



UNESP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

1210001217



**Calcário e Gesso na Cultura do Algodão
(*Gossypium hirsutum* L.) em Sistema
Plantio Direto
Aluno: Fabiano Andrei Bender da Cruz
Orientador: Salatiér Buzetti**

Te.1217

CALCÁRIO E GESSO NA CULTURA DO ALGODÃO
(*Gossypium hirsutum* L.) EM SISTEMA PLANTIO
DIRETO

FABIANO ANDREI BENDER DA CRUZ
Engenheiro Agrônomo

ILHA SOLTEIRA
Estado de São Paulo – Brasil
JULHO - 2001

BO-10 - FEIS - UNESP



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CALCÁRIO E GESSO NA CULTURA DO ALGODÃO
(*Gossypium hirsutum* L.) EM SISTEMA PLANTIO
DIRETO

FABIANO ANDREI BENDER DA CRUZ
Engenheiro Agrônomo

Prof. Dr. SALATIÉR BUZETTI
Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Sistemas de Produção.

Proc. 040/2001 - NRD 096/01

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
13/09/01	28/09/01
Ailza	Te. 1217
Arquivado	Arquivado
Wloosad	
Anten	
R. 10.00	

50103p16 MANEJO E TRATOS CULTURAIS

1210001217



ILHA SOLTEIRA
Estado de São Paulo – Brasil
Julho - 2001

DCp15 - FEIS - UNESP



Cruz, Fabiano Andrei Bender da
C957c Calcário e gesso na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em sistema
plantio direto / Fabiano Andrei Bender da Cruz. -- Ilha Solteira, 2001
xii, 123p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Concentração : Sistemas de Produção, 2001

Orientador: Salatiér Buzetti

Bibliografia: p.107-123

1.Calagem dos solos 2.Plantio direto 3.Algodão-Cultivo 4.Gesso 5.Cerrados

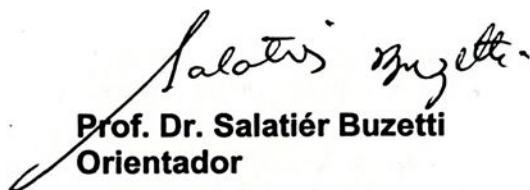


Calcário e Gesso na Cultura do Algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em Sistema Plantio Direto

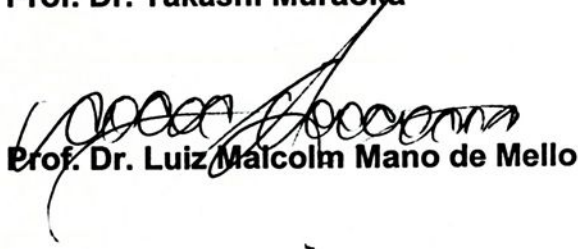
Fabiano Andrei Bender da Cruz

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE
ILHA SOLTEIRA – UNESP COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE MESTRE EM AGRONOMIA

COMISSÃO EXAMINADORA:


Prof. Dr. Salatiér Buzetti
Orientador


Prof. Dr. Takashi Muraoka


Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello

Ilha Solteira – SP
julho de 2001

BCpIS - FEIS - UNESP

A **DEUS**, ao meus pais, **Olavo** (*in
memorium*) e **Lilian**, e a minha
noiva **Alexsandra** por todo amor,
incentivo e dedicação para eu
atingir os meus ideais,

DEDICO

Aos meus irmãos Luciane, Júnior (*in
memorium*), aos sobrinhos Eillan e
Enzo, e ao cunhado Marcos, pelo
apoio, incentivo e amizade,

OFEREÇO



AGRADECIMENTOS

Para que a presente Dissertação pudesse evoluir e ser concluída foi necessária a participação de instituições e de pessoas, às quais, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos.

Ao Professor Dr. Salatiér Buzetti, pela orientação, ensinamentos, exemplos e amizade e, acima de tudo, pelo brilhante profissionalismo demonstrado ao longo do curso;

À Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, pela concessão da vaga e pelas condições de trabalho oferecidas ao longo do curso;

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão da Bolsa e Reserva Técnica (Processo 99/03974-7), possibilitando a realização desta pesquisa;

A todos docentes do Programa de Pós-graduação em Agronomia da FEIS/UNESP, pelos ensinamentos e amizade;

Aos amigos da Pós-Graduação: Geovane, Edson Cabral, Horácio, Simão, Cassiano, Ananda, , Maria Luíza, Zigomar, Fernando, Fernando Azevedo, Ary Gertes, José Weselli, Vicente, Daniela Campos, Flávia, Simone, pelo companhrrismo;

Aos Professores da Escola Agrotécnica Federal de Rio Verde-GO, pelos ensinamentos, exemplos e amizade,

Aos técnicos de laboratório da FEIS/UNESP: André, Carlinhos, João, Ricardo e Valdivino, pela ajuda ao longo do curso;

Aos funcionários da Biblioteca Central da FEIS/UNESP, pelo excelente atendimento;

A Arlindo Avanso Urzulin e Maria de Fátima Sabino, da Seção de Pós-graduação da FEIS/UNESP, pelo bom atendimento e amizade;

Aos funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa da FEIS/UNESP, companheiros nos trabalhos de campo, por tudo que contribuíram na realização desta pesquisa;

A Ilha Solteira, por tudo de bom que me proporcionou durante o curso,



A todos que direto ou indiretamente contribuíram para realização dessa Dissertação,
meus sinceros agradecimentos.



ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiii
SUMMARY	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Sistema Plantio Direto	3
2.2. Cultura do Algodão	5
2.2.1. Panorama da cultura	5
2.3. Acidez do solo	6
2.3.1. Ciclo do Carbono	6
2.3.2. Ciclo do Nitrogênio	7
2.4. Correção da Acidez do Solo	8
2.4.1. Reação do calcário no solo	8
2.4.2. Efeitos no solo	9
2.4.3. Calagem	9
2.4.4. Aspectos econômicos da calagem	11
2.4.5. Granulometria	12
2.5. Uso do Gesso	14
2.6. Uso combinado do Gesso e Calcário	19
2.7. Calagem superficial no SPD	21
2.7.1. Origem, evolução e efeitos no solo	21
2.7.2. Calagem antes do Plantio Direto	28
2.7.3. Calagem em SPD estabelecido	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1. Localização e Caracterização do Meio Físico	34
3.2. Descrição do solo	34



3.3. Amostragens e caracterização química do solo	35
3.4. Delineamento estatístico	35
3.4.1. Caracterização dos tratamentos e distribuição das unidades experimentais	35
3.5. Características dos corretivos	36
3.6. Avaliações de plantas	37
3.7. Atividades desenvolvidas referentes ao primeiro ano de experimentação	38
3.8. Atividades desenvolvidas referentes ao segundo ano de experimentação	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1. Resultados referentes aos atributos químicos do solo	45
4.1.1. Fósforo	78
4.1.2. Matéria orgânica do solo	79
4.1.3. Índice de acidez (pH)	80
4.1.4. Cálcio	81
4.1.5. Magnésio	83
4.1.6. Potássio	84
4.1.7. Alumínio	85
4.1.8. Acidez Potencial	87
4.1.9. Soma de Bases	88
4.1.10. Capacidade de Troca de Cátions Efetiva	88
4.1.11. Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0 (T)	90
4.1.12. Saturação por Bases (V%)	91
4.1.13. Saturação por Alumínio (m%)	92
4.1.14. Enxofre (SO_4^{2-})	92
4.2. Resultados das Avaliações de Plantas	94
4.2.1. Produtividade de algodão em caroço	94
4.2.2. Características agronômicas: número de ramos, altura de plantas, massa de capulhos, número de maçãs e massa de 100 sementes	80
4.3. Avaliação dos teores de macronutrientes na análise foliar	81
4.3.1. Nitrogênio na planta	81
4.3.2. Fósforo na planta	81
4.3.3. Potássio na planta	83



4.3.4. Cálcio na planta	83
4.3.5. Magnésio na planta	84
4.3.6. Enxofre na planta	85
4.4. Análises de correlação simples dos atributos químicos do solo, macronutrientes em tecidos foliares e componentes de produção versus produtividade de algodão em caroço	89
5. CONCLUSÕES	104
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados de análise química e física antes da instalação do experimento na profundidade de 0 a 0,2 m. _____	34
Tabela 2. Caracterização granulométrica dos calcários utilizados _____	37
Tabela 3. Quadrados médios, médias gerais e coeficientes de variação, referentes à P, MO, pH, Ca, Mg, K e Al, sob diferentes épocas de avaliação, doses de calcário, ausência e presença de gesso, tipos de calcário e profundidades de amostragem. Ilha Solteira, 2000/2001. _____	46
Tabela 4. Quadrados médios, médias gerais e coeficientes de variação, referentes à H+Al, SB, CTCe, CTC, V%, m% e S-SO ₄ ²⁻ , sob diferentes épocas de avaliação, doses de calcário, ausência e presença de gesso, tipos de calcário e profundidades de amostragem. Ilha Solteira, 2000/2001. _____	47
Tabela 5. Médias e equações de regressão, referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de épocas de amostragem, dos atributos químicos do solo P, MO, pH, Ca, Mg, K e Al. _____	48
Tabela 6. Médias e equações de regressão, referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de épocas de amostragem, dos atributos químicos do solo H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO ₄ ²⁻ . _____	49
Tabela 7. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação gesso dentro de épocas de amostragem, dos atributos químicos do solo _____	50
Tabela 8. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação tipos de calcário dentro de épocas de amostragem, dos atributos químicos do solo _____	51
Tabela 9. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação profundidades dentro de épocas de amostragem para P, MO, pH, Ca, Mg, K e Al no solo. _____	52
Tabela 10. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação profundidades dentro de épocas de amostragem para H+Al, SB, CTCe, CTC, V%, m% e S-SO ₄ ²⁻ no solo. _____	53
Tabela 11. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação gesso dentro doses de calcário para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO ₄ ²⁻ no solo. _____	54



Tabela 12. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação tipos de calcário dentro de doses de calcário para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e $S-SO_4^{2-}$ no solo.	55
Tabela 13. Médias e equações de regressão, referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de profundidade para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al no solo.	56
Tabela 14. Médias e equações de regressão, referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de profundidade para H+Al, SB, t, T, V%, m% e $S-SO_4^{2-}$ no solo.	57
Tabela 15. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos da interação tipo de calcário dentro de gesso para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e $S-SO_4^{2-}$ no solo.	59
Tabela 16. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos das interações gesso dentro de profundidade para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e $S-SO_4^{2-}$ no solo.	60
Tabela 17. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos das interações tipos de calcário dentro de profundidades para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e $S-SO_4^{2-}$ no solo.	61
Tabela 18. Quadrados médios referentes aos componentes de produção da cultura do algodão sob diferentes épocas e tratamentos.	78
Tabela 19. Quadrados médios referentes aos teores de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S em $g\ kg^{-1}$ de matéria seca encontrados na análise foliar da cultura do algodão sob diferentes épocas e tratamentos.	82
Tabela 20. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação tipos de calcário dentro de épocas de cultivo, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão	86
Tabela 21. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação gesso dentro de épocas de cultivo, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão	86
Tabela 22. Equações de regressão referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de épocas de cultivo, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão	87
Tabela 23. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos da interação tipos de calcário dentro de gesso, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão	87
Tabela 24. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de tipos de calcário, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão	88
Tabela 25. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de gesso, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão	88
Tabela 26. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço ($kg\ ha^{-1}$) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, para o primeiro ano de cultivo(1999/2000).	90



Tabela 27. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, para o primeiro ano de cultivo(1999/2000). _____ 91

Tabela 28. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, para o primeiro ano de cultivo(1999/2000). _____ 92

Tabela 29. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, para o primeiro ano de cultivo(1999/2000). _____ 93

Tabela 30. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,2 a 0,4 m, para o primeiro ano de cultivo(1999/2000). _____ 94

Tabela 31. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,2 a 0,4 m, para o primeiro ano de cultivo(1999/2000). _____ 95

Tabela 32. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus teores de macronutrientes em tecido foliar de algodão para o primeiro ano de cultivo(1999/2000). _____ 96

Tabela 33. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus componentes de produção de algodão para o primeiro ano de cultivo(1999/2000). _____ 97

Tabela 34. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, para o segundo ano de cultivo(2000/2001). _____ 98

Tabela 35. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, para o segundo ano de cultivo(2000/2001). _____ 99

Tabela 36. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, para o segundo ano de cultivo(2000/2001). _____ 100

Tabela 37. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, para o segundo ano de cultivo(2000/2001). _____ 101

Tabela 38. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,2 a 0,4 m, para o segundo ano de cultivo(2000/2001). _____ 102

Tabela 39. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,2 a 0,4 m, para o segundo ano de cultivo(2000/2001). _____ 103



Tabela 40. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus teores de macronutrientes em tecido foliar de algodão para o segundo ano de cultivo(2000/2001). _____104

Tabela 41. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus componentes de produção de algodão para o segundo ano de cultivo (2000/2001). _____103



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção mundial de algodão	5
Figura 2. Representação da produtividade de algodão no Brasil na década de 90	6
Figura 3. Consumo de calcário no Brasil	10
Figura 4. Vista parcial da área experimental na ocasião da distribuição dos corretivos	39
Figura 5. Vista geral da cultura do milho utilizado na formação de massa para cobertura	39
Figura 6. Detalhe da cultura do milho cinco dias após o manejo químico	40
Figura 7. Vista geral da palhada de milho	40
Figura 8. Detalhe da semeadura do algodão.	41
Figura 9. Detalhe da emergência das plântulas de algodão	41
Figura 10. Detalhe das plantas de algodão	42
Figura 11. Vista geral da cultura do algodão	42
Figura 12. Vista geral da cultura do algodão	43
Figura 13. Vista geral da cultura do algodão	43
Figura 14. Detalhe da cultura na ocasião do florescimento	44
Figura 15. Regressão polinomial para produtividade de algodão em caroço em função dos níveis de calcário utilizados.	79
Figura 16. Regressão polinomial para número de ramos em função dos níveis de calcário utilizados.	80
Figura 17. Equação de regressão para K em tecido foliar de algodão	83
Figura 18. Equação de regressão para Ca em tecido foliar de algodão em função das doses de calcário utilizadas.	84
Figura 19. Equação de regressão para Ca em tecido foliar de algodão em função das doses de calcário utilizadas no segundo ano de cultivo.	84



CALCÁRIO E GESSO NA CULTURA DO ALGODÃO (*Gossypium hirsutum* L.) EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

AUTOR: Fabiano Andrei Bender da Cruz
ORIENTADOR: Prof. Dr. Salatiér Buzetti

RESUMO

A acidez do solo é um dos principais problemas da agricultura nos trópicos. Condição esta totalmente adversa à cultura do algodão. Tal limitação vai além da camada superficial e, no plantio direto, alternativas devem ser buscadas como solução. Com o objetivo de avaliar as alterações nos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob plantio direto e o desempenho da cultura do algodão IAC-22, em dois anos de cultivo utilizaram-se calcários em diferentes doses e reatividades, na presença e ausência de gesso aplicados em superfície. A área localiza-se no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul, na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Câmpus da UNESP, em uma área equivalente a 0,5 ha. Foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m de profundidade, nas quais avaliaram-se os seguintes parâmetros: pH; Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} ; P, K^+ , H+Al, SB, V%, m% e MO e S-SO_4^{2-} . O delineamento estatístico utilizado foi o blocos casualizados em esquema fatorial $2 \times 4 \times 2 \times 3$, ou seja, aplicação de calcário com 2 granulometrias distintas, em quatro níveis (0 NC = testemunha; 1/2 NC; NC; 2xNC, onde NC = recomendação para elevar a saturação por bases a 70%); aplicação ou não de gesso e, avaliação em três profundidades (0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m), para solo. Para

os parâmetros de plantas e componentes de produção o esquema fatorial considerou-se apenas o calcário (tipos e doses) e o gesso (2 x 4 x 2). Avaliou-se o estado nutricional da cultura em relação a macronutrientes e a produtividade de algodão em caroço, dentre outras. O gesso aumentou a produtividade de algodão em caroço, os teores de P, MO, pH, Ca, K, SB, CTCe, CTC, V% e $S-SO_4^{2-}$ e, P e S no tecido foliar; reduziu o Al, m%, H+Al, no solo e o Mg na planta. O uso de calcário provocou aumentos para P, MO, pH, Ca, Mg, K, SB, CTCe, CTC, e V% e, reduziu o Al, H+Al, m%. Para os níveis de calcário a análise de regressão para produtividade ajustou-se a um modelo quadrático. Somente houve influência do tipo de calcário nos teores foliares de magnésio quando se usou calcário grosso associado ao gesso, cuja combinação provocou aumento significativo para este elemento

Palavras chave: fertilidade do solo, correção do solo, semeadura direta, algodão.

LIME AND GYPSUM ON COTTON CROP (*Gossypium hirsutum* L.) IN NO TILLAGE SYSTEM

AUTHOR: Fabiano Andrei Bender da Cruz

ADVISER: Prof. Dr. Salatiér Buzetti

SUMMARY

The soil acidity is a main problem of crop in the tropics. Cotton this limitation is beyond the soil surface layer and in no tillage system alternatives must be found. This study aimed to evaluate liming rates and particle size with or without gypsum applied in a no tillage system on cotton crop IAC – 22 cultivar under dystrophic clayey red latosol. The trial was conducted at Experimental Station of Ilha Solteira University Campus located in Selvíria country – MS. The evaluations related to soil fertility were done at 3 depths: 0 – 0.1, 0.1 – 0.2, and 0.2 – 0.4 m to pH, Ca, Mg, Al, P, K, H+Al, base sum, base saturation, Al saturation and organic matter. A randomized blocks design in a factorial scheme: rates and particle size of lime, gypsum and year to plant analyses, and soil depths besides those ones to soil evaluations was used. The lime rates were: 0, 0.5, 1.0, and 2.0 times the recommendation to reach 70% of base saturation, and or 1,500 kg ha⁻¹ of gypsum. The analyses of macronutrients in plant and cotton in pit yield were evaluated. The gypsum increased the cotton in pit in addition, P, OM, Ca, K, base sum, base saturation in soil, and P and S on leaves; decreased Al, Al saturation, H+Al, in soil and Mg in leaves. The lime provided increase to P, OM, pH, Ca, Mg, base saturation, on the other hand it decreased Al, H+Al, and Al saturation. The cotton in pit yield

cotton in pit yield related to lime rates the regression analyses was fitted to a quadratic model with 1.0 NC providing the maximum yield. The Mg content on leaves was higher with thicker lime on presence of gypsum.

Key words: soil fertility, soil amendment, no tillage, cotton.



1. INTRODUÇÃO

O cultivo do algodão herbáceo na região meridional brasileira, nas últimas décadas, tem-se deslocado para regiões interioranas onde predominam solos originalmente recobertos por vegetação de cerrado e mesmo de campo. São solos freqüentemente de baixa fertilidade, devido à ocorrência de precipitação suficientemente alta para lixiviar quantidades apreciáveis de bases permutáveis do solo, ou pela ausência de minerais primários e secundários responsáveis pela reposição dessas bases.

A acidez do solo é um dos principais entraves para a agricultura nos trópicos. Só no Brasil, os solos ácidos ocupam cerca de 205 milhões de hectares, e na América Latina aproximadamente 1,0 bilhão de hectares. Estes solos se caracterizam pela baixa fertilidade, baixa capacidade de troca catiônica e alta saturação de alumínio tóxico, que causa paralisação da divisão celular nas raízes das plantas, prejudicando o desenvolvimento e funcionamento do sistema radicular. Em consequência, plantas sensíveis apresentam baixa eficiência na absorção de nutrientes do solo e maior susceptibilidade à seca (PAIVA, 1998). Condição esta totalmente adversa para o cultivo do algodoeiro, planta bastante sensível à acidez do solo. As duas alternativas economicamente viáveis para controlar este problema são o uso de genótipos tolerantes ao Al tóxico e a correção da acidez do solo por meio de calagem (PAIVA, 1998). As limitações desses solos, todavia, vão além da camada arável, atingindo as camadas subsuperficiais, onde a toxidez do alumínio e a baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem a maximização das produções, por limitar o desenvolvimento radicular e, consequentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade. Dessa forma, práticas que visem a neutralização do alumínio tóxico e a elevação dos teores de cálcio são essenciais para o cultivo do algodoeiro em tais condições.

O solo é a base de sustentação de sistemas agrícolas sustentáveis e saudáveis, sendo que (REINERT & ELTZ, 1997), sua preservação é de vital importância para manutenção da produtividade e qualidade ambiental. A alternativa mais adequada às condições tropicais, no que tange ao manejo do solo, é o Sistema Plantio Direto (SPD). Este abre uma nova perspectiva para os solos sob cerrado, a de produzir sem degradar, sendo que, solos submetidos ao sistema plantio direto são mais estáveis e resistentes à erosão. Este sistema baseia-se em programas de rotação de culturas e caracteriza-se pelo cultivo em terreno

coberto com palha e/ou plantas em desenvolvimento e em ausência de preparo de solo, por tempo indeterminado. Consiste também, na aplicação de todas as técnicas recomendadas para os diferentes cultivos e condições edafoclimáticas e de todos os cuidados com a preservação e melhoria da qualidade ambiental. Gera, enfim consistentes melhorias na qualidade e na sustentabilidade de todo o agroecossistema (HERNANI & SALTON, 1998). As alterações nas propriedades químicas e físicas no SPD são dinâmicas no tempo e, a discussão sobre a utilização de corretivos para a correção da acidez nesse sistema é ampla e carece de maiores informações. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de dois calcários sob diferentes níveis e em duas granulometrias, na presença ou ausência de gesso, aplicados ao solo em superfície, e nas implicações nas características químicas do solo, bem como na cultura do algodão, cultivado sob plantio direto.



2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistema Plantio Direto

O Sistema Plantio direto (SPD) representa um enfoque tão revolucionário na agricultura que é difícil, à primeira vista ser aceito, porque se baseia em suprimir a prática de preparar o solo, aperfeiçoada durante muitos séculos (LANDERS, 1999). Assim, este deve ser visto como uma evolução fundamental na tecnologia agropecuária onde o agricultor individual (cujo pensamento natural é holístico, vendo sua operação como um todo) tem mais agilidade para adotar o novo sistema que as instituições públicas, as quais, na fase inicial em cada região, foram levadas a reboque por esta iniciativa dos produtores (LANDERS, 1999). De fato, o SPD não é simplesmente uma nova tecnologia, ele representa uma nova filosofia, com uma série de novos valores básicos, que constituem um sistema de agricultura sustentável (LANDERS, 1999), consistindo no processo de semeadura em solo não revolvido (MUZILLI, 1985), no qual a semente é colocada em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para se obter uma adequada cobertura e um adequado contato da semente com a terra. O controle das plantas daninhas é geralmente feito através de métodos químicos, combinados ou não com práticas mecânicas e culturais específicas. Nesse conceito, o SPD pressupõe três requisitos básicos: semeadura sobre os restos de culturas anteriores, ou seja, sem a prévia destruição e incorporação ao solo; a não movimentação do solo, exceto nos sulcos de semeadura; e o emprego de herbicidas para controle de plantas daninhas, com as suas vantagens e inconvenientes.

O SPD produz mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, cujos efeitos se refletem diretamente na fertilidade e na eficiência de aproveitamento dos nutrientes, pelas plantas. Dentre os aspectos envolvidos, destacam-se as alterações de temperatura e umidade na camada arável, cujos efeitos interferem na atividade biológica responsável pela mineralização da matéria orgânica, influenciando os processos de solubilização e liberação dos nutrientes nela contidos (MUZILLI, 1985). O SPD diferencia-se dos outros processos de semeadura, sobretudo pela menor intensidade de mobilização do solo e pela redução na frequência do tráfego de máquinas sobre o terreno. Nesse sistema de plantio, não ocorre incorporação física dos resíduos de culturas, defensivos e fertilizantes. Estes são depositados

na superfície do solo, movimentando-se na vertical, somente os solúveis em água. O resultado disso é a formação de um gradiente físico-químico, no perfil do solo, com acúmulo de nutrientes menos solúveis na superfície e distribuição daqueles mais solúveis. A consequência é o pequeno desenvolvimento radicular, em profundidade, das plantas cultivadas. A única maneira de alterar esse sistema é com a movimentação do cálcio em profundidade.

A região dos Cerrados ocupa a área de 207 milhões de hectares (24% do território brasileiro) sendo a maior parte localizada na região Centro-Oeste e também em pequenas áreas das regiões Nordeste e Norte. Com baixa capacidade de armazenamento de água aliado à pobreza química e mineralógica generalizada desses solos, com destaque para a alta concentração de Al e baixos teores de Ca no perfil, o crescimento das raízes é inibido, prejudicando a absorção de água e nutrientes e, consequentemente, a produtividade das culturas. Nas últimas décadas, apesar de existirem tecnologias para superar essas restrições que o ecossistema Cerrado impõe, a atividade agrícola na região tem sido praticada utilizando-se principalmente sistemas de manejo caracterizados pelo alto grau de perturbação do solo, com impactos negativos no meio ambiente (RESCK, 1998). Inicialmente, o solo tem de ser revolvido para ser corrigido quimicamente e ativar a matéria orgânica que, embora apresente teores de médios a altos nos latossolos, é de baixa atividade. A matéria orgânica ativada cria mais sítios de cargas, melhorando a agregação do solo (PAIVA, 1998). Quatro fatores que compõem o manejo devem ser aplicados harmonicamente no solo: a calagem e a gessagem para a correção da acidez e da toxidez de Al superficial e subsuperficial, a adubação corretiva (P e K) e de manutenção, a rotação de culturas, e a dinâmica de sistemas de preparo, culminando com o plantio direto (PAIVA, 1998).

O SPD envolve um conjunto práticas direcionadas para uma agricultura sustentável, em termos econômicos e ambientais. A cobertura da superfície do terreno com resíduos culturais (palha) representa um fator positivo em termos de proteção desta superfície, contra os agentes causadores da erosão (OLIVEIRA, 1999b). A manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, através da técnica do plantio direto na palha cumpre juntamente com as culturas de cobertura estes objetivos, possibilitando condições físicas, químicas e biológicas no solo mais favoráveis para o crescimento e desenvolvimento das plantas (TORMENA, 1995). A utilização do sistema, após alguns anos, causa uma série de modificações químicas, físicas e biológicas do solo que se refletem em mudanças profundas na fauna e flora do solo e na forma de pensar de pesquisadores, extensionistas e produtores. Para entender as mudanças nas lavouras nesse sistema, é necessário compreender as inter-relações entre solo, água e fauna, de tal maneira que o produtor possa obter vantagem econômica dessa prática e, ao

mesmo tempo, causar o menor impacto possível sobre os recursos naturais, dentro de um sistema conservacionista de exploração agropecuária (PETRERE, 1999).

2.2. Cultura do Algodão

O algodoeiro é uma das espécies vegetais cultivadas mais antigas do mundo. As primeiras referências registram seu cultivo alguns séculos antes de Cristo. No Brasil, sabe-se que, na época do descobrimento, os indígenas cultivavam o algodão e transformavam em fios e tecidos. A fibra dessa cultura é a mais cultivada pelo homem e a mais importante das fibras têxteis. A fibra, principal produto do algodão, possui mais de quatrocentas aplicações industriais e a sua semente é rica em óleo (18 a 25%), contendo de 20 a 25% de proteína bruta. O bagaço, subproduto da extração do óleo, é utilizado na alimentação animal devido ao seu alto valor protéico, com 40 a 45% de proteínas (CARVALHO, 1996).

2.2.1. Panorama da cultura

A produção mundial de algodão em pluma tem apresentado uma diminuição, (Figura 1), encontrando-se, atualmente, por volta de 19.630 mil toneladas, ocupando uma área de 31.579 mil hectares. A China lidera com 20,18%, seguida dos Estados Unidos com 19,71% e da Índia com 12,90% (ESTADOS UNIDOS, 2001).

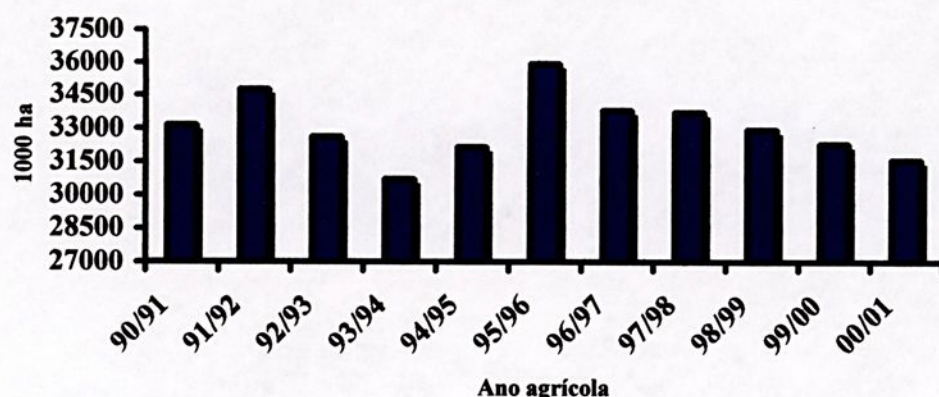


Figura 1. Produção mundial de algodão (Estados Unidos, 2001)

No âmbito nacional, a cultura do algodoeiro ocupa uma área de aproximadamente 858,3 mil hectares, produzindo cerca de 1.424,1 mil toneladas de algodão em caroço (BRASIL, 2001).

Nos últimos anos, a produtividade brasileira de algodão tem sido crescente (Figura 2). Os Estados maiores produtores são pela ordem: Mato Grosso (53,98%), Goiás (11,56%), Mato Grosso do Sul (7%) e São Paulo (6,8%). A Região Centro-Oeste é responsável por 72,83% da produção nacional de algodão, seguida pela Região Nordeste com 10,24%, Sudeste com 9,9% e Sul com 6,8%.

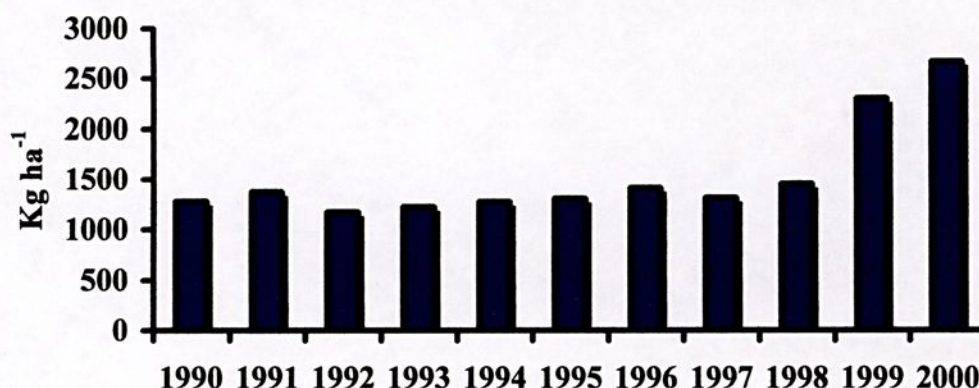


Figura 2. Representação da produtividade de algodão no Brasil na década de 90 (BRASIL, 2001)

2.3. Acidez do solo

A acidez é a maior limitação de produtividade em muitos solos do mundo (MCBRIDE, 1994). Devido ao processo de intemperismo, os solos tendem a ser naturalmente ácidos. Embora a acidificação seja um processo natural, ela pode ser intensificada pela ação do Homem (PETRERE, 1999). Os sistemas de manejo, bem como as culturas, têm influência significativa na variação do pH. Substâncias ácidas podem ser produzidas em muitos ciclos de nutrientes, mas as produzidas nos ciclos biológicos do carbono e do nitrogênio são as mais importantes em ecossistemas agrícolas (HELYAR & PORTER, 1989).

2.3.1. Ciclo do Carbono

A acidificação do solo devida ao ciclo do carbono é representada pelo acúmulo de matéria orgânica no solo e pela transferência de bases nos produtos vegetais e animais de um

determinado local para outro (DOLLING & PORTER, 1994). A acidificação ocorre, também, devido ao efeito do manejo dos restos de cultivo e a remoção de grãos. COVENTRY & SLATERRY (1991) observaram após quinze anos de utilização de três sistemas de cultura, que a perda de alcalinidade do solo pelos grãos exportados foi responsável por 16% da acidificação. A liberação de íons H^+ pela matéria orgânica também é responsável pela acidificação do solo. Essa liberação depende do pH inicial do solo e da constante de dissociação (pK) dos ácidos orgânicos fracos (HELYAR, 1976 citado por PETRERE, 1999). Segundo RITCHIE & DOLLING (1985), a adição de materiais orgânicos pode causar aumentos no pH do solo. Se o pH inicial do solo for menor do que o pK dos grupos ácidos fracos do material orgânico adicionado haverá um aumento no pH, devido à associação de H^+ com alguns ânions orgânicos.

