às condições experimentais, tipo e quantidade de cargas do solo, CTC dependente de pH, teor e natureza dos grupos reativos da matéria orgânica, entre outros (Pavan, 1997).

Uma das possíveis formas de ocorrer aumento do pH ao longo do perfil do solo com calcário aplicado em superfície é através do transporte vertical de ânions alcalinos (HCO_3^- e OH^-) pelo fluxo de massa. Mas para tanto, é necessário que o pH na superfície esteja próxima da neutralidade (pH 6,0) (Farina, 1997). Em condições de baixo pH, o calcário reage completamente no local de aplicação. Os íons alcalinos, então, neutralizam a acidez apenas nesta camada, não ocorrendo sua movimentação no perfil do solo (Oliveira & Pavan, 1996). No plantio direto, a acidez superficial é diminuída, em grande parte devido aos resíduos orgânicos (Sidiras & Pavan, 1985), o que permitiria a movimentação destes ânions alcalinos.

A liberação do íon OH^- pelas raízes das plantas, denominada absorção alcalina, é outra possibilidade a ser considerada no estudo da calagem no plantio direto. Para que esta reação ocorra, é necessário que o Ca dissocie-se do CaCO_3 e forme par iônico com NO_3^- da mineralização da matéria orgânica ou de fertilizantes nitrogenados. O composto

formado, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, é lixiviado facilmente em razão de sua elevada solubilidade. No subsolo, o NO_3^- é absorvido pelas raízes das plantas, que liberam íons OH^- , aumentando assim o pH (Raij et al. 1988).

O mecanismo de absorção alcalina foi apontado por Caires et al. (1999) como possível responsável pelo aumento de pH em subsuperfície em experimento conduzido para avaliar correção da acidez. Tal afirmação deve-se ao fato da coleta das amostras de solo ter sido realizada após a aplicação de nitrogênio na cultura do milho. Porém, Pavan et al. (1984) estudando movimentação de corretivos no solo, não observaram aumento de pH em maiores profundidades nos tratamentos com fertilizante nitrogenado.

A movimentação física do calcário, através de canais formados pelas raízes das culturas e plantas daninhas é citada por Oliveira & Pavan (1996) e Pavan (1994). Nestes experimentos, foi observado aumento de pH na camada subsuperficial, sendo atribuído, ao menos em parte, este aumento a movimentação física do calcário. De acordo com Conradie (1995) a mobilidade do calcário pode ser afetada por sua textura e pela condição estrutural do solo. O autor verificou maior movimentação de calcário dolomítico em relação ao calcário calcítico, sendo atribuído tal fato a menor granulometria do calcário dolomítico. Além disso, observou-se que a movimentação física de calcário foi impedida por uma camada compactada causada pela aração, o “pé-de-arado”, como é mais conhecido.

A movimentação de bases pela complexação com compostos orgânicos originados da decomposição dos resíduos vegetais acumulados na superfície é outro mecanismo relacionado à calagem de solos no plantio direto. Investigando o efeito de corretivos sobre características químicas em coluna de solo (oxisol textura muito argilosa), Pavan & Roth (1992) constataram maiores concentrações de Ca, Mg e Al em solução lixiviada

através das colunas de solo cobertas com palhada de trigo, em comparação às colunas com solo nu, evidenciando a formação de compostos entre as bases e os produtos da decomposição da palhada de trigo. A presença de Al na solução lixiviada indica a possibilidade do Al ter formado um complexo com compostos orgânicos, haja visto que devido sua valência, o Al é fortemente adsorvido nos colóides do solo, e não seria assim, esperado aumento de sua concentração na solução lixiviada das colunas cobertas com palhada de trigo.

4.3 Compostos orgânicos na química de solos ácidos

Os solos ácidos brasileiros possuem características desfavoráveis ao desenvolvimento de grande parte das culturas, apresentando elevada concentração de Al, baixo pH e baixa saturação de bases (Lopes, 1984). A alta concentração de alumínio, normalmente a valores de pH-CaCl₂ menores que 5, é considerado o mais importante fator limitante ao crescimento das plantas cultivadas (Fioretto, 1999).

Diversos experimentos vem sendo conduzidos na tentativa de demonstrar os efeitos benéficos de compostos orgânicos no crescimento de plantas em solos ácidos (Hoyt & Turner, 1975; Hunter et al., 1995). As respostas positivas obtidas parecem estar intimamente relacionadas com a redução da concentração do Al tóxico no solo. Bessho & Bell (1992), estudando mudanças em propriedades químicas de solos com aplicação de resíduos vegetais, observaram que a palhada de cevada (*Hordeum vulgare*) e folhas de *Calliandra calothyrsus* foram efetivas na amenização da toxicidade do Al, em razão da diminuição da atividade do alumínio monomérico na solução do solo, resultado da precipitação do Al solúvel. O comprimento relativo de raiz de plantas de feijão aumentou na

presença dos materiais vegetais, sendo o máximo crescimento atingido com 40 Mg ha⁻¹ de MS de ambos os materiais. Ahmad & Tan (1986) constataram que a adição de palhada de trigo reduziu significativamente a concentração do Al no solo, aumentando, desta forma, a massa de matéria seca da parte aérea da soja, superando inclusive o tratamento com CaCO₃.

A amenização da toxicidade de Al está associada ao mecanismo de complexação entre o Al e compostos orgânicos. Santos (1997), estudando o efeito de materiais vegetais na concentração de Al, demonstrou que mais de 90% do Al em solução apresentava-se na forma orgânica, com a aplicação de resíduo de nabo forrageiro.

Dentre os compostos orgânicos, diversos trabalhos tem destacado a eficiência de ácidos orgânicos na complexação do Al. Tan & Binger (1986) demonstraram a capacidade do ácido húmico em complexar alumínio através de um experimento onde plantas de milho foram cultivadas em substrato arenoso com alta concentração de Al. Os autores observaram aumento de 42,5% na produção de matéria seca do milho nos tratamentos com ácido húmico, o que evidencia a amenização dos efeitos tóxicos do Al. Harper et al. (1995) encontraram aumento significativo no comprimento relativo de raízes de milho, cultivado em solução nutritiva, com alta concentração de Al (30μM), contendo ácido fúlvico e húmico extraídos da folha de eucalipto. O desenvolvimento radicular foi estimulado pelos ácidos orgânicos mesmo na ausência de Al na solução nutritiva. Segundo Mato et al. (1972) os referidos ácidos orgânicos atuam diretamente em algumas funções enzimáticas, mesmo em baixas concentrações, o que poderia estimular o desenvolvimento das raízes.

Os ácidos orgânicos diferem quanto à capacidade em reduzir a toxicidade do Al. Avaliando a amenização do Al por ácidos orgânicos em raízes de trigo, Miyazawa et al. (1992) apresentou a seguinte classificação quanto ao grau de amenização dos

efeitos tóxicos do Al: fortes: cítrico, oxálico, tartárico e EDTA; moderados: húmico, malônico e maléico; fracos: salicílico e succínico.

Além da complexação do alumínio, os compostos orgânicos podem atuar na redução da toxicidade do Al através da elevação do pH. Hue & Amien (1989) avaliando o efeito de materiais vegetais no Al do solo, atribuíram a redução da concentração de Al, à elevação do pH verificada com a aplicação de material vegetal. Os principais mecanismos envolvidos na reação do material orgânico na acidez do solo são: dissolução de óxidos de Fe e Mn em ambiente redutor criado pela intensa atividade microbológica após a adição do material vegetal (Asghar & Kanehiro, 1980); reações de troca entre os grupos terminais OH de hidróxi-óxidos de Fe ou Al e os ânions orgânicos, produtos da decomposição dos materiais vegetais, como: malato, citrato e tartarato (Parfitt et al., 1977); adsorção de H^+ e Al^{3+} na superfície do material (Hoyt & Turner, 1975); e associação de ânions orgânicos com o H^+ no solo (Ritchie & Dolling, 1985).

Os materiais vegetais apresentam diferente capacidade de elevação do pH, conforme constatado por Miyasawa et al. (1993), que observaram ser os resíduos de leguminosas (ervilhaca-comum, feijão-bravo-do-Ceará) os mais eficientes na neutralização de H^+ . As gramíneas (azevém, capim-colonião, centeio, aveia-preta e palha de milho) e a serragem de pínus foram os materiais com a menor capacidade de neutralização de H^+ , para todos os materiais utilizou-se massa de matéria seca equivalente a 10 Mg ha^{-1} .

Além da amenização dos efeitos tóxicos do Al, os compostos orgânicos contribuem para o desenvolvimento do sistema radicular através do aumento da mobilidade do Ca no perfil do solo (Hue & Licudine, 1999). O cálcio tem sua mobilidade aumentada devido à sua complexação pelas moléculas orgânicas, formando compostos de

carga nula, que pouco interagem com a superfície de troca dos colóides. A mobilidade do Ca no perfil do solo irá depender da constante de estabilidade do composto formado, devendo esta ser superior àquela formada entre o cálcio e os sítios de troca dos colóides do solo (Franchini et al. 1999).

Assim, os compostos orgânicos assumem relevada importância no manejo de solos ácidos, através de sua interação com os componentes da acidez do solo, permitindo desta forma melhorar o ambiente radicular das plantas cultivadas, fato este já observado por alguns autores (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al. 1999).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área experimental, solo e clima.

O experimento foi instalado e conduzido em área da Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Universidade Estadual Paulista (Figura 1), e coordenadas geográficas: 22°51' Latitude Sul 48°26' Longitude Oeste.

A área vinha sendo utilizada como pastagem, com espécies nativas até 1997, quando foi feita uma reforma, com aplicação de 6 Mg,ha⁻¹ de calcário incorporado a 10 cm, sendo implantada pastagem de brizantão (*Brachiaria brizantha*) utilizada para pastoreio de bubalinos.

O solo foi classificado por Carvalho et al. (1983) como um Latossolo Roxo álico, textura argilosa, derivado de rochas eruptivas básicas, cujas análises química e granulométrica encontram-se nos Quadros 1 e 2. De acordo com o novo Sistema Brasileiro de

Classificação de Solos (Embrapa, 1999), este solo é denominado como Latossolo Vermelho distroférico.

O clima, de acordo com a classificação de Koeppen é do tipo Cfa, subtropical, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. Nas figuras 2 e 3 são apresentados os dados de precipitação pluviométrica e temperaturas médias, respectivamente, registrados no período de condução do experimento. A precipitação total no período de condução do experimento (Outubro/99 – Julho/2000) foi de 954,5 mm.



Figura 1. Vista geral da pastagem de *Brachiaria brizantha*, antes da implantação do experimento.

Quadro 1. Resultado da análise química nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 0-20 cm de profundidade, de amostras de Latossolo Vermelho distroférico da área experimental¹. Média de 15 subamostras.

Atributos	Latossolo Vermelho distroférico			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-20 cm
pH(CaCl ₂)	4,9	5,1	4,7	4,8
M.O. (g.kg ⁻¹)	24	24	20	27
P _{resina} (mg.dm ⁻³)	6	4	2	3
Al ³⁺ (mmol _c .dm ⁻³)	1	1	3	4
H+Al (mmol _c .dm ⁻³)	36	38	34	45
K (mmol _c .dm ⁻³)	2,7	1,5	0,8	0,8
Ca (mmol _c .dm ⁻³)	22	23	16	13
Mg (mmol _c .dm ⁻³)	15	17	11	12
SB (mmol _c .dm ⁻³)	39	42	28	26
CTC (mmol _c .dm ⁻³)	75	80	62	70
V%	52	52	45	36
B (mg.dm ⁻³)	-	-	-	0,04
Cu (mg.dm ⁻³)	-	-	-	4,6
Fe (mg.dm ⁻³)	-	-	-	23
Mn (mg.dm ⁻³)	-	-	-	5,4
Zn (mg.dm ⁻³)	-	-	-	1,2

¹Análise efetuada no laboratório de Fertilidade do Solo do Depto. Recursos Naturais – Área de Ciência do Solo/FCA/UNESP – Botucatu SP.

Obs: (-): determinação não realizada

Quadro 2. Resultados da análise granulométrica na camada de 0-20 cm de profundidade de amostra de Latossolo Vermelho distroférico¹.

Atributos	Latossolo Vermelho distroférico (0-20 cm)
Areia (g.kg^{-1})	50
Silte (g.kg^{-1})	360
Argila (g.kg^{-1})	590

¹Análise efetuada no laboratório de Física do Solo do DRN – Área de Ciência do Solo/FCA/UNESP – Botucatu

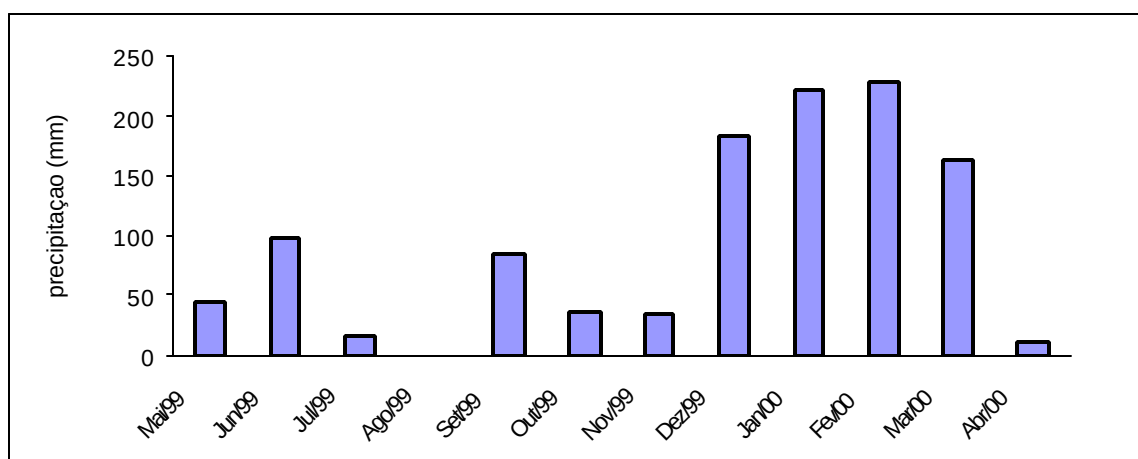


Figura 2. Precipitação pluviométrica registrada durante o período do experimento.



