

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CLASSES GRANULOMÉTRICAS E MODO DE APLICAÇÃO DE
CALCÁRIO NA CULTURA DO MILHO

RAFAEL FELIPPE RATKE

Orientador:
Prof. Hamilton Seron Pereira

Junho 2011

RAFAEL FELIPPE RATKE

**CLASSES GRANULOMÉTRICAS E MODO DE APLICAÇÃO DE
CALCÁRIO NA CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

Co-orientador:

Dr. João de Deus Gomes dos Santos Junior

Goiânia, GO - Brasil
2011

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)**

R236c Ratke, Rafael Felipe.
Classes granulométricas e modo de aplicação de calcário na
cultura do milho / Rafael Felipe Ratke. – 2011.
139 f. : il. (colors.)

Inclui Bibliografia

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Goiás,
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
2011.

“Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira”.

“Co-orientador: Dr. João de Deus Gomes dos Santos
Júnior”.

1. Milho – cultura – calcário – granulometria. 2. Solo –
acidez. 3. Granulometria do calcário. I. Pereira, Hamilton
Seron. II. Santos Júnior, João de Deus Gomes dos. III.
Universidade Federal de Goiás. IV. Título.

CDU: 631.4:633.15(043.2)



Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás-UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações - BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor(a):	RAFAEL FELIPPE RATKE				
CPF:		E-mail:	rfratke@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não					
Vínculo Empregatício do autor	Nenhum				
Agência de fomento:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Sigla:	CAPES		
País:	BRASIL	UF:	GOIÁS	CNPJ:	
Título:	Classes granulométricas e modo de aplicação de calcário na cultura do milho				
Palavras-chave:				Zea mays, particle size, root, no-till.	
Título em outra língua:				Size classes and ways of applying lime to corn crop	
Palavras-chave em outra língua:				Zea mays, particle sizes, roots, no-till.	
Área de concentração:	Solo e Água				
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	30/06/2011				
Programa de Pós-Graduação:	Agronomia				
Orientador(a):	Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira				
CPF:		E-mail:	hseron@uol.com.br		
Co-orientador(a):	Prof. Dr. João de Deus Gomes dos Santos Junior				
CPF:		E-mail:	jdsantos@cpac.embrapa.br		

3. Informações de acesso ao documento:

Liberção para disponibilização?¹ total parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

Capítulos. Especifique: _____

Outras restrições: _____

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Assinatura do(a) autor(a)

Data: 19/09/2011

¹ Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e meta dados ficarão sempre disponibilizados.

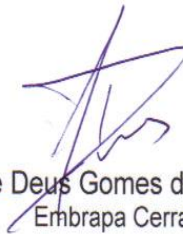
RAFAEL FELIPPE RATKE

TÍTULO: "CLASSES GRANUMÉTRICAS E MODO DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA CULTURA DO MILHO".

Tese DEFENDIDA em 30 de junho de 2011, e APROVADA pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Dr. Hamilton Seron Pereira
Presidente da Banca



Dr. João de Deus Gomes dos Santos Júnior
Embrapa Cerrados



Dr. Robélio Leandro Marchão
Embrapa Cerrados



Dr. Cícero Célio de Figueiredo
UnB



Drª. Eliana Paula Fernandes
UFG



Dr. Wilson Mozena Leandro
UFG

A minha mulher, Bruna

Aos meus pais, Paulo e Maria Inês,

Aos meus irmãos, Paulo Adriano e Marcos.

Aos meus sobrinhos, Luiz Paulo, Ana Luisa, Laura e Luis Felipe.

A todos meus familiares e amigos.

Dedico

“Nada se faz sozinho, o apoio de familiares e amigos é a grande virtude do aprimoramento profissional e pessoal”

A TODOS AQUELES QUE AJUDARAM DIRETAMENTE E INDIRETAMENTE COM
ESTE TRABALHO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todas as minhas realizações;

A minha mulher Bruna Nogueira Almeida Ratke, pelo companheirismo, ajuda e dedicação na realização deste aperfeiçoamento pessoal;

Aos meus pais Paulo e Maria Inês, irmãos Paulo Adriano e Marcos, e todos os meus familiares, que me apoiaram na com dedicação e paciência na realização desta tese de doutorado;

Ao Dr. Hamilton Seron Pereira, pela dedicação e orientação ao meu doutoramento;

Ao Dr. João de Deus Gomes dos Santos Júnior, pelo auxílio, dedicação e co-orientação desta tese.

Aos Professores da UFG, Dr. Wilson Mozena Leandro, Dr. Eliana Paula Fernandes, Dr. Juarez Patrício, Dr. Alfredo Borges de Campos, Dr. Humberto José Klieman, Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro e Dr. Silvia Corrêa Santos.

Aos colegas: Pérola Moraes Calil, Cristiane Rodrigues, Glênio Guimarães Santos, Jeander Caetano de Oliveira, Adriana Verginassi, Lázaro C. R. Assis Prado, Eurâimi Queiroz, Carloeme, Janne Louize, Cícero C. Figueiredo, Juliano Magalhães Barbosa, Roberta, Marcos Assis, Felipe Santos.

Aos meus amigos Rodrigo Mendonça, Tercio Alberto Filho, Carlos Eduardo, Carlos Sousa, João Filho.

Aos alunos de graduação em Agronomia participantes do projeto de tese, Joaquim José Frazão, Jonas Santos, Michel e Aline.

À empresa Goiás Filler, através do gerente, Carlos Sabino, pelo fornecimento de todo calcário utilizado nessa tese e apoio a esta pesquisa.

A Henrique de Campos Citroni, pelo apoio financeiro com o fornecimento de sementes de milho para essa tese.

Ao Programa de Pós-Graduação de Agronomia da UFG/Goiânia-GO, pela oportunidade de realizar o curso de doutorado em Agronomia, com ênfase em Solo e Água e apoio ao projeto de tese.

Ao secretário do PPGA Welinton Barbosa Mota, pela colaboração e amizade com os assuntos relacionados ao doutorado.

Ao Laboratório de análise de solo e plantas da Escola de Agronomia da UFG e Laboratório de física do solo, e seus funcionários pela colaboração neste estudo.

Ao Laboratório de nematologia da Escola de Agronomia da UFG, pela colaboração com espaço físico e também de equipamentos para o estudo de raízes.

A CAPES, pelo fornecimento de bolsa durante o período do doutorado.

Aos colegas Adriano Perin, Jéssika Mara, Anísio Correa, José Weselli, Edson Souchie, do Instituto Federal Goiano (IFGoiano) Campus Rio Verde-GO, pela colaboração no desenvolvimento profissional na área docente.

Ao Charles, pela colaboração com trabalho físico a coleta de dados na área do experimento.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE SIGLAS	15
RESUMO GERAL	16
GENERAL ABSTRACT	17
1 INTRODUÇÃO GERAL	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 ACIDEZ DO SOLO	22
2.2 CORREÇÃO DE ACIDEZ SOLO	24
2.2.1 Material corretivo da acidez	25
2.2.2 Legislação brasileira sobre materiais corretivos	26
2.3 SISTEMA PLANTIO DIRETO	27
2.4 CORREÇÃO DA ACIDEZ SOLO EM SPD	28
2.5 SISTEMA RADICULAR.....	29
2.6 A CULTURA DO MILHO.....	30
2.7 REFERÊNCIA	32
3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO COM A APLICAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS	38
RESUMO	38
ABSTRACT	38
3.1 INTRODUÇÃO.....	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.3.1 Atributos da acidez do solo	45
3.3.2 Potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺)	50
3.3.3 Capacidade de troca catiônica total (CTCt), saturação por base (V) e matéria orgânica (M.O.)	55

3.3.4	Resposta da cultura do milho a aplicação de calcário em diferentes doses e granulometrias	60
3.4	CONCLUSÕES	63
3.5	REFERÊNCIAS	64
4	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO COM A APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS DE CALCÁRIO	69
	RESUMO	69
	ABSTRACT	69
4.1	INTRODUÇÃO	70
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	72
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.3.1	Atributos da acidez do solo	75
4.3.2	Potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺)	81
4.3.3	Capacidade de troca catiônica total (CTCt), saturação por base (V) e matéria orgânica (M.O.)	86
4.3.4	Resposta da cultura do milho a aplicação de calcário em diferentes doses e granulometrias	91
4.4	CONCLUSÕES	94
4.5	REFERÊNCIAS	94
5	ATRIBUTOS RADICULARES DE MILHO COM A APLICAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS	98
	RESUMO	98
	ABSTRACT	98
5.1	INTRODUÇÃO	99
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	101
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	110
5.4	CONCLUSÕES	118
5.5	REFERÊNCIAS	118