2.3.2. Ciclo do Nitrogênio

Um dos processos acidificantes no ciclo do nitrogênio é a nitrificação seguida da lixiviação do nitrato (NO_3^-). Este processo vem sendo citado como um dos principais responsáveis pela intensa acidificação do solo em pastagens com leguminosas (COVENTRY & SLATERRY, 1991). HELYAR (1976) citado por PETRERE (1999) enfatiza que, havendo ou não nitrificação, o ciclo completo do nitrogênio em um ecossistema é neutro, pois, se ocorrer a nitrificação (processo ácido) o processo reverso (alcalino) de redução do nitrogênio ocorre dentro da planta ou do microrganismo durante o metabolismo do nitrato. No entanto, se o nitrato formado na nitrificação sair do sistema, via lixiviação, o ciclo do nitrogênio neste sistema será acidificante.

Um outro processo ligado ao ciclo do nitrogênio que pode ter efeito no pH da rizosfera é a liberação de H_3O^+ ou de OH^- e HCO_3^- pelas raízes das plantas, devido à maior absorção de cátions ou de ânions, respectivamente, para manutenção da eletroneutralidade interna da planta (HAYNES, 1983). Um dos nutrientes mais absorvidos pelas plantas é o nitrogênio. Quando o nitrato é a forma predominante no ambiente radicular, o crescimento de plantas envolve maior absorção de ânions sobre cátions e, conseqüentemente, há excreção de OH^- e HCO_3^- pelas plantas e o pH da rizosfera aumenta. Quando o amônio é a forma predominante ou quando as plantas fixam biologicamente o nitrogênio, ocorre maior absorção de cátions do que ânions, resultando em excreção de H_3O^+ e decréscimo no pH da rizosfera (RILEY & BARBER, 1971 citados por PETRERE, 1999).

2.4. Correção da Acidez do Solo

O calcário, produto mais comumente usado na correção da acidez do solo, é originado da moagem da rocha calcária e constituído predominantemente pelos minerais calcita (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), sendo a presença de outros minerais caracterizada como impureza (BARBER, 1984), a qual dificulta a solubilização dos constituintes neutralizantes da acidez do solo (ALCARDE, 1985). O calcário, por ser um sal pouco solúvel, necessita inicialmente ser dissolvido para que os produtos da dissociação reajam com os ácidos do solo (VOLKWEISS, 1989). A dissolução das partículas de calcário ocorre como reação de superfície, ressaltando-se com isso, a importância da distribuição do tamanho de partículas na reatividade deste corretivo (ZANCANARO, 1996).

2.4.1. Reação do calcário no solo

A dissolução inicia imediatamente após haver o contato das partículas com o solo ácido, na presença de umidade adequada do solo (VOLKWEISS, 1989). Desse modo, a neutralização da acidez do solo requer a participação, na reação, de receptores de prótons (OH^- e HCO_3^-), sem os quais a redução da acidez não ocorre (VOLKWEISS, 1989). Há liberação de íons Ca^{2+} e OH^- para a solução do solo e moléculas de gás CO_2 , que tende a volatilizar. Devido à baixa solubilidade do carbonato, os íons Ca^{2+} e OH^- dissolvidos atingem rapidamente valores constantes, mas muito baixos, junto à superfície das partículas de calcário (VOLKWEISS, 1989). A continuidade dessa reação depende da remoção dos ânions OH^- pela reação com os cátions H^+ e Al^{3+} presentes na solução do solo (THOMAS & HARGROVE, 1984, citados por Petrere, 1999). A concentração de Ca^{2+} neste ponto aumenta, estabelecendo um gradiente de concentração responsável pela difusão do cálcio para o interior do solo (VOLKWEISS, 1989). A difusão do cálcio é uma consequência da necessidade de manutenção da eletroneutralidade do solo (PETRERE, 1999). Entretanto, é impossível prever a difusão do cálcio sem considerar a importância fundamental da propagação de bases (OH^-) para o interior do solo (distante da partícula de calcário), e de ácido em direção à interface solo-partícula. O fator limitante para a reação do calcário com o solo é a taxa de transferência de ácido e base entre a interface solo-partícula e o interior do solo (NYE &



AMELOCOKO, 1972, citados por PETRERE, 1999), além do ataque ácido da solução sobre a partícula, que é proporcional ao pH do solo (BARBER, 1984).

2.4.2. Efeitos no solo

Com a calagem o aumento da população e da atividade microbiana é estimulada, pelo aumento de pH do solo e, indiretamente, por um melhor desenvolvimento vegetal, com maior produção de raízes e retorno de resíduos das culturas. Alguns processos que resultam em acidificação do solo, tais como nitrificação, liberação de CO_2 e consequente formação de ácido carbônico, mineralização da matéria orgânica e dissociação de ácidos orgânicos, são favorecidos pelo aumento da população e da atividade microbiana no solo (VOLKWEISS, 1989). O acúmulo de sais no solo, principalmente nitratos de cálcio, de magnésio e de potássio, são favorecidos por condições favoráveis à mineralização da matéria orgânica causando diminuição do pH do solo (MCLEAN, 1973 citado por PETRERE, 1999). Com a elevação do pH dos solos ácidos pela calagem ocorre um aumento significativo da atividade das bactérias nitrificadoras. Em consequência, a maior parte do amônio presente no solo é rapidamente nitrificada após a calagem (PETRERE, 1999). CURTIN & SMILLE (1995) observaram que os prótons liberados na solução do solo juntamente com o nitrato, como resultado da amonificação e nitrificação do nitrogênio orgânico, deslocam cátions (Ca, Mg, K e Na) dos sítios de troca, resultando no aumento de cátions na solução do solo, na solubilização do Al^{3+} e no decréscimo do pH. Para cada átomo de nitrogênio na forma de amônio que é nitrificado, há um consumo de duas hidroxilas, ou seja, consome parte do calcário aplicado no solo, podendo ter o nitrato de cálcio como produto final (VOLKWEISS, 1989). Se a taxa de dissolução do calcário não for suficientemente rápida para compensar o efeito acidificante da nitrificação do amônio, o resultado é um decréscimo no pH do solo. Maior quantidade ou partículas de tamanho menor de calcário são requeridas para compensar o aumento da acidez (HABY et al., 1979, citados por PETRERE, 1999).

2.4.3. Calagem

Os solos podem ser naturalmente ácidos, em razão da pobreza do material de origem em cálcio, magnésio, potássio e sódio, ou através de processos de formação ou de manejo de



solos que levam à perda destas bases e, portanto, à acidificação (QUAGGIO, 2000). O território brasileiro é composto por cerca de 70% de solos ácidos e, em 40% a produtividade das culturas é reduzida à metade. Além disso, apesar do consumo de calcário ter crescido de 11,6 milhões de toneladas em 1990 para 17,0 milhões em 1997, havendo uma redução para 15,0 milhões em 2001 (Figura 3), ainda é pouco para uma área cultivada de, aproximadamente, 51 milhões de hectares, desconsiderando-se a demanda pelas pastagens. Daí resulta o consumo médio de $0,3 \text{ t ha}^{-1}$, que é baixo, pois deveríamos consumir, pelo menos 1 t ha^{-1} por ano, em média, para as principais culturas (QUAGGIO, 2000).

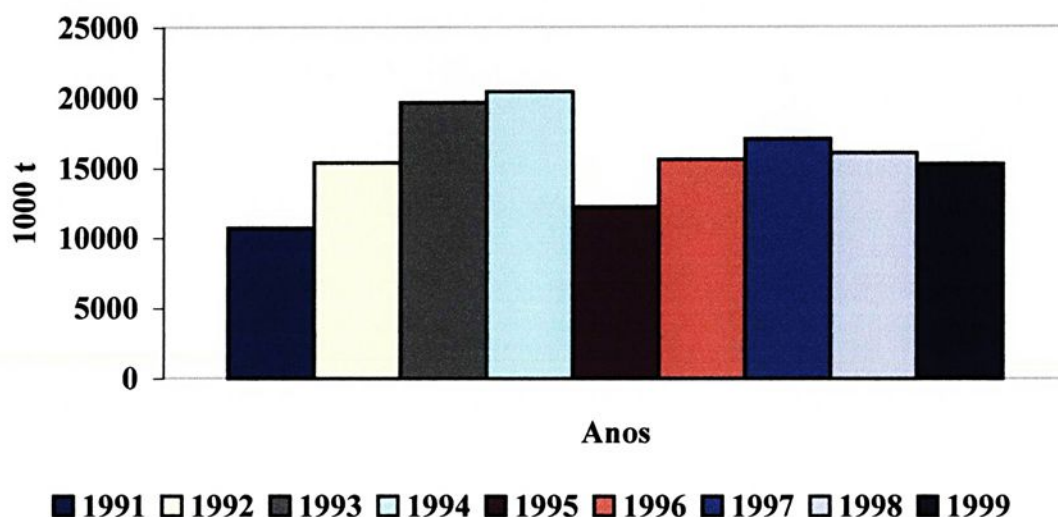


Figura 3. Consumo de calcário no Brasil (BRASIL, 2001)

Conforme SILVA (1999) nos primeiros trabalhos conduzidos no Estado de São Paulo, houve pouco efeito da calagem, em função da fraca acidez constatada. Estudos posteriores, em solos apresentando pH mais baixo, no entanto, conduziram a aumentos destacados na produtividade de algodão devidos ao uso de corretivos, mesmo em condições de baixa disponibilidade de Al. Na experimentação com o algodoeiro, em pelo menos duas oportunidades foi utilizado, com sucesso, o método de estimativa da calagem com base na correlação entre o pH e a saturação por bases. Calculado para elevar o pH em H_2O à faixa de 6,0, o uso de calcário proporcionou excelentes resultados em solos paulistas de cerrado, entre 1958 e 1961. Fato semelhante foi constatado em Campinas, SP, na década de 1960 por SILVA (1999) quando se fez calagem para pH 6,5. Em estudos mais recentes procurou-se avaliar o potencial de produção do algodoeiro em função da saturação por bases do solo. Por

exemplo, em experimento conduzido durante cinco anos sucessivos, em um LATOSSOLO ROXO de Guaíra, SP, observou-se que a produção relativa do algodoeiro, acompanhou o aumento dos valores de V% advindos da calagem. Índices inferiores a 20% de saturação por bases, na camada arável, possibilitaram pouco mais da metade da produção máxima de algodão, enquanto o patamar de 90% dessa produção, tido como economicamente suficiente, foi alcançado na faixa de 60% de saturação por bases.

A reação do solo é o primeiro fator que precisa ser conhecido em uma gleba a cultivar, isto porque, caso ela não seja favorável, medidas corretivas devem ser tomadas com antecedência aos cultivos. A condição desfavorável de reação do solo mais comum no Brasil é a acidez excessiva. Embora se possa encontrar algodão sendo cultivado desde pH (H₂O) na faixa de 5,0 - 5,2, o uso do corretivo tem conduzido, com frequência, a resultados positivos. Experimentalmente, admite-se que a faixa de menor risco para a cultura esteja entre 60 – 70% de saturação por bases. Para tanto, é recomendado que se aplique calcário para elevar a saturação por bases a 70%, evitando-se dose inferior a 1 t ha⁻¹ (SILVA, 1998). É bom frisar que calagem excessiva é inconveniente por causa da insolubilização e perda de disponibilidade de vários micronutrientes e P devido à elevação demasiada do pH (MELLO et al., 1985). Contudo, em solos pobres em micronutrientes, como alguns das regiões de cerrados este efeito tem sido considerado como excesso de calcário, levando alguns técnicos a reduzirem acentuadamente as doses e, pondo em risco a máxima eficiência da calagem (QUAGGIO, 2000).

Um exemplo da interação calagem e outros nutrientes foi observado por SILVA (1983), onde o suprimento inadequado de potássio e/ou boro comprometeu seriamente a resposta do algodoeiro ao calcário e conseqüentemente a máxima eficiência econômica da calagem.

2.4.4. Aspectos econômicos da calagem

O calcário é um insumo relativamente barato, abundante e com jazidas de rochas calcárias mais ou menos bem distribuídas no Brasil. Entretanto, a calagem pode se tornar uma prática de custo elevado, pela exigência de maquinário e significância do custo de aplicação, incorporação, e, principalmente, pelo custo de transporte até a propriedade. Considerando os custos da calagem, mais diretamente ligados à distribuição e incorporação, aplicar menos de 1 t ha⁻¹ de calcário é questionável do ponto de vista econômico, quando da aplicação visando a

instalação da lavoura. Nos casos de lavouras instaladas ou em plantio direto, quando não se faz a incorporação, o mínimo economicamente viável, pode estar em torno de $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ (VALE et al., 1997). A calagem precisa ser considerada como investimento, de forma que, no cálculo de sua economicidade, tem-se que considerar um período de amortização igual ao período de seu efeito residual – de 1 a 4 anos (VALE et al., 1997). Na construção da fertilidade de solos de regiões de cerrado, a calagem representa de 12 a 15% dos custos envolvendo o manejo da fertilidade do solo (SOUSA et al., 1993). A correção da acidez do solo altera várias características químicas, físicas e biológicas do solo, de modo que é difícil explicar, em geral, qual ou quais são os fatores responsáveis pelos ganhos de produtividade observados com calagem (QUAGGIO, 2000). A correção da acidez do solo é essencial na agricultura moderna contribuindo de forma relevante para o aumento do rendimento das culturas em solos de regiões tropicais e subtropicais (ALBUQUERQUE et al., 2000), e da renda agrícola, em vista dos benefícios que traz às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. A omissão desta prática pode comprometer seriamente a alta produtividade e o uso eficiente de adubos (CAMARGO et al., 1997). A grande maioria dos solos brasileiros apresenta pH menor que 5,5, condição química esta que pode se desdobrar em uma ou mais condições de infertilidade do solo altamente desfavoráveis para a obtenção de produtividades adequadas. Enfim, são várias as causas da baixa produtividade da maioria das espécies vegetais em solo ácido (VALE et al., 1997). A maneira mais fácil correta e economicamente viável de corrigir a acidez do solo, notadamente na “camada arável”, diz respeito ao uso de calcário através da prática da calagem (VALE et al., 1997).

2.4.5. Granulometria

A ação dos corretivos no solo depende fundamentalmente do grau de acidez do solo, que aumenta o consumo dos produtos da reação, e reações secundárias de hidrólise, como a do alumínio (QUAGGIO, 2000); do contato entre ambos, isto é, quanto maior o contato, mais rapidamente será sua ação (ALCARDE, 1985); e da granulometria do corretivo, pois sabe-se que quanto mais subdividido estiver um material, ou seja, quanto menor o tamanho de suas partículas maior será sua superfície total de exposição, reagindo mais rapidamente no solo, mas seu efeito é mantido por um período mais curto de tempo do que aquele que contém razoável quantidade de partículas mais grosseiras (NATALE & COUTINHO, 1994); razão porque o tamanho das partículas dos corretivos constitui uma característica de qualidade



importante (ALCARDE, 1985). Pode-se inferir que, na correção da acidez do solo, dois fatores devem ser considerados: rapidez com que a acidez é corrigida e tempo de duração do efeito da calagem. Desse modo, as partículas mais finas de um calcário promoverão rápida correção da acidez, e esse efeito perdurará pela ação das partículas menos finas, devido a sua solubilização mais lenta (NATALE & COUTINHO, 1994). O calcário é um material muito pouco solúvel. Considerando-se um teor de umidade de 25%, poderíamos dissolver somente 7,0 kg de $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$. Para que a correção da acidez seja eficiente, deve-se, portanto, aumentar a área de contato entre o corretivo e o solo pela diminuição do diâmetro das partículas de calcário (OLIVEIRA et al., 1999).

ROSOLEM et al. (1995) compararam, em condições de campo, as eficiências de calcário tradicional, com PRNT de 60%, com o calcinado com PRNT de 90%. As doses de cada calcário foram ajustadas pelo PRNT e os resultados mostraram que não houve diferença de produção e desenvolvimento do sistema radicular da soja entre os tipos de calcário. Entretanto, os autores comentam que o tradicional apresentou maior efeito residual. QUAGGIO et al. (1995) desenvolveram, durante 1987 e 1991, um experimento no campo comparando a eficiência agrônômica de três tipos de calcários dolomíticos, com teores próximos de Mg: tradicional, fino e calcinado, com valores de poder de neutralização respectivamente de 77,1; 101,0 e 126,3% de equivalentes ao CaCO_3 puro, nas doses 0; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 t ha^{-1} , sendo que a dose de 4,0 t ha^{-1} corresponde à recomendação de calagem para elevar a saturação por bases do solo a 70%. Os resultados das amostras de solo coletadas um mês após a aplicação do calcário revelaram excelente correção da acidez do solo e não houve diferença entre os três corretivos, com exceção do calcário calcinado que, no dobro da dose recomendada, promoveu correção mais intensa da acidez do solo. Atribuiu-se a esse efeito a diminuição da solubilidade dos carbonatos de cálcio e principalmente de magnésio com o aumento do pH do meio, enquanto os componentes neutralizantes do calcário calcinado, basicamente óxidos e hidróxidos de cálcio e magnésio, além de serem mais solúveis, mantêm a solubilidade em valores mais elevados de pH. Já nas demais amostragens, realizadas seis e vinte meses após a calagem, não foram observadas diferenças significativas entre os tipos de calcários, através dos resultados de pH, H^+Al e $\text{Ca}+\text{Mg}$ trocáveis. Isso demonstra que a granulometria mais fina e principalmente a calcinação não aumentaram a velocidade de reação dos corretivos de acidez, em condições de campo.

Também NATALE & COUTINHO (1994), trabalhando com diferentes frações granulométricas de um calcário dolomítico, verificaram uma elevação nos teores de cálcio e magnésio na camada de 0 a 0,2 m, à medida que diminuíram o tamanho das partículas do

calcário, corroborando com os resultados obtidos por ALCARDE et al. (1989). Porém, com o passar do tempo, houve um aumento na disponibilidade de cálcio e magnésio no solo proveniente das frações intermediárias, notando-se aí, a importância da granulometria do material utilizado com relação ao efeito imediato e/ou residual. As diferentes frações granulométricas dos calcários têm taxas de reatividade bastante distintas, favorecendo o manejo da calagem (ALCARDE et al., 1989). De maneira geral, partículas grosseiras ($> 2,0$ mm) têm pouco ou nenhum valor como material corretivo (MEYER & VOLK, 1952, citados por NATALE & COUTINHO, 1994), enquanto frações muito finas ($< 0,149$ mm) possuem menor efeito residual, limitando sua ação sobre a acidez em períodos mais curtos (DAVIES, 1951, citado por NATALE & COUTINHO, 1994). Partículas com tamanho intermediário ($0,841 - 0,420$ mm), por sua vez, tornam-se eficientes ao longo do tempo, prolongando os benefícios da calagem (DAVIES, 1951, citado por NATALE & COUTINHO, 1994).

Em estudos de vaso realizados por SILVA (1999), a granulometria do corretivo mostrou-se mais importante que o tempo de contato com o solo, pois já no primeiro mês de sua aplicação os materiais mais finos promoveram consideráveis correções no pH. No campo, no entanto, onde nem sempre as condições são favoráveis, o tempo de reação é mais prolongado. Em diversos experimentos, o calcário comum, aplicado com antecedência de dois a três meses da semeadura, só promoveu máxima correção no segundo ano agrícola.

2.5. Uso do Gesso

É conhecido que na região do cerrado, baixos teores de Ca^{2+} trocável nos subsolos ácidos associado ou não à toxidez de alumínio, reduzem o crescimento radicular, que pode ser problema principalmente em períodos de déficit hídrico (RITCHEY et al., 1980). Existem alternativas à calagem para promover maior aprofundamento do sistema radicular, principalmente práticas envolvendo alterações das propriedades químicas do subsolo e o cultivo de variedades tolerantes. Em condição de campo, tem-se observado uma boa eficiência do sulfato de cálcio em promover a movimentação do cálcio para as camadas subsuperficiais (CAIRES et al., 1998). A presença de qualquer íon sulfato, nestas condições, pode facilitar a movimentação do cálcio no perfil do solo, e favorecer o crescimento de raízes em profundidade. Esta é uma resposta química altamente viável que pode ser conseguida com o uso do gesso agrícola. O fosfogesso, sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) apresenta-se na forma não muito solúvel em água, não se dissociando rapidamente no solo, entretanto, é mais solúvel e móvel do que o calcário, sendo a forma mineral mais solúvel de cálcio

(COLLINGS, 1955, citado por VITTI & MALAVOLTA, 1985). A dissociação do gesso no solo produz as espécies iônicas Ca^{2+} e SO_4^{2-} , que irão participar das reações de troca catiônica e aniônica, e CaSO_4^0 , que corresponde a aproximadamente 40% do total do cálcio solúvel presente no solo, que é considerado um par de íons solúvel, o qual pelas características de carga zero (neutro), pode movimentar-se livremente no perfil de um solo apresentando excessos de cargas negativas ou positivas, sendo dissociado em profundidade. Assim, além da lixiviação de cálcio em profundidade, o gesso pode provocar também o arraste de outras bases, principalmente o Mg e o K através do perfil do solo. Ainda na superfície do solo, camada de aplicação do gesso, o par iônico solúvel CaSO_4^0 , que está em equilíbrio com os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , podem ocorrer reações de troca do cálcio com qualquer cátion trocável. Também, cátions já presentes na solução do solo, ou para ela deslocados pelo cálcio, podem reagir com íons sulfato da solução formando outros pares iônicos solúveis tais como MgSO_4^0 , K_2SO_4^0 , MnSO_4^0 e, com Al^{3+} da solução, formando espécies químicas que resultem em menor atividade do alumínio em solução, reduzindo sua toxidez (VALE et al., 1997). O gesso, por ser um sal neutro, pouco afeta o pH do solo, não mais do que 0,3 unidades, mesmo quando aplicado em doses elevadas (BOHNEN et al., 2000), não tendo a capacidade de neutralizar a acidez do solo, diferentemente do calcário. Contudo, PAVAN et al. (1984) afirmam que o uso do gesso pode aumentar o pH do solo a profundidades maiores que a camada de aplicação, ocorrendo no entanto, casos em que não é alterado ou até mesmo diminui, como demonstrado por BORGES et al. (1998), os quais trabalhando em LATOSSOLO VERMELHO Escuro álico usando doses crescentes de gesso (0; 3,25; 6,5 e 9,75 t ha⁻¹) aplicadas superficialmente, obtiveram redução significativa dos valores de pH.

Os fatores que influem na translocação do gesso, ou, mais precisamente, de seus íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , para as camadas mais profundas dos solos, como sugerem PAVAN et al. (1984), que enfatizam a formação do par iônico CaSO_4^0 no movimento do sal. Entretanto, a concentração do par iônico é pequena ao se afastar da fonte de CaSO_4 , uma vez que diminuem as concentrações de Ca^{2+} e SO_4^{2-} (CAMARGO & RAIJ, 1989). Na maioria dos casos em solução do solo, os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} devem predominar em solução e cargas contrárias a eles, ao atraí-los; devem, sobretudo, ter influência marcante nos seus movimentos. Segundo CAMARGO & RAIJ (1989) o sinal da carga predominante no sistema tem uma importância como mecanismo de retenção ou exclusão dos íons e, conseqüentemente, no movimento de Ca^{2+} e SO_4^{2-} . Em solos com pH baixo e carga líquida negativa pequena ou positiva, o movimento do íon Ca^{2+} é facilitado, enquanto o do sulfato é retardado, o que foi constatado

por CAMARGO & RAIJ (1989) trabalhando com LATOSSOLO ROXO argiloso com altos teores de óxidos de ferro e alumínio, o que favorece a adsorção do sulfato.

Quando doses de gesso são aplicadas na superfície, diversos são os mecanismos sugeridos pelos pesquisadores, para justificar a redução dos teores de Al^{3+} nas camadas mais profundas do solo. PAVAN et al. (1984) citam que o SO_4^{2-} obtido da dissociação do gesso pode, em meio ácido, ligar-se ao Al^{3+} , formando o AlSO_4^+ , que é de alta mobilidade no perfil do solo. Os mesmos citam ainda, que o gesso pode deslocar grupamentos OH^- das superfícies das argilas, os quais reagem com Al^{3+} , produzindo $\text{Al}(\text{OH})_3$. Também, CHANG & THOMAS (1963) enfatizaram que em solos que receberam aplicações de gesso ocorrem reações de polimerização de Al^{3+} em compostos de baixa ou nula solubilidade. Como na solução dos solos ácidos existem várias espécies de Al solúvel, alguns autores (PAVAN & BINGHAM, 1982) citados por VITTI & MALAVOLTA (1985) verificaram que a absorção pelos vegetais se dá apenas através das espécies Al^{3+} e $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, sendo que as demais associações, como por exemplo a AlSO_4^+ não é absorvida. Há evidência, que mesmo em solução nutritiva, o sulfato de cálcio diminui o efeito tóxico do alumínio como mostraram os resultados obtidos por ADAMS & LUND (1966), citados por RAIJ (1988), onde ocasionou crescimento nas raízes de algodão cultivado em vasos com solo e solução nutritiva em recipiente colocado por baixo, permanecendo dúvidas se houve realmente um efeito do cálcio, ou o efeito do sal em diminuir a atividade de alumínio.

Em vários trabalhos tem sido demonstrado que a absorção de nutrientes pelas plantas e a toxicidade de muitos metais apresentam grande dependência na especiação aquosa do metal, e que as respostas, na maioria dos casos, correlacionam-se melhor com a atividade do metal livre em solução (PARKER et al., 1995). Considerando-se que a dissociação de um sal na solução do solo não pode ser imaginada como sendo uma simples dispersão de seus íons componentes, ficando os mesmos sem interagirem com os demais íons na solução, as interações iônicas aumentam com as concentrações dos íons presentes na solução. Qualitativamente, um íon carregado torna-se menos ativo numa solução mais concentrada de sais porque sua movimentação é diminuída pela maior força do campo eletrostático presente. À medida que os íons se aproximam ocorrem interações entre eles com a formação de complexos e pares iônicos (BERTON, 2000).

A avaliação do efeito do gesso sobre a acidez do solo é muito complexa. Como em solução o gesso apresenta os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} (além do par iônico CaSO_4^0), na faixa de valores de pH existentes em solos, o sulfato (SO_4^{2-}) de maneira alguma é um receptor de prótons; desta forma, considera-se como efeito na redução da acidez, a diminuição dos teores

absolutos de Al trocável do solo sobre o efeito do gesso na acidez do solo. Há algumas hipóteses que têm sido levantadas com referência ao mecanismo envolvido. Como a adsorção de SO_4^{2-} pelo solo dá origem à liberação de OH^- , as quais, por sua vez, poderiam reagir com Al dando formas hidroxiladas, tais como $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$; esse processo foi sugerido por REEVE e SUMNER (1972) e chamado de “autocalagem”.

A utilização do sulfato de cálcio apresenta o inconveniente de intensificar a movimentação descendente de outros elementos, notadamente K^+ e Mg^{2+} (QUAGGIO et al., 1982a; PAVAN et al., 1984). Nesse sentido, MORAES et al. (1998) com a aplicação de doses crescentes de gesso (0; 130; 260 e 390 kg ha⁻¹), obtiveram redução no teor de K^+ trocável na camada de 0 a 0,2 m e aumento crescente à profundidade de 0 a 0,4 m.

WADT & WADT (1999) com a aplicação isolada de sulfato de cálcio em amostras de solo de pastagem (0 a 0,05 m), observaram favorecimento à percolação de cátions alcalinos e alcalinos terrosos, havendo inclusive, lixiviação de K^+ e Mg^{2+} , mesmo em solos apresentando baixos níveis de Mg^{2+} e K^+ na forma trocável. Também WADT & WADT (1999) sugerem que na utilização de fontes de cálcio, quando for necessária a correção dos níveis de cálcio trocável nos subsolos deficientes neste elemento, deve-se levar em consideração não apenas as características de solubilidade e reações químicas dos produtos aplicados, mas também as características eletroquímicas das superfícies coloidais.

Na maioria dos casos o Ca^{2+} apresenta baixa mobilidade quando aplicado junto ao carbonato e outras bases (GARGANTINI et al., 1982) o que tem levado à recomendação da aplicação de sulfato de cálcio para a promoção do movimento descendente de Ca^{2+} , (REEVE & SUMNER, 1972; SUMNER et al., 1986) e melhoria do ambiente radicular para o crescimento das raízes, mesmo em regiões de baixa pluviosidade (McLAY et al., 1994). Na cultura do algodão, respostas positivas a gesso têm sido atribuídas mais freqüentemente à nutrição de enxofre e cálcio, quer quando usado como tal na adubação de plantio (PALERMO, 1989), quer como componente do superfosfato simples (SILVA et al., 1987). Dados mais recentes já relacionam a percolação do S-SO_4^{2-} proveniente do gesso, contido no superfosfato simples, com a redução da acidez do subsolo e consequente melhoria geral do algodoeiro, em ensaio de longa duração (SILVA et al., 1992).

Em trabalhos conduzidos por LOBATO & RITCHEY (1980) em Planaltina – DF, com a aplicação de doses crescentes de superfosfato simples em um LATOSSOLO VERMELHO Escuro, observaram uma distribuição de Ca e Mg em profundidade, aumentando significativamente o pH do solo e reduzindo a saturação por alumínio.

O gesso agrícola pode ser aplicado a lanço, pouco antes ou depois do calcário. A incorporação do gesso ao solo não é obrigatória, pois a sua lixiviação da camada superficial (0 a 0,2 m) é rápida, atingindo pelo menos até 0,6 m de profundidade (SOUSA et al., 1996). O gesso agrícola apresenta grande efeito residual como observado por SOUSA et al. (1998) em experimento conduzido por 16 anos, sendo que nos últimos 8 anos a área não foi preparada. Além de melhorar as condições químicas do subsolo é, também, fonte de enxofre para as plantas, aspecto importante, uma vez que a deficiência desse nutriente é generalizada nos solos de Cerrado (SOUSA & LOBATO, 2000).

Além de uma série de ensaios de pesquisa que comprovam a eficiência do gesso agrícola como melhorador do ambiente radicular na subsuperfície, esta técnica já vem sendo avaliada em algumas propriedades pelos agricultores da Região dos Cerrados. Em áreas com SPD, tem-se obtido respostas ao uso de gesso, com ganhos médios de 1500 kg ha⁻¹ para a cultura do milho e 720 kg ha⁻¹ para a da soja (SOUSA & LOBATO, 2000). O efeito benéfico da aplicação de gesso como fonte de enxofre tem sido constatado em várias culturas, principalmente quando cultivadas em solos da região dos cerrados, com baixo teor de matéria orgânica ou em áreas nas quais, frequentemente, usam-se adubos concentrados, livres de enxofre (VITTI et al., 1986). SOUSA et al. (1998) obtiveram acréscimos de até 1,28 t ha⁻¹ na produção de grãos de milho por três anos agrícolas, em resposta à aplicação de 4,0 t ha⁻¹ de gesso. Observaram ainda, grande efeito residual do gesso, com respostas significativas 16 anos após a aplicação no solo.

Na média de três cultivos, REIN & SOUSA (1998) obtiveram acréscimo de 44% no rendimento de grãos de milho em resposta à aplicação de 20 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de S na forma de gesso em pó, aplicado na linha de semeadura, sendo que os tratamentos com gesso em pó aplicados na dose de 60 kg ha⁻¹ de S à lanço, apenas no primeiro ano, resultou em rendimentos de grãos semelhantes ou maiores em relação aos tratamentos com 20 kg ha⁻¹ na linha de semeadura, em todos os cultivos.

CAIRES et al. (1998) constataram, após oito meses da aplicação de gesso, redução nos teores de alumínio trocável, aumento nos teores de cálcio em todo o perfil e lixiviação de magnésio e potássio das camadas superficiais para as mais profundas. Cabe ressaltar que, a maior lixiviação de magnésio ocorreu na presença de calcário, ou seja, quando houve maiores teores de magnésio trocável no solo, e quanto maior a quantidade de CaSO₄ aplicada (SILVA et al. 1998), maior a movimentação de magnésio em profundidade. Segundo estes mesmos autores, uma redução na relação CaSO₄: CaCO₃ pode promover uma sensível redução no teor de alumínio trocável e uma tendência de aumento no valor de pH, nas camadas de 0 a 0,1 e

0,1 a 0,2 m. Os mesmos autores relataram um aumento de 20% no comprimento das raízes de algodoeiro, com a total substituição do CaSO_4 pelo CaCO_3 , atribuindo o efeito depressivo do CaSO_4 sobre o crescimento radicular, ao acúmulo de S-SO_4^{2-} nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m. Porém, a adição de apenas CaSO_4 , permitiu um aumento na produção de matéria seca da parte aérea do algodoeiro.