Figura 3. Temperaturas médias registradas durante o período do experimento

5.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos constituíram de cinco doses de calcário aplicadas em superfície, sem incorporação. As parcelas foram subdivididas, sendo retirada a cobertura vegetal acumulada na superfície do solo em uma das subparcelas de todos os tratamentos.

As doses de calcário foram calculadas para elevar os valores de saturação de bases a: 50; 65; 80 e 95% conforme método proposto por Raij et al. (1996), além de manter-se a saturação de bases inicial do solo, de 36% (Quadro 1). Desta forma, obteve-se as seguintes doses de calcário: 0; 1,0; 2,3; 3,4 e 4,5 Mg. ha⁻¹. A composição química do calcário utilizado, assim como sua granulometria são apresentados no Quadro 3.

A palhada foi retirada em uma das subparcelas, em duas épocas (Outubro e Dezembro/99), totalizando 2.236 kg.ha⁻¹ de massa de matéria seca da parte aérea. A composição química da parte aérea da palhada da pastagem é apresentada no Quadro 4.

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com blocos casualizados em 4 repetições, as subparcelas tinham 15 m de comprimento e 5 m de largura, totalizando uma área de 75 m² (Figura 4).

Quadro 3. Análise química e granulométrica do calcário utilizado no experimento¹.

Atributos	Calcário
MgO – solúvel em HCl (%)	16,00
CaO – solúvel em HCl (%)	32,00
Retido peneira n.º 10 (%)	0,21
Retido peneira n.º 20 (%)	1,62
Retido peneira n.º 50 (%)	10,75
PN (%)	95,00
Reatividade (%)	95,00
PRNT (%)	90,00

¹Análise efetada no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do DRN- Área de Ciência do Solo/FCA/UNESP – Botucatu SP.

5.3 Instalação e condução de experimento

5.3.1 Manejo da palhada

A retirada da palhada foi realizada em duas épocas. Na primeira época (outubro/99), a pastagem encontrava-se senescente, sendo utilizado triturador de palha montado, com rotor horizontal (Tritton 2300), para triturar a palhada de brizantão (figura 5). Em seguida, a palhada triturada foi removida manualmente de uma das subparcelas, mantendo-se a palhada triturada na superfície da outra subparcela. Na segunda época de retirada (Dezembro/99), antecedendo a trituração da palhada, a pastagem foi controlada

quimicamente. Igualmente à primeira época, a palhada foi retirada manualmente das subparcelas.

Quadro 4. Composição química da parte aérea da palhada de brizantão, na primeira época de coleta¹.

Nutrientes	Composição química
N (g.kg ⁻¹)	7,0
P (g.kg ⁻¹)	0,5
K (g.kg ⁻¹)	3,0
Ca (g.kg ⁻¹)	3,0
Mg (g.kg ⁻¹)	2,0
S (g.kg ⁻¹)	1,1
B (mg kg ⁻¹)	10
Cu (mg kg ⁻¹)	7,0
Fe (mg kg ⁻¹)	262
Mn (mg kg ⁻¹)	132
Zn (mg kg ⁻¹)	29

¹Análise efetuada no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do DRN – Área de Ciência do Solo/FCA – Botucatu SP.

5.3.2 Aplicação do calcário

Em outubro/99 o calcário foi aplicado na área, manualmente, sem efetuar sua incorporação. A aplicação foi realizada uma semana após a primeira retirada de

palhada da área, evitando assim que partículas de calcário fossem retiradas juntamente com a palhada.



Figura 4. Vista geral do experimento, 20 dias após a semeadura da cultura da soja.



Figura 5. Operação de trituração da pastagem, anterior à implantação do experimento (Outubro/99).

5.3.3 Cultivo da soja

A semeadura da soja foi realizada em 18/12/1999, através de semeadora-adubadora de arrasto, marca Marchesan, modelo PST-2, com 6 linhas individuais espaçadas de 0,45 m e mecanismo rompedor do solo tipo haste. A cultivar utilizada foi a CO-201, semeada com 22 sementes/m, visando uma população de 440.000 plantas.ha⁻¹. A adubação foi feita com base na análise de solo da camada de 0-20 cm (Quadro 1), segundo as recomendações de Raij et al., 1996 (90 kg.ha⁻¹ P₂O e 90 kg.ha⁻¹ de K₂O, misturados manualmente). A adubação potássica foi feita em duas épocas: metade foi aplicada no sulco de semeadura, incorporada pela semeadora-adubadora, e a outra metade foi aplicada em cobertura, de forma localizada junto às plantas de soja, 25 dias após a emergência da cultura. As sementes foram inoculadas com *rhizobium* e tratadas com fungicidas sistêmicos e de contato. O controle de plantas daninhas foi realizado aos 20 e 35 dias após a emergência da cultura. No final do ciclo da cultura da soja (estádio R6), foi necessário realizar uma aplicação de inseticida para controle de percevejos. No Quadro 5, são apresentados os insumos utilizados na condução da cultura da soja.

5.4 Avaliações

5.4.1 No solo

Após 10 meses da aplicação do calcário (Julho/99), foi realizada amostragem para análise química do solo. As coletas foram realizadas em quatro profundidades no perfil do solo (0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm).

Quadro 5. Relação dos insumos agrícolas utilizados na condução da cultura de soja.

Insumo	Quantidade
Fertilizantes	
Superfosfato triplo (kg.ha^{-1})	243
Cloreto de potássio (kg.ha^{-1})	155
Herbicida	
Glyphosate (g i.a.ha^{-1})	1440
Bentazon (g i.a.ha^{-1})	720
Fluazifop-p-butil (g i.a.ha^{-1}) (2 aplicações)	200
Inseticidas	
Monocrotofós (g i.a.ha^{-1})	150
Tratamento de sementes	
Carboxin + Thiran ($\text{g i.a./100 kg semente}$)	75 + 75
Inoculante turfoso (g/50 kg semente)	500

Foram coletadas cinco subamostras para formar uma amostra composta, de acordo com Anghinoni¹. Nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm e 10-20 cm foi utilizada uma pá-de-corte para realizar a amostragem na entrelinha da cultura, coletando-se uma amostra com 20 cm de largura e 5 cm de espessura. Na profundidade de 20-40 cm foi utilizado um trado “holandês” para realizar a amostragem.

¹ ANGHINONI, I. (Departamento de Ciências do Solo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul)

Comunicação pessoal, Maio/2000.

Após realizada a amostragem, o solo foi seco ao ar e peneirado (malha 2 mm) para determinação de: pH, fósforo, alumínio trocável (Al^{+3}), acidez potencial ($H+Al$), potássio, cálcio, magnésio, capacidade de troca de cátions, saturação de bases, boro, cobre, ferro, manganês e zinco. As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por Raij & Quaggio (1983).

5.4.2 Na planta

Amostras de folhas de soja foram coletadas no estágio de florescimento (Raij et al., 1996), para determinação dos seguintes nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco. As análises foliares foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por Malavolta et al. (1997). Foram amostradas 30 plantas por parcela, coletando-se as terceiras folhas com pecíolo a partir do ápice das plantas.

Para determinação da altura de plantas, número de grãos por vagem, número de vagens por planta, percentual de vagens chochas e massa de 1000 grãos foram coletadas aleatoriamente 12 plantas por parcela, no estágio R8 de desenvolvimento.

Na determinação da altura de plantas considerou-se a inserção da última haste. A massa de 1000 grãos teve sua umidade corrigida para 13%, com 3 repetições, calculando-se sua média aritmética.

Já a produtividade da soja foi estimada coletando-se toda a parcela, desconsiderando-se apenas as duas linhas laterais e 1,0 m em cada extremidade da parcela, caracterizando a bordadura. A umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

5.5 Análise estatística

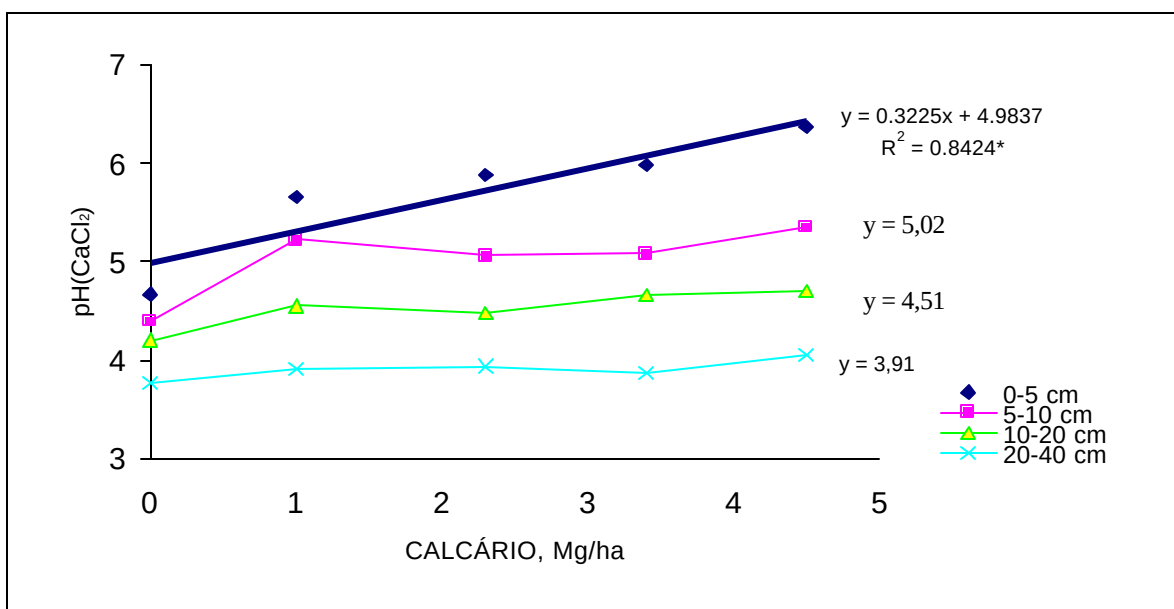
Foram realizadas análises de regressão para todos os parâmetros quantitativos avaliados (efeito da calagem), no nível de 0,05 de probabilidade, utilizando-se o programa Statical Analyses System (SAS Institute Inc., 1985). Os dados originais dos tratamentos foram ainda submetidos à análise de variância, sendo as médias das subparcelas comparadas pelo Tukey, a 5% de probabilidade. Nos quadros apresentados em Resultados e Discussão, médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey acima citado.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Avaliação das características químicas do solo

6.1.1 Acidez Ativa (pH)

Na camada de 0-5 cm, o valor do pH aumentou linearmente com as doses de calcário aplicadas superficialmente (Figura 6). Já na camada de 5-10 cm este aumento gradativo não é observado, porém, nota-se que os tratamentos que receberam calcário apresentam valores de pH superiores à testemunha. Já nas camadas mais profundas (10-20 e 20-40 cm), não houve efeito do calcário no valor de pH (Quadro 6).



(*) significância estatística à nível de 5%.

Figura 6. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o valor pH(CaCl₂), em amostras retiradas às profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

Possivelmente o tempo de reação do calcário com o solo, 10 meses, tenha sido insuficiente para provocar alterações no valor de pH em maiores profundidades. Resultados semelhantes foram obtidos por Grove & Blevins (1988) e Costa (2000).