6	ATRIBUTOS RADICULARES DE MILHO COM A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO FINAMENTE MOÍDO NA SUPERFÍCIE DO SOLO	121
	RESUMO	121
	ABSTRACT	121
6.1	INTRODUÇÃO	122
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	123
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	124
6.4	CONCLUSÕES	132
6.5	REFERÊNCIAS	132
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
	APÊNDICE	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.	Descrição das granulometrias do calcário, reatividade do calcário, poder de neutralização do calcário (P.N.) e doses de calcário utilizado para correção química do solo	43
Tabela 3.2.	Resultados de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , hidrogênio e alumínio ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), P, K^+ , saturação por bases (V), capacidade de troca catiônica total (CTCt), matéria orgânica (M.O.), areia, silte e argila em amostra do solo da área do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade. Goiânia-GO, 2008	44
Tabela 3.3.	Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para pH, $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ e Al^{3+} em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO.	45
Tabela 3.4.	Médias dos valores de pH, $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ e Al^{3+} do solo encontrados em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	46
Tabela 3.5.	Valores de pH do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	47
Tabela 3.6.	Valores de acidez potencial do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	48
Tabela 3.7.	Valores de acidez trocável do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	50
Tabela 3.8.	Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO	50
Tabela 3.9.	Médias dos valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo encontrados em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	51
Tabela 3.10.	Valores de potássio do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	52
Tabela 3.11.	Valores de cálcio do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	53

Tabela 3.12. Valores de magnésio do solo com a aplicação e incorporação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	54
Tabela 3.13. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para CTC, V e MO em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO	55
Tabela 3.14. Médias dos valores de capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e matéria orgânica (M.O.) do solo encontrada em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	56
Tabela 3.15. Valores de capacidade de troca catiônica total do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	57
Tabela 3.16. Valores de saturação por bases do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	58
Tabela 3.17. Valores de matéria orgânica do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	59
Tabela 3.18. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes e produtividade de milho em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO....	60
Tabela 3.19. Médias dos teores foliares de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	61
Tabela 3.20. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de milho com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias em dois anos (2009 e 2010). Goiânia-GO.....	62
Tabela 4.1. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para pH, $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ e Al^{3+} em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO	75
Tabela 4.2. Médias dos valores de pH, $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ e Al^{3+} do solo encontrados em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias	76
Tabela 4.3. Valores de pH do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	77
Tabela 4.4. Valores de acidez potencial do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	79

Tabela 4.5.	Valores de acidez trocável do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	80
Tabela 4.6.	Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO	81
Tabela 4.7.	Médias dos valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo encontrados em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	82
Tabela 4.8.	Valores de potássio do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	83
Tabela 4.9.	Valores de cálcio do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	84
Tabela 4.10.	Valores de magnésio do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	85
Tabela 4.11.	Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para CTC, V e MO em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO	86
Tabela 4.12.	Médias dos valores de capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e matéria orgânica (M.O.) do solo encontrada em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	87
Tabela 4.13.	Valores de capacidade de troca catiônica total do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.....	88
Tabela 4.14.	Valores de saturação por bases do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	89
Tabela 4.15.	Valores de matéria orgânica do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	90
Tabela 4.16.	Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os teores de macronutrientes, micronutrientes e produtividade de milho em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO....	91
Tabela 4.17.	Médias dos teores foliares de macronutrientes ($g\ kg^{-1}$) e micronutrientes ($mg\ kg^{-1}$) no milho em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO	92

Tabela 4.18.	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de milho com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias em dois anos (2009 e 2010). Goiânia-GO.....	93
Tabela 5.1.	Resumo dos valores de <i>p</i> (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os atributos radiculares de milho em função de calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO.....	110
Tabela 5.2.	Resumo dos valores de <i>p</i> (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os atributos radiculares de milho em função de calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO.....	111
Tabela 5.3.	Atributos radiculares de milho com aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO. 2009.....	112
Tabela 5.4.	Atributos radiculares de milho com aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO. 2010.....	113
Tabela 5.5.	Correlações entre os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes, atributos radiculares e produção de grãos de milho. Goiânia-GO. 2009....	115
Tabela 5.6.	Correlações entre os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes, atributos radiculares e produção de grãos de milho. Goiânia-GO. 2010....	116
Tabela 6.1.	Resumo dos valores de <i>p</i> (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os atributos radiculares de milho em função de calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO. 2009	124
Tabela 6.2.	Resumo dos valores de <i>p</i> (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os atributos radiculares de milho em função de calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO.....	125
Tabela 6.3.	Atributos radiculares de milho com aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO. 2009.....	126
Tabela 6.4.	Atributos radiculares de milho com aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO. 2010.....	127
Tabela 6.5.	Correlações entre os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes, atributos radiculares e produção de grãos de milho. Goiânia-GO. 2009....	129
Tabela 6.6.	Correlações entre os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes, atributos radiculares e produção de grãos de milho. Goiânia-GO.2010.....	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1.	Trado tipo caneca adaptado para amostragem destrutiva de raízes junto com solo	102
Figura 5.2.	Amostragem de raízes com solo na cultura do milho	102
Figura 5.3.	Separação do solo e raízes de milho com uso de água	103
Figura 5.4.	Raízes separadas na primeira etapa com auxílio de água	104
Figura 5.5.	Raízes separadas na segunda etapa e preparação das raízes de milho para a sua digitalização	105
Figura 5.6.	Procedimento de digitalização de raízes de milho com auxílio de escâner de mesa e microcomputador	105
Figura 5.7.	Tela do aplicativo computacional PICASA3, junto com a tela do aplicativo computacional Genius digitalizando as raízes de milho	106
Figura 5.8.	Tela de abertura do aplicativo computacional SIARCS 3.0 [®]	107
Figura 5.9.	Início do processo de análise de raízes digitalizadas com a abertura da imagem no aplicativo computacional SIARCS 3.0 [®]	107
Figura 5.10.	Referência de escala para a análise de raízes no aplicativo computacional SIARCS 3.0 [®]	107
Figura 5.11.	Seleção das raízes de milho a serem analisadas no aplicativo computacional SIARCS 3.0 [®]	108
Figura 5.12.	Binarização das raízes de milho pelo aplicativo computacional SIARCS 3.0 [®]	108
Figura 5.13.	Mensuração da área de superfície ocupada pelas raízes de milho na imagem digitalizada no aplicativo computacional SIARCS 3.0 [®]	109
Figura 5.14.	Mensuração do comprimento das raízes de milho no aplicativo computacional SIARCS 3.0 [®]	109

LISTA DE SIGLAS

- ARM:** área radicular em função da massa de solo amostrado, onde a área radicular encontrado é dividida pela massa de solo amostrado. A massa de solo é o peso do solo amostrado descontado o conteúdo de água que estava presente nesse solo.
- ARV:** área radicular em função do volume de solo amostrado, onde a área radicular encontrado é dividida pelo volume de solo amostrado. A área radicular é a área das raízes amostradas na superfície plana da parede de vidro do escâner.
- CREM:** comprimento específico de raízes em função da massa de solo amostrado, onde o comprimento encontrado é dividida pela massa de solo amostrado. O comprimento específico de raízes é a razão entre o comprimento pela massa de raízes no solo. Quanto maior o comprimento e menor o peso ou a massa de raízes maior é o CREM. Indicando indiretamente o diâmetro das raízes no solo.
- CRM:** comprimento radicular em função da massa de solo amostrado, onde o comprimento encontrado é dividida pela massa de solo amostrado. A massa de solo é o peso do solo amostrado descontado o conteúdo de água que estava presente nesse solo.
- CRV:** comprimento radicular em função do volume de solo amostrado, onde o comprimento radicular encontrado é dividida pelo volume de solo amostrado. O comprimento radicular é o comprimento das raízes amostradas na superfície plana da parede de vidro do escâner.
- MRS:** massa radicular em função da massa de solo amostrado, onde a massa radicular encontrado é dividida pela massa de solo amostrado. A massa de solo é o peso do solo amostrado descontado o conteúdo de água que estava presente nesse solo.
- MRV:** massa radicular em função do volume de solo amostrado, onde a massa radicular encontrado é dividida pelo volume de solo amostrado. A massa radicular é o peso seco de raízes.