Conforme SILVA (1999) em experimento com algodoeiro em LATOSSOLO ROXO de Guaíra, SP, após 17 anos de competição entre superfosfato simples e superfosfato triplo, constatou-se sensível percolação de bases no perfil, proporcional à descida de S-SO_4^{2-} contido no gesso do superfosfato simples, com conseqüente melhoria do pH subsuperficial. Posteriormente, nesse mesmo solo, fez-se aplicação de gesso, à lanço, em mistura com calcário. Sete meses após a gessagem já se observava a percolação de bases, com reflexos sobre a saturação por bases no solo nas primeiras camadas subsuperficiais. Em solos de textura mais leve, o arrastamento de bases devido ao uso do gesso é intenso, podendo conduzir a problemas nutricionais principalmente no que tange ao elemento potássio (SILVA, 1999). Alguns meses após o início da experimentação em um LATOSSOLO VERMELHO Escuro de Assis, SP, muito pobre em potássio, percebeu-se uma sensível perda superficial do nutriente devido ao uso do gesso, anulando praticamente o efeito da potassagem no teor de K do solo. Nessas condições, a ação da gessagem na renda do algodão foi depressiva desde a menor dose. Em ensaio semelhante, em LATOSSOLO ROXO de Guaíra, SP, com bom teor de K, essa renda aumentou com o uso de até $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso.

2.6. Uso combinado do Gesso e Calcário

O gesso quando comparado ao calcário, apresenta maior solubilidade em água, sendo, portanto, capaz de lixiviar o cálcio até maiores profundidades. No entanto, alguns autores encontraram uma diminuição nos teores de Mg^{2+} e K^+ no solo, que são lixiviados, e sugeriram a aplicação conjunta do gesso com o calcário dolomítico (ROSOLEM & MACHADO, 1983 e PAVAN et al., 1984). Quando ocorre apenas deficiência de cálcio, como barreira química ao crescimento de raízes, as respostas das culturas têm sido mais acentuadas, do que quando existe toxicidade de alumínio, que necessita ser neutralizado por base. Por essa razão, a associação de calcário mais gesso tem proporcionado sempre os melhores resultados em produtividade das culturas em solos ácidos de cerrado. O gesso, por sua vez, pode ajudar aliviar a toxidez de alumínio por três mecanismos: o primeiro, mediante a adsorção específica do íon SO_4^{2-} contido no gesso, ocorre a neutralização de acidez; o segundo, resultante do

aumento da força iônica da solução do solo, reduz a atividade de Al^{3+} e, consequentemente, o efeito nocivo à planta; o terceiro, ao estimular o enraizamento mais profundo das plantas, permite maior absorção de nitrato, conhecida também como absorção alcalina, que aumenta o pH da rizosfera (QUAGGIO, 2000).

Os resultados experimentais demonstram que os efeitos do calcário são sempre positivos, inclusive na correção do subsolo, e que alguns solos apresentam propriedades eletroquímicas favoráveis ao uso do gesso, como a presença de cargas positivas e alta capacidade de adsorção de sulfato, que reduzem sua velocidade de lixiviação para as camadas mais profundas do solo. Nessas condições, o efeito do gesso é sinérgico ao do calcário e seu uso é economicamente viável ao agricultor (QUAGGIO, 2000).

Em trabalho conduzido sobre uma pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* em Maracajú, MS, BROCH et al. (1999) observaram, no segundo ano de avaliação, resposta da cultura da soja à aplicação de uma mistura de calcário e gesso na superfície do solo. O ganho médio foi de 16% na produtividade de grãos de soja (425 kg ha^{-1}) devido ao uso da mistura do calcário com o gesso.

De acordo com WADT & WADT (1999) a aplicação de sulfato de cálcio é efetiva na promoção de aumentos no teor de cálcio em profundidade, no entanto, deve ser utilizado combinado ao carbonato de cálcio para que não provoque movimentações descendentes excessivas de outros cátions alcalinos ou alcalinos-terrosos, além do cálcio.

SILVA et al. (1998), utilizando diferentes relações entre $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$, no cultivar de algodoeiro IAC-20, observaram uma maior movimentação de cálcio para camadas subsuperficiais, quando esta relação era aumentada. A utilização de apenas CaSO_4 provocou aumento da produção de matéria seca e o crescimento das raízes em profundidade.

Apesar da pequena capacidade do gesso em diminuir o Al trocável em profundidade, este foi considerado mais efetivo que o calcário. Assim, REEVE & SUMNER (1972), sugeriram a associação do calcário e do gesso no intuito de eliminar alumínio trocável superficial e, também, nas camadas inferiores.

MARTINS et al. (1998), trabalhando com diferentes misturas de calcário e gesso em LATOSSOLO ROXO Álico de Mato Grosso do Sul, verificaram correlação significativa entre acidez do solo e produtividade de grãos de soja para as profundidades de 0 a 0,15 e 0,15 a 0,30 m, constatando que a produção de grãos foi mais afetada pelas alterações químicas ocorridas nas camadas superficiais do solo que nas camadas mais profundas.

Alguns autores comentam sobre o uso da mistura gesso+calcário, a qual promove a lixiviação de bases e a diminuição da atividade do Al^{3+} em profundidade (BORGES et al.,

1998) bem como na diminuição da saturação de alumínio em profundidade, pelo aumento de Ca trocável, além de ser eficiente fonte de S para as plantas (MATTOS et al., 1997).

A adsorção do sulfato é uma das razões para os bons resultados obtidos com aplicação de fosfogesso, como melhorador do ambiente radicular, em solos da região dos cerrados. Nesses solos, a resposta à aplicação de gesso tem sido positiva, principalmente para a cultura da soja e do milho. Genericamente NOGUEIRA & MOZETO (1990) observaram, em solos incubados, menor perda do Mg trocável, após tratamento com CaSO_4 , podendo-se concluir o efeito benéfico da combinação $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$, a qual demonstrou provocar menor lixiviação de magnésio e potássio.

2.7. Calagem superficial no SPD

2.7.1. Origem, evolução e efeitos no solo

As alterações nas propriedades químicas e físicas do solo decorrentes do uso do SPD são dinâmicas no tempo. A discussão sobre a forma de aplicação de corretivos para a neutralização da acidez nesse sistema é ampla e carece de maiores informações o que tem gerado intenso questionamento no meio agrônomo, principalmente quanto à necessidade ou não de incorporar o corretivo ao solo. Por ser o calcário um produto de baixa solubilidade em água, para reagir, deve entrar em contato com o solo. A sua não incorporação diminui a superfície de contato entre o colóide e a partícula do corretivo (PETRERE, 1999). Isso constitui o ponto central da discussão quanto à eficiência de sua aplicação em superfície. O principal argumento em favor da incorporação do calcário está fundamentado nas características dos solos das diversas regiões brasileiras em que, em função do elevado grau de intemperismo durante os processos pedogenéticos, originou solos com baixo conteúdo de bases e expressiva concentração de alumínio em subsuperfície (SÁ, 1995). Segundo PETRERE (1999) os primeiros trabalhos sobre o assunto parecem ter ocorrido nos EUA, em Ohio (TRIPLETT et al., 1969), na Virgínia (MOSCHLER et al., 1973), e em Kentucky (BLEVINS et al., 1977) e mostraram que a zona de acidificação ocorria na camada de 0 a 0,05 m, como resultado da nitrificação dos fertilizantes nitrogenados amoniacais. A aplicação de calcário na superfície resultou em resposta positiva na produtividade de milho, principalmente no SPD, que era proporcional à quantidade de nitrogênio utilizada. Tais respostas na produção de grãos pela aplicação de calcário na superfície, ocorreram provavelmente segundo BLEVINS et al. (1977), de duas maneiras: a) pelo transporte de

partículas finas de calcário da superfície para a subsuperfície, através do movimento descendente da água no solo pelos canais formados pelas raízes, minhocas e insetos de solo; b) pela mineralização da matéria orgânica e consequente liberação de nitrato e sulfato, proporcionando a formação de par iônico com o cálcio, deslocando-o em profundidade, favorecendo o desenvolvimento radicular. Em trabalho realizado na Virgínia (EUA), MOSCHLER (1973) citado por PETRERE, (1999) constatou, após onze anos de cultivo consecutivo com milho, que o pH na camada de 0,2 a 0,4 m era superior ao da camada de 0 a 0,2 m. Atribuiu esse efeito à penetração de calcário aplicado na superfície para o interior do solo a fatores químicos e biológicos ou à combinação entre ambos.

Na década de 70 e 80, o questionamento ao manejo da fertilidade do solo no SPD foi intenso em diversos segmentos da pesquisa, principalmente sobre a correção da acidez e o modo de aplicação de fertilizantes e corretivos. A passagem do preparo convencional do solo para o SPD tem obrigado os produtores, técnicos e pesquisadores a buscarem respostas para a adaptação de tecnologias para as diversas regiões agrícolas do país. Dessa maneira, procura-se conhecer as relações entre os parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo em função dos sistemas de manejo e a calagem. Com isso, a forma de realizar a calagem adquire importância cada vez maior (PETRERE, 1999). A prática do SPD vem apresentando rápida expansão em sua área de adoção no Brasil. Esta prática questiona os padrões tradicionais e as recomendações clássicas para o desenvolvimento da agropecuária em nosso país (PETRERE, 1999). Nos últimos anos, vem aumentando o interesse dos agricultores brasileiros por sistemas de manejo de solo mais conservacionistas como o preparo reduzido e, principalmente, o plantio direto. Esses sistemas propiciam o menor revolvimento possível do solo e, assim, afetam tão diretamente a prática da calagem ao ponto de o calcário ser aplicado à superfície do solo, sem incorporação, no caso do sistema plantio direto. Sempre que for necessário contar com a descida natural da molécula de carbonato e/ou de íons cálcio, nos casos de incorporação de 0 a 0,2 m e contando com adicional correção abaixo desta profundidade ou de aplicação superficial em lavouras instaladas, precisa-se aplicar doses mais elevadas – nunca em excesso – de calcário de granulometria bem fina, com a máxima antecedência ao plantio e contar com boas precipitações de chuva no período (VALE et al., 1997). A utilização de calcários de granulometria mais fina tem apresentado maior movimentação vertical, possivelmente pelo arrastamento das partículas não dissociadas, segundo ALVES & LOPES (1981)./ OK

Segundo GUIMARÃES (1986) a mobilidade do Ca depende não só de sua própria concentração na solução, mas também das características químicas, físicas e biológicas do solo, condições climáticas e concentração do ânion acompanhante.

Nas observações visuais de SÁ (1993), nos primeiros anos de um experimento, ocorreu grande número de canais desses organismos à uma profundidade de até 0,6 m, e em várias dessas galerias foram encontradas raízes em desenvolvimento. Este mesmo fato foi observado por SÁ & PETRERE (1995), em áreas de plantio direto de longa duração na região de Campos Gerais no Paraná e em Cruz Alta no Rio Grande do Sul, com presença de galerias de coleópteros até 0,9 m de profundidade, com grandes quantidades de raízes de milho desenvolvidas em seu interior. A interação entre os organismos que vivem na camada superficial mais fértil do solo e as larvas de *Diloboderus abderus*, que vivem em sua câmara larval em subsuperfície em áreas de SPD, afeta a dinâmica de nutrientes, matéria orgânica e acidez (pH), conforme observado por SILVA et al., (1997) em um Latossolo Vermelho-escuro no SPD.

Diversos mecanismos podem estar envolvidos na correção da acidez de subsolos, em sistema plantio direto, pela calagem na superfície. A formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ para camadas mais profundas de solo é uma possível explicação (OLIVEIRA & PAVAN, 1996), tendo em vista que, no SPD, a acidez superficial é diminuída por diferentes mecanismos, entre os quais os resíduos orgânicos desempenham um importante papel (SIDIRAS & PAVAN, 1985). Também é possível que ocorra deslocamento mecânico de partículas de calcário através de canais formados por raízes mortas mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo (PAVAN, 1994). A movimentação de $\text{Ca}+\text{Mg}$ trocáveis do solo e a redução do Al trocável no subsolo também podem estar relacionadas com o mecanismo de lixiviação proposto por MIYAZAWA et al. (1996), por meio da formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas. Independentemente do mecanismo envolvido, os resultados mostram ser possível evitar a interrupção do plantio direto, por causa da acidez do subsolo, mediante aplicação de calcário na superfície. Em alguns casos, o movimento de cálcio tem sido usado como um índice de movimentação de calcário, o que não é necessariamente verdadeiro (SUMNER, 1995). FARINA (1993) citado por SUMNER (1995), observou apreciável movimento de cálcio e magnésio pela aplicação de calcário na superfície, sem redução significativa na acidez potencial do subsolo. Existem trabalhos mostrando que o calcário não se movimenta para camadas mais profundas do solo (GONZALES-ERICO et al., 1979; RITCHEY et al., 1980; PAVAN et al., 1984).

A deposição de resíduos orgânicos e a reação de adubos nitrogenados na superfície favorecem a acidificação do solo. Como consequência à diminuição do pH, há aumento do teor de alumínio trocável e da necessidade de calagem. Por outro lado, a calagem na superfície, em sistema plantio direto, requer critérios adequados para estimativa da dose a ser aplicada, por ocasionar redução da absorção de zinco e de manganês em decorrência do aumento do pH nas camadas superficiais do solo (CAIRES et al., 2000).

Na utilização do SPD a acidificação ocorre em gradiente, a partir da superfície (BLEVINS et al., 1983). A taxa de decréscimo do pH varia de solo para solo e depende da interação de vários fatores, tais como: o poder tampão do solo, a taxa de acumulação de matéria orgânica, a adição de nitrogênio por fertilizantes e por leguminosas (DOLLING & PORTER, 1994), a intensidade de lixiviação, o período de tempo do sistema de manejo e de cultura adotados e as condições climáticas. Diante desse quadro, com a adoção do SPD surgiram questionamentos quanto a forma de realizar a calagem do solo. Os produtores, que adotam o sistema, não desejam mobilizar novamente o solo para incorporar o calcário, embora se saiba que o calcário é um produto de baixa solubilidade em água e que, para reagir, o mesmo deve entrar em contato com as partículas do solo. A busca de formas alternativas de aplicação de calcário no SPD visa a manutenção dos benefícios obtidos pelo sistema na melhoria de características químicas, como aumento no teor de matéria orgânica e nas características físicas, como na estrutura do solo melhorando a taxa de infiltração de água, através da manutenção dos resíduos na superfície do solo, bem como a manutenção da capilaridade e de canais formados pelas raízes em decomposição e de galerias formadas pela meso e macrofauna do solo (PETRERE, 1999).

Apesar dos materiais corretivos da acidez utilizados na agricultura serem pouco solúveis, e os produtos da reação do calcário com o solo terem mobilidade limitada, há resultados experimentais que confirmam a eficiência da calagem superficial na correção da acidez de camadas superficiais e do subsolo, em sistema plantio direto. É o caso dos resultados obtidos por OLIVEIRA & PAVAN (1996), em LATOSSOLO VERMELHO textura argilosa, que havia sido cultivado por décadas pelo sistema convencional de preparo, no estado do Paraná. Neste trabalho, o calcário aplicado na superfície (100% da necessidade de calagem) e o calcário incorporado causaram aumentos no pH e nos teores de cálcio e magnésio, e redução nos teores de alumínio trocável, até a profundidade de 0,4 m. Tais efeitos positivos da calagem foram observados após oito meses, indicando resultados imediatos, e se mantiveram consistentes por um período de 50 meses.

FARINA (1993) citado por SUMNER (1995), observou apreciável movimento de cálcio e magnésio pela aplicação de calcário na superfície, sem redução significativa na acidez potencial do subsolo. Existem trabalhos mostrando que o calcário não se movimenta para camadas mais profundas do solo (GONZÁLES-ERICO et al., 1979; PAVAN et al., 1984), enquanto que em outros foram observados consideráveis aumentos no pH e nos teores de Ca e Mg trocáveis abaixo da região de aplicação do calcário, em áreas de cultivos anuais preparadas convencionalmente (QUAGGIO et al., 1993); OLIVEIRA et al., 1997; CAIRES & ROSOLEM, 1998).

Existem experimentos recentes, em solos anteriormente corrigidos, os quais mostram que, apesar dos efeitos imediatos da calagem aplicada na superfície sem incorporação serem mais acentuados nas camadas até de 10 cm de profundidade, ocorre também correção em camadas mais profundas do perfil, de forma mais lenta, mas o suficiente para manter níveis excelentes de produtividade das culturas.

Alguns autores têm argumentado que no plantio direto a resposta à calagem é menor por outros fatores, como a incorporação de maior quantidade de restos culturais, que possuem bases na composição, portanto com o efeito de calagem e, também, em vista de maior produção de substâncias orgânicas, capazes de complexar íons como alumínio e manganês reduzindo-se a toxicidade às plantas (QUAGGIO, 2000).

O efeito neutralizante das bases contidas na palha dos restos culturais tem efeito direto sobre a acidez do solo, mas convém lembrar que não se trata de adição de bases e sim, da reciclagem daquelas já existentes no solo. O cultivo do solo por mais tempo durante o ano, com espécies com sistema radicular distinto, permite reciclagem mais intensa das bases que se movimentam no perfil do solo, reduzindo-se então as perdas por lixiviação (QUAGGIO, 2000). Assim, KRETZSCHMAR et al. (1991) obtiveram com a remoção contínua da palha de milho acidificação mais intensa do solo e aumento na toxicidade provocada por alumínio, quando comparado com a manutenção da palha, num solo ácido da Nigéria. Após cinco anos consecutivos de remoção da palha, os valores de pH, Ca e Mg foram reduzidos respectivamente em 6%, 77% e 75%. Além disso, o teor de Al total na solução do solo se manteve ao redor de 30 mol L^{-1} , tanto no solo com palha com sem ela. Entretanto, o teor de Al^{3+} , (forma monomérica) considerado tóxico à plantas, foi reduzido de 14 mol L^{-1} no solo com a remoção da palha de milho para $0,6 \text{ mol L}^{-1}$ quando a palha permanecia no solo. Também HUE et al. (1986) na Universidade do Alabama – USA, demonstraram a formação de complexos de ácidos orgânicos com o alumínio no solo, transformando-o em formas não tóxicas às plantas. As análises de solução de subsolos ácidos cultivados com culturas anuais e

o outro coberto por floresta natural, indicaram que o somatório da concentração de ácidos orgânicos (oxálico, cítrico, málico, malônico, succínico, láctico, fórmico e fitálico) no caso da floresta foi igual a $480 \mu\text{mol L}^{-1}$, enquanto no subsolo sob cultivo, igual a $42 \mu\text{mol L}^{-1}$. Os dois solos possuíam a mesma concentração de Al-total, ao redor de $30 \mu\text{mol L}^{-1}$, letal ao crescimento de raízes da maioria das plantas, porém a atividade do Al-monomérico, tóxico à planta, foi bem menor no subsolo sob floresta devido à complexação com ácidos orgânicos, o que permitiu o crescimento de raízes de algodão praticamente igual ao solo submetido à correção com $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para pH 6,5.

A recomendação de calagem deve ser criteriosa e, principalmente no SPD, devido às interações existentes entre as propriedades físicas (porosidade, retenção de água, estrutura, etc.), biológicas (atividade de insetos de solo formando galerias, subprodutos oriundos da decomposição da matéria orgânica por microrganismos, etc.) e químicas (aumento gradual da matéria orgânica e disponibilidade de nitrogênio, menor adsorção de fósforo, aumento na CTC, etc.), segundo BARTZ (1998).

CAIRES et al. (1998) constataram, após doze meses da aplicação de calcário em superfície, um aumento do pH, teores de cálcio, magnésio e potássio e uma redução do alumínio trocável até 0,1 m de profundidade, onde os valores de pH aumentaram com o tempo. Apesar de o efeito da calagem na camada de 0,1 a 0,2 m ter praticamente desaparecido, ocorreu elevação do pH e redução do alumínio trocável nas camadas mais profundas do solo, acentuando-se também com o tempo. Também CAIRES et al. (2000) obtiveram aumentos do pH, $\text{Ca}+\text{Mg}$ trocáveis, saturação por bases e redução dos teores de $\text{H}+\text{Al}$ nas camadas de 0,2 a 0,4 m e 0,4 a 0,6 m, mostrando claramente os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a correção da acidez do subsolo. No entanto, os resultados quanto à eficiência da calagem na neutralização da acidez de subsolos são discordantes e, em alguns casos, o movimento do íon Ca^{2+} tem sido usado como um índice de movimentação de calcário, o que não é necessariamente verdadeiro (SUMNER, 1995).

Vários experimentos têm sido realizados com relação aos métodos de calagem a serem utilizados no sistema plantio direto, porém, SÁ (1993) testou o efeito de diferentes métodos de calagem em um LATOSSOLO VERMELHO Escuro argiloso, sob longo período de plantio direto, obtendo alterações significativas com relação ao pH, redução na saturação por alumínio, elevação da saturação por bases, aumento nos teores de cálcio, magnésio e carbono na camada de 0,025 a 0,05 m, após um ano, e até 0,1 m após dois anos da aplicação em superfície. A aplicação superficial de calcário, sem incorporação ao solo, está se consolidando como a prática de correção da acidez no solo na fase estabelecida do SPD (AMARAL &

ANGHINONI, 1998). Estes autores relataram que não há prejuízos na performance das culturas em manter-se o calcário na superfície do solo no SPD consolidado. De acordo com CAIRES et al. (1998) e POTTKER & BEN (1998), para a correção da acidez do solo no SPD, o calcário é distribuído na superfície sem incorporação. A eficiência da aplicação superficial de calcário em solo sob plantio direto, particularmente na correção da acidez do subsolo, é controvertida. CAIRES et al. (2000) obtiveram aumentos significativos no pH, Ca+Mg trocáveis e saturação por bases e redução também significativa nos teores de H+Al até a profundidade de 0,6 m, com a aplicação de 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de calcário em superfície. Os efeitos da calagem sobre tais variáveis tiveram comportamento quadrático até 0,1 m e linear de 0,1 a 0,6 m, mostrando claramente os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a correção da acidez do subsolo. É importante corrigir a acidez do solo antes de iniciar o SPD numa área, tendo em vista a busca de altas produtividades e a dificuldade de incorporar corretivos após a implantação do SPD. Contudo, a tendência natural de uma área cultivada é de acidificação paulatina do solo, requerendo medidas que visam sua neutralização. Em regiões onde se utiliza o critério de saturação por bases, quando esta for inferior em 10% ao valor recomendado (geralmente 50%), deve-se proceder a aplicação de calcário, o qual deverá ser distribuído uniformemente na superfície do terreno (OLIVEIRA et al., 1999). PEARSON et al. (1962) também citados por PETRERE (1999) verificaram efeito da calagem aumentando os teores de cálcio e magnésio até a profundidade de 0,6 m em solos tropicais de Porto Rico. Esses autores postularam que o nitrogênio do fertilizante reagia com elementos oriundos da dissociação do calcário (Ca e Mg), formando sais solúveis sujeitos à lixiviação pelo movimento descendente de água no solo. A explicação biológica para a descida de calcário seria através do incremento de minhocas nesse sistema, promovendo a mistura de solo/corretivo, transportando-o para a subsuperfície.

O não revolvimento para o preparo do solo e, portanto para a incorporação do calcário, resultam dúvidas quanto ao manejo da acidez do solo nesse sistema de plantio. Há consenso que o sucesso do plantio direto depende da correção prévia de camadas mais profundas do perfil do solo, antes de iniciar este sistema de manejo, com o objetivo de permitir o enraizamento mais profundo das plantas. Daí em diante, a acidez gerada pela aplicação de fertilizantes nitrogenados e outras formas de acidificação poderá ser corrigida pela calagem na superfície, a cada 2 ou 3 anos, sem necessidade de incorporação, tornando o sistema sustentável do ponto de vista de produção agrícola (QUAGGIO, 2000).



2.7.2. Calagem antes do Plantio Direto

Antes de iniciar o SPD, a acidez superficial (0 a 0,02 m) e a subsuperficial (0,2 a 0,6 m) devem estar corrigidas. Com isso, possibilita-se maior desenvolvimento radicular das plantas, aumentando a absorção dos nutrientes e da água pelas culturas (SOUSA, 1998). Antes da implantação do SPD, pode ser necessária a realização de uma calagem muito bem feita – uso de doses mais elevadas, incorporada à maior profundidade possível e utilizando calcário de granulometria mais grosseira para prolongar o efeito residual (VALE et al., 1997). A correção do pH é obrigatória apenas no caso em que esteja limitando a produtividade atual. Em caso de pequena limitação, a aplicação de calcário pode ser superficial; se for necessária uma correção forte, a aplicação pode ser feita na linha ou via aração profunda. O objetivo é deixar o solo suficientemente corrigido para uma máxima produtividade, com manutenção posterior por aplicação de calcário à lanço (LANDERS, 1999).

Na implantação do SPD, visando o correto manejo da fertilidade em termos da correção da acidez subsuperficial, a amostragem além da camada de 0 a 0,2 m torna-se mandatória. Ainda, neste tipo de sistema de plantio, o uso de altas quantidades de nitrogênio, notadamente na forma de sulfato de amônio, promove acidificação intensa nas camadas superficiais do solo (0 a 0,05 m). Portanto, sugere-se a coleta duas amostras em locais adjacentes para cada amostra simples. A primeira amostra, coletada de 0 a 0,05 m, seria usada apenas para determinação da acidez e recomendação de calagem. A Segunda amostra, coletada de 0 a 0,2 m, seria usada para recomendação de adubação (VALE et al., 1997).

Segundo LOPES (1996), antes de iniciar a utilização desse sistema, é necessário fazer uma calagem bem feita (em geral para elevar a saturação de bases a 70%), incorporada a maior profundidade possível, e utilizando um calcário de granulometria mais grossa, para prolongar o efeito residual. Após o início do processo, duas alternativas parecem viáveis para proceder a nova prática da calagem: para solos argilosos, 1/3 a 1/2 da necessidade de calagem calculada pelo método de saturação por bases, para a profundidade de amostragem de 0 a 0,2 m. Quando o resultado for superior a $2,0 \text{ t ha}^{-1}$, sugere-se adotar a dose limite; para solos de textura média e arenosa, recomenda-se utilizar 1/2 da necessidade de calagem calculada pelo método de saturação por bases para a profundidade de amostragem de 0 a 0,2 m. Quando o resultado for superior a $1,5 \text{ a } 2,0 \text{ t ha}^{-1}$, sugere-se adotar a dose limite. Não se recomenda a aplicação de calcário em superfície, quando a saturação por bases for igual ou superior a 45 a 50%.

Nos solos da Região dos Cerrados, por apresentarem argilas de baixa atividade para uma saturação por bases de 50%, o pH é de aproximadamente 6,0. Enquanto que para solos do Estado de São Paulo com argila de maior atividade, para aquela saturação por bases, o pH é de aproximadamente 5,5 (OLIVEIRA et al., 1999).

2.7.3. Calagem em SPD estabelecido

Em trabalho realizado num Latossolo Vermelho textura média do Paraná, CAIRES et al. (2000) encontraram efeito significativo da calagem, com resposta quadrática para a produção acumulada de grãos obtida de uma sucessão de culturas em rotação (soja/milho/soja/trigo/soja/tritcale e soja), no período de 1993 a 1998, dependendo da aplicação de calcário na superfície. A dose calculada para obtenção da máxima eficiência econômica seria a recomendada pelo método da saturação por bases para 65%, em amostra de solo coletada na profundidade de 0 a 0,2 m, indicando ser este critério adequado para recomendação de calagem na superfície em SPD, corroborando os resultados obtidos por OLIVEIRA & PAVAN (1996), que observaram maior produção de grãos de soja mediante aplicação da dose de calcário na superfície ($5,5 \text{ t ha}^{-1}$) calculada para elevar a saturação por bases do solo a 60%.

Em experimento conduzido em Planaltina - DF, SOUSA et al. (1998), avaliaram a resposta do milho à reaplicação do calcário em SPD em um LATOSSOLO VERMELHO Escuro argiloso, tendo como planta de cobertura o estilosantes. O solo na camada de 0 a 0,2 m apresentava uma saturação por bases de 19% e, para atingir 50%, foram aplicadas 2,9 toneladas de calcário por hectare em outubro de 1994. O tratamento sem reaplicação de calcário produziu 6 t ha^{-1} de grãos de milho por três safras seguidas, enquanto que, na área em que se reaplicou o calcário, a produtividade foi de 6,2, 6,4 e $7,0 \text{ t ha}^{-1}$ para os anos agrícolas 94/95, 95/96 e 96/97, respectivamente. Nesse experimento foram estudadas a mobilidade e a reatividade do calcário quando aplicado a lanço na superfície do solo no SPD. A movimentação do calcário no solo, avaliada através do pH em CaCl_2 e do teor de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, após três anos de aplicado, foi de 0,1 m da superfície do solo. Quanto à reatividade, avaliada através do teor de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, foi de 60% do total aplicado, após três anos de reação no solo.

Trabalhos recentes têm indicado que a necessidade de calcário no sistema plantio direto talvez seja menor do que no sistema convencional de preparo (CAIRES et al., 1998; POTTKER & BEN, 1998).

14c } A acidez superficial não é problema quando a saturação por bases do solo estiver em torno de 50% , e o pH em água próximo a 6,0. A relação Ca e Mg no solo, em cmol/dm^3 , deve situar-se no intervalo de 1:1 até o máximo de 10:1, cuidando para se ter o teor mínimo de Mg de $0,5 \text{ cmol/dm}^3$ (SOUSA & LOBATO, 2000). A aplicação superficial de corretivos e sem incorporação no solo tem apresentado bons resultados no SPD. A quantidade a ser aplicada, entretanto, tem de ser corrigida, ficando de 25 a 50% da quantidade calculada (VALE et al., 1997)./Daí em diante, a acidez gerada pela aplicação de fertilizantes nitrogenados e outras formas de acidificação, poderá ser corrigida pela calagem na superfície, a cada 2 ou 3 anos, sem necessidade de incorporação, tornando o sistema sustentável do ponto de vista de produção agrícola (QUAGGIO, 2000). |

3c } O sistema plantio direto com palha na superfície do solo é extremamente conservador de água para as culturas, não somente por permitir mais infiltração e por conseguinte, maior armazenamento, mas também por reduzir bastante as perdas por evaporação (QUAGGIO, 2000). Assim, as raízes mesmo mantidas mais na superfície, devido à deficiência de correção da acidez em profundidade, a produtividade acaba sendo maior do que seria se o mesmo ocorresse com o plantio convencional. Esse fato não pode ser interpretado como maior tolerância das culturas à acidez do solo, quando cultivadas em sistema plantio direto, pois se o período de seca se estender por mais tempo, haverá perdas de produtividade pelo secamento mais rápido das camadas superficiais em razão da grande concentração de raízes na superfície. Esse aspecto causa preocupação nas regiões de cerrado, onde o déficit hídrico é mais frequente e acentuado (QUAGGIO, 2000).

Os valores de saturação por bases desejados (V2) dependem da tolerância à acidez ou resposta da cultura à calagem. Existem controvérsias no País quanto a recomendações desses níveis, principalmente para as regiões em que ocorrem solos cobertos por vegetação de cerrados. Algumas instituições recomendam níveis inferiores para este conjunto de solos, na tentativa de minimizar problemas com micronutrientes. Na realidade nem todos os solos cobertos por vegetação de cerrados são pobres em todos os micronutrientes, principalmente em manganês e, portanto, deve-se evitar a generalização, bem como, não confundir deficiência de micronutrientes no solo com excesso de calagem. Isso significa que mesmo naqueles solos com deficiência em micronutrientes, a produtividade máxima será obtida com a calagem em doses normais, fornecendo-se os nutrientes mais limitantes para a cultura a ser implantada (QUAGGIO, 2000).

AMARAL & ANGHINONI (1998) em experimento conduzido por oito anos nos sistemas convencional e direto, com reaplicação de calcário em superfície, demonstram que as

doses utilizadas em reaplicação são decrescentes com o tempo. No início do experimento, utilizaram $3,4 \text{ t ha}^{-1}$ para elevar o pH a 6,0, reaplicando-se calcário em intervalos de quatro anos, com doses de $3,7 \text{ t ha}^{-1}$ e $2,5 \text{ t ha}^{-1}$. Os efeitos da reaplicação, sem incorporação ao solo no SPD sobre pH, necessidade de calcário, alumínio e cálcio e magnésio trocáveis, manifestaram-se predominantemente na camada de 0 a 0,05 m.