A palhada não influenciou o valor do pH em nenhuma dose de calcário ou profundidade estudada (Quadro6), não confirmando os resultados obtidos em laboratório por Fioretto (1999) e Santos (1999), que constataram aumento dos valores de pH com a adição de material vegetal ao solo. A quantidade de palhada remanescente na área (2.236 kg ha⁻¹), foi consideravelmente menor que aquela utilizada nos experimentos citados (40 Mg ha⁻¹ de MS), podendo, desta forma, ser necessário uma quantidade maior de palhada para que ocorra

Quadro 6. Valores de pH(CaCl₂), nas camadas de 0-5; 5-10; 10- 20 e 20- 40 cm de profundidade, 10 meses após a aplicação do calcário.

camada 0-5 cm						
Palhada	Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)					Média
	0	1,0	2,3	3,4	4,5	
Com	4,9	5,6	6,0	6,0	6,2	5,7a
Sem	4,5	5,6	6,0	5,9	6,5	5,6a
média	4,7	5,6	6,0	5,9	6,3	
camada 5-10 cm						
Palhada	Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)					Média
	0	1,0	2,3	3,4	4,5	
Com	4,7	5,2	5,0	5,0	5,3	5,0a
Sem	4,1	5,2	5,0	5,1	5,3	4,9a
média	4,4	5,2	5,0	5,0	5,3	
camada 10-20 cm						
Palhada	Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)					Média
	0	1,0	2,3	3,4	4,5	
Com	4,1	4,6	4,5	4,7	4,6	5,0a
Sem	4,2	4,4	4,4	4,6	4,7	4,9a
média	4,2	4,5	4,4	4,6	4,7	
camada 20-40 cm						
Palhada	Doses de calcário (Mg ha ⁻¹)					Média
	0	1,0	2,3	3,4	4,5	
Com	3,8	4,0	3,9	3,8	3,9	3,8a
Sem	3,8	3,8	3,9	3,9	4,1	3,9a
média	3,8	3,9	3,9	3,8	4,0	
C.V. _{0-5cm} – 5,10%		C.V. _{5-10cm} – 6,38%		C.V. _{10-20cm} – 7,04%		C.V. _{20-40cm} – 5,72%

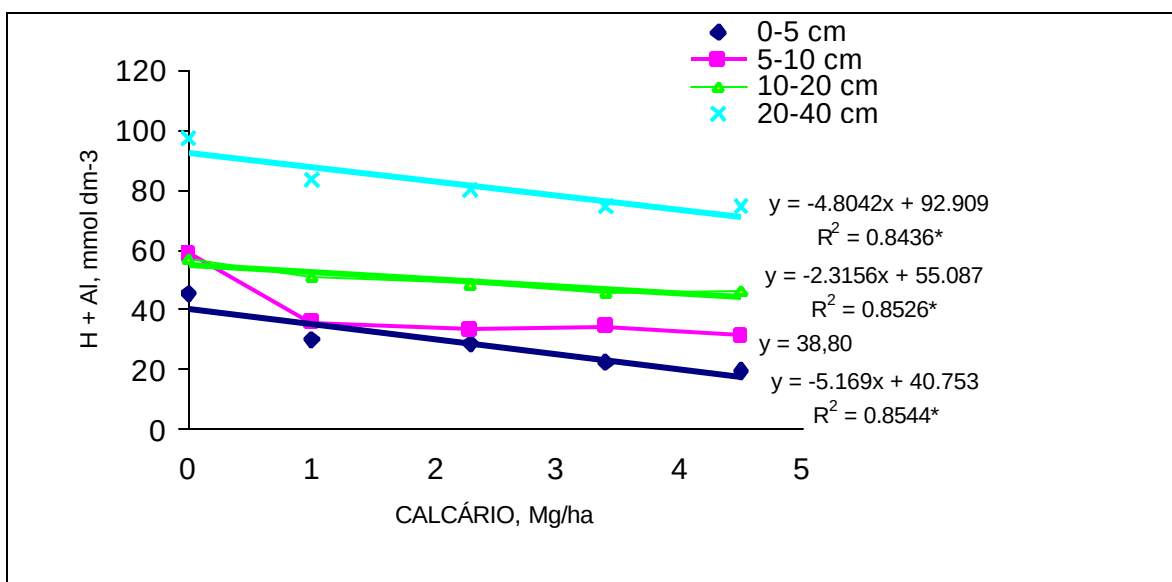
alteração do valor de pH em decorrência das reações do material vegetal com o solo. Além disso, a eficiência dos materiais vegetais em corrigir a acidez do solo depende em grande parte da idade da planta utilizada como palhada.

Plantas no início de desenvolvimento apresentam uma concentração de ácidos orgânicos maior quando comparadas às plantas em fase final de desenvolvimento (Miyasawa et al., 2000), indicando assim, que a eficiência do material orgânico na correção da acidez do solo diminui com seu estágio de desenvolvimento.

Apesar de não ter sido realizada análise para determinação da concentração de ácidos orgânicos na pastagem de brizantão utilizada como palhada, é possível observar na Figura 1 que a pastagem encontrava-se senescente no momento da implantação do experimento, indicando que a palhada poderia conter baixa concentração de ácidos orgânicos, e assim, apresentar baixa eficiência em elevar o valor do pH.

6.1.2 Acidez potencial (H + Al)

Com exceção da camada de 5-10 cm de profundidade, a acidez potencial decresceu linearmente com o aumento das doses de calcário. Observando os coeficientes angulares das equações da Figura 7, nota-se que a redução da acidez potencial foi mais acentuada na camada mais superficial (0-5 cm). Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm não houve redução considerável da acidez potencial, principalmente nas menores doses de calcário, não representando, em termos agrônômicos, alterações importantes que contribuam para a melhoria efetiva do ambiente radicular.



(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 7. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre o valor da acidez potencial, em amostras retiradas às profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

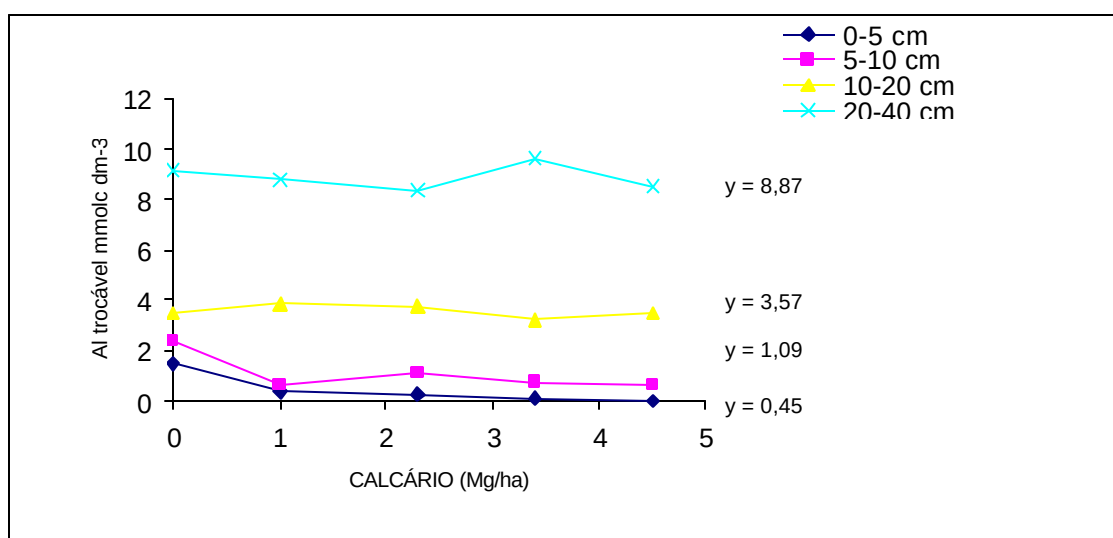
O elevado poder tampão, característica desta classe de solos, explica, em grande parte, os valores relativamente altos de acidez potencial observados na camada superficial, de 5-10 cm, mesmo no tratamento com dose mais elevada de calcário (4,5 Mg.ha⁻¹). Os resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Costa (2000), que obteve efeito mais pronunciado do calcário aplicado em superfície, sobre a acidez potencial, na profundidade até 10 cm.

Em relação a palhada, não observou-se efeitos significativos com relação a acidez potencial, não sendo verificado qualquer tipo de interação com doses de calcário ou profundidades estudadas (Quadro 7). A baixa quantidade de palhada produzida, e o avançado

estádio de desenvolvimento da pastagem no momento da implantação do experimento, de forma semelhante a acidez ativa, podem ser importantes fatores relacionados a ineficiência da palhada em corrigir a acidez potencial do solo.

6.1.3 Alumínio trocável (Al^{+3})

Apesar da não significância do ajuste das equações das doses crescentes de calcário, observa-se nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade uma nítida redução das concentrações de alumínio trocável com o aumento das doses de calcário (Quadro 8 e Figura 8). Na maior dose de calcário aplicada ($4,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$), observa-se a neutralização do alumínio trocável na camada de 0-5 cm, nas demais doses a concentração de alumínio



(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 8. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de alumínio trocável no solo, em amostras retiradas às profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

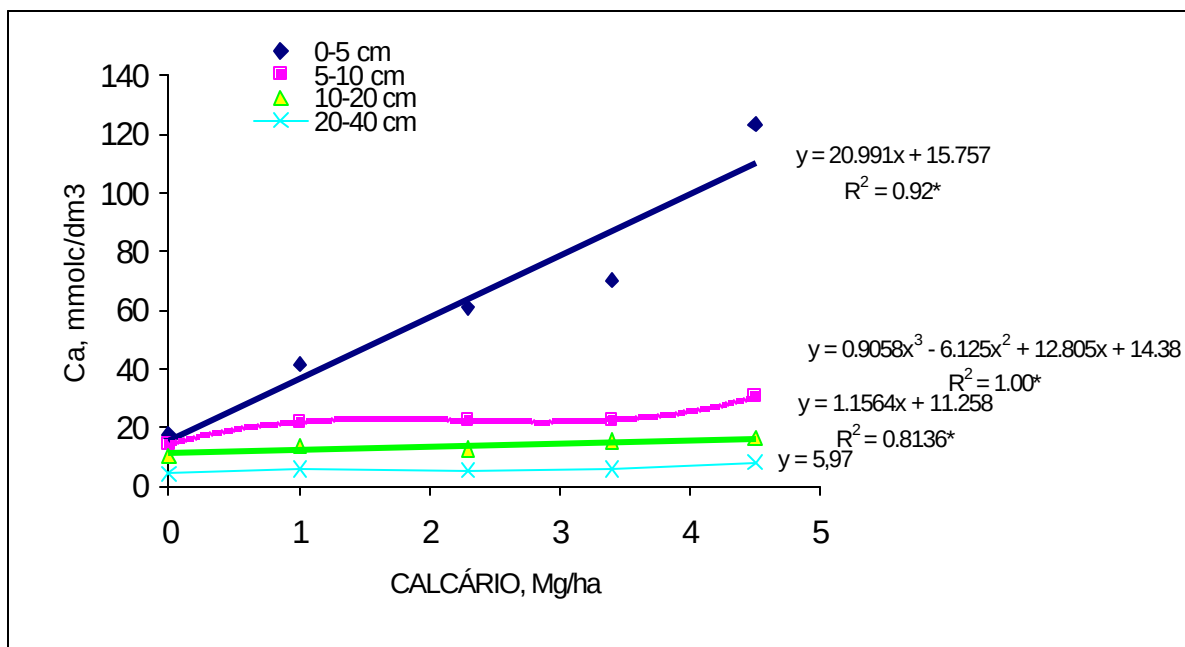
aproximou-se da neutralização. Abaixo um aumento da concentração da camada de 10 cm, há um aumento da concentração de alumínio trocável, não verificando-se efeito do calcário na redução desses índices (Figura 8), concordando com o resultados obtidos por Caires et al. (1999). Segundo o autor, reduções significativas na concentração do alumínio nas camadas abaixo dos 10 cm só foram obtidas 18 meses após a aplicação do calcário na superfície do solo. Assim, no caso deste experimento, presume-se que seja necessário um período maior de tempo para observar possíveis modificações provocadas pela calagem na camada subsuperficial.

De forma semelhante aos outros parâmetros de acidez ativa e potencial, não houve efeito significativo da palhada sobre a concentração do alumínio trocável (Quadro 8), embora vários autores vêm demonstrando o efeito de compostos orgânicos na redução do efeito tóxico do alumínio (Hoyt & Turner, 1975; Bessho & Bell, 1992; Miyasawa et al., 1993; Hunter et al., 1995).

6.1.4 Cálcio trocável (Ca^{+2})

Os teores trocáveis de cálcio aumentaram linearmente com as doses de calcário nas camadas de 0-5 e 10-20 cm de profundidade. Na camada de 5-10 cm, os resultados melhor ajustaram-se a um modelo cúbico (Figura 9). Observa-se que a maior dose apresentou teores trocáveis de cálcio bastante superiores às demais doses de calcário na profundidade até 5 cm. Abaixo desta profundidade, a magnitude dos acréscimos no teor trocável de cálcio foi menor, conforme pode ser verificada pelos coeficientes angulares das

equações ajustadas para as camadas de 5-10 e 10-20 cm. Na camada de 20-40 cm de profundidade, os resultados não ajustaram-se às equações da análise de regressão.



(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 9. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de cálcio trocável no solo, em amostras retiradas às profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, , 10 meses após a aplicação.

O aumento na concentração de cálcio no perfil do solo estudado pode também ser observado subtraindo-se a concentração de cálcio da dose de 1,0 Mg ha⁻¹, por exemplo, da concentração de cálcio na testemunha (Quadro 9). Assim, nota-se que 65% do cálcio adicionado pelo calcário encontra-se na camada de 0-5 cm. A participação do cálcio adicionado pelo calcário nas camadas de 5-10; 10-20 e 20-40 cm é de 22, 8 e 5%, respectivamente. Para Carvalho et al. (1992), a movimentação de cálcio no perfil do solo é difícil de se predizer, pois depende de inúmeros fatores, entre eles: quantidade de água que se

move através do perfil, textura do solo, dose e granulometria do calcário, nível inicial de cálcio no solo, quantidade e natureza dos fertilizantes/corretivos utilizados.