RESUMO GERAL

RATKE, R. F. 2011. **Classes granulométricas e modo de aplicação de aplicação de calcário na cultura do milho**. 139 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.¹

A granulometria do calcário é essencial na correção do solo, pois define sua reatividade devido à baixa solubilidade deste material. O calcário com granulometrias maiores de 0,3 mm corrige a acidez do solo e proporciona efeito residual no solo enquanto o calcário finamente moído tem menor efeito residual, mas sua aplicação na superfície do solo promove a correção da acidez do solo e pode percolar no perfil corrigindo a acidez no subsolo. O objetivo deste trabalho foi elucidar as alterações químicas no solo com duas formas de aplicação do calcário: i) incorporação de calcários com granulometria acima de 0,3 mm e; ii) calcário finamente moído na superfície do solo. Ambas estratégias de calagem foram feitas na cultura do milho e nas safras 2008/2009 e 2009/2010. Os experimentos foram montados em blocos casualizados com quatro repetições em Latossolo Vermelho distroférico. As granulometrias de calcário dolomítico incorporadas foram: 0,20 mm a 0,30 mm; 0,30 mm a 0,56 mm; 0,56 mm a 0,82 mm e 0,82 mm a 2,00 mm, nas doses de 1,3; 2,6; 3,9 e 6,5 t ha⁻¹ respectivamente. As granulometrias de calcário aplicados na superfície do solo foram: 0,30 mm a 0,20 mm; 0,20 mm a 0,10 mm; 0,10 mm a 0,05 mm e 0,05 mm a 0,01 mm, na dose de 1,3 t ha⁻¹, um tratamento controle (sem calcário) foi comum para os dois experimentos. Os atributos químicos do solo, atributo radiculares, a nutrição foliar e a produtividade do milho foram avaliados em duas safras 2008/2009 e 2009/2010. Os resultados mostram que utilizando maiores doses de calcário com granulometrias menos reativas, ou seja, maior que 0,30 mm, corrigiu o solo igualmente quando utilizado calcário com 0,20 mm a 0,30 mm, e com efeito residual no segundo ano de pesquisa. O uso de calcário com partículas de 0,30 mm a 0,20 mm aplicado na superfície do solo reduziu Al trocável e aumentou os teores de Ca e Mg no perfil do solo. O uso de calcário em granulometria maior que 0,82 mm, e na quantidade de 6,5 t ha⁻¹ aplicado e incorporado ao solo evidenciou o alongamento das raízes de milho na camada de 20-40 cm de profundidade no solo. Nessa mesma granulometria foi encontrada a maior produtividade de milho no primeiro ano. Já na segunda safra não houve diferença para a produtividade de milho entre as granulometrias de calcário incorporados no solo. A produção de milho nas duas safras avaliadas não foi influenciada pelo uso de calcário finamente moído na superfície do solo. Os teores de nutrientes nas folhas do milho foram influenciados pelo uso de calcário em diferentes granulometrias incorporados e aplicados superficialmente no solo. O alongamento das raízes na camada de 20-40 cm de profundidade foi maior quando se utilizou calcário com granulometrias entre 0,30 mm e 0,20 mm aplicado na superfície do solo. Os atributos radiculares avaliados na cultura do milho com o uso de calcário com diferentes granulometrias correlacionaram com os teores folheares de Cu no primeiro ano, e de K e Ca no segundo ano. Nesse segundo ano, também houve correlação entre o comprimento de raízes e a produtividade do milho. O uso de calcário finamente moído na superfície do solo promoveu correlação significativa entre a massa de raízes e o teor de Mn nas folhas de milho no primeiro ano.

Palavras-chave: *Zea mays*, tamanho de partícula, raízes, plantio direto.

¹Orientador: Dr. Hamilton Seron Pereira. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG.
Co-orientador: Dr. João de Deus Gomes dos Santos Junior. Embrapa Cerrados.

GENERAL ABSTRACT

RATKE, R. F. 2011. **Size classes and ways of applying lime to corn crop**. 139 f. Theses (Doctorate in Agronomy: Soil and Water) Federal University of Goiás -Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.¹

Lime particle size is key to soil correction as it defines the reactivity of the soil due to its low solubility. The lime presenting a particle size larger than 0,3 mm corrects soil acidity and enables soil residual effect whereas the finely ground lime presents a lower residual effect, however; it promotes soil acidity correction and can percolate in the layer correcting subsoil acidity. This study aimed at clarifying chemical alterations in the soil applying lime following two procedures: i) incorporation of limestone presenting particle size larger than 0.3 mm and; ii) finely ground limestone onto the soil surface. Both liming strategies were performed at corn crops harvested in 2008/2009 and 2009/2010. The experiments were assembled into randomized blocks with four repetitions using dystroferric Red Latosol. The incorporated dolomitic lime particle sizes were as follows: 0.20 mm to 0.30 mm; 0.30 mm to 0.56 mm; 0.56 mm to 0.82 mm and 0.82 mm to 2.00 mm, at doses of 1.3; 2.6; 3.9 e 6.5 t ha⁻¹ respectively. The lime particle sizes applied onto soil surface were as follows: 0.30 mm to 0.20 mm; 0.20 mm to 0.10 mm; 0.10 mm to 0.05 mm and 0.05 mm to 0.01 mm, at the dose of 1.3 t ha⁻¹, a control treatment (with no lime) was the same for both experiments. Chemical attributes of the soil, root attributes, leaf nutrients and corn yield were assessed at two crops 2008/2009 and 2009/2010. The results demonstrated that by using higher doses of lime with less reactive particle sizes, i.e., larger than 0.30 mm, it was possible to correct the soil in the same way as using lime with 0.20 mm to 0.30, and with residual effect on the second year of research. The use of lime with particles of 0.30 to 0.20 applied onto soil surface reduced exchangeable Al and increased the levels of Ca and Mg within the soil profile. The use of lime presenting particle size larger than 0.82 mm and at the quantity of 6.5 t ha⁻¹ applied and incorporated onto the soil evidenced root lengthening of the corn at the layer of 20-40 cm of depth in the soil. There was higher corn yield on the first year using the same particle size. Regarding the second crop, there was no difference concerning corn yield among lime particle sizes incorporated to the soil. Corn yield was not influenced by the use of finely ground lime onto the soil at both assessed crops. The level of corn leaf nutrients were influenced by the use of lime of different particle sizes incorporated and superficially applied to the soil. The root lengthening at the layer of 20-40 cm of depth was greater when there was the use of lime particle sizes between 0.30 mm and 0.20 applied to soil surface. Root attributes assessed at corn crop with the use of lime with different particle sizes correlated with leaf levels of Cu on the first year, and of K and Ca on the second year. There was a correlation between the length of the roots and corn yield on the second year as well. The use of finely ground lime onto soil surface promoted a significant correlation between root mass and the level of Mn in the corn leaves on the first year.

Keywords: *Zea mays*, particle sizes, roots, no-till.

¹Advisor: Dr. Hamilton Seron Pereira. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG.
Co-advisor: Dr. João de Deus Gomes dos Santos Junior. Embrapa Cerrados.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A maioria dos solos brasileiros apresenta limitações ao estabelecimento e desenvolvimento dos sistemas de produção de grande parte das culturas, em decorrência dos efeitos acidez (Sousa et al., 2007). Por estar situado em região tropical e subtropical, o Brasil possui extensa área de solos ácidos, não adequados para o estabelecimento de culturas tropicais. A gênese, a mineralogia, as ciclagens de nutrientes e o acúmulo de resíduos orgânicos são os principais fatores que tornam esses solos ácidos (Sousa et al., 2007; Motta & Melo, 2009).

A região sob vegetação de Cerrados concentra a segunda maior formação vegetal brasileira, superado apenas pela Floresta Amazônica. Sua área de aproximadamente 163 milhões de hectares abrange 15 Estados e o Distrito Federal, ocupando aproximadamente 20% do território brasileiro (Bernardi et al., 2003). Desta área, cerca de 50 milhões de hectares possuem potencialidade para a agricultura mecanizada intensiva, desde que as limitações físicas e químicas sejam superadas (Blancaneaux et al., 1993). Dentre essas limitações está a acidez dos principais solos presentes nessa região.

O Cerrado está inserido em áreas de clima tropical e subtropical, onde é comum a ocorrência de solos ácidos, caracterizados por reduzido pH, baixos teores de matéria orgânica, baixos teores de Ca e Mg trocáveis, baixo índice de saturação de bases, e relativamente elevados teores de alumínio trocável. Sanchez & Logan (1992) indicaram que 1/3 dos solos tropicais apresentam problemas de acidez do solo, com elevada saturação por Al. A acidez e a pobreza de nutrientes retardou a inclusão das áreas de Cerrado do Brasil central ao processo produtivo (Motta & Melo, 2009). Somente com a prática da calagem e adubação foi possível o estabelecimento da agricultura comercial nesse importante bioma brasileiro (Motta & Melo, 2009). A calagem contribui para o aumento da eficiência dos adubos e conseqüentemente, da produtividade e da rentabilidade agropecuária (Sousa et al., 1989; Oliveira & Yokoyama, 2003). Diversos estudos têm demonstrado que a calagem em solos com acidez elevada permite dobrar a produtividade das culturas com relação custo/benefício superior a 20:1, em um período de quatro colheitas (Quaggio et al., 2001).