Dados de AMARAL & ANGHINONI (1998) indicam que não há prejuízos na performance das culturas em manter-se o calcário na superfície do solo no SPD consolidado. O conhecimento da dinâmica da acidez à partir da superfície do solo no SPD, ao longo do tempo, é necessário para estabelecer metodologias de recomendação de calagem e a frequência da reaplicação do corretivo (AMARAL & ANGHINONI, 1998).

Trabalhos recentes têm indicado que a necessidade de calagem no SPD talvez seja menor do que no sistema convencional de preparo (CAIRES et al., 1998; POTTKER & BEN, 1998). Como o calcário apresenta efeito residual de cerca de cinco anos no SPD, após a calagem, recomenda-se nova análise de solo (0 a 0,2 m) depois de três anos de cultura, e, caso a saturação por bases seja inferior a 40% (SOUSA, 2000), reaplica-se calcário para elevar a mesma para 50%, distribuindo-se uniformemente na superfície do solo. Todavia, essa quantidade será bem menor (em torno de $0,7 \text{ t ha}^{-1}$) daquela da primeira vez, e sua ação será restrita mais à camada superficial (aproximadamente 0,05 m).

AMARAL & ANGHINONI (1998), em experimento conduzido por oito anos nos sistemas convencional e direto, com reaplicação de calcário em superfície demonstraram que as doses utilizadas em reaplicação, são decrescentes com o tempo. No início do experimento, utilizaram $3,4 \text{ t ha}^{-1}$ para elevar o pH a 6,0, reaplicando-se calcário em intervalos de quatro anos, com doses de $3,7 \text{ t ha}^{-1}$ e $2,5 \text{ t ha}^{-1}$. Os efeitos da reaplicação, sem incorporação ao solo no SPD sobre pH, necessidade de calcário, alumínio e cálcio e magnésio trocáveis, manifestaram-se predominantemente na camada de 0 a 0,05 m.

Os valores de saturação por bases desejados dependem da tolerância à acidez ou resposta da cultura à calagem. Existem controvérsias no País quanto às recomendações desses níveis, principalmente para as regiões em que ocorrem solos cobertos por vegetação de cerrado. Algumas instituições recomendam níveis inferiores para este conjunto de solos, na tentativa de minimizar problemas com micronutrientes. Na realidade, nem todos os solos cobertos por vegetação de cerrado são pobres em todos os micronutrientes, principalmente em manganês e, portanto, deve-se evitar a generalização, bem como, não confundir deficiência de micronutrientes o solo com excesso de calagem. Isso significa que mesmo naqueles solos com deficiência em micronutrientes, a produtividade máxima será obtida com a calagem em doses

normais, fornecendo-se os nutrientes mais limitantes para a cultura a ser implantada (QUAGGIO, 2000).

SOUSA & RITCHEY (1986) em LATOSSOLO VERMELHO Escuro argiloso, originalmente sob vegetação de cerrados, com o emprego de três doses de calcário, 7,5, 15,0 e 22,5 t ha⁻¹, sendo a primeira suficiente para elevar o pH da camada arável ao valor de 6,0 obtiveram efeitos da calagem marcantes em profundidades abaixo de 1 m, após oito anos, mesmo com a dose recomendada apenas para a camada arável.

A correção de camadas do subsolo pela ação do calcário requer tempo, geralmente alguns meses, e ocorre gradualmente, devido às características das bases neutralizantes, constituintes dos corretivos (QUAGGIO, 2000). Os mecanismos ou reações que permitem a correção da acidez do subsolo pela calagem, ainda não são totalmente esclarecidos. Os calcários reagem liberando a base forte hidroxila e a base fraca HCO_3^- que rapidamente corrigem a acidez do solo ao redor das partículas e, por mecanismos de difusão e fluxo de massa, vão espalhando o efeito neutralizante para o restante da massa de solo (QUAGGIO, 2000). A maior concentração do íon HCO_3^- na solução do solo ocorre entre pH 6,5 e 5,5 e ao se difundir para camadas mais profundas, vai reagindo com os íons H^+ produzindo H_2O e CO_2 e, praticamente desaparece quando o pH for inferior a 5,0. Portanto, não é esperado que o íon HCO_3^- alcance rapidamente regiões mais profundas do perfil do solo. À medida que a acidez é corrigida, a elevação do pH libera cargas negativas de colóides com superfície variável, como a fração humificada da matéria orgânica e de algumas estruturas de minerais de argila, o que dificulta a lixiviação dos cátions em profundidade, devido à maior retenção na superfície (QUAGGIO, 2000). Outro mecanismo possível é que a correção da acidez provoca mineralização mais intensa da matéria orgânica do solo, apesar do seu conteúdo não se alterar ao longo dos anos devido à maior produção de biomassa pelas culturas nos solos corrigidos. Durante a mineralização, são produzidos ânions, como NO_3^- e SO_4^{2-} que ficam em equilíbrio com os cátions na solução do solo e, quando houver movimento descendente de água através do perfil do solo, têm grande mobilidade para alcançar camadas mais profundas, arrastando com eles grandes quantidades de Ca^{2+} e Mg^{2+} (QUAGGIO, 2000). A correção da acidez do subsolo deve ser uma estratégia importante de manejo em solos ácidos visando à maior eficiência de utilização de nutrientes e, principalmente, de água, a qual pode ser realizada através da calagem. Para tanto, a dose ideal tem que ser superior a aquela necessária para a correção da camada arável e a incorporação do calcário deve ser feita pelo menos a 0,2 m de profundidade. Para alcançar camadas mais profundas, é necessário equipamento pesado, de alta potência, não disponível na maioria das propriedades, e que onera muito os custos da

operação. Além disso, provoca o revolvimento exagerado do solo, trazendo à superfície camadas do subsolo muito pobres em matéria orgânica, em nutrientes e com alta capacidade de fixação de fósforo (QUAGGIO, 2000).

MORAES et al. (1998) verificaram que o fornecimento de doses crescentes de calcário (0; 1,4 e 2,8 t ha⁻¹) elevou os teores de Mg, os valores de pH e V% e, reduziu os de H+Al, na profundidade de 0,2 m. Já MENDONÇA & ROWELL (1994) observaram aumento nos teores de Ca trocável e redução nos de Al trocável devido à calagem, sendo o maior teor de cálcio trocável em profundidade (0,5 m) após calagem, atribuído à movimentação desse elemento oriundo do CaCO₃.



3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Caracterização do Meio Físico

A área considerada localiza-se no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul, na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Câmpus da UNESP, entre os paralelos 20°20'40,9'', 20°20'40,4'' e 20°20'43'', 20°20'42,6'' S, e os meridianos 51°23'49'', 51°23'48,7'' e 51°24'03,9'', 51°24'03,2'' WGr (GARMIN, 1998), em uma área equivalente a 0,5 ha, com altitude de 335 metros. A precipitação média anual é de aproximadamente 1370 mm, a temperatura média anual ao redor de 23,5° C e a umidade relativa do ar entre 70 e 80% (média anual) (HERNANDEZ, 1995).

3.2. Descrição do solo

O experimento foi desenvolvido em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, A moderado, hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, compactado, muito profundo, moderadamente ácido (LVd), classificado de acordo com EMBRAPA (1999), com declividade de 3,6%, cuja análise realizada antes da instalação, revelou os seguintes resultados, expressos na tabela 1.

Tabela 1. Resultados de análise química e física antes da instalação do experimento na profundidade de 0 a 0,2 m.

pH (CaCl ₂)	MO (g dm ⁻³)	P – resina (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	H+Al	Al
			mmol _c dm ⁻³				
4,9	32	22	2,3	21	13	38	1,5
SB	t	T	V	m	Areia	Silte	Argila
mmol _c dm ⁻³			%		g kg ⁻¹		
36,3	37,8	74,3	49	4	691	41	268

3.3. Amostragens e caracterização química do solo

As avaliações para fins de fertilidade foram realizadas coletando-se amostras nas camadas de 0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m de profundidade, nas quais avaliaram-se os seguintes atributos: pH (CaCl_2); Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} trocáveis ($\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^{-3}$); P resina (mg dm^{-3}); acidez potencial (H^+Al) ($\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^{-3}$); soma de bases (SB) ($\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^{-3}$); saturação por bases (V%); saturação por alumínio (m%) e teores de matéria orgânica (g dm^{-3}) (RAIJ et al., 1987) e S-SO_4^{2-} (mg dm^{-3}) (CANTARELLA, 1998), nas diferentes profundidades. Na coleta, utilizou-se um enxadão, tomando-se duas amostras simples por parcela, retirando-se uma fatia de solo equivalente à largura da ferramenta obedecendo à ordem de coleta 0,2 a 0,4; 0,1 a 0,2 e 0 a 0,1 m na entrelinha da cultura, totalizando 192 amostras compostas por avaliação. As amostragens de solo realizadas foram compreendidas em uma avaliação prévia para caracterização dos tratamentos e cinco épocas (E1: 3; E2: 6; E3: 12, E4: 17 e E5: 21 meses) posteriores à aplicação dos calcários e gesso.

3.4. Delineamento estatístico

O delineamento estatístico utilizado foi o blocos casualizados em esquema fatorial $2 \times 4 \times 2 \times 3$, ou seja, aplicação de calcário com 2 granulometrias distintas, em quatro níveis (0 NC = Testemunha; 0,5 NC; 1,0 NC; 2,0 NC, onde NC = recomendação para elevar a saturação de bases a 70%); aplicação ou não de gesso e avaliação em diferentes profundidades (0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m), para solo. Para os parâmetros de plantas e componentes de produção o esquema fatorial considerou apenas o calcário e o gesso ($2 \times 4 \times 2$).

3.4.1. Caracterização dos tratamentos e distribuição das unidades experimentais

Cada parcela foi constituída de uma área de 60 m^2 , sendo 6 m de largura e 10 m de comprimento, com intervalos de 1,0 m entre uma e outra, num total de 64 parcelas.

Níveis de correção:

Calcário Fino s/Gesso

1 – Testemunha, sem correção;



- 2 – ½ NC de calcário na ausência de gesso (equivalente a 0,86 t.ha⁻¹ de calcário fino);
- 3 – NC de calcário na ausência de gesso (equivalente a 1,72 t.ha⁻¹ de calcário fino para elevar V% a 70);
- 4 – 2NC de calcário na ausência de gesso (equivalente a 3,45 t.ha⁻¹ de calcário fino).

Calcário Fino c/Gesso

- 1 – Testemunha, sem correção (1,5 t.ha⁻¹ de gesso);
- 2 – ½ NC de calcário na presença de gesso (equivalente a 0,86 t.ha⁻¹ de calcário fino e 1,5 t.ha⁻¹ de gesso);
- 3 – NC de calcário na presença de gesso (equivalente a 1,72 t.ha⁻¹ de calcário fino para elevar V% a 70 e 1,5 t.ha⁻¹ de gesso);
- 4 – 2NC de calcário na presença de gesso (equivalente a 3,45 t.ha⁻¹ de calcário fino e 1,5 t.ha⁻¹ de gesso).

Calcário Grosso s/Gesso

- 1 – Testemunha, sem correção na ausência de gesso;
- 2 – ½ NC de calcário na ausência de gesso (equivalente a 1,43 t.ha⁻¹ de calcário grosso);
- 3 – NC de calcário na ausência de gesso (equivalente a NC – 2,87 t.ha⁻¹ de calcário grosso para elevar a V% para 70); e
- 4 – 2 NC de calcário na ausência de gesso (equivalente a 5,74 t.ha⁻¹ de calcário grosso).

Calcário Grosso c/Gesso

- 1 – Testemunha, sem correção na presença de gesso (equivalente a 1,5 t.ha⁻¹ de gesso);
- 2 – ½ NC de calcário na presença de gesso (equivalente a 1,43 t.ha⁻¹ de calcário grosso e 1,5 t.ha⁻¹ de gesso);
- 3 – NC de calcário na presença de gesso (equivalente a NC – 2,87 t.ha⁻¹ de calcário grosso para elevar a V% para 70 e 1,5 t.ha⁻¹ de gesso); e
- 4 – 2 NC de calcário na presença de gesso (equivalente a 5,74 t.ha⁻¹ de calcário grosso e 1,5 t.ha⁻¹ de gesso).

3.5. Características dos corretivos

As características dos materiais corretivos utilizados no experimento podem ser verificadas através da tabela 2.



Tabela 2. Caracterização granulométrica dos calcários utilizados

	CaO + MgO	CaO	MgO	RE	PN	PRNT
	-----%					
Calcário Fino	52	39	13	89	102	91
Calcário Grosso	32	14	18	71	77	55

3.6. Avaliações de plantas

- Estado Nutricional - Coletaram-se de 20 plantas parcela⁻¹ a quinta folha totalmente formada a partir do ápice da haste principal, na fase de pleno florescimento (entre 80 e 90 dias após a emergência), de acordo com SILVA (1996), MALAVOLTA et al. (1997) e STAUT e KURIHARA (1998), as quais foram submetidas à análise de todos os macros e alguns micronutrientes.
- Altura de plantas: utilizando-se uma trena, mensurou-se a altura da superfície do solo até o ápice em 5 plantas da área útil.
- Número de ramos por planta: número de ramos foi obtido a partir de 5 plantas da área útil de cada parcela.
- Número de maçãs por planta: retirado de 5 plantas da área útil da parcela.
- Peso de 10 capulhos: dentro da área útil de cada parcela foram coletados 10 capulhos ao acaso, com posterior embalagem, identificação e pesagem.
- Determinou-se a massa da matéria seca de quatro plantas por parcela.
- Produtividade: Colheram-se as duas linhas internas de cada parcela, percorrendo-se 5 m, totalizando 9 m².
- Massa de 100 sementes: após descaroçadas, as sementes foram contadas e com a utilização de uma balança determinou-se a massa de 100 sementes.

3.7. Atividades desenvolvidas referentes ao primeiro ano de experimentação

As doses de calcário utilizadas foram determinadas através do método de Saturação por Bases (RAIJ et al., 1996), considerando-se os valores de V% do solo, com o objetivo de elevar o índice V% para 70. A quantidade de gesso aplicada foi obtida através do método de recomendação em função da granulometria do solo, segundo (RAIJ et al., 1996), aplicando-se o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ através de um distribuidor mecânico, utilizando-se uma faixa de aplicação de 6 m de largura através de regulagem. O milho foi semeado mecanicamente (27/08/99), utilizando-se 22 kg de semente ha^{-1} espaçadas em 0,17 m entre linhas. Manejou-se quimicamente a cultura do milho através da aplicação de 5 L ha^{-1} do produto comercial Roundup, utilizando-se 240 L ha^{-1} de calda aplicada. Semearam-se mecanicamente 20 sementes de algodão m^{-1} da cultivar IAC – 22, espaçadas em 0,9 m entre linhas, utilizando-se uma semeadora específica para plantio direto. Como adubação de base, de acordo com SILVA (1996 e 1999), utilizou-se 10 – 80 – 80 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente. Para a adubação de cobertura, aplicou-se 30 kg de N e K_2O ha^{-1} , utilizando-se 150 kg ha^{-1} da fórmula 20 – 00 – 20. Realizou-se o mesmo deixando-se 7 a 8 plantas m^{-1} .

3.8. Atividades desenvolvidas referentes ao segundo ano de experimentação

Semeou-se o milho mecanicamente (05/09/00), utilizando-se 24 kg de semente ha^{-1} , espaçadas em 0,17 m entre linhas. Manejou-se quimicamente a cultura do milho através da aplicação de 5 L ha^{-1} do produto comercial Roundup, utilizando-se 240 L ha^{-1} de calda aplicada. Semearam-se mecanicamente (22/11/00) 14 sementes de algodão m^{-1} da cultivar IAC – 22, espaçadas em 0,9 m entre linhas, utilizando-se uma semeadora específica para plantio direto. Como adubação de base, de acordo com SILVA (1996 e 1999), utilizaram-se 400 kg ha^{-1} da fórmula comercial 08 – 20 – 20, e como adubação de cobertura 250 kg ha^{-1} da fórmula comercial 20 – 00 – 20. Em ambos anos de cultivo se observou a incidência de pragas de ocorrência comum na cultura do algodão em região de Cerrado, como pulgão (*Aphis gossypii*), tripses (*Thrips tabaci*), curuquerê (*Alabama argillacea*), ácaro rajado (*Tetranychus urticae*) e percevejo manchador (*Dysdercus* sp.), as quais foram manejadas quimicamente de acordo com SANTOS (1999) e DEGRANDE (1998). Realizou-se o controle de plantas infestantes por ocasião do aparecimento do primeiro par de folhas das ervas aplicando-se produtos à base de Pyrethriobac e Sethoxydim, combinado com capina.



Figura 4. Vista parcial da área experimental na ocasião da distribuição dos corretivos



Figura 5. Vista geral da cultura do milheto utilizado na formação de massa para cobertura



Figura 6. Detalhe da cultura do milho cinco dias após o manejo químico



Figura 7. Vista geral da palhada de milho



Figura 8. Detalhe da semeadura do algodão.



Figura 9. Detalhe da emergência das plântulas de algodão



Figura 10. Detalhe das plantas de algodão



Figura 11. Vista geral da cultura do algodão



Figura 12. Vista geral da cultura do algodão



Figura 13. Vista geral da cultura do algodão



Figura 14. Detalhe da cultura na ocasião do florescimento

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados referentes aos atributos químicos do solo

Nas tabelas 3 e 4 estão apresentados os quadrados médios, médias gerais e coeficientes de variação referentes ao fósforo (P), matéria orgânica (MO), índice de acidez (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica total (T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e enxofre ($S-SO_4^{2-}$). Verifica-se que todos os atributos químicos do solo estudados sofreram variações significativas com as épocas avaliadas e com as doses de calcário, com exceção para MO, K e $S-SO_4^{2-}$. Quando da aplicação de gesso, somente não foram alterados os valores de H+Al. Já os tipos de calcário utilizados alteraram os valores de P, pH, Mg, K, H+Al, SB, t, V% e $S-SO_4^{2-}$, não influenciando MO, Ca, Al, T e m%. Todos os atributos químicos do solo estudados foram significativamente diferenciados com a profundidade de amostragem.

Quanto às interações épocas de amostragens dentro de doses de calcário, épocas dentro de gesso, épocas dentro de tipos de calcário e, épocas dentro de profundidades observou-se efeito significativo somente para pH e t; para todos os atributos, exceto H+Al e T; somente para MO e; para todos os atributos, respectivamente. Para as interações doses de calcário dentro de: gesso, tipos de calcários e profundidades obtiveram-se alterações significativas para pH, Al, H+Al, SB, t, V% e m%; P, pH, Ca, Mg, SB, t e T; todos os atributos, exceto MO, K e $S-SO_4^{2-}$; respectivamente. Já para as interações gesso dentro de tipos de calcário todos os atributos foram alterados significativamente, com exceção para Ca, Mg, SB e $S-SO_4^{2-}$ e, dentro de profundidades, somente não foram influenciados o P, MO, K, H+Al e $S-SO_4^{2-}$.

Tabela 3. Quadrados médios, médias gerais e coeficientes de variação, referentes à P, MO, pH, Ca, Mg, K e Al, sob diferentes épocas de avaliação, doses de calcário, ausência e presença de gesso, tipos de calcário e profundidades de amostragem. Ilha Solteira, 2000/2001.

Fontes de Variação	Quadrados Médios						
	P ^a	MO	pH	Ca ^a	Mg ^a	K ^a	Al ^a
Épocas	140,8168 **	8364,7515 **	1,9717 **	158,4598 **	70,3903 **	11,4077 **	17,3157 **
Doses	18,2443 *	14,1732 ns	3,0533 **	57,7360 **	38,8516 **	0,4594 ns	20,1066 **
Gesso	1439,6292 **	1235,3343 **	4,2003 **	341,5562 **	5,9954 *	78,8210 **	58,5273 **
Tipos de calcário	46,9746 **	1,1343 ns	0,9438 **	2,7218 ns	49,8729 **	0,8067 *	3,0372 ns
Profundidades	3660,4117 **	5479,1697 **	29,1407 **	820,2504 **	242,9904 **	136,7858 **	388,8055 **
Épocas x Doses	2,8553 ns	10,3078 ns	0,1474 *	2,7363 ns	0,9724 ns	0,0742 ns	0,7067 ns
Épocas x Gesso	21,5334 **	151,4671 **	0,2365 *	10,2669 **	4,4033 *	1,4604 **	2,7896 *
Épocas x Tipos	11,0480 ns	36,1786 *	0,0814 ns	1,7561 ns	1,2465 ns	0,1244 ns	1,2103 ns
Épocas x Prof.	105,1634 **	484,1671 **	0,8344 **	44,8797 **	27,9222 **	1,3830 **	18,4025 **
Doses x Gesso	2,3756 ns	17,8565 ns	0,2848 *	2,9631 ns	3,1591 ns	0,2121 ns	6,6267 **
Doses x Tipos	39,0292 **	0,4010 ns	0,2139 *	5,5742 *	15,0211 **	0,1569 ns	1,6014 ns
Doses x Prof.	12,7024 *	3,6670 ns	1,2982 **	29,2194 **	16,7250 **	0,1179 ns	4,2924 **
Gesso x Tipos	60,6266 **	368,7760 **	0,3641 *	0,4141 ns	0,0041 ns	1,4709 **	10,2665 **
Gesso x Prof.	77,1942 **	69,5531 **	0,0654 ns	15,2612 **	13,5650 **	0,5586 ns	0,2220 ns
Tipos x Prof.	10,5156 ns	3,4906 ns	0,3002 *	7,6532 *	28,5808 **	0,5643 ns	2,8797 *
Blocos	-	-	-	-	-	-	-
Médias Gerais	8,35	20,04	4,76	8,20	6,01	2,58	3,07
CV (%)	27,65	15,10	5,77	15,78	19,75	17,48	31,52

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ns - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Obs.: ^a - Dados transformados em $\sqrt{x+0,5}$



Tabela 4. Quadrados médios, médias gerais e coeficientes de variação, referentes à H+Al, SB, CTCe, CTC, V%, m% e S-SO₄²⁻, sob diferentes épocas de avaliação, doses de calcário, ausência e presença de gesso, tipos de calcário e profundidades de amostragem. Ilha Solteira, 2000/2001.

Fontes de variação	Quadrados Médios													
	H+Al		SB ^a		t ^a		T		V%		m% ^a		S-SO ₄ ²⁻ ^a	
Épocas	2166,7645	**	127,2040	**	101,4039	**	4022,1588	**	5089,0817	**	132,8569	**	170,6889	**
Doses	395,7399	**	91,5068	**	65,1943	**	1985,7242	**	2637,0694	**	94,1413	**	2,3171	ns
Gesso	25,6760	ns	355,1865	**	291,5023	**	9375,6708	**	8213,40	**	530,7153	**	473,1727	**
Tipos de calcário	265,6510	**	21,2700	**	35,4106	**	234,1818	ns	724,5375	**	9,4711	ns	14,5324	**
Profundidades	1472,60	**	1217,3476	**	756,1463	**	24379,5308	**	34498,5541	**	2551,9794	**	4655,8595	**
Épocas x Doses	27,4395	ns	3,3010	ns	6,1407	**	137,0517	ns	90,7178	ns	3,0853	ns	2,0249	ns
Épocas x Gesso	34,6083	ns	9,8735	**	12,8877	**	194,1557	ns	304,5432	**	23,2033	**	139,9143	**
Épocas x Tipos	42,7031	ns	2,2465	ns	1,7214	ns	152,7440	ns	29,6182	ns	3,1403	ns	1,6021	ns
Épocas x Prof.	342,1286	**	71,8610	**	50,2335	**	2206,7456	**	1634,7091	**	123,8744	**	26,5366	**
Doses x Gesso	70,0315	*	7,0928	*	6,8166	*	19,1978	ns	374,7250	**	34,7326	**	0,7457	ns
Doses x Tipos	21,6121	ns	10,8446	**	8,8489	**	535,2516	**	181,0402	ns	10,5263	ns	2,2977	ns
Doses x Prof.	188,6013	**	43,8476	**	41,2823	**	1135,7286	**	1056,0902	**	17,9279	**	2,7527	ns
Gesso x Tipos	891,2760	**	0,2076	ns	18,3212	**	1505,7092	**	501,7041	**	52,6027	**	2,6166	ns
Gesso x Prof.	117,5291	**	9,3436	*	11,0131	**	397,0773	*	102,1875	ns	12,0930	ns	10,8702	**
Tipos x Prof.	62,4541	ns	22,7230	**	19,5547	**	602,8193	**	653,4500	**	22,6867	**	4,7483	ns
Blocos	-		-		-		-		-		-		-	
Médias Gerais	31,03		10,48		11,13		60,04		45,83		5,91		5,95	
CV (%)	14,89		15,32		13,58		16,16		18,57		35,63		22,37	

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ns - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Obs.: ^a - Dados transformados em $\sqrt{x + 0,5}$



Nas tabelas 5 e 6, 7, 8, 9 e 10, 11, 12, 13 e 14, 15, 16, constam os desdobramentos da interação doses de calcário dentro de épocas de amostragem, gesso dentro de épocas amostragem, tipo de calcário dentro de épocas de amostragem, profundidades dentro de épocas de amostragem, gesso dentro de doses de calcário, tipos de calcário dentro de doses de calcário, doses de calcário dentro de profundidade, tipo de calcário dentro de gesso, gesso dentro de profundidade e, tipos de calcário dentro de profundidade, para os atributos estudados.

Tabela 5. Médias e equações de regressão, referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de épocas de amostragem, dos atributos químicos do solo P, MO, pH, Ca, Mg, K e Al.

		P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	Ca -----	Mg mmol _c dm ⁻³	K -----	Al -----
E1	0 NC	21	27	4,8 ¹	20	6	1,7	2
	0,5 NC	21	27	4,9	21	6	1,8	2
	1,0 NC	23	28	4,9	24	7	1,7	1
	2,0 NC	22	26	5,0	23	8	1,9	1
E2	0 NC	11	21	4,6 ²	17	11	0,9	3
	0,5 NC	12	20	4,7	17	11	1,0	2
	1,0 NC	14	21	4,7	19	11	1,0	2
	2,0 NC	14	22	4,8	21	13	1,0	2
E3	0 NC	17	31	4,6 ³	10	7	1,3	3
	0,5 NC	17	30	4,7	12	7	1,4	2
	1,0 NC	18	30	4,8	12	7	1,3	2
	2,0 NC	18	31	4,9	14	8	1,4	2
E4	0 NC	18	16	4,5 ⁴	13	8	1,6	4
	0,5 NC	20	16	4,6	14	8	1,8	3
	1,0 NC	18	17	4,6	14	9	1,5	2
	2,0 NC	23	17	4,8	17	11	1,7	2
E5	0 NC	13	15	4,6 ⁵	14	8	1,3	2
	0,5 NC	14	15	4,7	15	8	1,4	2
	1,0 NC	15	16	4,8	17	9	1,4	1
	2,0 NC	17	15	5,0	22	12	1,4	1

$$^1 y = 4,8537 + 0,0623x$$

$$R^2 = 0,79$$

$$^4 y = 4,4995 + 0,1588x$$

$$R^2 = 0,93$$

$$^2 y = 4,6404 + 0,0835x$$

$$R^2 = 0,97$$

$$^5 y = 4,6225 + 0,2111x$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^3 y = 4,6329 + 0,1391x$$

$$R^2 = 0,95$$

Tabela 6. Médias e equações de regressão, referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de épocas de amostragem, dos atributos químicos do solo H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO₄²⁻.

		H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
		----- mmol _c dm ⁻³ -----			----- % -----		mg dm ⁻³	
E1	0 NC	33	27,5	11,1 ⁶	60,4	45	7	55
	0,5 NC	32	29,3	11,3	61,4	48	6	56
	1,0 NC	32	33,5	11,6	66,0	51	4	52
	2,0 NC	31	33,7	12,1	65,1	52	4	57
E2	0 NC	29	28,6	11,2 ⁷	58,2	49	9	33
	0,5 NC	28	28,8	11,5	58,4	50	8	38
	1,0 NC	27	31,5	11,8	60,6	52	8	38
	2,0 NC	27	35,0	12,4	65,4	54	7	40
E3	0 NC	32	18,5	9,5 ⁸	51,6	36	14	36
	0,5 NC	30	21,0	9,7	52,4	40	11	30
	1,0 NC	30	20,6	9,9	52,1	40	10	28
	2,0 NC	29	24,1	10,4	55,3	44	8	33
E4	0 NC	39	23,0	10,5 ⁹	63,7	36	15	29
	0,5 NC	37	24,1	11,9	62,2	39	11	30
	1,0 NC	35	25,5	10,8	62,4	41	10	30
	2,0 NC	35	30,9	11,9	69,9	45	9	29
E5	0 NC	30	23,7	10,3 ¹⁰	55,1	43	10	21
	0,5 NC	30	25,8	10,8	57,0	46	8	25
	1,0 NC	28	27,9	11,3	58,5	48	7	23
	2,0 NC	26	35,4	12,3	65,0	55	4	26

$$^6 y = 11,0805 + 0,5243x$$

$$R^2 = 0,77$$

$$^7 y = 11,2258 + 0,5916x$$

$$R^2 = 0,95$$

$$^8 y = 9,4966 + 0,4474x$$

$$R^2 = 0,88$$

$$^9 y = 10,5504 + 6,7345x - 9,8529x^2 + 3,4070x^3$$

$$R^2 = 1,0$$

$$^{10} y = 10,3346 + 0,9706x$$

$$R^2 = 0,98$$

Tabela 7. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação gesso dentro de épocas de amostragem, dos atributos químicos do solo

	P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻	
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----					----- % -----			mg dm ⁻³		
	0 kg ha ⁻¹	15 b	26 b	4,9 b	20 b	7 a	1,4 b	2 a	29,3 b	31,7 b	61,6	48 b	7 a	27 b
E1	1500 kg ha ⁻¹	30 a	28 a	4,9 a	23 a	6 a	2,2 a	1 b	32,6 a	34,4 a	64,9	50 a	5 b	93 a
	0 kg ha ⁻¹	10 b	21 a	4,7 a	16 b	11 a	0,7 b	2 a	28,6 b	32,1 b	58,0	49 b	9 a	32 b
E2	1500 kg ha ⁻¹	16 a	21 a	4,7 a	20 a	12 a	1,4 a	2 a	33,3 a	36,4 a	63,2	53 a	7 b	43 a
	0 kg ha ⁻¹	11 b	29 b	4,6 b	10 b	7 a	0,8 b	3 a	17,6 b	21,3 b	49,6	36 b	15 a	26 b
E3	1500 kg ha ⁻¹	25 a	32 a	4,8 a	15 a	8 a	1,9 a	2 b	24,7 a	27,2 a	56,1	44 a	7 b	39 a
	0 kg ha ⁻¹	15 b	15 b	4,5 b	12 b	8 b	1,4 b	3 a	22,0 b	26,7 b	60,4	37 b	15 a	28 a
E4	1500 kg ha ⁻¹	25 a	18 a	4,7 a	17 a	10 a	1,9 a	2 b	29,8 a	36,8 a	68,6	44 a	8 b	31 a
	0 kg ha ⁻¹	12 b	13 b	4,7 b	14 b	9 a	1,1 b	2 a	24,1 b	27,5 b	54,9	44 b	9 a	22 b
E5	1500 kg ha ⁻¹	19 a	17 a	4,9 a	21 a	9 a	1,7 a	1 b	32,3 a	34,8 a	62,9	52 a	5 b	26 a

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Tabela 8. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação tipos de calcário dentro de épocas de amostragem, dos atributos químicos do solo

	P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----				----- % -----				-----	mg dm ⁻³
E1 Calcário Fino	20	27 a	4,9	22	6	1,8	2	32,0	32,4	62,7	48	6	56
Calcário Grosso	23	27 a	4,9	22	7	1,8	2	31,6	33,7	63,8	50	5	54
E2 Calcário Fino	11	21 a	4,7	17	10	1,0	2	28,3	32,6	58,9	50	9	40
Calcário Grosso	14	21 a	4,7	19	12	1,0	2	27,7	35,8	62,3	53	7	34
E3 Calcário Fino	17	31 a	4,8	12	7	1,4	2	30,5	23,7	52,6	40	11	32
Calcário Grosso	18	30 b	4,7	12	8	1,3	2	30,3	24,6	53,1	41	11	32
E4 Calcário Fino	18	16 a	4,6	15	9	1,7	3	37,2	29,9	65,3	40	12	31
Calcário Grosso	21	17 a	4,7	14	10	1,6	3	35,6	33,3	63,8	41	11	28
E5 Calcário Fino	16	15 a	4,8	17	8	1,4	2	29,8	29,9	58,2	47	7	26
Calcário Grosso	15	15 a	4,8	17	10	1,4	1	27,3	32,0	59,6	49	7	22

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Tabela 9. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação profundidades dentro de épocas de amostragem para P, MO, pH, Ca, Mg, K e Al no solo.