Além destes fatores, Santos (1999) destaca a complexação do cálcio por compostos orgânicos hidrossolúveis, originados da decomposição de material vegetal, como outro fator envolvido na movimentação de cálcio no perfil do solo.

Com base nessa observação, poder-se-ia esperar que a movimentação de cálcio no perfil do solo deste experimento fosse diferenciado entre os manejos da palhada. Porém, conforme pode ser observado no quadro 9, não houveram diferenças significativas entre as parcelas com palhada e aquelas sem palhada, embora os teores trocáveis de cálcio tenham sido maiores nas parcelas sem palhada da camada de 0-5 cm de profundidade. Alguns dos fatores que justificariam tais resultados são os mesmos já discutidos anteriormente, ao abordar a acidez potencial e ativa, ou seja, pequena quantidade de palhada produzida e baixa concentração de ácidos orgânicos na pastagem no momento da implantação do experimento.

6.1.5 Magnésio trocável (Mg^{+2})

Apesar das doses de calcário não terem apresentado efeito significativo sobre o teor trocável de magnésio no solo (Figura 10), observa-se uma tendência de aumento do teor de magnésio no solo com a aplicação do calcário (quadro 10). Este aumento é bem evidente quando compara-se as médias dos teores de magnésio da testemunha, com os teores do tratamento com maior dose de calcário ($4,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$). Em todas as profundidades avaliadas o teor trocável de magnésio do tratamento com maior dose de calcário

sempre foi 2,0 vezes superior ao da testemunha. Estes aumentos são importantes, quando considera-se as classes de teores de magnésio. Na camada de 20-40 cm, por exemplo, com a maior dose de calcário, o magnésio passa a apresentar teor médio no solo, de acordo com Raij et al., 1996 ($5,87 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$), enquanto na testemunha o teor no solo é considerado baixo ($2,37 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$).

A distribuição do magnésio no perfil do solo pode ser melhor visualizada subtraindo-se a concentração de magnésio da dose $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, por exemplo, da concentração de magnésio da testemunha (Quadro 10). Observa-se que houve um acúmulo de 11% do magnésio na camada de 20-40 cm. Nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-20 cm o acúmulo foi de 39, 28 e 22%. Já em relação à palhada, não observou-se efeito sobre o teor de magnésio no solo (Quadro10).

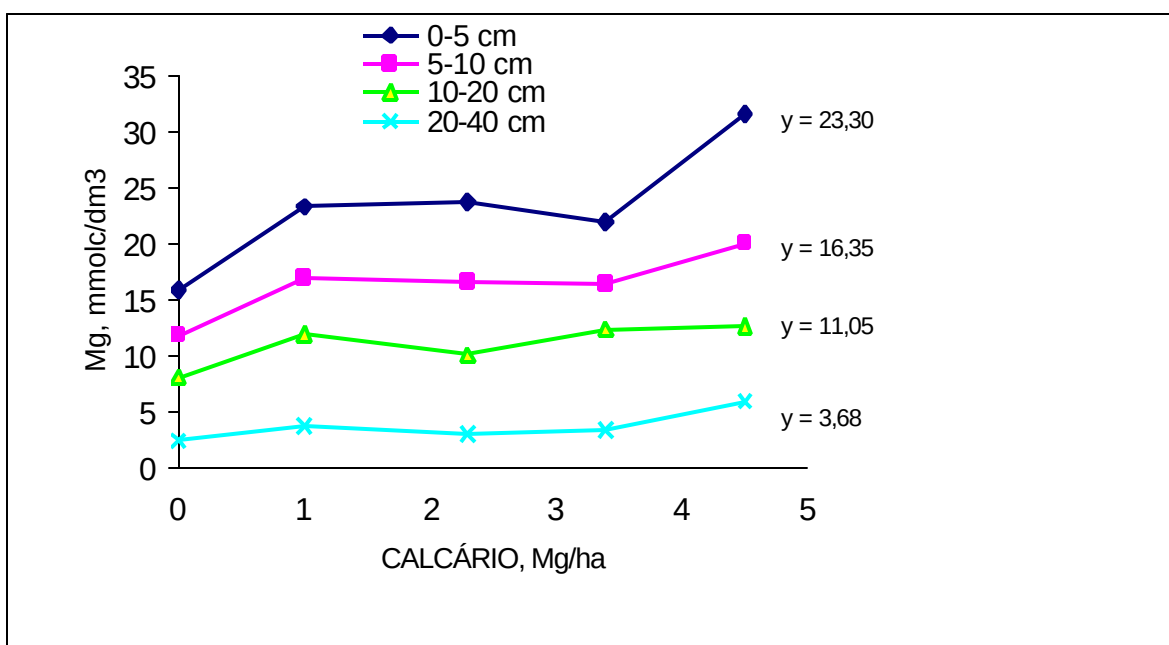
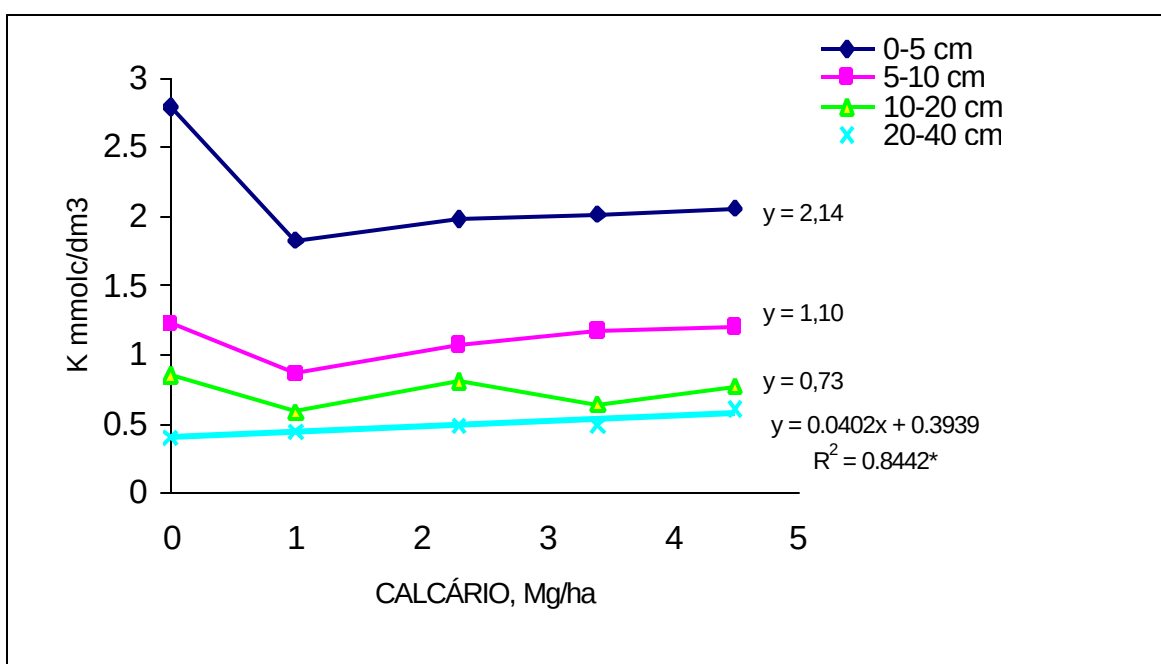


Figura 10. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de magnésio trocável no solo, em amostras retiradas às profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, , 10 meses após a aplicação.

6.1.6 Potássio trocável (K^+)

Os resultados obtidos para os teores de potássio trocável em função das doses de calcário aplicado na superfície do solo estão apresentados na Figura 11.

Não houve ajuste satisfatório entre as doses de calcário e os teores de potássio até a profundidade de 20 cm, no entanto, observa-se que a aplicação do calcário diminuiu os teores de potássio, principalmente até a profundidade de 10 cm (Quadro 11). Tal resultado pode ser atribuído à lixiviação provocada pelo deslocamento do potássio dos sítios de adsorção do complexo coloidal, em razão destes estarem saturados pelo cálcio fornecido pelo calcário.



(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 11. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de potássio trocável no solo, em amostras retiradas às profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

Assim, ocorre aumento da concentração de potássio na solução do solo, que em condições de elevada precipitação, pode ser lixiviado para maiores profundidades no perfil do solo (Raij, 1991).

Na figura 11 observa-se que o teor trocável de potássio na camada de 20-40 cm de profundidade aumentou linearmente com as doses de calcário, evidenciando que houve lixiviação do potássio da superfície do solo para camadas mais profundas. Porém, o coeficiente angular da equação indica que o aumento dos teor de potássio não foi pronunciado.

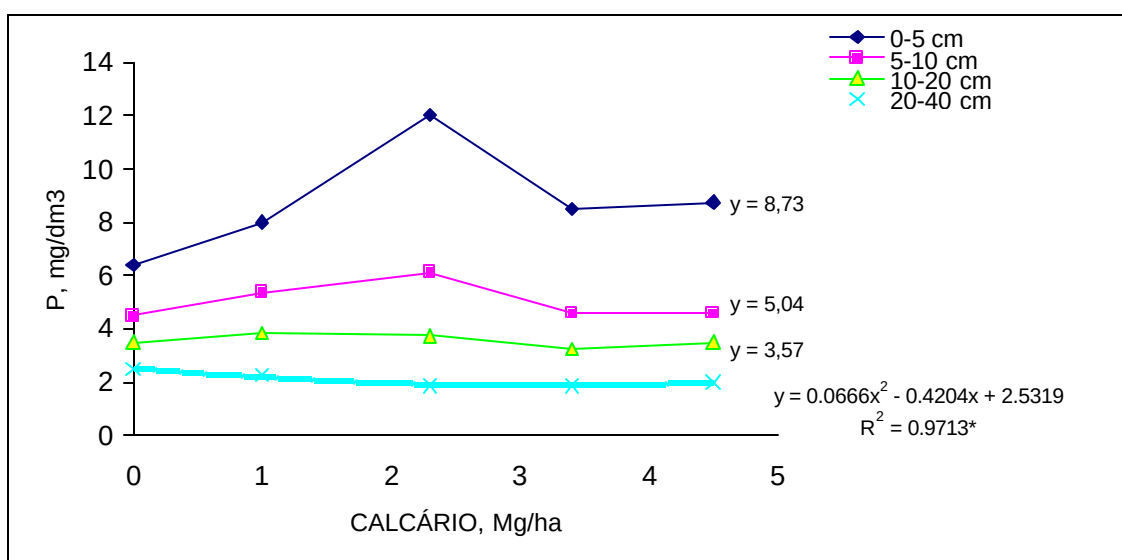
No quadro 11, pode-se observar que houve efeito significativo da palhada nos teores de potássio. Nas parcelas com palhada, até a profundidade de 20 cm, os teores de potássio foram maiores quando comparados às parcelas sem palhada, porém, apenas na camada de 5-10 cm esta diferença foi significativa. A redução do teor de potássio nas subparcelas sem palhada pode ser atribuída ao potássio remanescente na palhada retirada da subparcela.

6.1.7 Fósforo disponível

Os teores de fósforo disponível estão apresentados na Figura 12 e no Quadro 12. Observa-se na Figura 12 que não houve ajuste entre os teores de fósforo no solo e as doses de calcário, com exceção da camada de 20-40 cm de profundidade, onde os teores decresceram em função de uma equação quadrática. Nesta camada, a menor disponibilidade de fósforo no solo é atingida na dose de 3,15 Mg ha⁻¹. Nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, mesmo não havendo ajuste satisfatório entre as doses de calcário e a concentração de fósforo no solo, nota-se que a maior disponibilidade de fósforo foi obtida na dose de 2,3 Mg ha⁻¹ (Quadro 12),

calculada para elevar a saturação de bases a 65% na camada de 0-20 cm ($\text{pH}_{0-5 \text{ cm}} = 5,87$; $\text{pH}_{5-10 \text{ cm}} = 5,06$).

Tal resultado pode ser atribuído à menor precipitação do fósforo com ferro e alumínio na faixa de pH obtida com a aplicação da dose de $2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$. Nas doses mais altas, o fósforo, provavelmente foi precipitado pelo cálcio presente em grande quantidade nas camadas superficiais (Quadro 9). Não houve efeito significativo da palhada sobre o teor de fósforo no solo, como pode ser observado no Quadro 12.