O sistema de plantio direto (SPD) é a forma de manejo conservacionista que envolve um conjunto de técnicas integradas que visam otimizar a expressão do potencial genético de produção das culturas com simultânea melhoria das condições ambientais (água-solo-clima). O SPD está fundamentado em três requisitos mínimos: revolvimento do solo restrito à cova ou sulco de plantio, a biodiversidade pela rotação de culturas, e a cobertura permanente do solo com culturas específicas para formação de palhada (Costa et al., 2006).

A implantação do SPD apresenta resultados insatisfatórios e insustentáveis em algumas áreas de Cerrado devido principalmente a implantação desse sistema sem observar suas premissas, como o não revolvimento do solo e uma adequada correção do solo antes de seu uso. Mesmo considerando isso, ainda faltam investigações que elucidem o problema da ausência de resposta a fertilizantes em áreas de Plantio Direto de longa duração que muitas vezes está ligada a baixa eficiência da calagem superficial. Os processos de acidificação do solo (intemperismo ácido) liberam cátions e ânions para a solução. Um sistema eficiente incorpora os íons liberados no ciclo biológico, mas em um sistema ineficiente, os íons podem ser perdidos por lixiviação, deste modo diminuindo a fertilidade do solo.

A recalagem é uma alternativa para a correção do solo em SPD, sendo que a incorporação do calcário compromete esse sistema, e a aplicação superficial corrige a acidez do solo praticamente na camada de 0-10 cm de profundidade. Diante disso, Amaral & Anghinoni (2001), utilizando a recalagem no SPD, descrevem que os valores de pH e os demais atributos químicos, das fases sólida e líquida, foram, como esperado, mais uniformes quando o calcário foi incorporado, e formaram gradientes a partir da superfície quando não foi incorporado.

A matéria orgânica pode substituir muitas funções do calcário, sem a indesejável redução da disponibilidade de B, Cu, Fe, Mn e Zn, que se observa com o aumento do pH. Na busca da agricultura sustentável é importante aumentar o teor de matéria orgânica do solo (através de maior produção de matéria seca e menor mineralização) e aprofundar o sistema radicular (através da calagem).

A condição inicial do solo na implantação do sistema é extremamente importante para a obtenção de elevadas produtividades que possibilitem a inicialização do sistema. Assim, torna-se necessário dar condições para a formação de grande quantidade

de matéria orgânica de forma sustentável por vários anos para que, após este período, o solo em novo equilíbrio possa mantê-lo fértil por um período indefinido.

A grande barreira para a implantação deste sistema nestas condições vem sendo a acidez elevada associada ao baixo poder tampão destes solos, que após os primeiros anos de cultivo estes solos já necessitam de recalagem constante. A isto também se somam a implantação mal feita pelos agricultores que não se preocupam em realizar um bom preparo do solo na implantação do sistema, agravando ainda mais os problemas de fertilidade com aplicações de elevadas doses de calcário superficial.

O tempo de reatividade do calcário no solo pode dispensar o uso da recalagem, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica pelo uso do sistema de plantio direto. O poder tampão do solo, ou seja, a manutenção de um pH inalterável que favorece a equilíbrio de nutrientes disponíveis na solução do solo e o crescimento de raízes pode ser alcançada com maiores quantidades de matéria orgânica adicionadas ao solo. Nesse sentido, Quaggio et al. (1982) relataram que o efeito residual do material calcário, quanto mais longo melhor, gerando maior número de colheitas e maior retorno econômico com uma única aplicação. Contudo, Quaggio (2000) concluiu que a moagem excessiva de calcário além de diminuir a reatividade dos corretivos no campo aumenta os custos de produção e tem menor efeito residual. Quaggio (2000) também relata que a movimentação de partículas de calcário no solo se deve a gradiente de concentração de cálcio e assim atinge zonas com menor correção da acidez do solo, e calcários calcinados (mais finos) são mais eficientes para que ocorra esse processo.

O movimento descendente do cálcio no perfil do solo desloca o Al do complexo de troca cuja saturação diminui, permitindo maior desenvolvimento de raízes no perfil do solo, principalmente em solos ácidos (Malavolta et al., 2006). Apesar da importância do sistema radicular como componente dos ciclos biogeoquímicos e para o crescimento vegetal (i.e. fixação, obtenção de recursos como água e nutrientes, síntese de reguladores de crescimento e armazenagem de carboidratos), muito pouco ainda é conhecido a respeito de sua dinâmica, comparativamente à parte aérea (Lynch, 2007).

O objetivo deste trabalho foi verificar os atributos químicos do solo e as repostas da cultura do milho a aplicação de diferentes classes granulometrias de calcário incorporado e aplicado na superfície do solo. A aplicação de calcário com granulometria maior que 0,30 mm em quantidade superior a dose recomendado e incorporada no solo na implantação do sistema de plantio direto pode favorecer o tempo de

correção da acidez do solo e o fornecimento de Ca e Mg. Já o calcário com granulometria menor 0,30 mm aplicado na superfície do solo percola para camadas subsuperficiais do mesmo. As diferentes doses e granulometrias de calcário incorporados e aplicados superficialmente interferem na produtividade, na nutrição e nos atributos radiculares da cultura do milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ACIDEZ DO SOLO

Os solos, em suas condições naturais, podem ser ácidos, em decorrência do material de origem e da intensidade da ação de agentes de intemperismo, como clima e organismos. As regiões com altas precipitações pluviais apresentam tendência à maior acidificação do solo pela remoção de cátions de caráter básico do complexo de troca, como Ca, Mg, K e Na, e o consequente acúmulo de cátions de natureza ácida, como Al e H. A matéria orgânica nos solo fornece ácidos fracos que doam prótons. Esses ácidos, são, portanto, fonte da acidez potencial do solo (Sousa et al., 2007).

O cultivo dos solos pode acentuar a acidez do solo pela absorção dos cátions básicos pelas culturas e exportados com as colheitas. A erosão do solo causada pelo manejo inadequado do solo expõe horizontes subsuperficiais que são, em geral, mais ácidos. O uso de fertilizantes amoniacais contribui para a acidificação devido a nitrificação do amônio (Sousa et al., 2007). Os adubos nitrogenados utilizados em diversas culturas promovem a acidificação do solo através de processos químicos e orgânicos ocorridos no solo pelo ciclo do nitrogênio na natureza. Os processos de amonificação, nitrificação, redução do nitrato e desnitrificação promovem o aumento de ions H^+ na solução do solo (Helyar, 2003).

O solo de caráter ácido é quando apresenta pH abaixo de 7,0. A relação de equilíbrio entre ácido-base tem comportamento semelhante ao um ácido fraco, cujo potencial de reposição de H^+ para a solução é muito superior à sua atividade nessa solução. A acidez do solo é resultante do equilíbrio entre os fatores intensidade, quantidade e capacidade ou poder tampão desta acidez. A intensidade refere-se à atividade de H^+ na solução do solo. O fator quantidade relaciona-se a concentração de H^+ e de Al^{3+} adsorvidos aos colóides e que podem ser desorvidos da fase sólida como consequência da neutralização e precipitação desses cátions na solução do solo. Dessa forma, a acidez do

solo é dividida em acidez ativa (fator intensidade), acidez trocável (fator quantidade) e acidez não-trocável (Sousa et al., 2007).

A atividade dos ions H^+ , dissociados na solução do solo representa a acidez ativa, que sua medida se faz através do índice de pH. Já Al^{3+} , outro componente da acidez do solo, se liga por forças eletrostáticas as cargas negativas da matriz do solo. Esse Al^{3+} pode ser deslocado por reações de troca iônica, por soluções de sais neutros não tamponados. Assim, se denomina acidez trocável. O Al^{3+} faz parte também da acidez potencial que representa a concentração de íons H^+ e Al^{3+} que ainda não se dissociaram e estão em equilíbrio com os da solução do solo. As ligações covalentes de H^+ a matriz do solo se denomina acidez não trocável. Esses componentes da acidez do solo interferem diretamente na capacidade de troca cátions (CTC) do solo (Quaggio, 2000). A CTC mede a capacidade de retenção de cátions pelas partículas do solo, ou seja, elementos químicos que são nutrientes para as plantas. A acidez do solo também interfere no soma de bases e com isso na saturação por bases do solo. A concentração de Al no solo é inferida pela saturação por Al. A saturação por Al acima de 30% limita o desenvolvimento da maioria das plantas cultivadas (Quaggio, 2000).