		P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	K	Al

E1	0 a 0,1 m	27 a	27 b	5,0 a	22 b	6 b	2,5 a	1 b
	0,1 a 0,2 m	25 a	29 a	4,9 a	25 a	8 a	1,8 b	1 b
	0,2 a 0,4 m	14 b	25 c	4,7 b	19 c	6 b	1,2 c	2 a
E2	0 a 0,1 m	34 a	26 a	5,1 a	29 a	17 a	2,0 a	0 b
	0,1 a 0,2 m	11 b	21 b	4,6 b	16 b	10 b	0,9 b	3 a
	0,2 a 0,4 m	2 c	16 c	4,4 c	12 c	9 b	0,3 c	4 a
E3	0 a 0,1 m	30 a	37 a	5,0 a	20 a	11 a	2,2 a	1 c
	0,1 a 0,2 m	23 b	32 b	4,7 b	11 b	7 b	1,3 b	2 b
	0,2 a 0,4 m	5 c	22 c	4,5 c	7 c	5 c	0,7 c	4 a
E4	0 a 0,1 m	44 a	21 a	5,0 a	23 a	14 a	2,9 a	1 c
	0,1 a 0,2 m	21 b	15 b	4,5 b	13 b	8 b	1,4 b	3 b
	0,2 a 0,4 m	4 c	14 b	4,3 c	9 c	7 b	0,8 c	5 a
E5	0 a 0,1 m	30 a	18 a	5,1 a	26 a	12 a	2,3 a	3 c
	0,1 a 0,2 m	16 b	16 b	4,7 b	19 b	11 a	1,2 b	1 b
	0,2 a 0,4 m	4 c	11 c	4,5 c	8 c	6 b	0,7 c	4 a

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 10. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação profundidades dentro de épocas de amostragem para H+Al, SB, CTCe, CTC, V%, m% e S-SO₄²⁻ no solo.

		H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
		mmol _c dm ⁻³			----- % -----		mg dm ⁻³	
E1	0 a 0,1 m	30 b	31,4 b	33,1 b	62,1 b	51 a	5 b	24 c
	0,1 a 0,2 m	31 b	35,1 a	36,6 a	66,3 a	53 a	4 b	41 b
	0,2 a 0,4 m	34 a	26,5 c	29,5 c	61,3 b	43 b	9 a	118 a
E2	0 a 0,1 m	25 c	48,2 a	49,3 a	74,3 a	65 a	1 c	8 c
	0,1 a 0,2 m	28 b	26,6 b	30,5 b	55,3 b	49 b	11 b	24 b
	0,2 a 0,4 m	31 a	20,9 c	24,9 c	52,1 b	40 c	16 a	110 a
E3	0 a 0,1 m	30 b	33,2 a	34,5 a	64,1 a	52 a	2 c	11 b
	0,1 a 0,2 m	34 a	19,5 b	22,12 b	53,7 b	37 b	10 b	11 b
	0,2 a 0,4 m	28 c	12,6 c	17,5 c	40,6 c	32 c	26 a	106 a
E4	0 a 0,1 m	32 b	40,2 a	43,6 a	74,2 a	55 a	3 c	9 c
	0,1 a 0,2 m	40 a	22,3 b	27,7 b	62,0 b	36 b	12 b	12 b
	0,2 a 0,4 m	38 a	17,2 c	24,8 c	57,3 c	30 c	25 a	96 a
E5	0 a 0,1 m	26 b	41,2 a	41,9 a	68,8 a	60 a	1 c	4 c
	0,1 a 0,2 m	30 a	31,6 b	33,5 b	62,7 b	50 b	5 b	7 b
	0,2 a 0,4 m	30 a	14,8 c	19,6 c	45,1 c	33 c	23 a	100 a

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa

ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 11. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação gesso dentro doses de calcário para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al,

H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO₄²⁻ no solo.

		P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----				mg dm ⁻³
0 NC	S/Gesso	11	21	4,5 b	12	7	1,1	4 a	33 a	20,1 b	24,4 b	54,3	37 b	16 a	25
	C/Gesso	22	23	4,7 a	17	8	1,7	2 b	32 b	28,0 a	30,9 a	61,3	47 a	7 b	44
0,5 NC	S/Gesso	12	21	4,6 b	13	8	1,1	2 a	31 a	23,0 b	26,1 b	55,1	42 b	11 a	28
	C/Gesso	22	23	4,8 a	18	8	1,9	1 b	31 a	29,0 a	34,5 a	61,4	47 a	7 b	44
1,0 NC	S/Gesso	13	21	4,7 b	15	9	1,1	2 a	30 a	25,0 b	28,2 b	56,9	44 b	10 a	26
	C/Gesso	22	24	4,8 a	19	9	1,8	1 b	31 a	30,0 a	33,1 a	62,9	49 a	6 b	42
2,0 NC	S/Gesso	13	21	4,8 b	17	11	1,1	1 a	29 a	29,0 b	32,4 b	61,2	48 b	8 a	28
	C/Gesso	25	23	4,9 a	21	10	1,9	1 a	30 a	34,0 a	36,9 a	67,0	52 a	5 b	45

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Tabela 12. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação tipos de calcário dentro de doses de calcário para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO₄²⁻ no solo.

		P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al	H+Al	SB	t	T	V%	m%	S-SO ₄ ²⁻
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----		mg dm ⁻³		
0 NC	Calcário Fino	13 b	22	4,6 b	14 b	8 a	1,4	3	33	23,5 a	27,2 a	58,3 a	41	12	37
	Calcário grosso	19 a	22	4,7 a	15 a	8 a	1,4	2	32	24,6 a	27,9 a	57,3 a	43	10	31
0,5 NC	Calcário Fino	15 b	22	4,7 a	16 a	8 a	1,5	2	32	25,5 a	28,8 b	58,5 a	44	9	37
	Calcário grosso	18 a	22	4,7 a	16 a	8 a	1,4	2	31	25,8 a	31,5 a	58,0 a	45	8	34
1,0 NC	Calcário Fino	19 a	22	4,8 a	18 a	8 b	1,4	2	31	27,6 a	30,5 a	60,0 a	46	7	34
	Calcário grosso	16 b	22	4,8 a	16 a	9 a	1,4	2	30	27,5 a	30,7 a	59,8 a	46	8	34
2,0 NC	Calcário Fino	18 a	22	4,8 b	18 b	9 b	1,5	2	30	29,1 b	32,0 b	61,4 b	48	7	38
	Calcário grosso	20 a	22	5,0 a	20 a	12 a	1,4	1	29	34,3 a	37,2 a	66,8 a	51	6	35

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Tabela 13. Médias e equações de regressão, referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de profundidade para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al no solo.

		P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	
0 a 0,1 m	0 NC	11 ¹	26	4,8 ²	9 ⁵	6 ⁷	2,3	3 ⁹
	0,5 NC	11	26	4,9	9	6	2,5	2
	1,0 NC	12	26	5,1	10	7	2,3	2
	2,0 NC	12	26	5,4	11	8	2,5	1
0,1 a 0,2 m	0 NC	19	22	4,6 ³	8 ⁶	6 ⁸	1,3	3
	0,5 NC	19	22	4,7	8	6	1,3	3
	1,0 NC	18	23	4,7	8	6	1,3	3
	2,0 NC	19	23	4,8	8	6	1,4	3
0,2 a 0,4 m	0 NC	5	18	4,4 ⁴	11	6	0,6	4
	0,5 NC	5	17	4,5	10	6	0,8	4
	1,0 NC	6	18	4,5	10	6	0,7	4
	2,0 NC	6	17	4,5	11	7	0,7	4

$$^1 y = 10,8110 + 0,8113x$$

$$R^2 = 0,96$$

$$^2 y = 4,8250 + 0,3003x$$

$$R^2 = 0,98$$

$$^3 y = 4,6707 + 0,0509x$$

$$R^2 = 0,86$$

$$^4 y = 4,4537 + 0,0417x$$

$$R^2 = 0,78$$

$$^5 y = 8,6371 + 1,3670x$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^6 y = 7,9015 + 0,2920x$$

$$R^2 = 0,95$$

$$^7 y = 5,9698 + 1,0747x$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^8 y = 5,7474 + 0,2597x$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^9 y = 2,4962 - 0,6182x$$

$$R^2 = 0,90$$

Tabela 14. Médias e equações de regressão, referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de profundidade para H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO₄²⁻ no solo.

Prof.		H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
m		----- mmolc dm ⁻³ -----				----- % -----		mg dm ⁻³
0 a 0,1	0 NC	32 ¹⁰	10,9 ¹¹	11,4 ¹³	61,5 ¹⁵	49 ¹⁷	5 ¹⁹	10
	0,5 NC	30	11,8	12,1	65,7	53	3	11
	1,0 NC	28	12,7	12,9	69,8	58	2	10
	2,0 NC	25	14,4	14,5	78,0	66	2	11
0,1 a 0,2	0 NC	33	10,1 ¹²	10,7 ¹⁴	58,6 ¹⁶	43 ¹⁸	6 ²⁰	16
	0,5 NC	32	10,2	10,9	59,4	44	6	16
	1,0 NC	32	10,4	11,0	60,3	45	6	18
	2,0 NC	32	10,8	11,3	62,0	47	5	20
0,2 a 0,4	0 NC	33	18,2	23,3	52,0	35	9 ²¹	107
	0,5 NC	32	17,7	23,6	51,0	35	9	112
	1,0 NC	32	17,8	22,3	50,4	36	9	101
	2,0 NC	32	18,9	23,2	51,8	37	8	105

$$^{10} y = 31,6375 - 3,5178x$$

$$R^2 = 0,97$$

$$^{11} y = 10,9818 + 1,7044x$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^{12} y = 10,0708 + 0,3660x$$

$$R^2 = 0,96$$

$$^{13} y = 11,3773 + 1,5468x$$

$$R^2 = 0,98$$

$$^{14} y = 10,7309 + 0,2914x$$

$$R^2 = 0,94$$

$$^{15} y = 61,5442 + 8,2515x$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^{16} y = 58,5795 + 1,7009x$$

$$R^2 = 0,92$$

$$^{17} y = 48,9850 + 8,6671x$$

$$R^2 = 0,98$$

$$^{18} y = 43,3425 + 1,9800x$$

$$R^2 = 0,96$$

$$^{19} y = 4,6223 - 2,7166x + 0,6890x^2$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^{20} y = 6,1517 - 0,4199x$$

$$R^2 = 0,92$$

$$^{21} y = 9,1629 - 0,4229x$$

$$R^2 = 0,99$$

Tabela 15. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos da interação tipo de calcário dentro de gesso para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO₄²⁻ no solo.

		P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³			
0 Kg ha ⁻¹ Gesso	Calcário Fino	12 a	21 a	4,6 b	14	8	1,2 a	3 a
	Calcário Grosso	12 a	20 b	4,7 a	14	9	1,0 b	2 b
1500 Kg ha ⁻¹ Gesso	Calcário Fino	20 b	22 b	4,8 a	19	8	1,8 a	2 a
	Calcário Grosso	25 a	24 a	4,8 a	19	10	1,8 a	2 a
		H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
		mmol _c dm ⁻³				%		mg dm ⁻³
0 Kg ha ⁻¹ Gesso	Calcário Fino	32,7 a	23,4	27,4 a	57,7 a	41 b	12 a	28
	Calcário Grosso	29,7 b	24,8	28,0 a	56,2 a	44 a	10 b	26
1500 Kg ha ⁻¹ Gesso	Calcário Fino	30,4 b	29,6	31,9 b	61,4 b	49 a	6 a	46
	Calcário Grosso	31,3 a	31,4	35,8 a	64,9 a	49 a	7 a	41

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 16. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos das interações gesso dentro de profundidade para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO₄²⁻ no solo.

		P mg dm ⁻³		MO g dm ⁻³		pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	Al
							----- mmol _c dm ⁻³ -----			
0 a 0,1 m	C/Gesso	41	a	27	a	5,2	27 a	11 b	2,9	0
	S/Gesso	26	b	24	b	5,0	21 b	12 a	1,9	1
0,1 a 0,2 m	C/Gesso	27	a	24	a	4,8	19 a	9 a	1,8	2
	S/Gesso	12	b	21	b	4,6	13 b	8 b	0,9	2
0,2 a 0,4 m	C/Gesso	7	a	18	a	4,5	12 a	7 a	0,9	3
	S/Gesso	4	b	17	b	4,4	10 b	6 b	0,5	5
		H+Al		SB		t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
		----- mmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----		mg dm ⁻³
0 a 0,1 m	C/Gesso	27,7	b	42,2	a	43,9 a	71,4 a	59	1	14 a
	S/Gesso	29,4	a	35,2	b	36,8 b	66,1 b	54	3	7 b
0,1 a 0,2 m	C/Gesso	32,6	a	31,0	a	34,1 a	64,5 a	48	6	23 a
	S/Gesso	32,1	a	22,7	b	26,0 b	55,7 b	41	11	12 b
0,2 a 0,4 m	C/Gesso	32,3	a	20,2	a	24,9 a	53,6 a	38	15	125 a
	S/Gesso	32,1	a	16,2	b	21,4 b	48,9 b	33	23	88 b

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Tabela 17. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos das interações tipos de calcário dentro de profundidades para P, MO, pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m% e S-SO₄²⁻ no solo.

	Calcário	P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	K	Al
0 a 0,1 m	Fino	32	26	5,0 b	24 a	10 a	2,5	1 a
	Grosso	33	26	5,1 a	24 a	13 a	2,3	1 a
0,1 a 0,2 m	Fino	17	22	4,6 b	15 b	8 b	1,3	2 a
	Grosso	21	23	4,8 a	17 a	9 a	1,4	1 b
0,2 a 0,4 m	Fino	5	18	4,5 a	11 a	7 a	0,8	4 a
	Grosso	7	11	4,5 a	10 a	6 a	0,7	4 a
	Calcário	H+Al mmol _c dm ⁻³	SB mmol _c dm ⁻³	t	T	V %	m	S-SO ₄ ²⁻ mg dm ⁻³
0 a 0,1 m	Fino	29,1	37,0 b	38,2 b	67,2 b	55 b	2 a	10
	Grosso	27,9	40,3 a	42,3 a	70,3 a	58 a	2 a	10
0,1 a 0,2 m	Fino	33,3	25,0 b	28,0 b	59,0 b	43 b	9 a	19
	Grosso	31,4	28,5 a	31,9 a	61,1 a	47 a	7 b	16
0,2 a 0,4 m	Fino	32,2	18,8 a	23,6 a	52,4 a	36 a	19 a	110
	Grosso	32,1	17,5 a	22,7 a	50,2 b	35 a	19 a	102

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



4.1.1. Fósforo

No desdobramento da interação gesso dentro de épocas de amostragem (Tabela 7), observaram-se teores de fósforo no solo superiores quando da aplicação de 1500 kg ha^{-1} de gesso em todas as épocas analisadas, o que pode estar relacionado com a redução dos teores de Al. Isto porque nessas condições, ocorre larga retenção de P pela reação com óxidos de Fe e Al e precipitação como AlPO_4 e FePO_4 (TISDALE, 1993). Com a adição de gesso, o Ca^{2+} dissociado desloca Al^{3+} para a solução do solo onde este pode se combinar com SO_4^{2-} , formando o par iônico AlSO_4^+ (PAVAN et al., 1984), favorecendo assim a melhor disponibilidade de fósforo no solo. Na primeira avaliação da fertilidade do solo realizada três meses após a aplicação de calcário e de gesso encontraram-se teores estatisticamente semelhantes de fósforo nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, e valores inferiores para a camada de 0,2 a 0,4 m (Tabelas 9 e 10). Nas demais avaliações (E2, E3, E4 e E5) encontraram-se diferenças para as profundidades, sendo que os maiores teores foram para a camada de 0 a 0,1 m, seguido de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m. Por ser o P o elemento entre os macronutrientes que possui a menor mobilidade no perfil do solo, o mesmo tem apresentado acréscimos da ordem de 4 a 7 vezes o seu conteúdo em sistema plantio direto em relação ao plantio convencional na camada superficial de 0 a 0,05 m (BARTZ, 1998). Como a matéria orgânica, o fósforo do solo diminui com a profundidade, e a distribuição também varia com a profundidade (TISDALE, 1993). O fósforo orgânico representa cerca de 50% do fósforo total nos solos e varia entre 15 e 80% na maioria dos solos (TISDALE, 1993). Quando da análise dos níveis de calcário utilizados (Tabela 12) obteve-se com a aplicação de 0,5 NC de calcário de granulometria grosseira teores de fósforo superiores quando comparado ao calcário mais fino. Já para a dose recomendada para elevar a saturação por bases 70% o calcário fino apresentou superioridade para o teor de fósforo disponível no solo, não havendo diferença estatisticamente significativa quando da aplicação do dobro da dose recomendada. Através da análise de regressão para dose de calcário dentro de profundidade obteve-se efeito linear, indicando que houve aumento na disponibilidade desse elemento com o aumento da quantidade de calcário aplicada (na camada de 0 a 0,1 m), conforme tabela 13. Como em solos ácidos, o fósforo inorgânico precipita com minerais secundários Fe/Al-P e/ou é adsorvido pelas superfícies de minerais de argila e óxidos de Fe e Al, o pH do solo tem influência profunda na quantidade de fósforo adsorvido e precipitado no solo. Adsorção de fósforo pelos óxidos de Fe e Al diminui com o aumento do pH. Como o P se encontra no solo

predominantemente em formas sólidas inorgânicas e orgânicas, sendo o teor do íon fosfato na solução uma fração muito pequena do total, cerca de $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$, em solos ácidos, as formas sólidas inorgânicas são representadas por fosfatos de Fe e Al ou por fosfato adsorvido através de ligações covalentes ao Fe e Al das superfícies de oxi-hidróxidos e de argilas. O aumento do pH pela calagem, provavelmente aumentou a solubilidade desse nutriente, pois, em qualquer dessas formas, esse aumento no pH, aumenta a concentração de OH^- na solução, promovendo o deslocamento dos íons fosfato para a solução e, aumentando por conseguinte, sua disponibilidade para as plantas (VOLKWEISS, 1989). Também este aumento pode ter propiciado menor adsorção do ânion fosfato, maior mineralização do P orgânico (GOEDERT et al., 1986) e a neutralização do Al-trocável, diminuindo assim a fixação do fósforo (LEAL & VELOSO, 1973). Comportamento semelhante foi obtido para a profundidade de 0 a 0,1 m. Para as demais profundidades não houve ajuste ao modelo testado. No desdobramento da interação tipo de calcário dentro de gesso, observou-se que na ausência do gesso os teores de fósforo no solo não foram influenciados pelo tipo de calcário utilizado, porém, com a aplicação de 1500 kg ha^{-1} de gesso combinado com calcário grosso a disponibilidade desse elemento foi aumentada (Tabela 15). Para gesso dentro de profundidades os teores de fósforo encontrados foram superiores em todas as profundidades estudadas (0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m) também com a aplicação de 1500 kg ha^{-1} de gesso (Tabela 16), o qual pode ter favorecido o fósforo na solução do solo diminuindo a formação de precipitados com Al (RAIJ, 1991).

4.1.2. Matéria orgânica do solo

Para o desdobramento da interação gesso dentro de épocas (Tabela 7), os teores de matéria orgânica do solo foram estatisticamente superiores com a aplicação de gesso em todas as épocas analisadas, exceto na E2 (6 meses). O tipo de calcário influenciou os teores de matéria orgânica somente na E3, realizada, 12 meses após a sua aplicação (Tabela 8). PETRERE (1999) ressalta que com a elevação do pH, ocorre aumento da atividade da população microbiana, a qual é estimulada, e, indiretamente, por um melhor desenvolvimento vegetal, com maior produção de raízes e retorno de resíduos das culturas. Na primeira avaliação (3 meses) os teores de matéria orgânica encontrados foram estatisticamente superiores na profundidade de 0,1 a 0,2 m seguido pelas profundidades de 0 a 0,1 e 0,2 a 0,4



m (Tabela 9). Tal fato ocorreu provavelmente devido à área em estudo ser cultivada durante 18 anos pelo preparo convencional, o qual pelas práticas de preparo poderiam ter incorporado matéria orgânica para a referida profundidade. Para as épocas E2, E3 e E5 os teores foram reduzidos significativamente com a profundidade. Já para a época E4 encontraram-se maiores teores na profundidade de 0 a 0,1 m não havendo diferença estatisticamente significativa para as profundidades de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m (Tabela 9). Quando da ausência de gesso o calcário fino foi superior ao calcário grosso, ocorrendo o inverso quando aplicado 1500 kg ha⁻¹ de gesso (Tabela 15). Na tabela 16 verifica-se que com a aplicação de gesso, em todas as profundidades (0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m) os teores de matéria orgânica apresentaram-se estatisticamente superiores.

4.1.3. Índice de acidez (pH)

Para os níveis de calcário obteve-se ajuste linear crescente para todas as épocas analisadas (Tabela 5). Os valores de pH (CaCl₂) foram aumentados já na primeira avaliação da fertilidade do solo realizada 3 meses após a aplicação do gesso, e continuou provocando aumentos nas épocas E3, E4 e E5. O aumento do pH deveu-se provavelmente ao deslocamento das hidroxilas das superfícies dos hidróxidos de Fe e Al pelo S-SO₄²⁻ do gesso (RITCHEY et al., 1980), ou mesmo devido à diminuição dos teores absolutos de Al trocável do solo pela presença do gesso, podendo ter havido adsorção do SO₄²⁻ com a liberação de OH⁻, as quais, por sua vez, poderiam ter reagido com Al, dando formas hidroxiladas como Al(OH)²⁺ (REEVE e SUMNER, 1972). Isto justificaria o aumento do pH, assim como a redução do Al trocável e a sua saturação. Cabe ressaltar que esse aumento não ultrapassou 0,2 unidades de pH, pois, por ser o gesso um sal neutro, pouco afeta o pH do solo, não mais do que 0,3 unidades, mesmo quando aplicado em doses elevadas (BOHNEN et al., 2000), não tendo a capacidade de neutralizar a acidez do solo, diferentemente do calcário. Estudos como o de WADT (2000), que trabalhando com incubação de amostras de solo (pastagem e floresta) com carbonato de cálcio (3,2 g CaCO₃ kg⁻¹ solo), sulfato de cálcio (5,5 g CaSO₄ kg⁻¹ solo) e da combinação (2/3 do Ca como CaCO₃ e 1/3 como CaSO₄), obteve aumentos de pH em água, tanto na superfície (0,05 m) como na subsuperfície (0,2 a 0,25 m). Nas parcelas onde não se aplicou calcário porém com gesso, também houve aumento neste atributo não excedendo 0,2 unidades de pH. Para os níveis de calagem 0,5 e 1,0 NC o comportamento foi

semelhante com exceção para o nível 2,0 NC. Quanto à época de avaliação da fertilidade, verificou-se que na época E1 as profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m foram semelhantes, diferindo estas apenas da camada de 0,2 a 0,4 m. Nas demais épocas (E2, E3, E4 e E5) os valores de pH encontrados foram estatisticamente reduzidos com a profundidade (Tabela 9). Quanto ao tipo de calcário utilizado, houve diferença estatisticamente significativa somente quando do uso do dobro da dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70%, onde o calcário grosso proporcionou valores de pH superiores ao calcário fino (Tabela 12). Os níveis de calcário utilizados ajustaram-se a um modelo linear (Tabela 13), indicando que o pH foi aumentado conforme acrescentaram-se maiores quantidades de calcário, o que já era esperado, pois, para tal elevação em solos ácidos, é necessário adicionar base (OH^-) em quantidade suficiente para neutralizar todos os H dos ácidos presentes que são liberados à solução do solo até o valor de pH desejado (VOLKWEISS, 1989). Através da análise de regressão para os níveis de calcário nas diferentes profundidades, obteve-se comportamento linear para todas as profundidades, ressaltando-se que os coeficientes de determinação encontrados foram diminuídos com a profundidade (Tabela 14). Na ausência do gesso os valores de pH foram aumentados com o uso de calcário grosso. Para profundidade, o calcário grosso conferiu valores de pH superiores na camada de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, não diferindo estatisticamente para a profundidade de 0,2 a 0,4 m (Tabela 17).

4.1.4. Cálcio

Verificou-se que com a aplicação de gesso houve aumento estatisticamente significativo nos teores de Ca trocável já na primeira avaliação da fertilidade do solo realizada 3 meses após a aplicação de gesso, e continuou ao longo de todas as épocas analisadas (Tabela 7). Com relação ao aumento do Ca^{2+} , o gesso em solução fornece Ca^{2+} e SO_4^{2-} (além do par iônico CaSO_4^0), o que poderia ser o responsável por tal fato. Também, SILVA et al. (1997) obtiveram destacado aumento no teor deste macronutriente após quatro meses da aplicação de gesso e, PAVAN et al. (1984) obtiveram, com a aplicação do gesso, aumento no Ca trocável ao longo de todo o perfil de 100 cm do solo. WADT & WADT (1999) atribuíram ao aumento do teor de Ca^{2+} trocável com a aplicação de sulfato de cálcio, à geração de novos sítios de troca, pois, a lixiviação de Ca^{2+} acompanhando o ânion sulfato somente deve ocorrer após a saturação do complexo de troca com Ca^{2+} atingir o equilíbrio em



que a força de atração de um novo íon de cálcio no complexo sortivo for menor que a força de atração do cálcio pelo ânion acompanhante. Dessa forma, a presença de sulfato de cálcio promove o aumento do teor de cálcio trocável, devido principalmente à competição do cálcio com outros íons presentes no complexo de troca, resultando no deslocamento desses íons para a solução do solo, por ação de massa (WADT & WADT, 1999). Na primeira avaliação da fertilidade do solo, os teores de Ca foram maiores na profundidade de 0,1 a 0,2 m, seguido pela profundidade de 0 a 0,1 e 0,2 a 0,4 m. Porém, nas demais épocas avaliadas, obteve-se diminuição significativa dos teores de Ca com a profundidade, apesar de que se observou um aumento também ao longo do tempo em todas as profundidades (Tabela 9). Através da tabela 12 verifica-se que somente houve influência do tipo de calcário no valor de Ca trocável do solo quando utilizado o dobro da dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70%, pois, como WADT & WADT (1999) explicaram que o aumento de Ca^{2+} no complexo sortivo com a adição de carbonato de cálcio dá-se através da diminuição da atividade dos íons hidrogênio, e não somente pela força da ação de massa dos íons Ca^{2+} adicionados ao sistema. Pela análise de regressão permitiu verificar-se comportamento linear para doses de calcário nas profundidades de 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2, não havendo ajuste para profundidade de 0,2 a 0,4 m (Tabela 13). WADT & WADT (1999) atribuíram o aumento do teor de cálcio trocável com a aplicação de carbonato de cálcio ao deslocamento de prótons e alumínio do complexo de troca para a solução do solo, em decorrência do aumento de pH do solo pela presença de carbonato. Observou-se incremento significativo nos teores de Ca trocável tanto nas camadas superficiais como em subsuperfície (0,2 a 0,4 m) com a adição de gesso (Tabela 16). De acordo com a tabela 17 o tipo de calcário não influenciou o teor de Ca na camada de 0 a 0,1 e 0,2 a 0,4 m; porém, na profundidade de 0,1 a 0,2 m houve incremento significativo desse elemento quando utilizado o calcário grosso. Essa descida do íon Ca^{2+} pode estar relacionada à permanência de ânions bicarbonato no sistema (MARTINS, 1991; WADT, 1991). A elevação do pH nas camadas subjacentes à aplicação de carbonato de cálcio, acompanhado de aumentos nos teores de cálcio e, ou magnésio trocáveis, também têm sido observada (QUAGGIO et al., 1982a; GARGANTINI et al., 1982; MARTINS, 1991; BELKACEM & NYS, 1997 citados por WADT & WADT, 1999). Esse aumento deveu-se ao Ca^{2+} e ao Mg^{2+} provenientes da dissolução do calcário no solo, os quais são adsorvidos pelas cargas negativas da MO, argilas e óxidos, criadas pela reação com as OH^- e pelas cargas liberadas com a neutralização do Al trocável. Porém, segundo VOLKWEISS (1989), para que haja aumento desses cátions na solução é necessário que ocorra também um aumento equivalente de ânions para que a solução se mantenha eletricamente neutra. Como o ânion resultante da dissolução

do calcário é no final OH^- e como o aumento de sua concentração na solução é muito pequeno, deduz-se que as reações puramente químicas do calcário no solo não aumentam significativamente os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução. PAVAN et al. (1984) também observaram que o CaCO_3 aplicado resultou em redução do Al trocável nos primeiros 0,3 m de profundidade, assim como aumentou também o pH, a CTC e o teor de Ca trocável do solo. A aplicação de elevadas doses de calcário também pode promover o movimento descendente de Ca^{2+} (RAIJ et al., 1982).

4.1.5. Magnésio

Os teores de Mg trocáveis foram independentes do uso do gesso nas diferentes épocas avaliadas, com exceção para a época E4 (17 meses) onde a aplicação de gesso proporcionou teores significativamente superiores (Tabela 7). Quanto às épocas de avaliação, na E1 (3 meses) os teores encontrados foram maiores para a profundidade de 0,1 a 0,2 m, sendo 0 a 0,1 e 0,2 a 0,4 m foram estatisticamente semelhantes (Tabela 9). Para as épocas E2 e E4, somente houve destaque para a camada superficial (0 a 0,1 m) sendo as demais não diferentes estatisticamente. Já para a E3 a distribuição dos teores de Mg apresentou diminuição com a profundidade e, para a E5, não se verificou diferença significativa para as camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, sendo estas superiores à camada de 0,2 a 0,4 m (Tabela 9). O tipo de calcário influenciou os teores de Mg somente quando utilizaram-se as doses recomendadas para elevar a saturação por bases a 70% e o dobro, onde o calcário grosso foi superior ao calcário fino, haja vista que o calcário grosso possuía um teor mais elevado de MgO (Tabela 12). A análise de regressão para os níveis de dose foi ajustada linearmente, ocorrendo semelhança nas profundidades de 0 a 0,1 e 0,2 a 0,4 m. Para a camada de 0,1 a 0,2 m não houve ajuste (Tabela 13). O uso do gesso provocou redução significativa nos teores de Mg trocáveis na superfície (0 a 0,1 m), como consequência, aumentou os teores do mesmo nas camadas subsuperficiais, evidenciando dessa forma a lixiviação do Mg para camadas inferiores do perfil (Tabela 16). WADT & WADT (1999) observaram intensa lixiviação de K^+ e Mg^{2+} , com a aplicação de sulfato de cálcio, embora não tenha sido percebida pela análise dos teores destes cátions na forma trocável. Também CAIRES et al. (1998) constataram, após oito meses da aplicação de gesso, lixiviação de magnésio das camadas superficiais para as mais profundas. Os mesmos autores ressaltaram que, a maior lixiviação de magnésio ocorreu na presença de calcário, ou

seja, quando houve maiores teores de magnésio trocável no solo, e quanto maior a quantidade de CaSO_4 aplicada (SILVA et al. 1998), maior foi a movimentação de magnésio em profundidade. O calcário grosso causou aumentos nos teores de Mg nas profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, não se verificando diferença entre os calcários na profundidade de 0,2 a 0,4 m (Tabela 17).