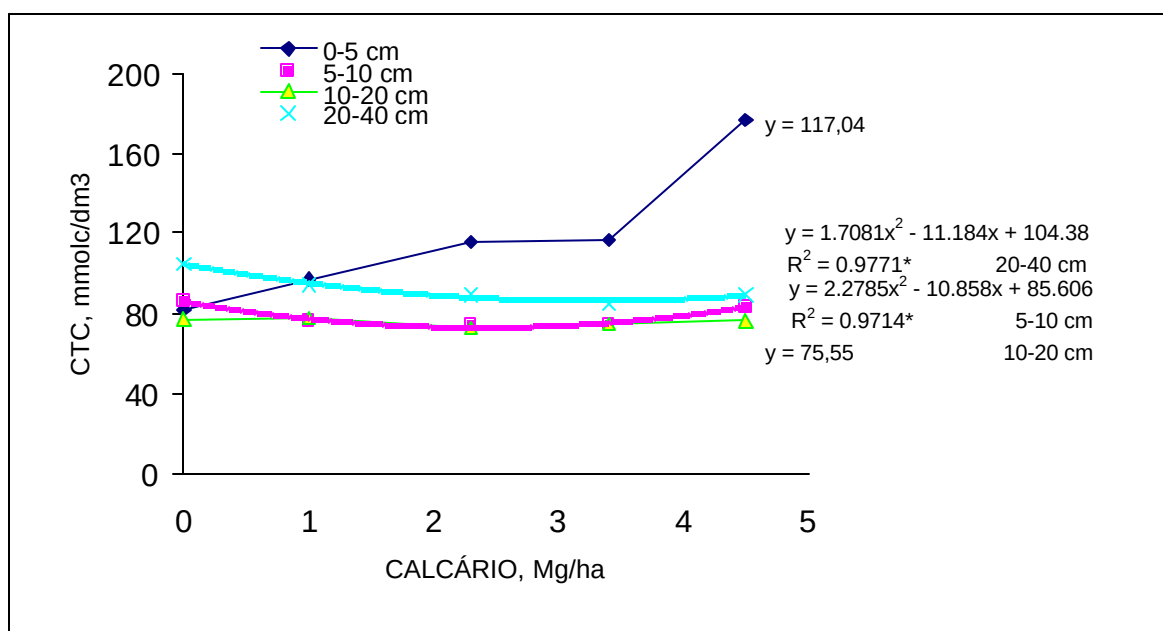
(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 12. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a concentração de fósforo no solo, em amostras retiradas às profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

6.1.8 Capacidade de troca de cátions

Os resultados dos valores de capacidade de troca de cátions em função da aplicação superficial do calcário estão apresentados na Figura 13 e no Quadro 13.

Observa-se na Figura 13 que os valores de capacidade de troca de cátions das camadas de 5-10 cm e 20-40 cm decrescem em função de uma equação quadrática. Na camada 5-10 cm, o menor valor da capacidade de troca de cátion é atingida na dose de 2,38 Mg ha⁻¹, já na camada de 20-40 cm os valores da CTC diminuem até a dose de 3,27 Mg ha⁻¹.



(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 13. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a capacidade de troca de cátions, em amostras retiradas às profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

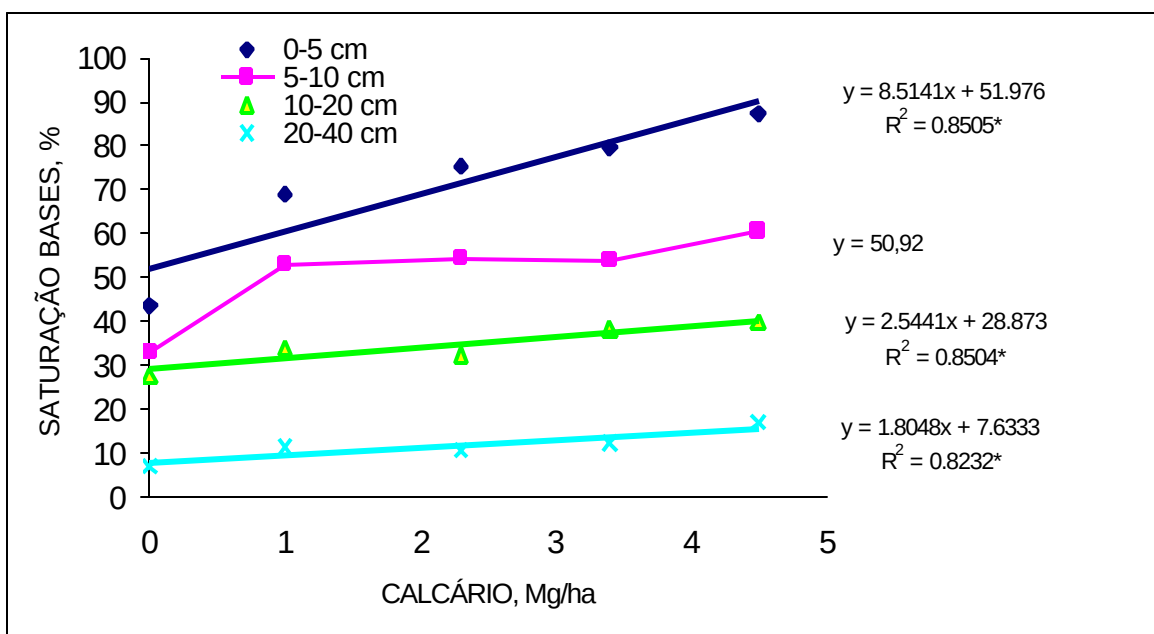
Nas demais camadas, não foi possível ajustar os valores de CTC com as doses de calcário. Porém, observando o Quadro 13, nota-se um aumento expressivo da capacidade de troca de cátions com as doses de calcário na camada de 0-5 cm. Este aumento da CTC está relacionado, provavelmente, ao aumento do Ca e Mg, proporcionado pela calagem apenas 10 meses após a aplicação do calcário na superfície do solo. Estes valores de CTC são calculados e não determinados, portanto, pode-se inferir que este aumento é efeito dos valores de Ca e Mg superestimando a CTC do solo.

Com relação à palhada, não houve diferenças estatisticamente significativas entre as subparcelas com diferente manejo da palhada.

6.1.9 Saturação de bases

Com a aplicação superficial de calcário, houve aumento linear dos valores de saturação de bases com as doses de calcário, em todas as profundidades, com exceção da camada de 5-10 cm. A camada de 0-5 cm foi a que apresentou o maior coeficiente angular, indicando assim, que o aumento da saturação de bases nesta camada foi mais acentuado (Figura 14). Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm houve aumento da saturação de bases, porém, de maneira menos acentuada. Apesar da não significância do ajuste das equações das doses crescentes de calcário, observa-se na camada de 5-10 cm de profundidade aumento da saturação de bases com as doses de calcário (Quadro 14).

No Quadro 14 também é possível observar que não houve efeito significativo da palhada sobre a saturação de bases, apresentando o mesmo comportamento observado nos demais atributos de acidez estudados.



(*) significância estatística ao nível de 5%.

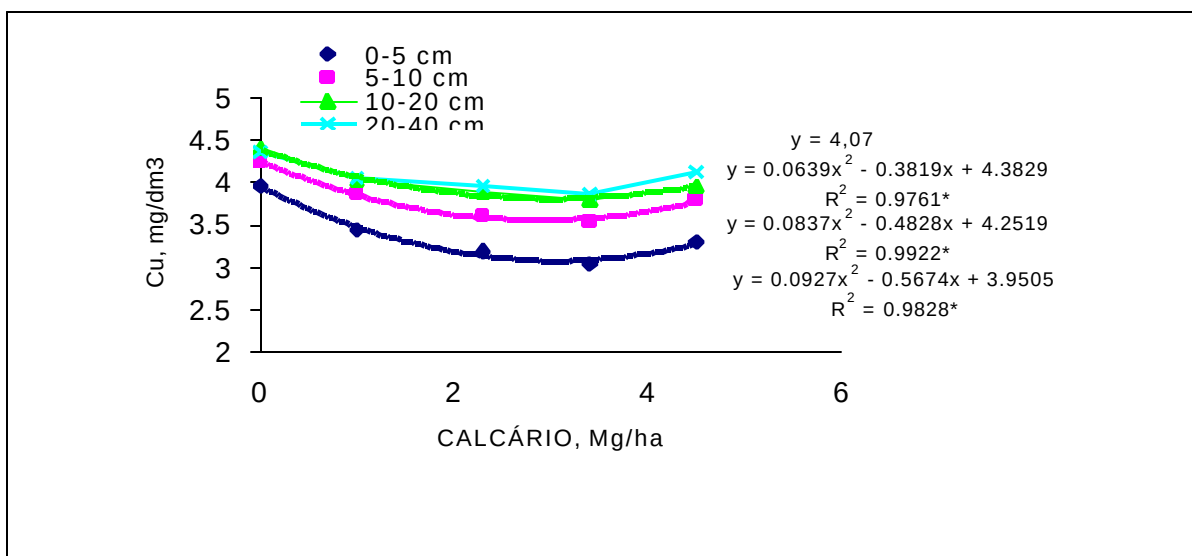
Figura 14. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre a saturação de bases, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

Aumentos na saturação de bases com calcário aplicado em superfície também foram constatados por Costa (2000), havendo aumento gradativo da saturação de bases até o vigésimo sétimo mês após a aplicação do calcário. No presente estudo, as amostragem foram feitas 10 meses após a aplicação do calcário. Assim, é possível que a saturação de bases abaixo dos 5 cm superficiais do solo, tenha seus valores aumentados nos próximos meses, melhorando, de forma efetiva, o ambiente radicular das culturas.

6.1.10 Micronutrientes

6.1.10.1 Cobre

Na Figura 15, é possível observar o comportamento do cobre com a aplicação do calcário em superfície. O cobre, com exceção da camada de 20-40 cm de profundidade, teve sua disponibilidade reduzida de forma quadrática com as doses de calcário, porém os teores mantiveram-se altos ($>0,6 \text{ mg.dm}^{-3}$), de acordo com Raij et al., 1996. Através dos coeficientes angulares, é possível observar que a redução foi mais acentuada na camada de 0-5 cm. Além disso, os teores de cobre aumentaram com a profundidade, provavelmente devido a sua maior adsorção junto às cargas negativas da superfície do solo (Quadro 15). A palhada não influenciou significativamente o teor de cobre no solo.



(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 15. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre teor de cobre no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

6.1.10.2 Ferro

Com relação ao ferro, não houve ajuste satisfatório do teor de ferro no solo em relação às doses de calcário em nenhuma profundidade (Figura 16). Observando os resultados apresentados no Quadro 16, nota-se uma redução dos teores de ferro com a aplicação do calcário até 10 cm de profundidade, porém, os teores mantiveram-se altos (Raij et al., 1996). Pode-se citar, como exemplo o teor de ferro na camada de 0-5 cm, onde tanto no tratamento sem calcário (30 mg.dm^{-3}) quanto no tratamento com a maior dose de calcário (25 mg.dm^{-3}), os teores de ferro mantiveram-se superiores aos limites de interpretação para níveis altos de ferro ($>12 \text{ mg.dm}^{-3}$). No que diz respeito à palhada, não houve efeito da palhada no teor de ferro, nas parcelas com e sem cobertura vegetal Quadro 16.

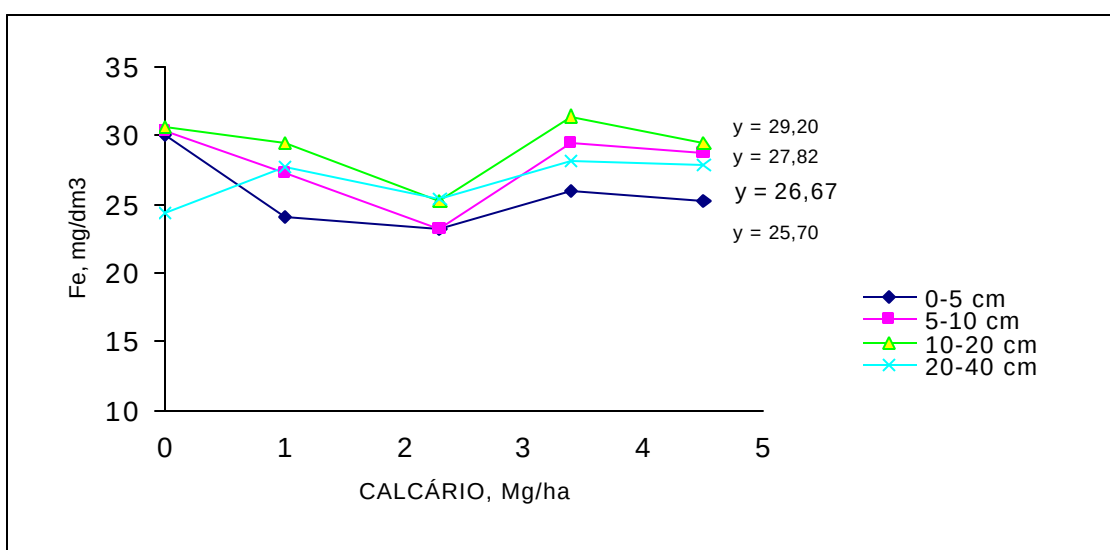
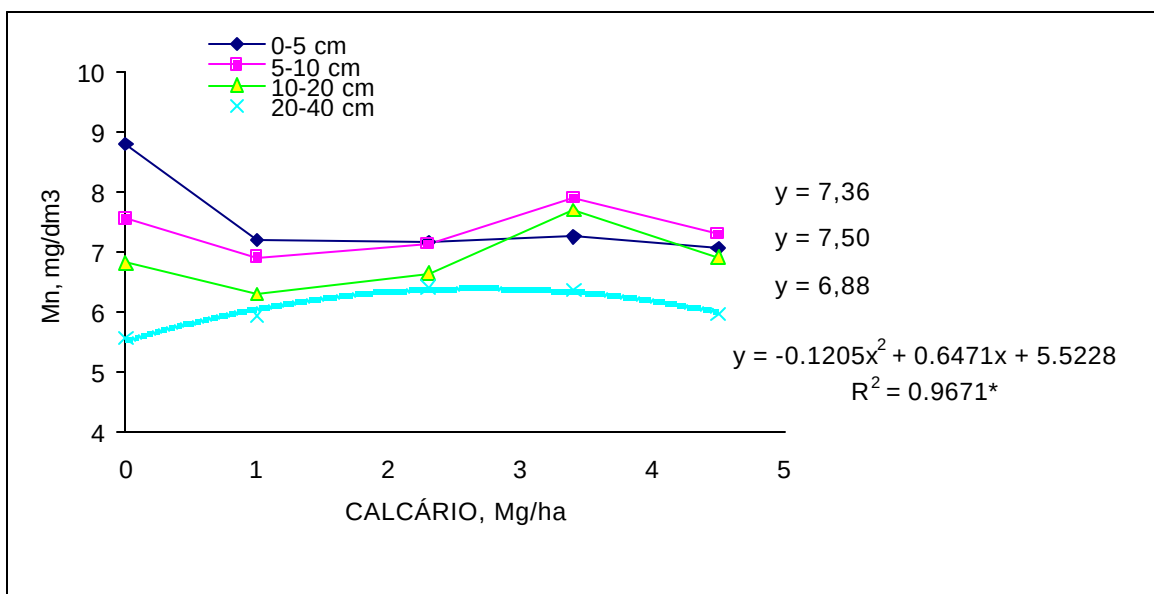


Figura 16. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre teor de ferro no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

6.1.10.3 Manganês

Para os teores de manganês no solo, também não houve ajuste com as doses de calcário, com exceção da profundidade de 20-40 cm, onde verifica-se aumento do teor de manganês até a dose de 2,3 Mg ha⁻¹ (Figura 17). Na camada de 0-5 cm, observa-se uma discreta redução do teor de manganês, com a aplicação do calcário (Quadro 17). De qualquer forma, o teor de manganês manteve-se sempre acima do nível considerado alto, em todas as doses de calcário e profundidades avaliadas. (>5 mg.dm⁻³), de acordo com Raij et al., 1996. O teor de manganês no solo não foi influenciado pela palhada (Quadro 17).