A concentração de H^+ na solução do solo, mesmo com valor de $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$, que corresponde a pH 4,0, não é fator limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas, desde que haja suprimento adequado dos nutrientes e ausência de elementos em concentrações tóxicas. Essa situação não ocorre em solos naturalmente ácidos, que apresentam teores de Al^{3+} e Mn^{2+} tóxicos para as plantas. A acidez do solo interfere na disponibilidade de nutrientes e na atividade biológica do solo. A presença de Al^{3+} em elevado teores no solo provoca o engrossamento das raízes e diminui o desenvolvimento das mesmas. Já o excesso de Mn^{2+} no solo afeta o crescimento foliar com reflexos negativos na produção final (Sousa et al., 2007).

A redução da acidez do solo promove a insolubilização de alumínio (Al^{3+}) e magnésio (Mn^{2+}) aumenta a disponibilidade de fósforo e molibidênio e diminui a de micronutrientes, como zinco, manganês, cobre e ferro. A intensidade dessas mudanças na disponibilidade/absorção de elementos químicos do solo pode ser verificada com o comportamento diferenciado entre espécies de plantas (Raij, 1991). As plantas respondem diferentemente a falta ou excesso de nutrientes no solo.

A atividade do Al^{3+} e das demais espécies de sua hidrolise depende basicamente do tipo de mineral da fase solida e do pH do solo. Em solos ácidos, com

predomínio de argilas de 1:1 (caulinita) e oxihidróxidos (gibbsita) na fração argila, a atividade do Al^{3+} aumenta. Nesse caso, o Al interfere na disponibilidade de outros nutrientes como Ca, Mg e P. Assim, o fósforo tende a reagir com o Al solúvel, formando fosfatos de alumínio de baixa solubilidade em solos ácidos (Sousa et al., 2007).

2.2 CORREÇÃO DA ACIDEZ SOLO

A correção da acidez superficial e subsuperficial do solo fazem-se necessária para promover maior eficiência de absorção da água e nutrientes para as plantas e obter melhores produtividades das culturas. Para essa correção, o insumo mais utilizado é o calcário (Sousa et al. 2007). Quando se aplica corretivo de acidez ao solo, na maioria das vezes o calcário (carbonato de cálcio e carbonato de magnésio), este reage com o hidrogênio do solo liberando água e gás carbônico.

O alumínio é insolubilizado na forma de hidróxido. No caso de outros corretivos da acidez de solo, que não o calcário, como a cal virgem (CaO), cal hidratada $Ca(OH)_2$, calcário calcinado, etc., que são quimicamente bases fortes, o mecanismo de neutralização da acidez do solo baseia-se na reação da hidroxila (OH^-) com o hidrogênio (H^+) da solução do solo. O equilíbrio químico entre OH^- e o (H^+) na solução do solo é medido pelo pH. O pH neutro entre 5,0 e 6,5 favorece a absorção de água e nutrientes para a maioria das plantas cultivadas (Lopes et al., 1990).

A necessidade de correção do solo considerada a quantidade de bases exigidas para se corrigir a acidez do solo até um valor desejado de pH ou saturação por bases. Os métodos mais utilizados para calcular a necessidade de calagem do solo são: método do alumínio trocável, método da solução tampão SMP e método da saturação por bases. Esse último é o método mais utilizado nas regiões de Cerrado do Brasil, e leva em consideração à soma de bases do solo, a acidez potencial do solo, a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases atual do solo (V) (Quaggio, 2000).

Quaggio (1986) comparou os métodos descritos através da reposta de culturas à calagem, onde descreve que o critério do alumínio subestima a necessidade de calagem, e que os métodos de saturação por bases e SMP são mais ajustados às condições dos solos brasileiros. O método SMP é somente utilizado nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul para determinar a necessidade de calagem.

2.2.1 Material corretivo da acidez

Os corretivos mais utilizados para a acidez do solo são rochas calcárias moídas, compostas dos minerais calcita, dolomita e magnesita, os quais são constituídos por carbonatos de cálcio e magnésio. A reserva nacional de calcário foi estimada em 50,1 bilhões de toneladas (DNPM, 2010). A moagem pode ser feita em diferentes tipos de moinhos, sendo mais comum os de martelo rotativos, que produzem calcários com granulometrias mais grossas. Já os moinhos de bola, dão origem aos calcários com granulometrias mais finas. O calcário calcinado obtido por processo de calcinação ou queima das rochas calcárias, são pouco utilizados no Brasil, mesmo produzindo compostos mais solúveis que os carbonatos (Quaggio, 2000).

Os resíduos das indústrias da siderurgia, as escórias de alto forno, cuja base é silicatos de cálcio e magnésio são também materiais corretivos da acidez do solo. Essas escórias possuem ainda alguns micronutrientes e silício, que podem ser fontes de nutrientes para as plantas. O silício é um elemento benéfico para a produção das poaceas como o arroz e cana-de-açúcar. As escórias pelo custo de produção são pouco utilizadas no Brasil como material corretivo da acidez do solo (Quaggio, 2000).

Os corretivos dos solos são avaliados em relação ao seu poder neutralizante da acidez do solo. Essa eficiência dos corretivos é conhecida como poder relativo de neutralização total (PRNT). Nesse PRNT, considera-se a pureza química da rocha de origem, denominada de poder de neutralização (PN), e o grau de moagem, ou taxa de reatividade (RE), ambos expressos em porcentagem de equivalência de carbonato de cálcio (CaCO_3) puro (Sousa et al., 2007).

O PRNT indica o índice de eficiência dos corretivos da acidez do solo, ou seja, quanto maior o PRNT, maior sua eficiência, o que não é correto. A eficiência é mais complexa e difícil de ser avaliada, pois não depende somente das características intrínsecas dos corretivos, medidas pela pureza química e grau de finura, mas também pela resposta da cultura ao corretivo, do seu efeito residual e de fatores econômicos como os custos dos produtos de transporte e de aplicação (Quaggio, 2000).

Souza & Lobato (2002) aplicaram $2,8 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário (PRNT = 100%) na superfície de um Latossolo Vermelho argiloso de Cerrado, cultivado com milho no SPD, no qual descreveram que esse calcário reagiu gradativamente com o tempo de cultivo, atingindo 100% de reatividade aos seis anos após a aplicação. Assim, o efeito residual

desse calcário tornou possível a colheita de cinco safras, e foi eficiente mesmo tendo um PRNT de 89%.

2.2.2 Legislação brasileira sobre materiais corretivos

A instrução normativa nº 35 de 4 julho de 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (Brasil, 2006) prevê especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura no Brasil. A tolerância mínima prevista por essa instrução normativa, é de 45% de PRNT, para qualquer material corretivo.

A legislação brasileira atual prevê quatro taxas de reatividade das frações granulometrias dos materiais calcários, as quais baseadas no trabalho de Alcarde et al. (1989), que são 0%, 20%, 60% e 100%, representando, respectivamente, as granulometrias de calcário maior que 2,00 mm, de 2,00 mm a 0,84 mm, de 0,84 mm a 0,30 mm e menor que 0,30 mm. Os valores e taxas de reatividade foram obtidos em ensaio de incubação de amostras de solo, por um período de três meses. Por isso o PRNT, representa o quanto o material calcário utilizado vai reagir nesse período (Quaggio, 2000). As eficiências das frações granulométricas obtidas em condições de campo com base na resposta de soja a calagem mostra que os calcários com maior granulometria possuem mesma eficiência que calcários mais finos, e isso discorda da legislação brasileira (Bellingiere et al., 1992; Natale & Coutinho, 1994; Rosolem et al., 1995).

Bellingiere et al. (1992) relataram que a utilização de calcário calcinado proporcionou maior produtividade na cultura da soja no primeiro ano em relação ao calcário com granulometria de 2,0 mm, sendo que esse efeito desapareceu no segundo ano. Natale & Coutinho (1994) descreveram que a eficiência relativa das frações 2,0 mm a 0,60 mm e 0,60 mm a 0,30 mm, foram para média de três cultivos de soja, respectivamente 77% e 93%, bem superior aos valores, respectivamente de 20% e 60% encontrados por Alcarde et al. (1989). Rosolem et al. (1995) compararam calcário tradicional, com 60% de PRNT, com o calcário calcinado de 90% de PRNT, sendo que as doses de calcário foram ajustadas pelo PRNT, e os resultados mostraram que não houve diferença a produção e desenvolvimento radicular da soja entre os tipos de calcário, e que o calcário tradicional mostrou efeito residual.

2.3 SISTEMA PLANTIO DIRETO

O Sistema Plantio Direto (SPD) é a prática de semeadura ou de cultivo de plantas sem preparo físico do solo, mantendo-se a palha da cultura anterior na superfície. Esse sistema envolve a diversificação de espécies, via rotação de culturas, que são estabelecidas mediante mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura, mantendo-se os resíduos vegetais das culturas anteriores na superfície do solo (Smiderle et al., 2008).