4.1.6. Potássio

Verifica-se através da tabela 7 que os teores de K trocável foram aumentados significativamente em todas as épocas com o uso do gesso. Em todas as épocas avaliadas obteve-se diminuição dos teores de K trocável com o aumento da profundidade (Tabela 9). Para o potássio, essa redução pode estar associada, talvez pela possível lixiviação desse elemento monovalente, a qual depende dos teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} dos solos. Contudo, RAIJ e CAMARGO (1973), estudando a lixiviação de K em 10 solos, constataram que a melhor relação entre cátions lixiviados e cátions trocáveis foi obtida quando, nos dois casos, usou-se a expressão $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$, significando que as perdas de K são menores para menores teores de K trocáveis. PAVAN (1981) relatou que o menor teor de K e Mg, provocado pelo uso do gesso em ausência de calagem, reflete lixiviação de bases. Assim, a combinação das práticas de calagem e gessagem, ao elevarem os teores de Ca e Mg no solo, contribuem para perdas menores de K. Ressalta-se que, a lixiviação de bases em solos tropicais é um processo constante, que deve ser controlado através de práticas adequadas (RAIJ e CAMARGO, 1973). A utilização de gesso, conquanto não aumente a CTC dependente de pH, pode deslocar K e Mg e causar perdas desses cátions por lixiviação. Esse efeito pode ser atenuado pela associação do gesso com calcário, onde a calagem aumenta a CTC do solo, com liberação de cargas dependentes de pH (GUIMARÃES, 1986). WADT & WADT (1999) obtiveram, com a aplicação de carbonato de cálcio tanto isolada como em mistura com sulfato de cálcio, diminuição da movimentação descendente de K^+ em níveis mais baixos que na testemunha, não afetando o Mg^{2+} . Segundo DEFELIPO & BRAGA (1983), a liberação de cargas negativas dependentes de pH e a maior facilidade do K em substituir o Ca que o Al no complexo sortivo de troca, explicam o aumento da adsorção de potássio na presença de calagem. Dados de diminuição de Mg e K da camada arável foram observados por QUAGGIO et al. (1982b), em função da aplicação do gesso combinada com a aplicação de calcário. O tipo de calcário influenciou os teores de K trocáveis somente quando não se utilizou gesso, sendo que os maiores teores foram encontrados quando da aplicação de calcário fino (Tabela 15). WADT

& WADT (1999) explicam a maior retenção de K^+ como a incapacidade do Ca^{2+} em expulsar o Mg^{2+} e o K^+ , talvez devido à baixa solubilidade do carbonato de cálcio, a qual limita o aumento da atividade de Ca^{2+} na solução do solo, tornando pouco efetivo seu poder de troca por ação de massa e, a diminuição da atividade dos prótons pela presença de carbonato, liberando os sítios de troca.

4.1.7. Alumínio

O uso do gesso provocou redução significativa nos teores de Al trocável em todas as épocas, exceto para a época E3 na qual não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 7). Essa redução nos teores de Al deveu-se provavelmente à reações de precipitação, principalmente como sulfatos básicos de alumínio (YAMADA, 1988). Portanto, as reduções no teor de alumínio trocável com a adição de gesso, observadas por inúmeros autores (PAVAN et al., 1984; SUMNER et al., 1986; CHAVES et al., 1988) podem então estar relacionadas à precipitação do alumínio com o sulfato. CAIRES et al. (1998) constataram, após oito meses da aplicação de gesso, redução nos teores de alumínio trocável em todo o perfil do solo. Segundo WADT (2000), havendo predomínio de superfícies com potencial eletropositivo, o sulfato tende a ser preferencialmente adsorvido por estas superfícies; havendo predomínio de superfícies com potencial eletronegativo e elevados teores de Al trocável, a principal reação do sulfato passa a ser de precipitação com o alumínio. Em meio ácido o Ca^{2+} dissociado do gesso desloca Al^{3+} para a solução do solo onde se combina com SO_4^{2-} , formando o par iônico $AlSO_4^+$, que não é tóxico e apresenta alta mobilidade no perfil do solo. Portanto, associa-se essa diminuição nos teores trocáveis e na saturação por alumínio à presença do ânion acompanhante, SO_4^{2-} (PAVAN et al., 1984). Desse modo, a redução da saturação por Al^{3+} no complexo de troca, aumenta a quantidade de Ca^{2+} , garantindo dessa forma o desenvolvimento do sistema radicular em maior profundidade como citado por MALAVOLTA et al., 1986. Também PAVAN (1981) cita ainda, que o gesso pode deslocar grupamentos OH^- das superfícies das argilas, os quais reagem com Al^{3+} , produzindo $Al(OH)_3$. Na primeira época de amostragem, como apresentado na tabela 9, os teores de Al foram maiores para a camada de 0,2 a 0,4 m, não havendo diferenças significativas para as profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, enquanto que para a época E2, observou-se teores de Al significativamente inferiores na superfície seguido de resultados estatisticamente não diferentes para as profundidades de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m, os quais acompanharam os teores

de matéria orgânica do solo podendo ter havido formação, segundo MIYAZAWA et al. (1992), de complexos Al-ácido orgânico que são menos tóxicos do que as formas iônicas de Al^{3+} e pela própria reação dos materiais aplicados ao solo. Já para as demais épocas E3, E4 e E5 os teores encontrados foram estatisticamente superiores com o aumento da profundidade. WADT (2000) comentou que as diminuições nos teores de Al trocável estiveram relacionadas à neutralização da acidez do solo, quando da combinação $CaCO_3 + CaSO_4$. Resultados semelhantes foram obtidos por BORGES et al., (1997), quando utilizaram o dobro da necessidade de calagem ($4,062 \text{ t.ha}^{-1}$) combinado ao gesso ($1,43 \text{ t.ha}^{-1}$) observando decréscimo nos teores de Al. Cabe ressaltar que, tanto a correção da acidez como a adição de Ca em profundidade são muito pequenas quando o calcário foi aplicado na superfície. O efeito pode ser observado somente a médio e longo prazos. Tais efeitos têm sido mais evidentes com aplicação de altas doses ou utilizando calcário com grânulos menores, geralmente mais solúveis (SOPRANO, 1986). Porém, a aplicação de calcário na camada arável em dose maior do que a recomendada pode ocasionar, além de sérios problemas de desbalanceamentos de bases trocáveis (Ca, Mg, K) deficiências de micronutrientes e fósforo (LOPES, 1983). O uso de doses crescentes de calcário e doses de calcário na profundidade de 0 a 0,1 m apresentou ajuste linear para os teores de Al, enquanto que para as profundidades de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m não se obteve-se ajuste (Tabela 13). Como a solubilidade do alumínio diminui com o aumento de pH, para valores de pH acima de 5,5 - 6,0 (até 8,0), a solubilidade do Al, é mínima, sendo o nível de alumínio na solução do solo dependente do pH do solo, da saturação do alumínio, do teor de matéria orgânica e da presença de outros íons na solução do solo (ALVAREZ et al., 1996). O uso de diferentes calcários apresentou diferença de comportamento apenas na ausência de gesso, onde o calcário grosso foi mais eficiente na redução do Al trocável (Tabela 15). Com isso, nesse caso, fica claro que quando se aplicou gesso, o tipo de calcário não interferiu na redução da toxidez do Al no solo. Na profundidade de 0 a 0,1 e 0,2 a 0,4 m não houve influência do tipo de calcário na redução do teor de Al trocável, sendo observado efeito diferenciado na camada de 0,1 a 0,2 m na qual o calcário grosso apresentou maior eficiência (Tabela 17). O Al^{3+} é retido eletrostaticamente nos colóides do solo como minerais de argila e matéria orgânica do solo, e sua atividade na solução do solo é diminuída. A forma monomérica de Al na solução do solo depende do pH. Com valores de pH abaixo de 4,7, predomina a forma Al^{3+} (SPARKS, 1995). Entre pH de 4,7 e 6,5 a espécie predominante é $Al(OH)_2^+$ e de pH 6,5 para 8,0 predomina a espécie primária $Al(OH)_3^0$. De pH 4,7 para 7,5 a solubilidade do Al é diminuída. Esta é a faixa de pH onde o Al está precipitado e permanece como $Al(OH)_3^0$. Muito do Al é possível estar complexado

com espécies inorgânicas assim como SO_4^{2-} ou com espécies orgânicas assim como substâncias húmicas e ácidos orgânicos (SPARKS, 1995). Por exemplo, WOLT (1981) observou que o Al^{3+} compreende 2 a 61% do Al total na solução de solos ácidos onde o SO_4^{2-} foi o maior ligante complexando. SALET et al. (1999) estimando a especiação e atividade do alumínio na solução de um Latossolo Vermelho Distrófico típico submetido a dois sistemas de manejo, durante oito anos, encontraram como forma predominante do alumínio, na faixa de pH 5,4 – 5,5, o íon $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, sendo a quantidade de alumínio complexada por ligantes orgânicos de 70 e 49% no plantio direto e convencional, respectivamente. O ânion bicarbonato seria responsável, também, pela neutralização do alumínio na camada subjacente (MARTINS, 1998; WADT, 1991). De acordo com SPARKS (1995) o conteúdo de matéria orgânica de horizontes superficiais aumentado devido à práticas de não revolvimento do solo, sendo bastante altos (4 a 5%). PAVAN et al. (1984) indicam que com a aplicação de gesso ocorre complexação do Al pelo sulfato, formando o par iônico AlSO_4^+ , o qual é responsável pela redução do Al na solução em até 50%. Com a aplicação de sulfato de cálcio WADT (2000) observou diminuições nos teores de Al trocável na camada de 0 a 0,05 m, não afetando, entretanto, o teor de alumínio na camada de 0,2 a 0,25 m, embora em ambas as profundidades este tratamento tenha sido efetivo em promover aumentos no teor de cálcio trocável.

4.1.8. Acidez Potencial

Na primeira época, os maiores valores de H+Al obtidos foram na profundidade de 0,2 a 0,4 m; as profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m não diferiram estatisticamente. Já na segunda época, o teor de H+Al aumentou significativamente com a profundidade. Para a época E3, os menores valores foram para a profundidade de 0,1 a 0,2 m, seguido da profundidade de 0 a 0,1 e 0,2 a 0,4 m. Para as épocas E4 e E5 os teores de H+Al obedeceram a ordem 0,1 a 0,2 = 0,2 a 0,4 m > 0 a 0,1 m e 0,2 a 0,4 = 0,1 a 0,2 > 0 a 0,1 m (Tabela 10). O uso isolado do gesso causou redução significativa nos teores de H+Al, sendo que para as combinações de gesso e calcário em doses crescentes não afetaram este atributo (Tabela 11). Obteve-se ajuste linear decrescente para os níveis de calcário e níveis de calcário na profundidade de 0 a 0,1 m (Tabela 14). O tipo de calcário influenciou os valores de H+Al; o uso isolado de calcário foi mais eficiente quando da aplicação do calcário grosso. Já para as combinações de calcário fino e gesso obteve-se menores valores de H+Al (Tabela 15).

Também NATALE & COUTINHO (1994) verificaram menores valores de $H+Al$ à medida que diminuiu o tamanho da partícula de corretivo empregado. Isso decorre do fato de as menores frações promoverem uma elevação mais rápida do valor de pH do solo, o qual tem correlação inversa com a acidez potencial (QUAGGIO, 1983). Quanto ao efeito do gesso nas diferentes profundidades, somente houve efeito na camada de 0 a 0,1 m (Tabela 16).

4.1.9. Soma de Bases

O gesso provocou aumentos significativos nos valores de SB do solo em todas as épocas, níveis de calcário utilizados, tipos, aplicação de gesso, causando ainda aumentos em todas as profundidades analisadas (Tabelas 7, 10, 14, 16 e 17). Considerando-se que a aplicação de gesso promove a liberação das formas químicas Ca^{2+} , SO_4^{2-} e $CaSO_4^0$, isto explicaria o aumento no valor de soma de bases (SB), a qual está relacionada à neutralização do Al^{3+} , que por consequência diminuiu sua saturação no complexo sortivo e, aumenta a saturação por bases. Para a época E1, os maiores valores de SB encontrados foram para a camada de 0,1 a 0,2 m, seguido da profundidade de 0 a 0,1 e 0,2 a 0,4 m. Para as demais avaliações, os teores diminuíram com profundidade (Tabela 10). O tipo de calcário influenciou apenas quando se utilizou o dobro da dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70% (Tabela 12). Através da análise de regressão obteve-se ajuste linear crescente para as doses de calcário na profundidade de 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m (Tabela 14). O calcário grosso provocou aumentos nos valores de SB até a profundidade de 0,1 a 0,2 m, quando comparado ao calcário fino, não havendo influência do tipo de calcário para a profundidade de 0,2 a 0,4 m (Tabela 17).

4.1.10. Capacidade de Troca de Cátions Efetiva

Para os níveis de doses de calcário nas épocas E1, E2, E3, E4 e E5 e, nas profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m obteve-se ajuste linear para os valores de capacidade de troca de cátions efetiva, exceto na E4 onde o ajuste foi quadrático (Tabelas 6 e 13). WADT (2000) também obteve aumento da CTCe com aplicação de carbonato de cálcio, o qual está



intimamente relacionado ao aumento do pH do solo e à liberação de sítios de troca originalmente ocupados por hidrogênio e/ou alumínio, tendo este processo resultado da possível precipitação do alumínio e na diminuição da acidez ativa, da acidez trocável e da acidez potencial. O uso do gesso provocou aumento significativo nos valores de CTCe em todas as épocas, quando usado isoladamente e combinado com doses crescentes de calcário e, em todas as profundidades avaliadas como pode ser verificado nas tabelas 7, 10, 11 e 16 respectivamente, corroborando os resultados de SING (1982 e 1984), PAVAN et al. (1984) e MORAIS et al. (1976), os quais demonstraram que, após a aplicação de gesso, em solos ácidos, ocorreram reações de precipitação e dissolução, causando variações na CTCe. WADT (2000) obteve aumentos da CTCe em subsuperfície (0,2 a 0,25 m) com a aplicação de sulfato de cálcio, ocorrendo independentemente de aumentos no pH, uma vez que a maior CTCe não se deu em detrimento da acidez potencial, sendo atribuídos à geração de novos sítios de adsorção de cátions, oriundos da adsorção específica do ânion sulfato que, ao transferir sua carga à superfície do adsorvente, geraria novos sítios para adsorção de cátions, promovendo assim os aumentos observados na CTC e CTCe. Na primeira época de avaliação, os valores encontrados foram maiores na profundidade de 0,1 a 0,2 m diferindo da profundidade de 0,2 a 0,4 m. A profundidade de 0 a 0,1 m foi estatisticamente semelhante as demais profundidades. Para as épocas E2, E3 e E5 os valores de CTCe encontrados diminuíram com a profundidade. Já para a época E4, encontraram-se valores significativamente maiores de CTCe na profundidade de 0 a 0,1 m. As profundidades de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m não diferiram estatisticamente (Tabela 10). O tipo de calcário influenciou os valores de CTCe tal como: o calcário grosso na 0.5 e 2.0 NC foi superior ao calcário fino 0,5 e 2,0 NC (Tabela 12). Para a dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70% não houve influência do tipo de calcário nos valores de SB. Quando do uso de diferentes calcários na ausência do gesso não se verificou diferença significativa, porém, com a combinação de calcário e gesso, o calcário grosso foi mais eficiente em aumentar a CTCe que o calcário fino (Tabela 15). Quanto à profundidade, o calcário grosso apresentou melhor eficiência em aumentar a CTCe até a profundidade de 0,1 a 0,2 m, ficando restrito o efeito até essa profundidade. Na profundidade de 0,2 a 0,4 m os valores de CTCe foram independentes do tipo de calcário utilizado (Tabela 17).

4.1.11. Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0 (T)

No que diz respeito à distribuição da T em profundidade ao longo do tempo (épocas), assim como para matéria orgânica, na primeira época (E1) a camada de 0,1 a 0,2 m (Tabela 10) apresentava valores superiores de T quando comparada às demais profundidades. Já para a E2 observou-se aumento destacado da T na superfície e valores semelhantes para as camadas de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m. Estudos efetuados por ALFAIA (1988) confirmam que houve aumento da CTC através da deposição de materiais orgânicos na camada superficial do solo, a qual, está diretamente relacionada com o pH do meio e principalmente com o teor de carbono orgânico existente no solo. Nas demais avaliações (E3, E4 e E5) a T apresentou diminuição significativa com o aumento da profundidade. O tipo de calcário não influenciou nos valores de T do solo com o uso de 0,5 e 1,0 NC. Contudo, quando se aplicou o dobro da dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70%, obteve-se um acréscimo significativo na T quando do uso de calcário grosso (Tabela 12). Ainda com relação ao tipo de calcário utilizado, verificou-se também aumento significativo na T quando da associação de calcário grosso com gesso. Obteve-se ajuste linear para doses de calcário, doses de calcário na profundidade de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, não havendo ajuste para a profundidade de 0,2 a 0,4 m (Tabela 14). WADT (2000) obteve aumento na CTC pH 7,0 com a aplicação de carbonato de cálcio em amostras de solo de pastagem. O aumento da capacidade de troca catiônica, ocorreu provavelmente pela neutralização dos H ionizáveis presentes na matéria orgânica, provocando o aparecimento de cargas negativas na superfície desta, pela adição de calcário, as quais são neutralizadas predominantemente pela adsorção eletrostática de Ca e Mg proveniente da dissolução do CaCO_3 (VOLKWEISS, 1989). Lembrando-se que, com a adição de sais ao solo, dependendo da valência do contra-íon e da concentração salina da solução, há possibilidade de formação simultânea de cargas positivas e negativas (RAIJ e PEECH, 1972) citados por SOUSA & RITCHEY (1986). Essa elevação do pH dos solos pela calagem, portanto, aumenta a CTC efetiva e os teores de Ca e Mg trocável (VOLKWEISS, 1989). O gesso aumentou significativamente a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (Tabela 16) em todas as profundidades estudadas (0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m).



4.1.12. Saturação por Bases (V%)

Em todas as épocas estudadas e quando combinado com a aplicação de gesso e com as doses de calcário (Tabelas 7 e 11) o uso do gesso provocou aumentos significativos dos valores de saturação por bases (V%). Para a época E1 a V% nas profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m não diferenciou estatisticamente (Tabela 10), porém, foram superiores à camada de 0,2 a 0,4 m. Para as demais épocas estudadas houve diferença significativa entre as profundidades, sendo a saturação por bases diminuída ao longo do perfil. Pela análise de regressão apresentada na tabela 14, obteve-se ajuste linear dos valores de V% para as doses de calcário e doses de calcário nas profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m. Assim, WADT & WADT (1999) obtiveram aumento no valor de V% quando da aplicação de carbonato e sulfato de cálcio, sendo maior com aplicação de maiores quantidades de carbonato (3,2 g $\text{CaCO}_3 \text{ kg}^{-1}$ solo) e, SILVA et al. (1997) obtiveram melhorias nas condições químicas de subsuperfície, devido à calagem, embora inferior à gessagem; observando certa percolação do Ca e do Mg até à profundidade de 0,4 a 0,6 m, com conseqüentes aumentos do V%. As alterações nos valores de saturação por bases (V%) e alumínio (m%), são dependentes, pois existe uma relação entre as mesmas, onde para um valor de saturação por bases em torno de 50%, a saturação por Al aproxima-se de zero (RAIJ, 1991). Cabe ressaltar que, solos ricos em óxidos hidratados de Fe e Al apresentam valores de pH mais elevados, para os valores correspondentes de saturação por bases (V%) e o Al pode estar ausente a valores de saturação por bases menores (RAIJ, 1991). Como a saturação por bases é muito variável para os solos, encontrando-se relações diretas com o pH, ou seja, ao aumentar-se o valor de pH do solo eleva-se a proporção de bases no complexo de trocas, e reduz-se a proporção de Al e H, o aumento linear na saturação por bases, provocou também redução de forma linear nos atributos acidez potencial, alumínio trocável, bem como sua saturação. As proporções de Ca^{2+} e Al^{3+} no complexo de troca também apresentam proporções igualmente estabelecidas, ao aumentar um, diminui o outro. Também o Al trocável apresenta dependência do pH e sua participação no sistema iônico, diminui a valores de pH altos (FASSBENDER, 1978). Quanto ao tipo de calcário utilizado, obteve-se aumento destacado de V% apenas quando do uso de calcário grosso na ausência de gesso (Tabela 15). Nas profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m o calcário grosso também proporcionou valores superiores para V% enquanto que, para a profundidade de 0,2 a 0,4 m não houve influência do tipo de calcário (Tabela 17).



4.1.13. Saturação por Alumínio (m%)

Na tabela 7 verifica-se que em todas as épocas estudadas o uso do gesso provocou redução na saturação por Al (m%). Na época E1 os maiores valores de m% encontraram-se na profundidade de 0,2 a 0,4 m (Tabela 10), enquanto que as demais foram estatisticamente semelhantes. Nas posteriores avaliações a m% apresentou valores superiores com a profundidade. Quando do uso do gesso na ausência de calcário ocorreu diminuição da m% em mais de 50%. Para as combinações de gesso e calcário (0,5, 1,0 e 2,0 NC) também houve redução da m% (Tabela 11). As doses de calcário na profundidade de 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m foram ajustadas a uma equação linear crescente (Tabela 14). Quanto ao tipo de calcário utilizado, ficou clara a superioridade do calcário grosso em diminuir a saturação por Al no complexo de troca, inclusive na profundidade de 0,1 a 0,2 m, na qual houve diferença significativa quando comparado ao calcário fino (Tabela 17).

4.1.14. Enxofre (SO_4^{2-})

Na tabela 7 consta o desdobramento da interação gesso dentro das diferentes épocas de avaliação da fertilidade do solo, na qual pode se observar que os teores de S-SO_4^{2-} apresentaram-se estatisticamente superiores quando da aplicação de 1500 kg ha^{-1} de gesso em todas as épocas avaliadas. BOLAN et al. (1988) observaram diminuição do número de sítios disponíveis para a adsorção de sulfato com a adição de carbonato de cálcio. Portanto, a adição de ânions carbonato favoreceria a movimentação do sulfato no solo, por diminuir-lhe a retenção. Observa-se através da análise das épocas que os teores de S-SO_4^{2-} no solo apresentaram uma redução com o tempo, tanto na ausência como presença do gesso (Tabela 7). Esta diminuição onde se aplicou gesso foi devida provavelmente às características das camadas superficiais do solo (QUAGGIO, 2000), onde o íon H_2PO_4^- tem adsorção preferencial em relação ao SO_4^{2-} e, por isso, o P se acumula na camada “arável” empurrando o SO_4^{2-} para profundidades maiores que as avaliadas (0,2 a 0,4 m). Na primeira avaliação da fertilidade do solo (E1) realizada três meses após a aplicação do gesso já se verificaram aumentos nos teores de S-SO_4^{2-} na camada subsuperficial (Tabela 10). Este comportamento estendeu-se durante as demais épocas de amostragem. Ressaltando-se, porém, que houve uma tendência de diminuição nos teores com o tempo. Nas épocas E1 e E2 houve diferença significativa para as profundidades, onde a camada de 0 - 0,1 m sempre apresentou os

menores teores seguidos das camadas 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m. Já para as épocas E3, E4 e E5, respectivamente 12, 17 e 21 meses, a camada de 0,1 m apresentou o menor teor de $S-SO_4^{2-}$ sendo estatisticamente diferente enquanto que para as camadas de 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m não houve diferença significativa. Independente da aplicação de gesso, os teores de $S-SO_4^{2-}$ tenderam a aumentos com a profundidade obedecendo à seqüência $0,2 - 0,4 > 0,1 - 0,2 > 0 - 0,1$ m, sendo estatisticamente significativo. Isto porque, em condições tropicais, existem solos que possuem cargas variáveis com o pH, os quais quando ácidos, possuem carga líquida positiva já em profundidades de 0,2 - 0,3 m. Quando isso ocorre, há forte retenção de ânions, dificultando a movimentação no perfil, principalmente em horizontes subsuperficiais que, por conter menor teor de matéria orgânica, exibe grande quantidade de cargas positivas (QUAGGIO, 2000). Nessas condições, a aplicação de sais neutros tem efeito residual mais prolongado. Nesses casos, a reação é de simples troca iônica com a superfície de óxidos de ferro, de alumínio e de algumas estruturas da caulinita. Contudo, com a aplicação de gesso, os teores foram superiores quando comparados com a não aplicação de gesso (Tabela 16).



4.2. Resultados das Avaliações de Plantas

Na tabela 18 encontram-se as análises de variância referente à altura de plantas, número de ramos, número de maçãs, massa de 10 capulhos, massa de 100 sementes, matéria seca da parte aérea da planta e produtividade de algodão em caroço, na qual se observa efeito significativo das épocas de cultivo para altura de plantas, número de ramos, massa de capulhos, massa de 100 sementes, produção de matéria seca e produtividade. Quanto às doses de calcário somente se verificou efeito significativo para a produção de matéria seca. O uso do gesso provocou efeito também significativo para altura de plantas, produção de matéria seca e produtividade. As interações épocas de cultivo dentro de gesso e gesso dentro de tipos de calcário apresentaram efeito significativo para massa de 10 capulhos e produtividade e, para altura de plantas e produtividade de algodão em caroço, respectivamente.

4.2.1. Produtividade de algodão em caroço

Verifica-se que a produtividade foi significativamente influenciada pela época (ano agrícola), uso do gesso, época de cultivo dentro de gesso e tipo de calcário dentro de gesso. A produtividade foi superior no segundo ano agrícola quando não se utilizou gesso. Já para os tratamentos caracterizados pela aplicação de 1500 kg ha^{-1} de gesso as épocas não diferiram estatisticamente, porém, observou-se tendência de aumento na produtividade no segundo ano agrícola, o que pode estar relacionado à pequenas variações das condições climáticas do local do experimento, tempo de reação do calcário aplicado bem como do gesso (Tabela 18). Neste contexto, SILVA et al. (1997) em primeiro ano de estudo com algodão observaram aumento médio de produção entre 10 e 16% proporcionado pelo uso do gesso. O tipo de calcário não influenciou a produtividade de algodão em caroço, tanto na ausência como presença de gesso. Para os níveis de calcário a análise de regressão para produtividade ajustou-se a um modelo quadrático, sendo a máxima eficiência técnica de calcário estimada de 1,0 NC a qual corresponde à necessidade de calcário calculada para elevar a saturação por bases a 70% (Figura 15). Em estudos recentes SILVA (1999) procurou avaliar o potencial de produção do algodoeiro em função da saturação por bases do solo. Por exemplo, em experimento conduzido durante cinco anos sucessivos, em um Latossolo Roxo de Guaíra, SP, observou que a produção relativa do algodoeiro acompanhou o aumento dos valores de V% advindos da



Tabela 18. Quadrados médios referentes aos componentes de produção da cultura do algodão sob diferentes épocas e tratamentos.

Causas de Variação	Altura Plantas	Nº Ramos	Nº Maças	Massa de 10 capulhos	Massa de 100 sementes	Matéria Seca	Produtividade Kg ha ⁻¹
Época	0,3434 **	92,8203 **	9,5703 ns	87,2850 **	75,0312 **	4272,3458 **	1334978,0 **
Dose	0,0048 ns	2,5703 ns	10,8000 ns	1,1340 ns	0,6614 ns	778,7440 *	145840,4270 ns
Gesso	0,1961 **	4,1328 ns	0,9453 ns	0,0007 ns	2,5312 ns	1434,4705 *	1019235,0312 **
Tipo	0,0044 ns	0,6328 ns	0,0703 ns	1,4663 ns	0,2812 ns	74,5725 ns	2467,5312 ns
ExD	0,0010 ns	0,9244 ns	11,7578 ns	0,0540 ns	0,3489 ns	460,0019 ns	143230,7708 ns
ExG	0,0000 ns	0,0703 ns	0,0078 ns	4,7663 **	0,0 ns	375,7224 ns	377146,1250 *
ExT	0,0073 ns	2,2578 ns	0,9453 ns	0,2907 ns	1,1250 ns	194,2913 ns	3362,00 ns
DxG	0,0012 ns	0,5286 ns	3,5078 ns	0,5063 ns	0,4010 ns	600,5178 ns	30913,9687 ns
DxT	0,0027 ns	0,3203 ns	4,2161 ns	0,2273 ns	1,0364 ns	546,2459 ns	15588,8437 ns
GxT	0,0233 *	0,3828 ns	4,1328 ns	0,1582 ns	1,1250 ns	426,6850 ns	407930,2812 *
Blocos	-	-	-	-	-	-	ns
Média	1,10	11,94	12,10	8,20	10,39	76,66	2081,48
CV (%)	6,44	9,73	21,87	9,61	9,24	20,30	14,45

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ns - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.



calagem. Índices inferiores a 20% de saturação por bases, na camada arável, possibilitaram pouco mais da metade da produção máxima de algodão, enquanto o patamar de 90% dessa produção, tido como economicamente suficiente, foi alcançado na faixa de 60% de saturação por bases. Experimentalmente, admite-se que a faixa de menor risco para a cultura esteja entre 60 – 70% de saturação por bases. Para tanto, é recomendado que se aplique calcário para elevar a saturação por bases a 70%, evitando-se dose inferior a 1 t ha⁻¹ (SILVA, 1998). É bom frisar que calagem excessiva é inconveniente por causa da insolubilização e perda de disponibilidade de vários micronutrientes e P devido à elevação demasiada do pH (MELLO et al., 1985). Em trabalho realizado num Latossolo Vermelho textura média do Paraná, CAIRES et al. (2000) encontraram efeito significativo da calagem, com resposta quadrática para a produção acumulada de grãos obtida de uma sucessão de culturas em rotação (soja/milho/soja/trigo/soja/triticale e soja), no período de 1993 a 1998, dependendo da aplicação de calcário na superfície. A dose calculada para obtenção da máxima eficiência econômica seria a recomendada pelo método da saturação por bases para 65%, em amostra de solo coletada na profundidade de 0 a 0,2 m, indicando ser este critério adequado para recomendação de calagem na superfície em SPD, corroborando os resultados obtidos por OLIVEIRA & PAVAN (1996), que observaram maior produção de grãos de soja mediante aplicação da dose de calcário na superfície (5,5 t ha⁻¹) calculada para elevar a saturação por bases do solo a 60%. Esta tendência foi observada também no presente trabalho.

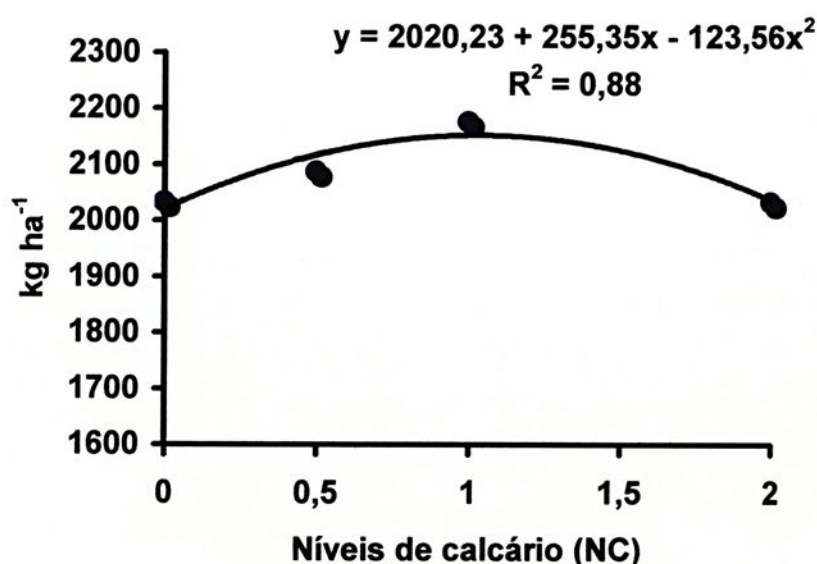


Figura 15. Regressão polinomial para produtividade de algodão em caroço em função dos níveis de calcário utilizados.

4.2.2. Características agronômicas: número de ramos, altura de plantas, massa de capulhos, número de maçãs e massa de 100 sementes

Para o número de ramos nas plantas de algodão obteve-se influência apenas da época (ano agrícola), sendo que o segundo ano (2000/2001) produziu plantas com maior número de ramos quando comparado ao primeiro ano (1999/2000). Os níveis de calcário ajustaram-se a um modelo quadrático sendo o maior número de ramos estimado pelo uso do nível 1,2 NC (Figura 16).

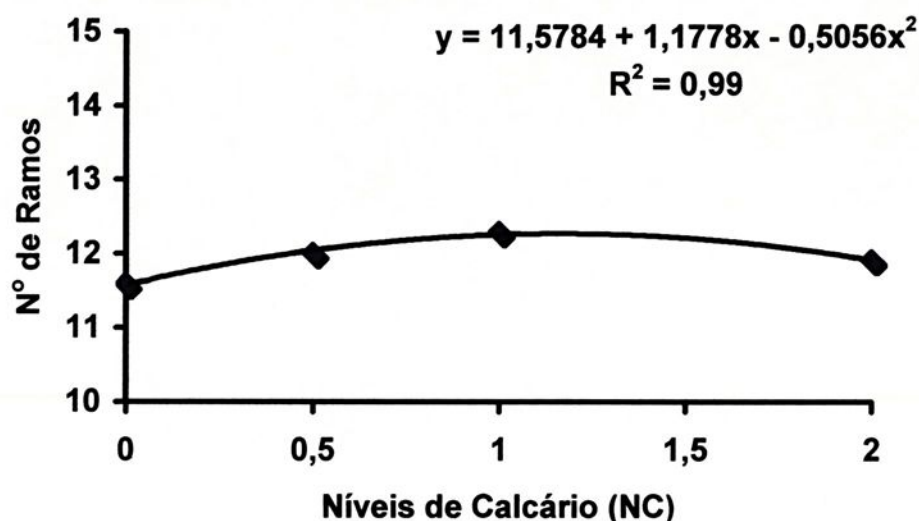


Figura 16. Regressão polinomial para número de ramos em função dos níveis de calcário utilizados.