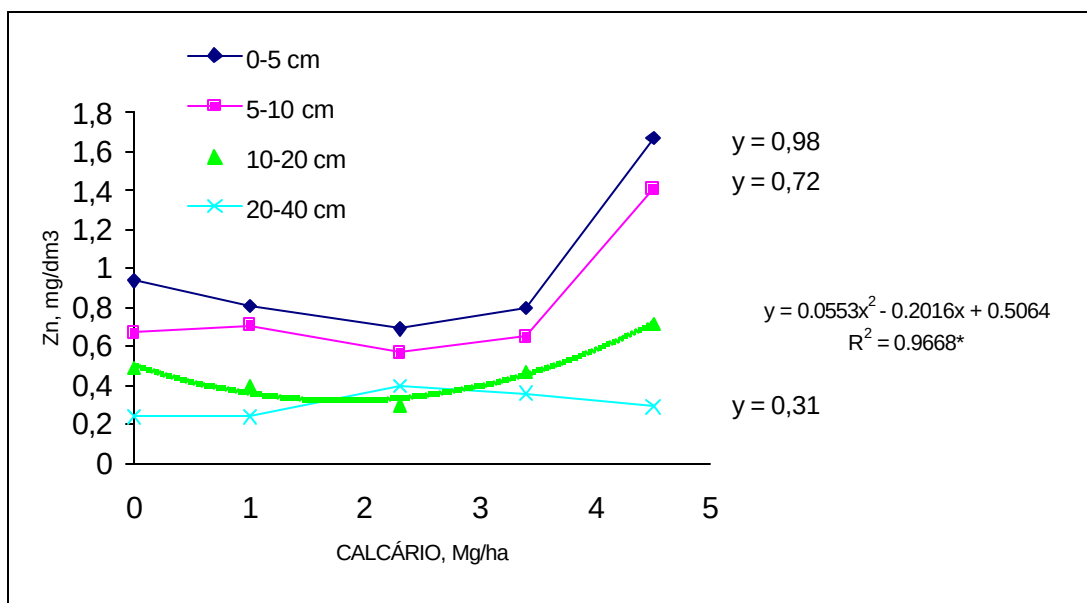


(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 17. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre teor de manganês no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

6.1.10.4 Zinco

Os teores de zinco decresceram até a dose de 2,3 Mg ha⁻¹, na profundidade até 20 cm, com modelo quadrático ajustado para os dados da camada de 10-20 cm (figura 18). O aumento do teor de zinco no solo, observado nas maiores doses não seria esperado, haja visto que a disponibilidade do zinco diminuiu com o aumento do pH do solo (Raij, 1991). O teor de zinco no solo decresceu com a profundidade (Quadro 18), sendo classificado como teor médio até a profundidade de 10 cm (0,6-1,2 mg.dm⁻³). Abaixo desta profundidade, o teor de zinco é considerado baixo, de acordo com Raij et al., 1996 (0-0,5 mg.dm⁻³). O teor de zinco no solo não foi influenciado pela palhada.



(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 18. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre teor de zinco no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

6.1.10.5 Boro

Os teores de boro no solo não foram influenciados pela aplicação de calcário, conforme pode ser observado na figura 19 e no quadro 19. Em todas as profundidades e doses de calcário, o teor de boro variou muito pouco, sendo considerado um teor muito baixo para cultivo de culturas anuais (Raij et al., 1996). Como exemplo, pode-se citar o teor de boro na camada de 0-5 cm. Na testemunha o teor de boro foi de $0,21 \text{ mg dm}^{-3}$, com a aplicação da dose máxima de calcário, $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, o teor de boro diminuiu muito pouco, $0,18 \text{ mg dm}^{-3}$. O teor de boro no solo não foi influenciado pela palhada de brizantão.

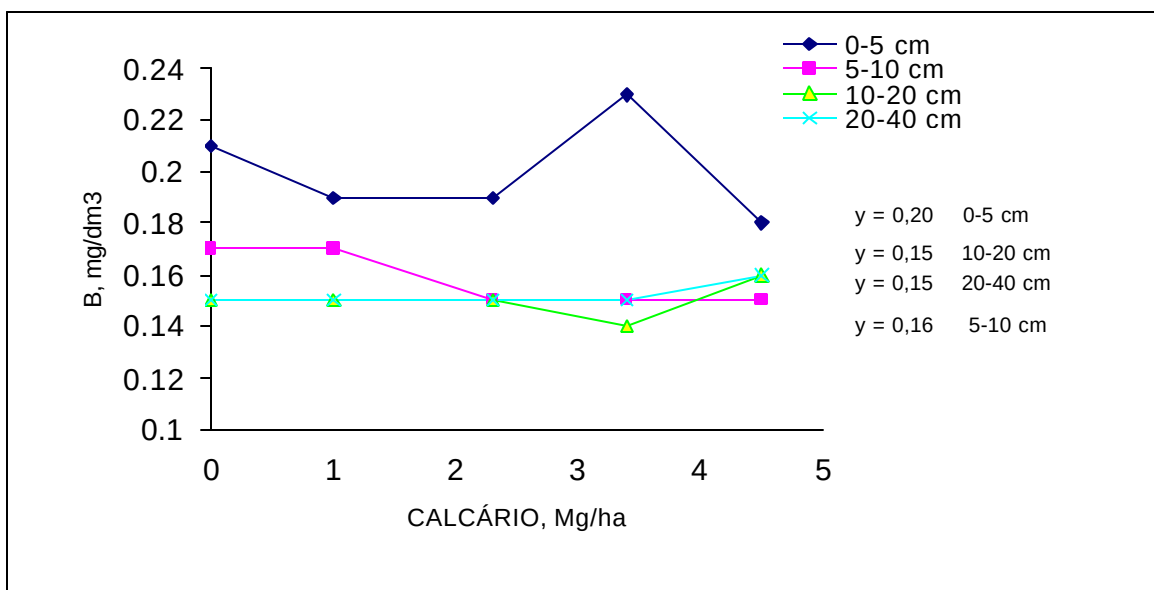


Figura 19. Efeito de doses de calcário aplicado na superfície do solo sobre teor de boro no solo, em amostras retiradas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, 10 meses após a aplicação.

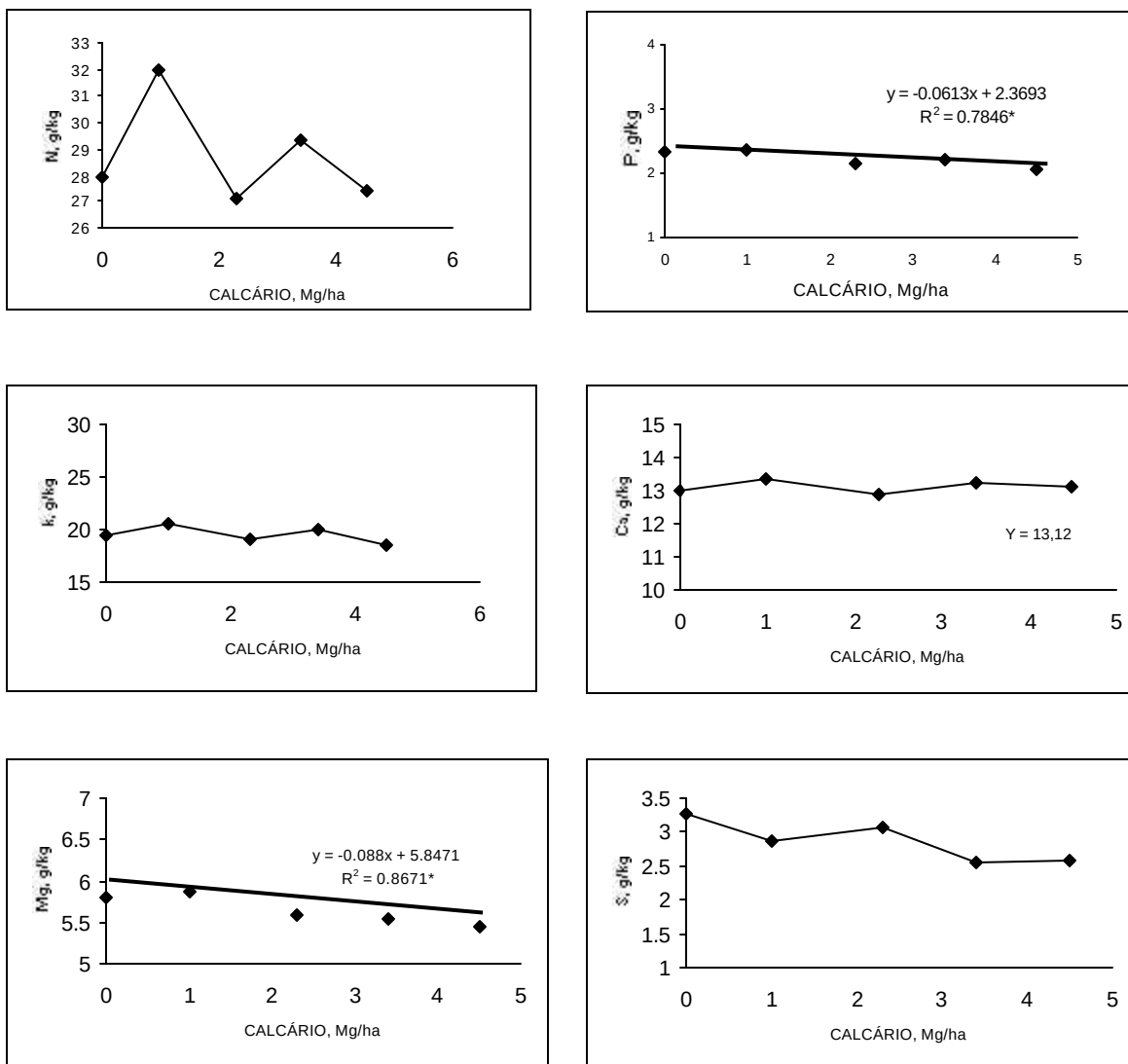
6.2 Avaliação dos parâmetros nutricionais da soja

Os teores de macronutrientes e micronutrientes, avaliados através da análise do tecido foliar da soja, no ano agrícola de 1999/2000, são apresentados nas Figuras 20 e 21, respectivamente.

Na figura 20, observa-se que não houve ajuste entre o teor foliar de nitrogênio e as doses de calcário aplicado na superfície do solo, discordando dos resultados obtidos por Costa (2000), que atribuiu o aumento do teor foliar de nitrogênio à melhoria das condições para o desenvolvimento das bactérias fixadoras de nitrogênio, obtidas com a calagem.

Já os teores foliares de fósforo diminuíram linearmente com as doses de calcário. Observando o coeficiente angular da equação ajustada (0,0613), verifica-se que tal redução não foi acentuada (Figura 20). Segundo Ermani et al. (1996), com o aumento do pH, a carga superficial de partículas do solo torna-se cada vez mais negativa, aumentando a repulsão entre fosfato e superfície e diminuindo assim, a adsorção de fósforo pelos colóides do solo. Porém, quando o calcário é aplicado na superfície, sem incorporação, o fósforo pode ligar-se ao cálcio dissociado do calcário e formar um composto de baixa solubilidade, diminuindo sua disponibilidade para as plantas.

Os teores de potássio na soja não foram alterados pelas doses de calcário aplicado na superfície do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Caires et al. (1998).



(*) significância estatística ao nível de 5%.