O sistema de plantio direto teve crescimento de sua adoção na década de 80, que diante da crise dos planos econômicos e endividamento do setor agrícola, o SPD foi a melhor alternativa para o empresário rural no aspecto econômico. A partir da década de 90, a ascensão do SPD coincide com aumento da produtividade, com sua grande participação, aliado às outras tecnologias (Mello, 2007). O SPD tem sido amplamente adotado por agricultores do Cerrado brasileiro. Contudo, seu uso continuado em regiões tropicais, com insuficiência de cobertura do solo e sucessivas adubações superficiais, podem resultar em alterações nos parâmetros do solo, como compactação e acúmulo de nutrientes na superfície, e na baixa expressão do potencial produtivo das culturas (Kluthcouski et al., 2000).

As vantagens do SPD estão relacionadas com a manutenção de atributos químicos e estruturais do solo, com o maior controle da erosão e a economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo. O uso deste sistema por um longo período promovem melhorias nestas características do solo e a ciclagem de nutrientes. Os nutrientes disponibilizados no solo são aproveitados pelas plantas e microorganismos que atuam junto à matéria orgânica, com isso o solo fica mais fértil e reduz o uso de corretivos e adubos (Caires et al., 2003).

O SPD surgiu como excelente alternativa no manejo do solo, pois além de reduzir a erosão preserva os atributos físicos, químicos e biológicos do solo obtidos ao longo do tempo. O uso deste sistema pode também ter desvantagens como aumento da densidade do solo na superfície, diminuição do volume de macroporos e da rugosidade superficial, mas isso não prejudica a infiltração da água no solo, a erosão hídrica e desenvolvimento de raízes das plantas (Amaral et al., 2004).

A não-mobilização do solo e o aumento da matéria orgânica determinam, ao longo do tempo, um ambiente propício para a atividade de minhocas, larvas de insetos e de

outros organismos e o aumento da atividade microbiana (Amaral et al., 2004). Assim, o SPD proporcionou aumento de bioporos pela ação contínua de raízes e alta atividade da meso e macrofauna. Esses bioporos são pequenos canais que permite a infiltração da água no perfil do solo e com isso a carregamento de elementos químicos principalmente Ca e Mg para camadas mais subsuperficiais do solo corrigindo a acidez do solo e melhorando o ambiente para o desenvolvimento radicular das plantas (Amaral et al., 2004).

2.4 CORREÇÃO DA ACIDEZ SOLO EM SPD

A manutenção do pH em valor igual ou acima de 6,0 e a manutenção da atividade biológica na superfície do solo são necessárias para melhorar, aos poucos, os subsolos ácidos (isto é, alcançar o transporte de elementos neutralizantes para as camadas inferiores de cerca de 2 a 3 kmol OH⁻ ha⁻¹ ano⁻¹, equivalente a 100-150 kg CaCO₃ ha⁻¹ ano¹). O uso de calcário, ou de corretivos equivalentes, é essencial para neutralizar as adições de ácido à superfície do solo provenientes dos ciclos do C e do N e do ácido carbônico, além da manutenção de atividade biológica suficiente para sustentar as taxas de lixiviação de OH⁻, HCO₃⁻ e CO₃ que ocorre no solo e são substâncias neutralizantes da acidez do solo (Helyar, 2003).

A ação do calcário na neutralização da acidez de subsolos é dificultada pela baixa solubilidade dos corretivos e os ânions resultantes de sua dissolução, responsáveis pela correção da acidez, são consumidos nas reações com outros cátions ácidos (Al³⁺, Mn²⁺ e Fe²⁺) na camada de deposição do calcário. No entanto, o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o HCO₃⁻, acompanhado por Ca e Mg, movimentasse para o subsolo para reagir com a acidez (Caires et al., 2003).

Segundo Barbosa Filho et al. (2005), a aplicação de calcário na dose calculada para elevar a saturação por bases a 60%, reduz o pH e eleva os teores de Ca e Mg trocáveis das camadas de 0-10 e de 10-20 cm de profundidade, após 24 meses da calagem. A ação corretiva da acidez pela calagem é mais acentuada na camada de 0-10 cm de profundidade, independentemente se incorporado ou não ao solo. A aplicação de calcário aumenta significativamente o rendimento médio de grãos do feijoeiro irrigado em SPD, e também da soja em sucessão ao feijão, devido ao efeito residual do calcário (Barbosa Filho et al., 2005).

A aplicação de calcário em superfície na instalação do sistema plantio direto, independentemente da granulometria e da dose do material corretivo, alterou positivamente os atributos químicos do solo (pH, H + Al, Ca²⁺ e Mg²⁺) das camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm), doze meses após a calagem. A aplicação de doses mais elevadas de calcário, com maior granulometria, mostrou efeito residual prolongado para a correção da acidez do solo (Mello et al., 2003).

Os valores do pH da solução do solo em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ não se alteram na camada de 0-10 cm ao longo do tempo, porém, nas outras camadas até quatro cm verificou-se aumento do pH, principalmente a partir dos cento e oitenta dias. A aplicação de calcário na superfície alterou até a profundidade de quatro cm os valores de pH, Al, Ca e Mg trocáveis, e os valores de Ca e Mg na solução, até dois cm, aos trezentos e sessenta dias após a sua aplicação. A dissolução máxima de calcário ocorre aos noventa dias de sua aplicação, conforme indicam os valores de condutividade elétrica e de Ca e Mg na solução do solo (Amaral & Anghinoni, 2001).

2.5 SISTEMA RADICULAR

O sistema radicular tem papel importante no armazenamento e ciclagem da matéria orgânica e nutrientes, bem como no fluxo de energia e matéria na biosfera. O total de carbono e nitrogênio ciclados via decomposição de raízes pode ser bem maior do que o retornado ao solo via decomposição de liteira (Lynch, 2007). O conhecimento sobre a dinâmica de raízes em sistemas agrícolas deve suportar melhores previsões dos ciclos biogeoquímicos e da produtividade. Para atingir esses objetivos é necessário quantificar e identificar funções das raízes em condições variadas de crescimento (Santos-Júnior et al., 2007).

O estudo de raízes, deve ter uma nova abordagem metodológica, de caráter multidisciplinar e dinâmico, para a compreensão das relações de causa-efeito entre sistemas de manejo do solo e seus atributos químicos, físicos e biológicos. As dificuldades metodológicas relacionadas aos métodos destrutivos, dentre outras, estão relacionadas à separação das raízes de interesse do solo, bem como na identificação das metabolicamente ativas (Gregory, 2006). Entretanto, dificuldades associadas à amostragem do sistema radicular são inerentes a qualquer método de investigação e muita atenção é frequentemente dada na discussão de prós e contras de métodos particulares e pouca para

entender se determinada ferramenta é apropriada para responder às questões técnico-científicas levantadas. Todavia, o uso de métodos convencionais tem limitado o entendimento da dinâmica e função das raízes nos sistemas agrícolas e naturais (Pierret et al., 2005).

As raízes constituem cerca de 33% da produtividade primária líquida global, sendo que a entrada de carbono e nutrientes no solo, proveniente das raízes, é igual ou maior que a proporcionada pelas folhas (Hendrick & Pregitzer, 1993). Apesar de sua importância no entendimento da ecologia terrestre, ciclagem de nutrientes e carbono, poucas informações existem sobre as suas características básicas (biomassa, comprimento, área superfície) e como elas podem responder a futuras mudanças globais. Essa carência de estudos é função, principalmente, das dificuldades relacionadas com suas determinações. As raízes finas (diâmetro < 2,0 mm) são as principais responsáveis pela captura de água e nutrientes desempenhando, de modo semelhante, o mesmo papel apresentado pelas folhas na captura de carbono e energia para as plantas. Enquanto as raízes finas constituem menos de 1% da biomassa total das florestas, a produção anual de raízes finas pode contribuir com mais de 50% na produção primária líquida total das plantas (Santos-Júnior et al., 2007).

As plantas, através de seu sistema radicular, podem diminuir a concentração de nutrientes minerais e água pela sua absorção ou causar o aumento da concentração de nutrientes na rizosfera, pela eliminação de compostos devido a exsudação de substâncias orgânicas. Estas substâncias atuam diretamente sobre a população microbiana local e o solo rizosférico, modificando a sua composição química (Bolton et al., 1993).

2.6 A CULTURA DO MILHO

A cultura do milho ocupou, em 2010, uma área em torno de 13 milhões de hectares, responsável por uma produção de cerca de 54 milhões de toneladas de grãos, apresentando um rendimento médio de 4.157 kg ha⁻¹ na safra e 4.104 kg ha⁻¹ na safrinha (Conab, 2010). A cultura do milho encontra-se amplamente disseminada no Brasil. Isto se deve tanto à sua multiplicidade de usos na propriedade rural quanto à tradição de cultivo deste cereal pelos agricultores brasileiros. A exigência nutricional do milho é maior para potássio e nitrogênio, seguindo-se o magnésio, cálcio, fósforo e enxofre (Magalhães et al., 1995).