A altura de plantas foi influenciada pela época (ano agrícola) e tipo de calcário dentro de gesso. Na ausência de gesso o calcário fino provocou aumento significativo na altura das plantas de algodão, não se observando o mesmo com a aplicação de 1500 kg ha⁻¹ de gesso. A massa de 10 capulhos sofreu alteração significativa com a época (ano agrícola) dentro de gesso, onde a maior massa de 10 capulhos foi alcançada no primeiro ano agrícola (1999/2000) independentemente do uso de gesso. Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre o número de maçãs de algodão. Na determinação da massa de 100 sementes de algodão obteve-se diferença significativa somente para épocas de cultivo (ano agrícola), sendo que no segundo cultivo esse componente de produção foi estatisticamente superior.

4.3. Avaliação dos teores de macronutrientes na análise foliar

Na tabela 19 estão apresentadas as análises de variância para N, P, K, Ca, Mg e S das análises foliares de algodão, na qual verifica-se efeito significativo das épocas de cultivo dentro de doses e tipos de calcário para o N; épocas de cultivo e uso de gesso para o P; épocas de cultivo, doses de calcário e gesso dentro de tipos de calcário para o K; épocas de cultivo e doses de calcário dentro de tipos de calcário e épocas de cultivo dentro de doses de calcário; épocas de cultivo dentro de gesso, doses de calcário e gesso dentro de tipos de calcário para Mg e; épocas de cultivo, gesso e tipos de calcário para S.

4.3.1. Nitrogênio na planta

Verificou-se influência do tipo de calcário nos teores foliares de nitrogênio somente no segundo ano de cultivo, sendo que o calcário grosso proporcionou valores superiores deste elemento. Contudo, estes teores estiveram um pouco aquém dos preconizados por MALAVOLTA et al. (1997). Para os teores de nitrogênio foliar em função das doses de calcário utilizadas obteve-se ajuste cúbico.

4.3.2. Fósforo na planta

Os teores de fósforo encontrados em tecidos foliares de algodão foram considerados adequados para ambos anos de cultivo, conforme MALAVOLTA et al. (1997). Porém, no segundo ano de cultivo (2000/2001) observaram-se teores superiores quando comparados ao primeiro (1999/2000). Como a concentração média de fósforo na solução do solo é de cerca de $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$ variando amplamente entre os solos e as plantas absorvem este elemento predominantemente através das espécies iônicas ortofosfatos (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}) presentes na solução do solo, a quantidade de cada forma presente depende do pH (TISDALE, 1993). Dessa forma, atribui-se ao aumento nos teores foliares de P à elevação do pH do solo provocado pelo uso do calcário e do gesso, pois este também proporcionou aumentos nos teores de fósforo observados através da análise foliar.



Tabela 19. Quadrados médios referentes aos teores de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S em g kg⁻¹ de matéria seca encontrados na análise foliar da cultura do algodão sob diferentes épocas e tratamentos.

Fontes de Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
Época	1018,1328 **	463,2207 **	16290,1250 **	45602,0000 **	28,1250 **	11,2812 **
Dose	11,9036 ns	0,8125 ns	31,3437 ns	6573,7604 **	0,8125 ns	0,2708 Ns
Gesso	20,3203 ns	15,3319 **	42,7812 ns	712,5312 ns	13,7812 **	32,0000 **
Tipo	46,3203 ns	0,3300 ns	24,5000 ns	2520,5000 *	7,0312 **	1,5312 *
ExD	40,9036 *	0,4365 ns	30,0208 ns	3552,2708 **	0,3125 ns	0,0520 Ns
ExG	11,8828 ns	0,5913 ns	6,1250 ns	741,1250 ns	3,7812 **	0,2812 Ns
ExT	48,7578 *	0,1313 ns	0,0312 ns	3633,7812 **	0,0312 ns	1,1250 Ns
DxG	21,5911 ns	0,5994 ns	62,6354 ns	659,9687 ns	0,3020 ns	0,1041 Ns
DxT	13,6328 ns	1,0679 ns	183,5625 **	3942,4791 **	6,0937 **	0,0937 Ns
GxT	31,0078 ns	0,4632 ns	351,1250 **	1176,1250 ns	10,1250 **	0,7812 Ns
Blocos	-	-	-	-	-	-
Médias Gerais	29,117	4,525	29,984	79,953	4,187	5,875
CV (%)	12,14	18,41	16,41	27,69	17,64	9,39

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ns - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.



4.3.3. Potássio na planta

Através da análise dos tecidos foliares de algodão observaram-se teores de potássio estatisticamente superiores no segundo ano de cultivo, ressaltando-se que em ambos os anos os teores foram considerados adequados como preconizado por MALAVOLTA et al. (1997). Quando utilizado os diferentes tipos de calcário na ausência de gesso, verificaram-se aumentos nos teores de K com o uso de calcário grosso. Quando do uso de 0,5 NC de calcário fino obtiveram-se os maiores teores de K. Já para a dose 1,0 NC o calcário grosso destacou-se e, quando se usou o dobro da dose recomendada não houve diferença estatisticamente significativa. Os teores de K foliar ajustaram-se a um modelo linear decrescente (Figura 17) com o aumento nos níveis de calcário, o que pode ser explicado pelo aumento da concentração de Ca na solução do solo provocando diminuição na absorção de K devido ao efeito antagônico do Ca sobre o K (MALAVOLTA et al., 1997). De forma geral, os teores de K encontrados sempre estiveram acima do recomendado pela literatura.

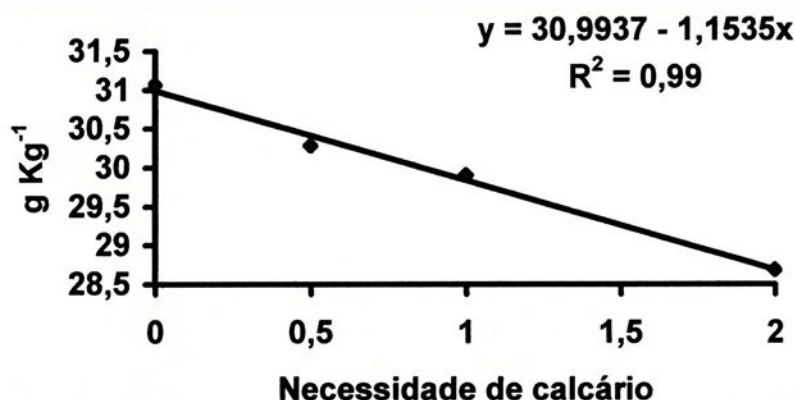


Figura 17. Equação de regressão para K em tecido foliar de algodão

4.3.4. Cálcio na planta

No desdobramento da interação tipos de calcário dentro de épocas de cultivo pode-se verificar que o calcário fino proporcionou aumentos nos teores foliares de Ca no segundo ano de cultivo. Para o uso de diferentes doses de calcário observou-se superioridade nos teores de Ca foliar com o uso de 0,5 NC de calcário fino. Em função das doses de calcário utilizadas os teores de Ca ajustaram-se a uma função quadrática (Figura 18), sendo os maiores teores

estimados pelo modelo obtido através do uso de 0,97 NC, o que é praticamente a quantidade recomendada para elevar a saturação por bases a 70%. Para o segundo ano de cultivo também houve ajuste para doses de calcário (Figura 19) sendo o teor foliar máximo de Ca estimado com o uso de 0,95 NC. SILVA et al. (1997) destacaram que o efeito da calagem sobre as concentrações foliares de Ca e de Mg, no algodoeiro, não acompanhou precisamente os aumentos detectados nas análises de solo. O uso do gesso provocou aumentos nos teores de Ca foliar porém não foram considerados estatisticamente diferentes. Também SILVA et al. (1997) obtiveram aumentos da concentração foliar de Ca com a gessagem em dois anos de cultivo de algodão. Para todos os tratamentos os teores de Ca estiveram dentro do teor adequado segundo MALAVOLTA et al. (1997).

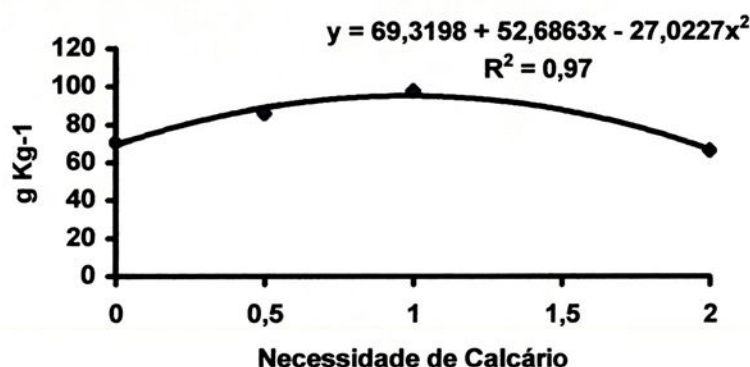


Figura 18. Equação de regressão para Ca em tecido foliar de algodão em função das doses de calcário utilizadas.

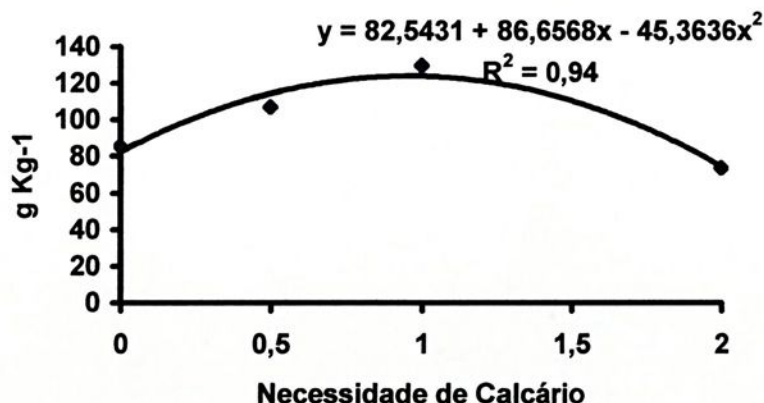


Figura 19. Equação de regressão para Ca em tecido foliar de algodão em função das doses de calcário utilizadas no segundo ano de cultivo.

4.3.5. Magnésio na planta

Somente houve influência do tipo de calcário nos teores foliares de magnésio quando se usou calcário grosso associado ao gesso, cuja combinação provocou aumento significativo

para este elemento, atingindo dessa forma a faixa considerada adequada por MALAVOLTA et al. (1997), sendo atribuído a este aumento o maior teor de MgO do respectivo calcário. Quanto às doses de calcário utilizadas, também o calcário grosso proporcionou teores superiores de Mg quando usado o dobro da necessidade de calcário para elevar a V% a 70, discordando de SILVA et al. (1997), os quais destacaram que o efeito da calagem sobre as concentrações foliares de Mg no algodoeiro não acompanhou precisamente os aumentos detectados nas análises de solo. No segundo ano de cultivo o gesso reduziu os teores de Mg nos tecidos foliares de algodão, porém, essa redução não ultrapassou o limite inferior da faixa adequada preconizada por MALAVOLTA et al. (1997).

4.3.6. Enxofre na planta

Quando da aplicação de 1500 kg ha^{-1} de gesso obteve-se aumento nos teores de S no tecido foliar de algodão, o que já era esperado, pois o gesso possui 18,6% de enxofre (RAIJ, 1988) e o teor de S-SO_4^{2-} no solo encontrado foi considerado adequado, concordando com os dados obtidos por SILVA et al. (1997) os quais encontraram efeito positivo do gesso na concentração de enxofre foliar. De forma generalizada, os teores foliares de enxofre encontrados estão dentro da faixa ideal segundo MALAVOLTA et al. (1997).

Nas tabelas 20, 21, 22, 23, 24, 24 e 25 são apresentadas as médias, teste de Tukey e equações de regressão, referentes aos desdobramentos das interações tipos de calcário, gesso e níveis de calcário dentro de épocas; níveis de calcário dentro de tipos de calcário e gesso. Nas tabelas 26 a 31, 32 e 33 encontram-se as correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço versus atributos químicos do solo nas diferentes profundidades de amostragem, produtividade versus teores de macronutrientes em tecido foliar e, produtividade versus componentes de produção, respectivamente, referentes ao primeiro ano de cultivo e nas tabelas 34 a 41 referentes ao segundo ano de cultivo.

Observa-se através da tabela 20 que somente houve influência do tipo de calcário nos teores foliares de N e Ca no segundo ano de cultivo, sendo os teores de N superiores com o uso do calcário grosso e Ca superiores com o calcário fino. O uso do gesso diminuiu os teores foliares de Mg no segundo ano de cultivo (Tabela 21).

Tabela 20. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação tipos de calcário dentro de épocas de cultivo, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão

		N	P	K	Ca	Mg	S
Calcário		g kg ⁻¹					
Época 1	Fino	26,31 a	2,54 ns	18,25 ns	60,18 a	3,46 ns	6,37 ns
	Grosso	26,28 a	2,70 ns	19,15 ns	61,96 a	3,96 ns	5,96 ns
Época 2	Fino	30,71 b	6,40 ns	40,84 ns	108,59 a	4,43 ns	5,59 ns
	Grosso	33,15 a	6,44 ns	41,68 ns	89,06 b	4,87 ns	5,56 ns

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 21. Médias e teste de Tukey, referentes aos desdobramentos da interação gesso dentro de épocas de cultivo, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão

		N	P	K	Ca	Mg	S
Gesso		g kg ⁻¹					
Época 1	0 kg ha ⁻¹	27,00 ns	2,20 ns	17,90 ns	56,31 ns	3,87 a	5,62 ns
	1500 ha ⁻¹	25,59 ns	3,03 ns	19,50 ns	65,84 ns	3,56 a	6,71 ns
Época 2	0 kg ha ⁻¹	32,03 ns	6,15 ns	40,90 ns	98,87 ns	5,15 a	5,12 ns
	1500 ha ⁻¹	31,84 ns	6,70 ns	41,62 ns	98,78 ns	4,15 b	6,03 ns

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na tabela 22 encontram-se as equações de regressão para os níveis de calcário dentro de épocas de cultivo. Os teores de N e Ca ajustaram-se à modelos cúbico e quadrático, respectivamente, onde os maiores teores foliares de Ca estimados pela equação foram obtidos com o uso de 0,95 NC (NC = V a 70%).

Através da tabela 23 pode-se verificar que ocorreram aumentos nos teores de K e redução no Mg quando da combinação de calcário fino com gesso. O uso de 0,5 NC de calcário fino aumentou os teores de K e Ca foliar. Já o calcário grosso provocou aumentos nos teores de K quando da utilização de 1,0 NC. Os teores de Mg somente foram influenciados quando do uso do dobro da dose de calcário grosso recomendada para elevar a V à 70%.

Tabela 22. Equações de regressão referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de épocas de cultivo, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão

		N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
Época 1	0 NC	26,06	2,45	18,56	55,68	3,56	6,06
	0,5 NC	26,81	2,45	18,87	64,37	3,75	6,12
	1,0 NC	25,50	2,69	19,75	65,31	3,75	6,25
	2,0 NC	26,81	2,89	17,62	58,93	3,81	6,25
Época 2	0 NC	33,81 ¹	6,36	43,56	82,54 ²	4,37	5,43
	0,5 NC	30,37	6,28	41,68	114,53	4,75	5,62
	1,0 NC	32,93	6,69	40,06	123,83	4,93	5,56
	2,0 NC	30,62	6,36	39,75	74,40	4,56	5,68

$$^1 y = 33,8125 - 17,1145x + 24,7187x^2 - 8,4791x^3 \quad R^2 = 1,0$$

$$^2 y = 82,5431 + 86,6568x - 45,3636x^2 \quad R^2 = 0,94$$

Tabela 23. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos da interação tipos de calcário dentro de gesso, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão

		N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
Fino	S/Gesso	29,40	4,06	27,31 b	79,00	4,56 a	5,56
	C/Gesso	27,62	4,88	31,78 a	89,78	3,34 b	6,40
Grosso	S/Gesso	29,62	4,29	31,50 a	76,18	4,46 a	5,18
	C/Gesso	29,81	4,86	29,34 a	74,84	4,37 a	6,34

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada época, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 24. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de tipos de calcário, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão

Calcário		N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
Fino	0 NC	29,75	4,37	28,00 b	61,25 b	3,56 b	5,81
	0,5 NC	27,37	4,31	32,18 a	103,31 a	4,50 a	6,06
	1,0 NC	29,31	4,41	28,06 b	103,56 a	4,31 a	6,00
	2,0 NC	27,62	4,79	29,93 a	69,43 a	3,43 b	6,06
Grosso	0 NC	30,12	4,45	34,12 a	79,87 a	4,37 a	5,68
	0,5 NC	29,81	4,41	28,37 b	67,87 b	4,00 a	5,68
	1,0 NC	29,12	4,97	31,75 a	91,37 a	4,37 a	5,81
	2,0 NC	29,81	4,46	27,43 a	62,93 a	4,93 a	5,87

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada dose de calcário, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 25. Médias e teste de Tukey referentes aos desdobramentos da interação doses de calcário dentro de gesso, dos macronutrientes em tecidos foliares de algodão

		N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
S/Gesso	0 NC	29,43	3,86	29,93	73,12	4,31	5,18
	0,5 NC	28,50	4,04	29,31	84,56	4,62	5,43
	1,0 NC	30,25	4,41	31,37	89,12	4,75	5,43
	2,0 NC	29,87	4,39	27,00	63,56	4,37	5,43
C/Gesso	0 NC	30,43	4,95	32,18	68,00	3,62	6,31
	0,5 NC	28,68	4,69	31,25	86,62	3,87	6,31
	1,0 NC	28,18	4,97	28,43	105,81	3,93	6,37
	2,0 NC	27,56	4,86	30,37	68,81	4,00	6,50

Obs.: Letras comuns na vertical, dentro de cada dose de calcário, indicam não diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.4. Análises de correlação simples dos atributos químicos do solo, macronutrientes em tecidos foliares e componentes de produção versus produtividade de algodão em caroço

Observa-se através das tabelas 26 a 33 que para o primeiro ano de cultivo houve correlação positiva entre os teores de P, K e $S-SO_4^{2-}$ do solo da camada de 0 a 0,1 m, K e $S-SO_4^{2-}$ das camadas de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 com a produtividade de algodão em caroço. Para os teores dos elementos em tecido foliar somente houve correlação entre P e S com a produtividade de algodão, sendo esta positiva. A altura de plantas e a massa de capulhos também se correlacionaram com a produtividade de algodão em caroço.

Com relação ao segundo ano de cultivo (Tabelas 34 a 41) houve correlação positiva para os teores de matéria orgânica do solo da camada de 0,2 a 0,4 m, teores de Ca em tecido foliar e número de ramos nas plantas de algodão com a produtividade de algodão em caroço. Também se obteve correlação negativa entre os teores de Al do solo na camada de 0,1 a 0,2 m e produtividade de algodão em caroço.



Tabela 26. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, para o primeiro ano de cultivo (1999/2000).

	Prod.	P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al	
	Calcário	Kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³			
0 NC	Fino	2067	21	27	4,6	16	11	1,9	3
0,5 NC	S/Gesso	1730	22	26	5,0	24	15	1,6	2
1,0 NC		2095	30	27	5,5	39	22	1,8	0
2,0 NC		1740	20	27	5,2	30	15	1,4	1
0 NC	Grosso	1653	26	25	4,8	20	14	1,7	2
0,5 NC	S/Gesso	1765	23	26	5,2	23	21	1,7	1
1,0 NC		1889	25	24	5,2	24	19	1,5	1
2,0 NC		1753	31	25	5,7	40	34	1,6	0
0 NC	Fino	2389	34	26	4,9	27	12	2,3	2
0,5 NC	C/Gesso	2063	40	24	5,1	31	13	2,8	1
1,0 NC		2248	62	27	5,0	33	13	2,7	1
2,0 NC		2154	50	28	5,3	34	12	3,0	1
0 NC	Grosso	1939	48	29	5,0	30	14	2,8	1
0,5 NC	C/Gesso	2060	47	27	5,2	31	17	2,4	1
1,0 NC		1999	38	27	5,1	31	16	2,4	1
2,0 NC		2134	56	28	5,5	47	32	2,7	0
Coef. Correlação		---	0,62*	0,25	-0,03	0,31	-0,22	0,66*	0,05

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 27. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, para o primeiro ano de cultivo (1999/2000).

		Prod.	H+Al	SB	t	T	V	M	S-SO ₄ ²⁻
	Calcário	Kg ha ⁻¹			mmol _c dm ⁻³		%		mg dm ⁻³
0 NC	Fino	2067	33	29,1	31,9	62,1	47	9	3
0,5 NC	S/Gesso	1730	27	39,9	41,4	66,4	59	5	3
1,0 NC		2095	22	62,0	62,3	84,3	73	1	3
2,0 NC		1740	25	46,4	46,9	71,4	65	1	4
0 NC	Grosso	1653	27	34,7	36,2	62,0	56	4	4
0,5 NC	S/Gesso	1765	25	45,4	46,2	69,9	64	2	2
1,0 NC		1889	25	44,2	45,0	69,2	63	2	5
2,0 NC		1753	20	75,9	75,9	95,6	79	0	3
0 NC	Fino	2389	26	41,0	42,5	66,8	61	4	5
0,5 NC	C/Gesso	2063	25	46,5	47,3	71,0	65	2	6
1,0 NC		2248	25	48,7	49,7	73,7	66	2	13
2,0 NC		2154	23	49,2	49,7	72,5	67	1	5
0 NC	Grosso	1939	26	47,0	48,3	72,8	64	3	5
0,5 NC	C/Gesso	2060	24	50,2	50,9	74,4	67	1	5
1,0 NC		1999	25	49,7	50,7	74,9	65	2	8
2,0 NC		2134	22	81,4	81,4	102,9	79	0	7
Coef. Correlação		---	-0,01	0,10	0,10	0,11	0,10	-0,02	0,51*

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 28. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, para o primeiro ano de cultivo (1999/2000).

	Prod.	P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al	
	Calcário	Kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³			
0 NC	Fino	2067	6	21	4,4	12	8	0,7	6
0,5 NC	S/Gesso	1730	6	20	4,5	11	8	0,6	5
1,0 NC		2095	8	20	4,6	13	9	0,9	4
2,0 NC		1740	9	21	4,4	11	8	0,6	5
0 NC	Grosso	1653	10	21	4,5	15	9	0,8	4
0,5 NC	S/Gesso	1765	11	21	4,6	15	10	0,5	3
1,0 NC		1889	12	21	4,6	14	10	0,6	4
2,0 NC		1753	13	23	5,0	22	16	0,7	2
0 NC	Fino	2389	7	18	4,7	17	10	0,9	3
0,5 NC	C/Gesso	2063	13	17	4,4	15	9	1,4	4
1,0 NC		2248	10	23	4,5	22	12	1,1	5
2,0 NC		2154	11	21	4,6	18	10	1,6	3
0 NC	Grosso	1939	24	23	5,0	23	13	1,4	2
0,5 NC	C/Gesso	2060	19	21	4,6	17	10	1,7	3
1,0 NC		1999	23	22	4,7	19	10	1,5	3
2,0 NC		2134	17	23	4,5	17	11	1,4	6
Coef. Correlação		---	0,00	-0,20	-0,06	0,29	0,10	0,50*	0,00

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 29. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, para o primeiro ano de cultivo (1999/2000).

	Prod.	H+Al	SB	t	T	V	M	S-SO ₄ ²⁻
	Calcário	Kg ha ⁻¹		mmol _c dm ⁻³		%		mg dm ⁻³
0 NC	Fino	2067	30	21,0	26,7	50,5	42	22
0,5 NC	S/Gesso	1730	28	19,4	24,1	47,4	41	20
1,0 NC		2095	27	23,2	26,9	49,7	47	15
2,0 NC		1740	30	19,1	24,4	48,9	39	22
0 NC	Grosso	1653	29	24,3	28,3	53,1	46	14
0,5 NC	S/Gesso	1765	27	24,5	27,8	51,0	48	12
1,0 NC		1889	27	24,1	27,9	50,6	48	14
2,0 NC		1753	22	37,9	39,9	60,2	60	7
0 NC	Fino	2389	29	27,6	30,1	56,6	49	9
0,5 NC	C/Gesso	2063	30	25,1	29,4	55,4	45	15
1,0 NC		2248	31	34,6	39,6	65,4	54	10
2,0 NC		2154	30	29,6	32,6	59,9	49	10
0 NC	Grosso	1939	26	37,4	39,2	62,9	60	5
0,5 NC	C/Gesso	2060	31	28,2	30,9	59,4	48	9
1,0 NC		1999	25	30,5	33,3	55,5	54	9
2,0 NC		2134	31	28,9	34,6	59,4	48	17
Coef. Correlação	---		0,44	0,25	0,29	0,47	0,15	-0,25
								0,72*

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 30. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,2 a 0,4 m, para o primeiro ano de cultivo (1999/2000).

		Prod.	P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al
	Calcário	Kg ha^{-1}	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	CaCl_2		$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$		
0 NC	Fino	2067	1	19	4,4	10	7	0,2	5
0,5 NC	S/Gesso	1730	1	19	4,4	14	9	0,1	4
1,0 NC		2095	2	19	4,4	10	7	0,2	5
2,0 NC		1740	2	20	4,4	14	10	0,1	4
0 NC	Grosso	1653	2	16	4,4	12	8	0,3	5
0,5 NC	S/Gesso	1765	2	14	4,4	11	8	0,1	3
1,0 NC		1889	2	13	4,4	10	8	0,1	5
2,0 NC		1753	3	19	4,5	12	9	0,2	4
0 NC	Fino	2389	2	13	4,6	12	13	0,3	3
0,5 NC	C/Gesso	2063	2	12	4,4	11	8	0,7	4
1,0 NC		2248	3	13	4,6	14	9	0,9	3
2,0 NC		2154	4	13	4,5	13	9	0,9	3
0 NC	Grosso	1939	3	16	4,5	15	13	0,5	3
0,5 NC	C/Gesso	2060	3	21	4,3	12	8	0,5	5
1,0 NC		1999	4	14	4,4	13	9	0,5	5
2,0 NC		2134	3	15	4,3	12	8	0,5	6
Coef. Correlação		---	0,16	-0,36	0,28	-0,03	0,24	0,61*	-0,02

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 31. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,2 a 0,4 m, para o primeiro ano de cultivo(1999/2000).

	Prod.	H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻	
	Calcário	Kg ha ⁻¹		mmol _c dm ⁻³		%		mg dm ⁻³	
0 NC	Fino	2067	31	17,7	22,2	48,7	36	20	109
0,5 NC	S/Gesso	1730	31	22,9	26,9	53,9	42	15	108
1,0 NC		2095	31	17,0	21,5	48,0	35	21	124
2,0 NC		1740	30	23,1	26,9	54,1	43	14	94
0 NC	Grosso	1653	30	19,5	24,3	49,0	40	19	75
0,5 NC	S/Gesso	1765	30	18,1	20,6	47,6	38	12	92
1,0 NC		1889	30	18,1	23,1	47,6	38	22	72
2,0 NC		1753	31	20,7	24,2	51,7	40	14	82
0 NC	Fino	2389	29	24,8	28,1	53,6	45	11	122
0,5 NC	C/Gesso	2063	30	19,2	23,5	48,7	39	18	75
1,0 NC		2248	29	24,1	27,1	52,9	45	11	127
2,0 NC		2154	30	22,6	25,9	52,1	43	13	119
0 NC	Grosso	1939	32	28,7	31,7	60,5	47	10	116
0,5 NC	C/Gesso	2060	34	21,0	25,8	55,3	38	19	124
1,0 NC		1999	34	21,7	26,2	55,2	39	18	132
2,0 NC		2134	36	19,5	25,3	55,8	35	24	123
Coef. Correlação		---	0,05	0,17	0,19	0,16	0,13	-0,06	0,64*

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 32. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus teores de macronutrientes em tecido foliar de algodão para o primeiro ano de cultivo (1999/2000).

	Prod.	N	P	K	Ca	Mg	S	
	Calcário	Kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					
0 NC	Fino	2067	27	1,9	14	46	3	6
0,5 NC	S/Gesso	1730	28	2,1	19	66	4	6
1,0 NC		2095	28	2,2	19	57	4	6
2,0 NC		1740	27	2,1	15	50	3	5
0 NC	Grosso	1653	25	2,1	20	56	4	5
0,5 NC	S/Gesso	1765	27	2,3	18	62	4	6
1,0 NC		1889	27	2,3	22	63	4	6
2,0 NC		1753	26	2,3	16	49	4	5
0 NC	Fino	2389	25	2,6	20	57	3	7
0,5 NC	C/Gesso	2063	26	2,6	21	68	3	7
1,0 NC		2248	24	3,1	16	68	3	7
2,0 NC		2154	26	3,4	21	69	3	7
0 NC	Grosso	1939	26	3,0	19	63	4	6
0,5 NC	C/Gesso	2060	27	2,6	17	61	3	7
1,0 NC		1999	24	3,0	22	73	3	6
2,0 NC		2134	27	3,7	18	67	5	7
Coef. Correlação		---	-0,32	0,53*	0,09	0,27	-0,38	0,83*

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 33. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus componentes de produção de algodão para o primeiro ano de cultivo (1999/2000).

		Prod.	Altura de	Massa de	Massa de	Número de	Número de	Matéria seca
	Calcário	Kg ha^{-1}	plantas (m)	Capulhos (g)	100 sementes (g)	ramos	maças	(g)
0 NC	Fino	2067	1,1	8,6	10,0	10,9	12	79,3
0,5 NC	S/Gesso'	1730	1,2	8,5	9,0	11,3	14	86,2
1,0 NC		2095	1,2	9,4	9,1	11,2	12	86,9
2,0 NC		1740	1,1	8,4	10,0	10,9	12	102,1
0 NC	Grosso	1653	1,0	8,0	10,3	10,5	11	77,4
0,5 NC	S/Gesso	1765	1,1	9,1	9,5	10,6	11	76,7
1,0 NC		1889	1,1	9,2	10,1	10,9	12	82,3
2,0 NC		1753	1,1	9,0	10,1	10,9	11	81,6
0 NC	Fino	2389	1,2	9,1	9,0	10,6	10	79,1
0,5 NC	C/Gesso	2063	1,2	8,7	9,5	11,4	12	75
1,0 NC		2248	1,2	9,2	9,0	11,3	12	72,4
2,0 NC		2154	1,2	8,8	10,3	11,3	12	74,6
0 NC	Grosso	1939	1,2	9,6	10,0	11,3	11	73,0
0,5 NC	C/Gesso	2060	1,2	8,9	9,6	11,2	12	84,3
1,0 NC		1999	1,2	9,2	9,5	11,7	13	84,6
2,0 NC		2134	1,1	9,2	9,0	11,5	13	103,3
Coef. Correlação		---	0,66*	0,50*	-0,47	0,31	0,04	-0,15

* Significativo a 5% pelo teste F.



Tabela 34. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, para o segundo ano de cultivo (2000/2001).

	Prod.	P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al	
	Calcário	Kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³			
0 NC	Fino	2016	34	19	4,3	13	10	2,7	4
0,5 NC	S/Gesso	2361	32	18	4,8	22	12	3,3	2
1,0 NC		2237	44	18	5,0	21	12	3,0	2
2,0 NC		2113	44	19	5,5	40	20	3,1	1
0 NC	Grosso	1960	33	18	4,6	17	10	2,6	2
0,5 NC	S/Gesso	2157	57	17	4,8	18	11	3,3	2
1,0 NC		2291	38	19	4,9	20	16	2,6	1
2,0 NC		2057	60	17	5,4	27	22	2,9	1
0 NC	Fino	2076	44	19	4,9	16	9	2,6	2
0,5 NC	C/Gesso	2298	44	23	5,1	23	10	3,2	1
1,0 NC		2339	51	22	5,2	25	11	3,3	1
2,0 NC		2038	61	22	5,4	30	12	3,7	0
0 NC	Grosso	2160	42	26	4,8	18	9	3,3	2
0,5 NC	C/Gesso	2255	61	24	4,9	21	12	3,3	1
1,0 NC		2310	41	28	5,5	33	22	3,2	0
2,0 NC		2276	69	26	5,8	48	40	3,2	0
Coef. Correlação			0,03	0,39	0,29	0,24	0,20	0,34	-0,39

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 35. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,1 m, para o segundo ano de cultivo (2000/2001).