Figura 20. Teores foliares de macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em amostras retiradas no período de florescimento da soja, cultivada no ano agrícola de 1999/2000, em função de doses de calcário aplicado em superfície. Dados médios de 4 repetições.

Com relação aos teores foliares de cálcio, estes não foram alterados pelas doses de calcário, discordando dos resultados obtidos por Caires et al. (1999), que obtiveram aumento de forma quadrática nos teores foliares de cálcio com a aplicação do calcário na superfície do solo. Já Costa (2000), verificou redução dos teores foliares de cálcio com a aplicação do calcário, tendo o autor atribuído tal resultado à diluição do cálcio na planta.

Os teores foliares de magnésio diminuíram linearmente com as doses de calcário, não obstante o teor trocável de magnésio no solo ter aumentado com a aplicação do calcário (Quadro 10). Costa (2000) também observou menores teores foliares de magnésio em tratamentos onde o calcário foi aplicado em superfície.

Para o enxofre, não houve ajuste satisfatório do teor foliar com as doses de calcário, porém observa-se uma tendência de redução dos teores foliares de enxofre.

Quadro 20. Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu) e ferro (Fe) em amostras retiradas no período de florescimento da soja, em função de doses de calcário aplicado em superfície.

Calcário	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe
(Mg ha ⁻¹)	-----g.kg ⁻¹ -----						-----mg.kg ⁻¹ -----			
0	27,8	2,4	19,5	13,0	5,8	3,3	44	72	10	168
1,0	32,0	2,4	20,5	13,4	5,8	2,9	44	55	11	132
2,3	27,1	2,2	19,0	12,9	5,6	3,1	43	57	11	160
3,4	29,4	2,2	20,0	13,2	5,5	2,5	40	57	10	118
4,5	27,4	2,1	18,5	13,1	5,4	2,5	42	55	11	110
c/palhada	28,7	2,2	19,5	13,1	5,6	2,8	41b	59	11	126
s/palhada	28,8	2,2	19,5	13,1	5,7	2,8	44a	59	11	149
C.V.(%)	4,91	4,04	6,42	3,48	5,36	10,12	6,08	26,41	13,0	10,46

Não houve ajuste satisfatório entre os teores foliares dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B) e as doses de calcário, porém, os teores foliares de zinco, boro, ferro e manganês apresentaram valores menores com a aplicação do calcário (Figura 21 e 22).

A palhada não influenciou os teores foliares dos nutrientes, com exceção ao boro, que apresentou teores foliares maiores nas subparcelas sem palhada (Quadro 20 e Figura 21). Tal resultado pode ser devido à característica de forte retenção do boro pela matéria orgânica (Raij, 1991). Assim, nas subparcelas com palhada, o boro poderia estar ligado à matéria orgânica, diminuindo sua disponibilidade para as plantas.

Com relação aos teores de manganês, houve interação entre o manejo da palhada e as doses de calcário (Quadro 21 e Figura 22). O desdobramento da interação mostra que os teores foliares de manganês diminuíram com a aplicação do calcário. Porém, os teores nas subparcelas com palhada não apresentaram diferenças significativas em relação aos tratamentos que receberam calcário ou não, enquanto que na subparcela onde não foi aplicado calcário e a palhada foi retirada, os teores foliares de manganês foram superiores aos demais tratamentos com calcário. Tal resultado indica que a palhada, de alguma forma, reduziu a disponibilidade de manganês às plantas. Para Miyasawa et al. (2000), em solos sem proteção (solo nu) a maior incidência de raios solares diminuem a umidade e a atividade microbiana favorece a decomposição de complexos com o manganês, aumentando a solubilidade de manganês em água.

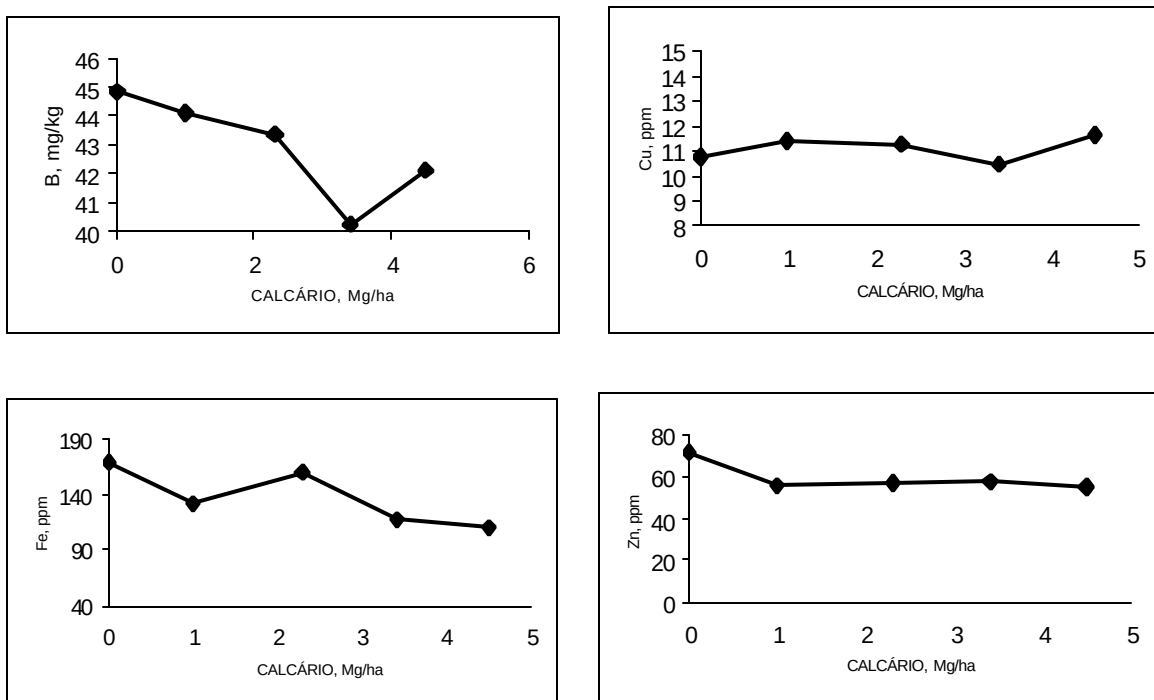


Figura 21. Teores foliares de micronutrientes, boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) em amostras retiradas no período de florescimento da soja, cultivada no ano agrícola de 1999/2000, em função de doses de calcário aplicado em superfície. Dados médios de 4 repetições.

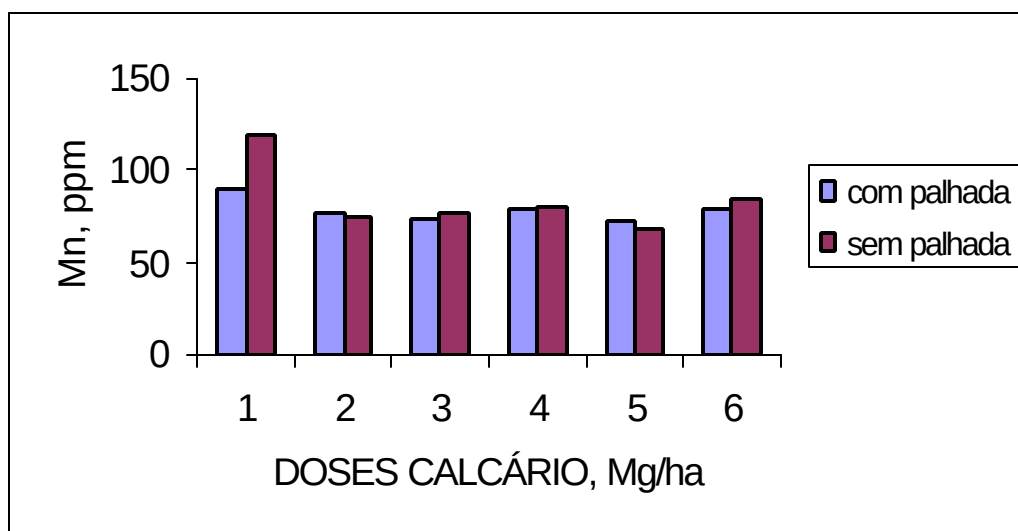


Figura 22. Teores foliares de manganês, em amostras retiradas no período de florescimento da soja, cultivada no ano agrícola de 99/2000, em função de doses de calcário aplicado em superfície. Dados médios de 4 repetições

Quadro 21. Teores foliares de manganês em amostras retiradas no período de florescimento da soja, em função das doses de calcário e manejo da palhada.

Calcário (Mg ha ⁻¹)	Teores de Mn (mg kg ⁻¹)	
	com palhada	sem palhada
0	89.aA	119bB
1,0	77aA	75aA
2,3	74aA	77aA
3,4	79aA	80aA
4,5	73aA	68aA

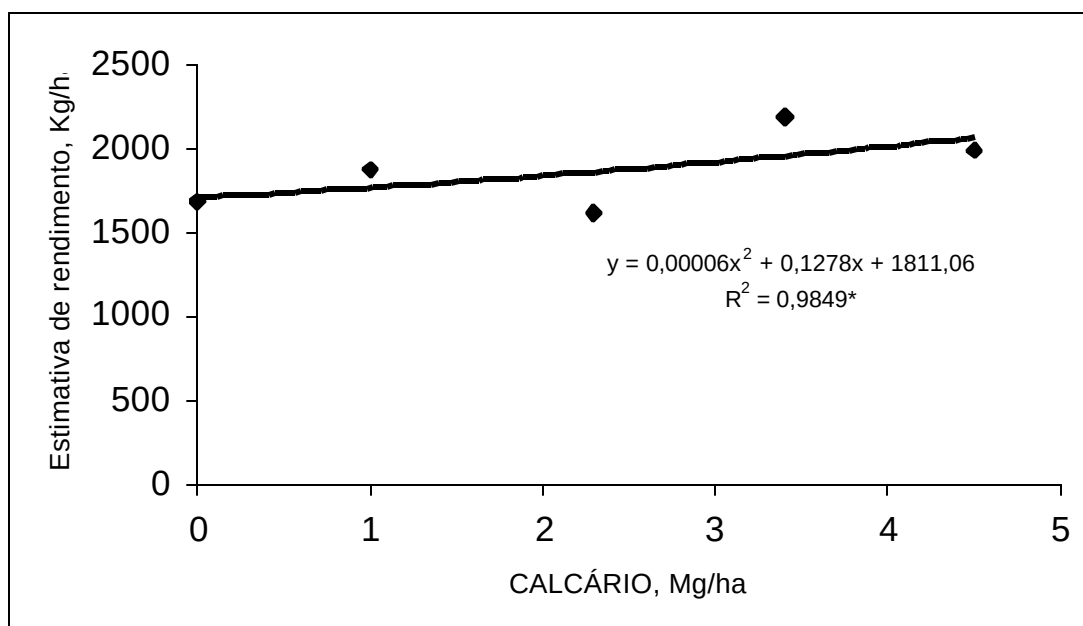
C.V. (%) – 27,15

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

6.3 Avaliação da produção na cultura da soja

Os resultados dos parâmetros de produção avaliados: altura de plantas, número de grãos por vagem, número de vagens por planta, percentual de vagens chochas, massa de 1000 grãos e estimativa de rendimento, são apresentados no quadro 22.

Somente a estimativa de rendimento ajustou-se satisfatoriamente com as doses de calcário (Figura 23), apresentando acréscimos na produção da soja em função de uma equação quadrática. Aumentos na produção de soja com a aplicação de calcário em superfície são também relatados por Oliveira & Pavan (1996), que obtiveram



resposta da

(*) significância estatística ao nível de 5%

Figura 23. Estimativa de rendimento da soja, cultivada no ano agrícola 1999/2000, em função do calcário aplicado na superfície de Latossolo Vermelho distroférico.

soja à aplicação de calcário já no primeiro cultivo após a aplicação do calcário. Tal resultado poderia ser atribuído à baixa concentração de alumínio do solo ($8,5 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$), porém, Pötter & Ben (1998) mostraram respostas da soja ao calcário aplicado na superfície do solo, com alta concentração de alumínio ($23,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^3$).

Apesar da aplicação do calcário ter aumentado a estimativa de rendimento, esta foi baixa, quando comparada com resultados obtidos em outros experimentos (Pötter & Ben, 1998 cv: BR-16: 2.576 kg ha^{-1} ; Costa, 2000 cv EMB-58: 2.417 kg ha^{-1}), e até mesmo em lavouras comerciais. Um dos fatores que certamente influenciaram tal resultado foi o atraso na época de semeadura da soja, realizada no final de dezembro/1999, época não recomendada para a cultivar utilizada (CO-201). O atraso na época de semeadura foi devido ao longo período de estiagem ocorrido na região (Figura 2). Outros fatores relacionados à baixa produtividade obtida, provavelmente, foram os teores foliares baixos de nitrogênio e fósforo. Mesmo tendo sido realizada a inoculação das sementes de soja com rizóbio, o processo de fixação biológica pode ter sido prejudicado por fatores adversos, não detectados na condução do experimento, e como a área experimental não havia sido cultivada anteriormente com soja, a população de rizóbios seria muito baixa para assegurar fornecimento suficiente de nitrogênio às plantas. Quanto aos baixos teores foliares de fósforo verificados, o fato da área experimental não ter sido fertilizada anteriormente com fósforo, constatada pelas análises de solo, justifica, de certa forma, tal resultado, apesar da adubação fosfatada empregada na área ser baseada na análise de solo apresentada no quadro 1.