		Prod.	H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
		Kg ha ⁻¹			mmol _c dm ⁻³		%		Mg dm ⁻³
0 NC	Fino	2016	45	25,4	29,4	69,9	37	15	9
0,5 NC	S/Gesso	2361	36	36,8	38,6	72,7	50	5	12
1,0 NC		2237	32	36,6	37,8	68,3	52	5	14
2,0 NC		2113	26	62,6	63,1	88,3	68	1	12
0 NC	Grosso	1960	36	29,4	31,6	65,4	45	7	10
0,5 NC	S/Gesso	2157	33	32,6	34,3	65,8	49	5	17
1,0 NC		2291	32	38,1	39,3	69,8	53	4	10
2,0 NC		2057	26	52,2	52,7	77,9	66	2	9
0 NC	Fino	2076	37	27,3	28,8	63,8	42	6	8
0,5 NC	C/Gesso	2298	31	36,2	37,2	67,2	53	3	4
1,0 NC		2339	30	38,5	39,0	68,8	55	2	6
2,0 NC		2038	27	45,7	46,0	73,0	62	1	8
0 NC	Grosso	2160	38	30,8	32,8	68,3	45	7	5
0,5 NC	C/Gesso	2255	35	35,6	36,6	70,8	50	3	11
1,0 NC		2310	27	58,5	58,7	85,2	67	1	7
2,0 NC		2276	23	90,2	90,2	112,7	78	0	4
Coef. Correlação			-0,25	0,23	0,22	0,20	0,27	-0,42	-0,14

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 36. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, para o segundo ano de cultivo (2000/2001).

		Prod.	P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al
		Kg ha^{-1}	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	CaCl_2	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$			
Calcário									
0 NC	Fino	2016	14	15	4,3	10	7	1,2	6
0,5 NC	S/Gesso	2361	14	13	4,4	11	7	1,1	3
1,0 NC		2237	15	14	4,7	13	8	1,5	4
2,0 NC		2113	11	16	4,3	10	7	1,3	5
0 NC	Grosso	1960	9	13	4,5	9	7	0,9	5
0,5 NC	S/Gesso	2157	14	14	4,5	11	7	1,2	4
1,0 NC		2291	12	15	4,6	11	7	1,0	4
2,0 NC		2057	15	14	4,5	11	8	1,3	4
0 NC	Fino	2076	32	18	4,7	16	9	1,9	3
0,5 NC	C/Gesso	2298	34	16	4,6	15	8	2,1	3
1,0 NC		2339	26	14	4,6	15	8	1,4	4
2,0 NC		2038	28	18	4,5	14	7	2,1	4
0 NC	Grosso	2160	54	15	4,6	16	8	2,2	3
0,5 NC	C/Gesso	2255	31	15	4,6	15	9	1,9	3
1,0 NC		2310	22	15	4,8	17	11	1,5	2
2,0 NC		2276	36	16	4,8	18	11	1,8	2
Coef. Correlação			0,19	-0,16	0,42	0,44	0,44	0,09	-0,61*

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 37. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, para o segundo ano de cultivo (2000/2001).

	Prod.	H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻	
	Calcário	Kg ha ⁻¹	mmol _c dm ⁻³			%		mg dm ⁻³	
0 NC	Fino	2016	44	18,2	23,7	62,0	30	24	9
0,5 NC	S/Gesso	2361	40	19,6	22,9	59,9	33	15	12
1,0 NC		2237	39	23,0	26,5	61,7	37	16	23
2,0 NC		2113	43	18,3	23,3	60,8	30	23	20
0 NC	Grosso	1960	38	16,6	21,6	54,9	30	25	22
0,5 NC	S/Gesso	2157	38	19,0	22,7	57,0	33	18	23
1,0 NC		2291	37	19,0	22,5	56,0	34	16	11
2,0 NC		2057	37	19,6	23,3	56,8	34	17	25
0 NC	Fino	2076	38	26,7	29,2	64,9	41	9	7
0,5 NC	C/Gesso	2298	39	24,6	27,1	63,9	39	9	14
1,0 NC		2339	39	24,7	28,2	63,9	39	13	25
2,0 NC		2038	41	23,6	27,1	64,6	36	13	19
0 NC	Grosso	2160	41	26,2	28,9	66,7	40	10	8
0,5 NC	C/Gesso	2255	39	25,9	28,4	65,1	40	9	13
1,0 NC		2310	36	29,0	31,0	65,3	44	7	19
2,0 NC		2276	40	30,8	33,0	70,3	44	7	9
Coef. Correlação			-0,29	0,44	0,36	0,30	0,49	-0,59*	-0,08

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 38. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,2 a 0,4 m, para o segundo ano de cultivo (2000/2001).

	Prod.	P	MO	pH	Ca	Mg	K	Al	
	Calcário	Kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³			
0 NC	Fino	2016	4	14	4,1	7	5	0,9	8
0,5 NC	S/Gesso	2361	3	11	4,2	6	5	0,8	8
1,0 NC		2237	4	13	4,3	7	6	0,7	6
2,0 NC		2113	4	13	4,2	8	6	0,7	7
0 NC	Grosso	1960	2	10	4,2	6	5	0,5	7
0,5 NC	S/Gesso	2157	3	12	4,4	8	6	0,4	5
1,0 NC		2291	3	15	4,3	7	6	0,5	6
2,0 NC		2057	2	10	4,4	7	6	0,6	5
0 NC	Fino	2076	4	16	4,4	32	23	1,0	5
0,5 NC	C/Gesso	2298	7	17	4,3	16	15	1,8	5
1,0 NC		2339	4	16	4,4	10	6	1,0	4
2,0 NC		2038	6	12	4,3	17	13	1,4	5
0 NC	Grosso	2160	9	17	4,4	9	7	1,0	5
0,5 NC	C/Gesso	2255	6	14	4,5	10	7	1,2	4
1,0 NC		2310	6	16	4,3	10	8	1,1	5
2,0 NC		2276	19	18	4,3	10	7	1,1	6
Coef. Correlação			0,26	0,50*	0,19	-0,16	-0,15	0,25	-0,25

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 39. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus atributos químicos do solo na profundidade de 0,2 a 0,4 m, para o segundo ano de cultivo (2000/2001).

		Prod.	H+Al	SB	t	T	V	m	S-SO ₄ ²⁻
		Kg ha ⁻¹			mmol _c dm ⁻³		%		mg dm ⁻³
0 NC	Fino	2016	40	12,6	20,9	52,9	24	40	151
0,5 NC	S/Gesso	2361	40	11,8	19,6	51,8	23	39	167
1,0 NC		2237	37	13,5	19,5	50,7	27	32	143
2,0 NC		2113	41	13,9	20,7	54,4	26	33	134
0 NC	Grosso	1960	36	12,0	18,8	48,0	25	36	154
0,5 NC	S/Gesso	2157	34	13,9	19,2	48,2	29	28	141
1,0 NC		2291	37	12,5	18,0	49,5	25	31	135
2,0 NC		2057	34	14,1	18,8	48,3	29	26	139
0 NC	Fino	2076	38	55,5	60,3	93,8	48	16	135
0,5 NC	C/Gesso	2298	37	32,3	37,3	69,5	37	20	159
1,0 NC		2339	34	16,7	20,5	51,0	33	19	149
2,0 NC		2038	39	31,2	36,4	69,7	39	16	127
0 NC	Grosso	2160	37	16,7	21,7	53,7	31	24	117
0,5 NC	C/Gesso	2255	36	18,5	22,0	54,5	34	16	111
1,0 NC		2310	41	18,1	23,4	59,4	30	23	108
2,0 NC		2276	44	17,6	23,6	61,8	29	27	89
Coef. Correlação			0,14	-0,15	-0,18	-0,11	-0,09	-0,13	-0,11

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 40. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha^{-1}) versus teores de macronutrientes em tecido foliar de algodão para o segundo ano de cultivo (2000/2001).

		Prod.	N	P	K	Ca	Mg	S
		Kg ha^{-1}	g kg^{-1}					
Calcário								
0 NC	Fino	2016	36	5,5	35	71	5	5
0,5 NC	S/Gesso	2361	26	6,0	38	140	6	5
1,0 NC		2237	35	6,1	39	123	6	5
2,0 NC		2113	28	6,5	38	77	4	6
0 NC	Grosso	1960	29	5,8	24	118	6	5
0,5 NC	S/Gesso	2157	32	5,8	41	70	5	5
1,0 NC		2291	31	6,9	45	113	5	5
2,0 NC		2057	38	6,6	39	77	5	5
0 NC	Fino	2076	31	7,4	43	70	4	6
0,5 NC	C/Gesso	2298	29	6,6	49	139	4	6
1,0 NC		2339	31	6,1	38	165	4	6
2,0 NC		2038	29	7,0	45	81	3	6
0 NC	Grosso	2160	39	6,7	46	81	4	6
0,5 NC	C/Gesso	2255	33	6,9	37	78	5	6
1,0 NC		2310	35	7,5	38	117	5	6
2,0 NC		2276	27	5,2	36	58	5	6
Coef. Correlação			-0,21	0,03	0,33	0,54*	0,18	0,42

* Significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 41. Correlações simples entre a produtividade de algodão em caroço (kg ha⁻¹) versus componentes de produção de algodão para o segundo ano de cultivo (2000/2001).

		Prod.	Altura de	Massa de	Massa de	Número de	Número de	Matéria seca
	Calcário	Kg ha ⁻¹	plantas (m)	Capulhos (g)	100 sementes (g)	ramos	maças	(g)
0 NC	Fino	2016	1,0	7,3	11,1	12	12	86,6
0,5 NC	S/Gesso	2361	1,0	7,3	11,3	13	13	74,6
1,0 NC		2237	1,0	7,3	11,9	13	13	80,2
2,0 NC		2113	1,0	7,4	10,8	12	11	64,7
0 NC	Grosso	1960	1,0	7,7	11,4	13	13	60,7
0,5 NC	S/Gesso	2157	0,9	7,5	11,3	13	11	76,3
1,0 NC		2291	1,0	8,0	11,3	13	14	100,6
2,0 NC		2057	1,0	7,7	11,5	12	11	63,70
0 NC	Fino	2076	1,0	6,9	10,9	12	12	62,0
0,5 NC	C/Gesso	2298	1,0	7,1	10,6	13	11	62,1
1,0 NC		2339	1,1	7,7	11,3	14	15	77,3
2,0 NC		2038	1,1	7,1	11,9	13	12	75,3
0 NC	Grosso	2160	1,1	7,1	11,3	13	14	40,4
0,5 NC	C/Gesso	2255	1,1	7,2	11,0	13	11	74,5
1,0 NC		2310	1,1	7,0	10,5	14	14	57,6
2,0 NC		2276	1,1	6,8	10,8	13	11	77,1
Coef. Correlação			0,43	-0,08	-0,30	0,63*	0,32	0,20

* Significativo a 5% pelo teste F.



5. CONCLUSÕES

O uso do gesso:

- Provocou aumentos nos teores de MO, P, pH, Ca, K, SB, CTCe e CTC, V% e $S-SO_4^{2-}$;
- Reduziu os teores de Mg, Al, H+Al, m%;
- Proporcionou tendência de aumento na produtividade;
- Aumentou o número de ramos nas plantas de algodão, massa de 100 sementes e teores de S foliar; e
- Diminuiu nos teores de Mg foliar.

O tipo de calcário:

- O calcário grosso apresentou maior influência nos valores de pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, SB, CTCe, CTC, V% e m%, quando comparado ao calcário fino.

Os níveis de calcário:

- Ajustaram-se a modelos lineares crescentes para P, pH, Ca, Mg, SB, CTC, V% e decrescentes para Al, H+Al e m% e, K foliar;
- Ajustaram-se a modelos quadráticos para produtividade, número de ramos e Ca foliar;
- Nas condições realizadas, pode-se inferir que a recomendação de calcário estimada pelo método da saturação por bases (V 70%) é adequada para o SPD (superfície).

Quanto às correlações:

- A produtividade de algodão foi dependente do aumento da disponibilidade de P, K e $S-SO_4^{2-}$ do solo com as práticas da calagem e gessagem.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v.24, p.295-300. 2000.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Campinas. Fundação Cargill. p 97-117. 1985.

ALCARDE, J.C.; PAULINO, V. T.; DERNARDIN, J.S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 387-392, 1989.

ALFAIA, S.S. Correlação entre capacidade de troca de cátions e outras propriedades de três solos da Amazônia central. **Acta Amazônica**, Manaus, i v.18, p.3-11, 1988.

ALVAREZ V., V.H.; MELLO, J.W.V.; DIAS, L.E. Acidez e calagem do solo. In: **FERTILIDADE e manejo do solo**. Brasília: ABEAS, 1996. 67p. (Módulo, 4)

ALVES, H.M.R.; LOPES, A.S. Efeito de corretivos e fertilizantes na redução da percentagem de saturação de alumínio nas camadas subsuperficiais de solos sob cerrado. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 18, 1981, Salvador, BA. **Programas e resumos**. Salvador: S.n., 1981. p.95-96.



AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Avaliação das características químicas do solo e rendimento do milho após reaplicação de calcário nos sistemas plantio direto e convencional. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998. Caxambú. **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Consolidando um Paradigma**. Caxambú: SBCS, 1998.(FERTBIO 1998).

BARBER, S.A. Liming materials and practices. In: ADAMS, F. (Ed) **Soil acidity and liling**. 2. ed. Madison: ASA, 1984. p.171-219.

BARTZ, H. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. In: CURSO de Atualização em recomendação de adubação e calagem. Plantio direto em solos arenosos: alternativas de manejo para a sustentabilidade agropecuária. Santa Maria: UFSM, 1998. p. 52-81.

BERTON, R.S. Especiação iônica da solução do solo. In: CURSO PRÁTICO DE ESPECIAÇÃO IÔNICA DE NUTRIENTES E DE METAIS PESADOS EM SOLUÇÕES AQUOSAS, Campinas, 2000. **Resumos...**Campinas: CSRA-IAC, 2000.

BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S. et al. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tillage and conventionally tilled corn. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.3, n.2, p.135-146, 1983.

BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; CORNELIUS, P.L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years continuous corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, n.3, p.383-386, 1977.

BOHNEN, H.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p.109-122.

BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.W.; SCOTTER, D.R. Effect of liming and phosphate additions on sulphate leaching in soils. **Journal of Soil Science**, Madison, v.39, p.493-504, 1988.

BORGES, E. N.; LAFORGA, G.; LANA, R. M. Q.; BORGES, E.V.S.; COSTA, L. M.. Efeito de calcário e gesso nos teores de cálcio e alumínio da camada compactada em Latossolo Vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.12,. 1997.

BORGES, E.N.; NETO, F.L.; COSTA, L.M.; CORRÊA, G.F.; BORGES, E.V.S. Alterações nos componentes da acidez do subsolo promovidas em camada subsuperficial compactada pela aplicação superficial de gesso. **Revista Ceres**, Viçosa, v.45, n.257, p.55-64, 1998.

BRASIL. Algodão: comparativo de área, produção e produtividade – safras 1999/00 e 2000/2001. Disponível em: http://www.conab.gov.br/politica_agricola/safra/avali4.cfm. Capturado em: 20 de abril de 2001.

BROCH, D.L.; PITOL, C.; SPERA, S.T. Influência de doses de fósforo e do uso de calcário e gesso sobre o rendimento da soja em plantio direto sobre pastagem de *Brachiaria decumbens*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília, DF. **Anais...Planaltina: EMBRAPA CERRADOS**, 1999. (CD-ROM).

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.161-169, 2000.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E.F. ; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n.1, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E.F. ; ROSOLEM, C.A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, v.57, p.175-184, 1998.

CAMARGO, O.A. de.; CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R. & QUAGGIO, J.A. Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um Latossolo e um Podzólico com a calagem. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54,n.1/2, p.1-8, 1997.



CAMARGO, O.A. ; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v.13, p.275-280, 1989

CANTARELLA, H. **Determinação de sulfato em solos: método do BaCl₂ em pó**. Campinas: IAC-CSRA, 1998. (Mimeogr.).

CARVALHO, P.P. **Manual do algodoeiro**. Lisboa: IICT, 1996. 282p.

CHANG, M.L. ; THOMAS, G.W. A Suggested mechanism for sulfate adsorption by soils. **Proceedings Soil Science Society America**., Madison, v.27, p.281-283, 1963.

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. Redução da acidez subsuperficial em coluna de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.23, p.469-476, 1988.

COVENTRY, D.R. ; SLATTERY, W.J. Acidification of soil associated with lupins grown in a crop rotation in North-eastern Victoria. **Australian Journal Agriculture Research**, East Melbourn, v.42, p.391-397, 1991.

CURTIN, D.; SMILLE, W. Effects of incubation and pH soil solution and exchangeable cation ratios. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.59, p.1006-1011. 1995.

DEFELIPO, B.V. ; BRAGA, J.M. Influência da calagem e fontes de potássio na adsorção de potássio em latossolos em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.7, p.119-122, 1983.

DEGRANDE, P.E. Manejo integrado de pragas do algodoeiro. In:EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Algodão: informações técnicas**. Dourados: EMBRAPA/ Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste, 1998. p. 154-191.

DOLLING, P.J.; PORTER, W.M. Acidification rates in the central wheatbelt of western Australia. 1. On a deep yellow sand. **Australian Journal Experimental Agriculture**, Melbourne, v.34, p.1155-1164, 1994.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1999. 412p.

ESTADOS UNIDOS. Department of agriculture. Foreign Agricultural Service. Cotton: world markets and trade. Disponível: USDA site (april, 20, 2001). URL: <http://www.faz.usda.gov/currwmt.html>

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos com ênfasis en suelos de América Latina**. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1978. 397 p.

GARGANTINI, H.; MELLO, F.A.F.; ARZOELA, S. Efeitos da calagem sobre os teores de cálcio mais magnésio de perfis de solos de cerrado. **Anais da Escola Superior Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.39, p.1115-1136, 1982.

GARMIN. GPS, 12 channel. GARMIN Olathe, KS, USA. 1998.

GUIMARÃES, P. T. G. Uso do gesso agrícola na neutralização do alumínio nas camadas subsuperficiais do solo: aplicações às culturas anuais e perenes. SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA – DDT, 1986. p.145–67.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J. (Ed.) **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986. p.129-166.

GONZÁLES-ÉRICO, E.; KAMPRATH, E.J. WADERMAN, G.C.; SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society America Journal**, v.43, n.6, p.1155-1158, 1979.

HAYNES, R.J. Soil acidification induced by leguminous crops. **Grass and Forage Science**, Oxford, v.38, n1, p.1-11, 1983.

HELYAR, K.R.; PORTER, W.M. Soil acidification its measurement and the processes involved. In: ROBSON, A.D. **Soil acidity and plant growth**. Sidney: Academy Press, 1989, p.61-101.



HERNANI, L. C.; SALTON, J. C. Manejo e Conservação do Solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão: informações técnicas**. Dourados: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste, 1998. p. 26-48.

HERNANDEZ, F. B. T., LEMOS FILHO, M. A. F., BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS- Área de Hidráulica e Irrigação, 1995. 45p. (Série irrigação, 01)

HUE, N.V.; ADAMS, P. ; EVANS, C.E. Sulfate retention by an acid b horizon of an ultisol. **Soil Science Society America Journal**, Madison v.49, p.1196-1200, 1986.

KRETZSCHMAR, R.M.; HAFNER, H; BATIONO, A.; MARCHNER, H. Long-term and short-term effects of crop residues on aluminum toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in acid sandy soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.136, p.215-223, 1991.

LANDERS, J.N. Situação do Plantio Direto. Plantio Direto. Módulo 4. Curso de Especialização por Tutoria à Distância. Brasília, DF. 1999. 91p.

LEAL, J.R. ; VELOSO, A.C.X. Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.8, p.81-88, 1973.

LOBATO, E. ; RITCHEY, K.D. Manejo do solo visando melhorar o aproveitamento da água. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADOS, 5, 1979, Brasília, DF, 1979. **Cerrado: uso e manejo**. Brasília: Editerra, 1980, p.645-671.

LOPES, A. S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fósforo, 1983. 162p.

LOPES, A. S. **Guia das melhores técnicas agrícolas**. São Paulo: ANDA, 1996. 28p. (Boletim Técnico).



MALAVOLTA, E.; GUILHERME, M. R.; LIEM, T. H. Associações fosfogesso – calcário: princípios e aplicações. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, 1986, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: EMBRAPA – DDT, 1986. p. 177 – 196.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARTINS, O.C. **Comportamento da soja e do trigo e alterações no perfil do solo em resposta à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso**. Viçosa, 1991. 81p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

MARTINS, O.C.; NOVAIS, R.F. de.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C. Respostas à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. II. Crescimento de raízes, absorção de nutrientes e produtividade da soja. **Revista Ceres**, Viçosa, v.45, n.261, p.451-466. 1998.

MATTOS, C.R.R.; ALVAREZ V., V.H.; FREIRE, F.M.; GUARÇONI M., A. Disponibilidade de P, S, Ca e Mg, em dois Latossolos, em função da época de aplicação de fosfato e de calcário mais gesso. **Revista Ceres**, Viçosa, v.44, n.255, p.557-576, 1997.

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

McLAY, C.D.A.; RITCHIE, G.S.P.; POSTER, W.M.; CRUSE A. Amelioration of subsurface acidity in sandy soils in low rainfall regions. II. Changes to soil solutions composition following the surface application of gypsum and lime. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.32, p.847-865, 1994.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO BRASIL, M. O. C.B.; ARZOLLA, S.; NETTO, A. C. ; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do solo**. 3. ed, São Paulo: Nobel. 1985. 400 p.



MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D.L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sob cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.18, p.295-303, 1994.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G.O. ; PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.16, p.209-215. 1992.

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

MORAIS, F. ILTON; PAGE, A. L. ; LUND, J. J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.40, p.521 – 27, 1976.

MORAES, J.F.L.; BELLINGIERI, P.A.; FORNASIERI FILHO, D. ; GALON, J.A. Efeito de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. CARIOCA-80. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, n.3, p.438-447, 1998.

MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 147-158.

NATALE, W.; COUTINHO, E. L. M. Avaliação da eficiência agrônômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 55-62, 1994.

NOGUEIRA, A.R.A. ; MOZETO, A.A. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.14, p.1-6, 1990.



OLIVEIRA, C.A.S. Física e a Conservação de Solo e Água em Cultivos sob Plantio Direto. Plantio Direto. Módulo 5. Curso de Especialização por Tutoria à Distância. Brasília, DF. 1999. 95p.

OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.21, p.65-70, 1997.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage sistem for soybean production. **Soil Tillage Research**, Amsterdan, v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, S.A. de.; GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. de. Fertilidade de Solos. Plantio Direto. Módulo 6. Curso de Especialização por Tutoria à Distância. Brasília, DF. 1999. 94p.

PAIVA, E. Genética e bioquímica da tolerância ao alumínio. Resumos palestras. In: In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998. Caxambú. **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Consolidando um Paradigma**. Caxambú: SBCS, 1998.(FERTBIO 1998).

PALERMO, L.S.T. **Efeitos de fontes e doses de enxofre na cultura do algodoeiro**. Jaboticabal, 1989. 48p. Dissertação (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciencias Agrarias e Veterinaria, Universidade Estadual Paulista.

PARKER, D. R.; CHANEY, R.L.; NORVELL, W.A. 1995. Chemical equilibrium models: application to plant nutrition research. In: LOEPPERT, et al. (Eds.) **Chemical equilibrium and reaction models**. Madison: Soil Sci. Soc. Am., 1995. p.163-200. (Spec. Pub. N° 42)

PAVAN, M.A. **Toxicity of Al (III) to coffee (Coffea arabica L.) in nutrient solution culture and in Oxisols and Ultisols amended with CaCO₃, MgCO₃ and CaSO₄.2H₂O**. Riverside, 1981. 214p. Univ. of California, 1981. 214p. Tese (Doutorado) - University of California

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.16, p.86-91, 1994.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. ; PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 46, p.1201-1207, 1982.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or gypsum application to a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.48, p.33-38, 1984.

PETRERE, C. Correção do solo e plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO. 1999. Cruz Alta – RS. **Resumos de palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 5-18.

POTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.675-684, 1998.

QUAGGIO, J.A. Métodos de laboratório para a determinação da necessidade de calagem em solos. In: RAIJ, B. van.; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. (Coords.) **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p33-48.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. Van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.182-194, 1982.



QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Agronomic efficiency of limestone with different acid-neutralizing capacity, under field condition. SYMPOSIUM ON SOIL-PLANT INTERACTIONS AT LOW pH, Brisbane, 1995. **Proceedings...** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p.494-496.

QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C. Respostas da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II – Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.113-118, 1982b.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van.; GALLO, P.B. ; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.375-383, 1993.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional par Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. 1988. 88p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. ; CAMARGO, O. A. de. Influência das bases trocáveis na lixiviação de potássio em colunas de solos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 14, 1973. **Anais...** Santa Maria: S.n., 1973. p. 263 –269.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.33-37, 1982.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A .M.C., (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.



REEVE, N. G. ; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochemophysica**, v. 4, p.1- 6, 1972.

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. Efeito do tamanho de partículas na eficiência agronômica do enxofre elementar e do gesso agrícola em Latossolo dos Cerrados. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998. Caxambú. **Interrelação Fertilidade, Biologia do Solo e Nutrição de Plantas: consolidando um paradigma. FERTBIO 1998**. Caxambú: SBCS, 1998. p.176.

REINERT, D. J.; ELTZ, F. L. F. Sucesso no plantio direto em solos arenosos: campo nativo, áreas degradadas e integração lavoura-pecuária. In: PALESTRA APRESENTADA NO III CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM, ÊNFASE EM PLANTIO DIRETO, 3, 1997, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UFSM, 1997. p. 23-44.

RESCK, D.V.S. Plantio direto: Desafios para os cerrados. Resumos palestras. In: In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998. Caxambú. **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Consolidando um Paradigma**. Caxambú: SBCS, 1998.(FERTBIO 1998).

RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. ; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depht in Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.40-4, 1980.

RITCHIE, G.S.P.; DOLLING, P.J. The role organic matter in soil acidification. **Australian Journal Agriculture Research**, Melbourne, v.23, p.569-576, 1985.

ROSOLEM, C.; BICUDO, S.J.; MARUBAYASHI, O.M. Soybean yield and root growth as affected by lime rate and quality. In: SYMPOSIUM ON SOIL-PLANT INERATIONS AT LOW pH, 3, 1995, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: S.n., 1995. p.544-547.

ROSOLEM, C.A. ; MACHADO, J.R. Efeitos da calagem e gessagem sobre a produção de algodão e lixiviação de bases em dois latossolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 9, Curitiba, 1983. **Resumos...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p..33.

SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.

SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais, Centro Sul do Paraná. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEME PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p.73-107.

SÁ, J.C.M.; PETRERE, C. Desenvolvimento radicular da cultura do milho em solos sob plantio direto da Região dos Campos Gerais e do Planalto Gaúcho. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEME PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p.172-204.

SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, Cruz Alta, v.1, p.9-13. 1999.

SANTOS, W.J. Monitoramento e controle das pragas do algodoeiro. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. cap.9, p.133-180.

SIDIRAS, N. ; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciencia Solo**, Campinas, v.9, p.249-254, 1985.

SILVA, N.M. Acidez do Solo e calagem para o algodoeiro. In: ACIDEZ e calagem no Brasil. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.259-276.

SILVA, N. M. Fibras. In: RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. p.109. (Boletim técnico, 100).

SILVA, N. M. Nutrição mineral e adubação de algodoeiro no Brasil. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 81, p. 1998.

SILVA, N.M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. cap.5, p.57-92.

SILVA, N.M. CARVALHO, L.H.; CHIAVEGATO, E.J.; SABINO, N.P. ; KONDO, J.I. Competição de adubos fosfatados no algodoeiro, em ensaio de longa duração. **Bragantia**, Campinas, v.46, n.2, p. 233-246, 1987.

SILVA, N.M. RAIJ, B.van; BATAGLIA, O.C.; KONDO, J.I. Efeito do gesso contido no superfosfato simples na redução da acidez do solo, em ensaio de longa duração com algodoeiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. v.2, p.348-349.

SILVA, N. M. RAIJ, B. van.; CARVALHO, L. H.; BATAGLIA, O. C. ; KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.2, 1997.

SILVA, A.A.; VALE, F. R.; FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p. 451-457, 1998.

SINGH, S.S. Effect of chloride and sulfate anions on the chemical characteristics of some acid soils. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v.62, p.549-557, 1982.

SINGH, S.S. Increase in neutral salt extractable cation exchange capacity of some acid soils as affected by CaSO_4 applications. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v.64, p.153-161, 1984.

SOPRANO, E. **Movimentação de íons e crescimento de café em função da aplicação de sais de cálcio em colunas de solo**. Viçosa, 1986. 92p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

SOUSA, D.M.G. Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1., 1998, Rio Verde, GO. **Resumos de palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p.72-77

SOUSA, D.M.G. Principais Aspectos da Fertilidade do Solo Sob Plantio Direto em Solos do Cerrado. In: CURSO AVANÇADO DE ATUALIZAÇÃO E BIODINÂMICA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1, 2000, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: APDC/ICA-UFU, 2000.

SOUSA, D.M.G de. & LOBATO, E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado. FERTBIO2000. In: Fertbio 2000 . Resumos da XXIV Reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 22 a 26 de outubro de 2000. Santa Maria: UFSM/SBCS, 2000. CD-ROM.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; MIRANDA, L.N. Correção do solo e adubação da cultura da soja. In: CULTURA da soja nos cerrados. Piracicaba: Potafos, 1993. p.137-158.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 20p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 32).

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Efeito residual do gesso avaliado em condições de plantio direto. In: FERTBIO'98, 1998, Caxambú. **Anais...** Caxambú: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.111.

SOUSA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso do gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO sobre o uso do fosfogesso na agricultura. Brasília: EMBRAPA – DDT, p. 119-144. 1986.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 263p.

STAUT, L. A.; KURIHARA, C. H. Calagem, Nutrição e Adubação. In: ALGODÃO: informações técnicas. Dourados: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste, 1998, p.52.



SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. ; STEWART, B.A. (Eds). **Subsoil management techniques**. Athens: Lewis Publishers, 1995. p.147-185.

SUMNER, M.E.; SHAHANDEN, H.; BOUTON, H.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Society America Journal**, Madison, v.50, p.1254-1258, 1986.

TISDALE, S.L. et al., **Soil fertility and fertilizers**. Ed. New York: McMillan: s.n., 1993.

TORMENA, C. Resíduos culturais: efeitos no controle da erosão e alteração em propriedades físicas do solo. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995.p.37-52.

VALE, F.R.; GUEDES, G.A.A.; GUILHERME, L.R.G.; NETO, A.E.F. **Manejo da fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 206 p. (Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" Especialização à Distância: Solos e Meio Ambiente.).

VITTI, G.C.; FERREIRA, M.E.; MALAVOLTA, E. Resposta de culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, 1986, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p.17-43.

VITTI, G. C.; MALAVOLTA, E. Fosfogesso – Uso Agrícola. **Seminário sobre Corretivos Agrícolas**. Campinas. Fundação Cargill. p. 161-167. 1985.

VOLKWEISS, S. J. Química da acidez dos solos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2, 1989, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1989. p.3-6.

WADT, P.G.S. **Movimentação de cátions em latossolo vermelho-amarelo, álico, incubado com carbonato e sulfato de cálcio, isolados ou misturados**. Itaguaí, 1991. 174p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

WADT, P.G.S. Alterações eletroquímicas de um Latossolo Vermelho-amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.519-524, 2000.



WADT, P.G.S.; WADT, L.H. O. Movimentação de cátions em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1157-1164, 1999.

WOLT, J.D. Sulfate retention by acid sulfate-polluted soils in the Copper Basin area of Tennessee. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.45, p.283-287, 1981.

YAMADA, T. **Capacidade de adsorção máxima de sulfato do solo como parâmetro adicional na recomendação de gesso**. Piracicaba, 1988. 73p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ZANCANARO, L. **Reatividade de partículas de calcário e influência das composições granulométricas na neutralização da acidez do solo**. Porto Alegre, 1996. 127 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AV. BRASIL, 56 - CAIXA POSTAL 31
15385-000 - ILHA SOLTEIRA - SP