Para os demais parâmetros de produção, não houve ajuste com significância estatística entre os resultados obtidos e as doses de calcário. Observa-se no

Quadro 22, que a aplicação de calcário aumentou a altura de plantas de soja, com exceção da dose de 2,3 Mg ha⁻¹ que apresentou altura semelhante à testemunha. Os valores de massa de 100 grãos também foram superiores nos tratamentos que receberam calcário.

Com relação à palhada de brizantão, esta não influenciou nenhum dos parâmetros de produção da soja estudados.

Quadro 22. Valores médios de altura de plantas (cm), número de grãos por vagem, número de vagens por planta, percentual de vagens chochas, massa de 1000 grãos (g) e estimativa de rendimento (kg ha⁻¹) em função de níveis de calagem.

Calcário (Mg ha ⁻¹)	Altura de plantas	n.º grãos/vagem	n.º vagem/planta	% de vagens chochas	Massa de 1000 grãos	Estimativa produção
0	33,34	2,09	23,01	1,86	147,1	1689
1,0	40,37	2,05	26,70	1,90	153,2	1879
2,3	33,42	2,07	24,20	1,77	151,2	1615
3,4	41,71	2,07	28,43	1,51	152,8	2191
4,5	39,93	2,15	25,06	1,32	151,3	1992
c/ palhada	37,70a	2,07a	25,82a	1,77a	151,1a	1858a
s/palhada	37,80a	2,10a	25,13	1,57a	151,2a	1889a
C.V.(%)	14,56	5,59	17,90	40,10	4,97	22,97

7. CONCLUSÕES

1. A aplicação do calcário na superfície do solo promoveu aumento do pH , do teor trocável de cálcio e da saturação de bases, de forma mais acentuada, até a profundidade de 10 cm, e reduziu o teor de cobre até a profundidade de 20 cm.

2. A aplicação do calcário na superfície do solo reduziu os teores foliares de fósforo e magnésio na cultura da soja.

3. A palhada de brizantão reduziu o teor foliar de boro e manganês na cultura da soja, sendo que no caso do manganês, esta redução só foi observada na ausência de calcário.

4. A soja respondeu à aplicação superficial de calcário na superfície, sendo a maior produtividade obtida com a dose de $3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, F., TAN, K.H. Effect of lime and organic matter on soybean seedlings grown in aluminum-toxic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.50, p.656-61, 1986.
- ASGHAR, M., KANEHIRO, Y. Effects of sugar-cane trash and pineapple residue on soil pH, redox potential, extractable Al, Fe and Mn. *Trop. Agric*, v.57, p.245-58, 1980.
- BARBER, R.G., ORELLANA, M., NAVARRO, F., DIAZ, O., SORUCO, M.A. Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolívia. *Soil & Tillage Res.*, v.38, p.133-52, 1996.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.21, p.105-12, 1997.
- BESSHO, T., BELL, C.L. Soil solid and solution phase changes and mung bean response during amelioration of aluminium toxicity with organic matter. *Plant and Soil*, v.140, p.183-96, 1992.

- BLEVINS, R.L., MURDOCK, W., THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. *Agron. J.*, v.70, p.322-5, 1978.
- BUSCHIAZZO, D.E., PANIGATTI, J.L., UNGER, P.W. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid argentinean pampas. *Soil & Tillage Res.* v.49, p.105-16, 1998.
- CAIRES, E.F., CHUERI, 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. Ci. Solo.* v.22, p.27-34, 1998.
- 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. Cienc. Solo*, v.23, p.315-27, 1999.
- CARVALHO, M.M., MARTINS, C.E. , SIQUEIRA, C., SARAIVA, O.F. Crescimento de uma espécie de braquiária, na presença da calagem em cobertura e de doses de nitrogênio. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.16, p.69-74, 1992.
- CHAVES, J.C.D., PAVAN, M.A., MIYASAWA M. Redução da acidez subsuperficial em coluna de solo. *Pesqui. Agropecu. Bras.* v.23, p.469-76, 1988.
- CONRADIE, W.J. Efficiency of surface-applied ameliorants for alleviating acidity in two vineyard soil types. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 3, 1993, Brisbane. *Proceedings...* Dordrecht: Kluwer Academic, 1995. p.531-6.

- COSTA, A. *Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja (glycine max (L) Merrill) Trigo (Triticum aestivum L) cultivada em sistema plantio direto: efeitos sobre as plantas e alguns atributos químicos de acidez*. Botucatu: 2000. 146p. Tese (Doutorado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista
- DEMARIA, I.C., CASTRO, O.M., SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.23, p.703-9, 1999a.
- DEMARIA, I.C., NNABUDE, P.C., CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. *Soil & Tillage Res.*, v.51, p.71-9, 1999b.
- EDWARDS, D.E., BEEGIE, D.B. No-till liming effects on soil-pH, corn grain yield and earleaf nutrient content. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* v.19, p.543-62, 1988.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: EMRAPA Solos, 1999. 412p.
- ERNANI, P.R., FIGUEIREDO, O.R.A., BECEGATO, V., ALMEIDA, J.A.; Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. *Rev. bras. Cienc. Solo*, v.20, p.159-62, 1996.

FARINA, M.P.W. Management of subsoil acidity in environments outside the humid tropics.

In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1995, Belo Horizonte. *Proceedings...* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1997 p.179-90.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Brasil – Expansão da área cultivada em plantio direto.** http://www.agri.com.br/Febrapdd/pd_area_br.htm (10 Dez 2000)

FERRERAS, L.A., COSTA, J.L., GARCIA, F.O., PECORARI, C. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa” of Argentina. *Soil & Tillage Res.*, v.54, p.31-9, 2000.

FIORETTO, R.F. *Mudança na reação química do solo induzida pela palhada da cana-de-açúcar (Saccharum spp).* Botucatu: 1999, 84p. Tese (Doutorado em Agricultura). Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista.

FRANCHINI, J.C., MIYASAWA, M., PAVAN, M.A., MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.34, p.2267-76, 1999.

FRANCIS, G.S., KNIGHT, T.L. Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand. *Soil & Tillage Res.*, v.26, p.193-210, 1993.

GOMES, A.S.; VERNETTI JÚNIOR, F.J.; SILVEIRA, L.D.N. Manejo da calagem no sistema plantio direto, em solo de várzea, sob condições naturais. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Passo Fundo, RS. Anais...Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997, p.213-216.

- GÓMEZ, J.A., GIRÁLDEZ, J.V., PASTOR, M., FERERES, E. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. *Soil & Tillage Res.*, v.52, p.167-75, 1999.
- GONZALEZ-ERICO, E., KAMPRATH, E.J., NADERMAN, G.C., SOARES, W.V. Effect of depth lime incorporation on the growth of corn on na Oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v.43, p.1155-8, 1979.
- GROVE, J.H., BLEVINS, R.L. Correcting soil acidification in continuous corn (*Zea mays* L.): N rate, tillage and time. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.19, p.1331-42, 1988.
- HARGROVE, W.L., REID, J.T., TOUCHTON, J.T., GALLAHER, R.N. Influence of tillage practices on the fertility status of an acid soil double-cropped to wheat and soybeans. *Agron. J.*, v.74, p.684-7, 1982.
- HERNANI, L.C., SALTON, J.C., FABRÍCIO, A.C., DEBECEK, R. ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um latossolo roxo de Dourados (MS), *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.21, p.667-76, 1997.
- HERNANI, L.C., KURIHARA, C.H., SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.23, p.145-54, 1999.
- HOYT, P.B., TURNER, R.C. Effect of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH_4 , and crop yields. *Soil Science*, v.119, p.227-37, 1975.
- 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.2834-9, 1986.
- HUE, N.V., AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v. 20, p.1499-511, 1989.

- HUE, N.V., LICUDINE, D.L. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. *J. Environ. Qual.*, v.28, p.623-32, 1999.
- HUNTER, D.J., YAPA, L.G.G., HUE, N.V. EAQUB, M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. *Commun. Soil Sci Plant Anal.*, v.26, p.375-88, 1995.
- JONES, J.N., SHEAR, G.M., MOSCHLER, W.W., LILLARD, J.H. The no-tillage system for corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.*, v.60, p.17-20, 1968.
- KITUR, B.K., PHILLIPS, S.R., OLSON, K.R., EBELHAR, S.A., Tillage effects on selected chemical properties of Grantsburg silt loam. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.25, p.225, 46, 1994.
- LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.40, p.242-5, 1976.
- LOPES, A.S. *Manejo de solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo*. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.
- LÓPEZ-FANDO, C., ALMENDROS, G. Interactive effects of tillage and crop rotations on yield and chemical properties of soils in semi-arid central Spain. *Soil & Tillage Res.*, v.36, p.45-57, 1995.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MATO, M.C., GONZALES-ALONSO, L.M., MENDEZ, J. Inhibition of enzymatic indoleacetic acid oxidation by soil fulvic acids. *Soil Biol. Biochem.*, v.4, p.475-8, 1972.

- MELLO IVO, W.M.P., MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.23, p.135-43, 1999.
- MIYASAWA, M., CHIERICE, G.O., PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.16, p.209-15, 1992.
- MUZILLI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: *Inst. Agron. Paraná*, n.23, p.11-7, 1981.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Rev. bras. Cienc. Solo*, v.7, p.95-102, 1983.
- OLIVEIRA, E.L., PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil & Tillage Res.*, v.38, p.47-57, 1996.
- PARFITT, R.L., FRASER, A.R., FARMER, V.C. Adsorption on hydrous oxides. III. Fulvic and humic acid on goethite, gibbsite and imogolite. *J. Soil Sci.*, v.28, p.289-96, 1977.
- PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T., PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a brazilian oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 48, p.33-8, 1984.
- PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T., PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Parana, Brazil. *Turrialba*, v. 35, p.131-9, 1985.
- PAVAN, M.A., ROTH, C.H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a brazilian oxisol. *Ciênc. Cult.*, v.44, p.391-4, 1992.
- PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. *Rev. Bras. Frut.*, v.16, p.86-91, 1994.

PAVAN, M.A. Efeito da adubação mineral na distribuição do sistema radicular da macieira.

Rer. Bras. Ci. Solo. v.19(3), p.477-480, 1995.

PAVAN, M.A., OLIVEIRA, E.L. Manejo da Acidez do Solo. In: *Manejo da Acidez do Solo*. 1

ed. Londrina: IAPAR, 1997, p.41-74.

PAVINATO, A. *Teores de carbono e nitrogênio do solo e produtividade de milho afetados*

por sistema de cultura. Porto Alegre, 1993, 122p. Dissertação (Mestrado em Agronomia

– Ciência do solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do

Sul.

PÖTTKER, D., BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto.

Rev. Bras. Cienc. Solo, v.22, p.675-84, 1998.

RAIJ, B. VAN, QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise do solo para fins de fertilidade*.

Campinas; Instituto Agronômico, 1983. 31p (Boletim técnico, 81).

RAIJ, B.VAN., CANTARELLA, H., FURLANI, P.R. Efeito, na reação do solo, da absorção

de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e na ausência de gesso. *Rev. Bras. Cienc.*

Solo, v.12, p.131-6, 1988.

RAIJ, B.V., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. (eds). *Recomendação*

de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas: Instituto

Agronômico/Fundação IAC, 1996, 285p.

RECHICGL, J.E., WOLF, D.D., RENEAU JR, R.B., KROONTJE, W. Influence of surface

liming on the yield and nutrient concentration of alfalfa established using no-tillage

techniques. *Agron. J.*, v.77, p.956-9, 1985.

- RITCHIE, G.S.P., DOLLING, P.J. The role of organic matter in soil acidification, *Aus. J. Soil Res.*, v.23, p.569-76, 1985.
- SÁ, J.C.M. O sistema de plantio direto: transformações e benefícios ao agroecossistema. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. *Anais...* Castro: Fundação ABC para a Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 1995. p.9-11.
- SANTOS, H.P., TOMM, G.O., LHAMBY, J.C.B. Plantio direto *versus* convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.19, p.449-54, 1995.
- 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.
- SINGH, B., CHANASYK, D.S., MCGILL, W.B., NYBORG, M.P.K. Residue and tillage management effects on soil properties of a typic cryoboroll under continuous barley. *Soil & Tillage Res.*, v. 32, p.117-33, 1994.
- SMITH, C.J., PEOPLES, M.B., KEERTHISINGHE, G., JAMES, T.R., GARDEN, TUOMI, S.S. Effect of surface applications of lime, gypsum and phosphogypsum on the alleviating of surface and subsurface acidity in a soil under pasture. *Austr. J. Soil Res.*, v.32, p.995-1008, 1994.
- TAN, K.H., BINGER, A. Effect of humic acid of aluminum toxicity in corn plants. *Soil Sci.*, v.141, p.20-5, 1986.

- TORBERT, H.A., POTTER, K.N., MORRINSON, J.E. Tillage intensity and fertility level effects on nitrogen and carbon cycling in a vertisol. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.28, p.699-710, 1997.
- UNGER, P.W., JONES, O. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil & Tillage Res.*, v.45, p.39-57, 1998.