A produção de milho, no Brasil tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de plantio. Os plantios de verão, ou primeira safra, são realizados na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto, na região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste (no Nordeste, esse período ocorre no início do ano). Mais recentemente, tem aumentado a produção obtida na safrinha, ou segunda safra. A safrinha refere-se ao milho de sequeiro, plantado extemporaneamente, em fevereiro ou março, quase sempre depois da soja precoce, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná e São Paulo. Verifica-se um decréscimo na área plantada no período da primeira safra, em decorrência da concorrência com a soja, o que tem sido parcialmente compensado pelo aumento dos plantios na safrinha. Embora realizados em uma condição desfavorável de clima, os plantios da safrinha são conduzidos dentro de sistemas de produção que gradativamente são adaptados e essas condições, o que tem contribuído para elevar os rendimentos das lavouras dessa época (Duarte et al., 2007).

A calagem eleva o pH e a saturação por base do solo e fornece os nutrientes Ca e Mg. A elevação do pH tem influência direta na redução da toxidez de Al e pode alterar a disponibilidade de nutrientes no solo para as plantas (Azevedo et al., 1996; Miranda & Miranda, 2000) O milho têm apresentado respostas acentuadas à calagem, com aumento significativo de produtividade, em solo de cerrado (Miranda et al., 1980; Quaggio et al., 1982; Fageria & Stone, 1999; Caires et al., 2000). Raij & Quaggio (1997) determinaram que as doses econômicas de calcário nos solos de cerrado para as culturas do milho foram 9, 5,5 e 6,5 t ha⁻¹, respectivamente.

O desenvolvimento adequado do milho deve-se a correção da acidez do solo (Caires et al., 2004). O aumento do pH do solo altera a disponibilidade de nutrientes, causando aumentos na absorção de N (Goodroad & Jellum, 1988), P, K, Ca e Mg (Lutz Jr. et al., 1972) pelo milho. A aplicação e incorporação de calcário em sistema de plantio convencional apresentam aumentos consideráveis na produção de milho (Gonzales-Erico et al., 1979; Camargo et al., 1982; Raij et al., 1983; Ernani et al., 1998). Entretanto, a aplicação superficial de calcário no manejo de solos ácidos com o uso de plantio direto não favoreceu o aumento da produtividade dessa cultura (Pöttker & Ben, 1998; Caires et al., 1999; Rheinheimer et al., 2000).

Silva et al. (2000) observaram que a maior parte das raízes de milho encontra-se na camada de 0-20 cm com a correção do solo através da calagem superficial. Esta camada também apresentou maior pH, maior concentração de nutrientes e carbono

orgânico e menor concentração de Al tóxico. Ademais, o solo na superfície é mais arenoso e apresenta menor densidade, exceto nas camadas afetadas pelo pisoteio animal durante o pastejo ou por compactação remanescente de preparos anteriores.

A densidade de raízes (cm de raiz cm^{-3} de solo) foi significativamente, correlacionado, de forma positiva, com a concentração de nutrientes: P (0-5 cm), K (25-30 cm) e Ca (5-10 cm, 10-15 cm e 35-40 cm), pH em água (5-10 cm) e SMP (10-15 cm) e, de forma negativa, com elemento tóxico: Al trocável (5-10 cm, 10-15 cm e 20-25 cm) e propriedades físicas: densidade do solo (10-15 cm) e silte (0-5 cm e 35-40 cm). Portanto, a densidade de raízes foi favorecida pela presença de nutrientes e carbono orgânico, pH favorável e densidade do solo e textura menos limitantes ao desenvolvimento das mesmas (Silva et al., 2000).

Rosolem et al. (1999) concluíram que o desenvolvimento radicular do milho está relacionado a densidade das partículas do solo, ou seja, a compactação do solo. Nesse trabalho, ele descreve que, no solo arenoso, o crescimento ocorre na interface da partícula sólida com o poro, e que em baixa densidade, os solos com 22% e 41% de argila, respectivamente, foram os que apresentaram o maior crescimento radicular. Já nos níveis de compactação intermediários, o ambiente foi mais adequado ao crescimento radicular nos solos mais arenosos, que apresentavam menores resistências à penetração.

2.7 REFERÊNCIAS

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

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, abr. 2001.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 359-367, mar. 2004.

AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 191-198, abr. 1996.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície e incorporada. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 507-514, maio 2005.

BELLINGIERI, P. A.; SOUZA, E. C. A.; ALCARDE, J. C.; SHIKASHU, H. W. Importância da reatividade do calcário sobre a produção e algumas características da cultura da soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 49, n. especial, p. 61-71, 1992.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e adubação no sistema plantio direto nos Cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, (Documentos, 46), 2003, 22 p.

BLANCANEUX, P. H.; FREITAS, P. L.; AMABILE, R. F.; CARVALHO, A. M. Le semis direct comme pratique de conservation des sols des cerrados du Brésil central. **Cahiers Orstom**, Série Pédologie, Paris, v. 28, n. 2, p.253-275, mai. 1993.

BOLTON, H.; FREDICKSON, J. K.; ELLIOTT, L. F. Microbial ecology of the rhizosphere. In: METTING, F. B. Jr. **Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management**. New York: M. Dekker, 1993, p. 27-63.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução normativa nº 35 de 4 julho de 2006, fica aprovada as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 12 de julho de 2006. Disponível em: <<http://www.faolex.fao.org/docs/texts/bra67952.doc>> Acesso em: 21 maio 2011

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 161-169, jul. 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p.275-286, mar. 2003.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações de características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 315-327, maio 1999.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho a calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 125-136, jan. 2004.

- CAMARGO, A. P.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ROCHA, T. R.; NAGAI, V.; MASCARENHAS, H. A. A. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguidos de algodão e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 7, p. 1007-1012, jul. 1982.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamento de safras**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 15 set. 2010.
- COSTA, E. N. A. N.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. O. G. D. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul. 2006.
- DNPM. Departamento Nacional de Produção mineral - 6^o distrito. **Desempenho do setor mineral 2010 (ano base 2009)**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/go/conteudo.asp?IDSecao=614>> Acesso em: 13 mar. 2011.
- ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; OLIVEIRA, L. C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 275-280, mar. 1998.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAP, (Documentos, 92), 1999. 42 p.
- GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMANN, 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 American Journal**, Madison, v. 43, n. 6, p. 155-1158, nov. 1979.
- GOODROAD, L. L.; JELLUM, M. D. Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn. **Plant Soil**, Amsterdam, v.106, n. 1, p.85-89, jan. 1988.
- GREGORY, P. **Plant roots**. Oxford: Blackwell, 2006. 328 p.
- HELYAR, K. Manejo da acidez do solo a curto e longo prazo. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 104, p. 1-12, 2003.
- HENDRICK, J. J.; PREGITZER, K. S. Patterns of fine roots mortality in two sugar maple forest. **Nature**, London, v. 361, n. 6407, p.59-61, jul. 1993.
- LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA (Boletim Técnico, 1), 1990. 22 p.
- LUTZ, J. A.; GENTER, C. F.; HAWKINS, G. W. Effect of soil pH on element concentration and uptake by maize: I. P, K, Ca, Mg and Na. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n. 1, p. 581-583, jan. 1972.
- LYNCH, J. P. Roots of the second green revolution. **Australian Journal of Botany**, v. 55, n. 5, p. 493-512, maio 2007.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p.97-104, jan. 2000.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1994. 27p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MELLO, I. Alternativas para formação de palhada. In: WORKSHOP SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NO ESTADO DE SÃO PAULO. Piracicaba, **Resumos de palestras...**, Piracicaba: Fundação Agrisus, 2007, p.16-49.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. Alterações nos atributos químicos de um latossolo distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 553-561, maio 2003.

MIRANDA, L. N.; MIELNICZUK, J.; LOBATO, E. Calagem e adubação corretiva. In: MARCHETTI, D.; MACHADO, A. D. (Coord.) **Cerrado: uso e manejo**. Brasília: Editerra, 1980, p. 523-591.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. de. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei Pouco Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 209-215, jan. 2000.

MOTTA, A. C. V. & MELO, V. F. Química dos solos ácidos. IN: ALLEONI, L. R. F. & MELO, V. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, 2009. p.313-380.

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

OLIVEIRA, I. P.; YOKOYAMA, L. P. Implantação e condução do Sistema Barreirão. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.) **Integração lavoura - pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2003. p. 265-302.

PIERRET, A.; MORAN, C. J.; DOUSSAN, C. Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. **New Phytologist**, Lancaster, v. 166, n. 4, p. 967-980, set. 2005.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 675-684, jul. 1998.

QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico do cerrado. II. Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, n. 1, p.113-118, jan. 1982.

QUAGGIO, J. A. **Simpósio avançado de química e fertilidade do solo: Reação do solo e seu controle**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1986. p. 9-39.

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

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. In: **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. p.181-188.

RAIJ, B. van; CAMARGO, A. P.; CANTARELLA, H.; SILVA, N. M. Alumínio trocável e saturação em bases como critério para recomendação de calagem. **Bragantia**, Campinas, v.42, n. 2, p. 149-156, mar. 1983.

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

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. Methods used for diagnosis and correction of soil acidity in Brazil: overview. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Proceedings...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 205-214.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 5, p. 797-805, set. 2000.

ROSOLEM, C. A.; BICUDO, S. J.; MARUBAYASHI, O. M. Soybean yield and root growth as affected by lime rate and quality. In: DATE, R. A.; GRUNDON, N. J.; RAYMENT, G.E.; PROBERT, M.E. (Ed.) **Plant soil interactions at low pH: Principles and mangement**. Dordrech: Kluwer, 1995. p. 543-547.

ROSOLEM, C. A; FERNANDEZ; E. M. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 34, n. 5, p. 821-828, maio 1999.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myts and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In.: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. **Myts and science of soils of the tropics**. Madison: SSAA (Special publication, 29), 1992, p. 35-46.

SANTOS-JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; FERREIRA, E. A. B.; RESK, D. V. S.; LAVRES-JÚNIOR, J. **O sistema minirhizotron no estudo da dinâmica de raízes**. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2007, 24 p.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 191-199, jan. 2000.

SMIRDELE, J.; GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V. **O plantio direto como sistema de produção**. Disponível em:
<http://www.cpafrf.embrapa.br/index.php/cpafrf/artigos/o_plantio_direto_como_sistema_d_e_produ_o> Acesso em: 26 abr. 2008.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem avaliada em plantio direto num Latossolo de Cerrado. In: Fertibio, 2002. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, SBCS, 25., 2002, Rio de Janeiro. **Resumos Expandidos...**, Rio de Janeiro: SBCS, 2002. 1 CD-ROM.

SOUZA, D. M. G; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.(Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 5, p. 205-274.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 193-198, mar. 1989.

3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO COM A APLICAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS

RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar as modificações dos atributos químicos do solo e a produtividade da cultura do milho com a aplicação e incorporação de calcário de granulometrias maior que 0,30 mm. O experimento foi montado em blocos casualizados com quatro repetições. As granulometrias de calcário dolomítico incorporadas ao Latossolo Vermelho distroférico foram: 0,20 mm a 0,30 mm; 0,30 mm a 0,56 mm; 0,56 mm a 0,82 mm e 0,82 mm a 2,00 mm, nas doses de 1,3 t ha⁻¹; 2,6 t ha⁻¹; 3,9 t ha⁻¹ e 6,5 t ha⁻¹ respectivamente mais um tratamento controle (sem calcário). Os atributos químicos do solo, os teores de macro e micronutrientes e a produtividade do milho foram avaliados em duas safras 2008/2009 e 2009/2010. Maiores doses de calcário com granulometrias menos reativas, maior que 0,30 mm, tiveram o mesmo efeito para correção do Al e aumento do Ca e Mg no solo do que quando utilizado calcário com 0,20 a 0,30 mm, e com efeito residual no segundo ano de pesquisa. O uso de calcário influenciou os teores foliares de Ca e Fe na safra 2009/2010 na cultura do milho. A maior produtividade de produziu foi encontrada com o uso de calcário com granulometria de 0,82 mm a 2,00 mm na primeira safra em relação ao calcário mais fino utilizado, já na segunda safra não houve diferença para a produtividade de milho entre as granulometrias de calcário.

Palavras-chave: *Zea mays*, tamanho de partícula, acidez do solo, Latossolo Vermelho distroférico.

ABSTRACT

CHEMICAL SOIL ATTRIBUTES AND RESPONSE OF CORN TO APPLICATION AND INCORPORATION OF DIFFERENT SIZE CLASSES OF LIME

This study aimed at verifying the modifications regarding chemical attributes of the soil and corn crop yield through the application and incorporation of lime presenting particle size larger than 0.30 mm. The experiment was assembled into randomized blocks with four repetitions. Particle sizes of domilitic lime incorporated to dystroferric Red Oxisol were the following: 0.20 mm to 0.30 mm; 0.30 mm to 0.56 mm; 0.56 mm to 0.82 mm and 0.82 mm to 2.00 mm, at doses of 1.3 t ha⁻¹; 2.6 t ha⁻¹; 3.9 t ha⁻¹ and 6.5 t ha⁻¹ respectively together with one treatment control (with no lime). Chemical attributes of the soil and corn yield were analyzed in the crops of 2008/2009 and 2009/2010. Higher doses of lime presenting particle sizes less reactive, larger than 0.30 demonstrated the same effect related to Al correction and the increase of Ca and Mg in the soil when compared to

the use of lime with 0.20 mm to 0.30 mm and with residual effect on the second year of research. The use of lime influenced leaf levels of Ca and Fe in the corn crops of 2009/2010. The higher yield was found when using lime presenting particle sizes from 0.82 mm to 2.00 mm on the first crop in relation to the finest lime that was used; however, on the second crop there was no difference regarding corn yield among lime particle sizes.

Key words: *Zea mays*, particle size, soil acidity, dystroferric red Oxisol,

3.1 INTRODUÇÃO

Os corretivos da acidez do solo são basicamente materiais extraídos de rochas calcárias e resíduos industriais como escórias de siderurgia. Os corretivos dos solos são avaliados em relação ao seu poder neutralizante da acidez do solo. Essa eficiência dos corretivos é conhecida como poder relativo de neutralização total (PRNT). Nesse PRNT, considera-se a pureza química da rocha de origem, denominada de poder de neutralização (PN), e o grau de moagem, ou taxa de reatividade (RE), ambos expressos em porcentagem de equivalência de carbonato de cálcio (CaCO_3) puro (Quaggio, 2000).

A legislação brasileira atual (Brasil, 2006) prevê quatro taxas de reatividade das frações granulometrias dos materiais calcários, baseados no trabalho de Alcarde et al. (1989), que são 0%, 20%, 60% e 100%, representando respectivamente as granulometrias de calcário maior que 2,00 mm, de 2,00 mm a 0,84 mm, de 0,84 mm a 0,30 mm e menor que 0,30 mm. Os valores e taxas de reatividade foram obtidos em ensaio de incubação de amostras de solo, por um período de três meses. Por isso o PRNT, representa o quanto o material calcário utilizado vai reagir nesse período (Quaggio, 2000).

Bellingiere et al. (1992) relataram que a utilização de calcário calcinado proporcionou maior produtividade na cultura da soja no primeiro ano em relação ao calcário com granulometria de 2,0 mm, sendo que esse efeito desapareceu no segundo ano. Natale & Coutinho, (1994) descreveram que a eficiência relativa das frações 2,0 mm a 0,60 mm e 0,60 mm a 0,30 mm, foram para média de três cultivos de soja, respectivamente 77% e 93%, bem superior aos valores, respectivamente de 20% e 60% encontrados por Alcarde et al. (1989).

O manejo que o solo recebe ao longo dos anos, poderá gerar problemas como erosão e diminuição dos teores de matéria orgânica. Desta forma, quando se utiliza o sistema convencional de cultivo a estrutura física do solo fica prejudicada com o uso de aração e gradagem que desestrutura os agregados do solo. O sistema de plantio direto

(SPD) consiste em evitar o revolvimento do solo, diminuindo perdas de solo, nutrientes e matéria orgânica. A perda de matéria orgânica contribui para o processo erosivo, resultando em redução na capacidade de troca catiônica e no armazenamento de água no solo. Além disso, diminui a eficiência de uso dos fertilizantes aplicados ao solo (Sousa & Rein, 2009).

O sistema de plantio direto foi instalado de forma sistemática em todas as regiões agrícolas do país, principalmente na região dos Cerrados, nas últimas décadas (Kluthcouski et al., 2000). O controle da erosão, ganho de tempo para o plantio, economia de combustível, melhor estabelecimento da cultura, maior retenção de água no solo e economia de mão-de-obra são as principais razões para a adoção desse sistema pelos agricultores (Muzilli, 1981).

A grande evolução na adoção observada nos últimos anos do SPD no Cerrado deu-se graças a solução parcial ou total dos problemas de primeira geração, tais como a formação e manutenção de cobertura morta, correção das propriedades físicas e químicas do perfil do solo, mecanização do plantio, manejo das plantas daninhas, dentre outros. Entretanto, sob as condições climáticas reinantes neste bioma, tem sido difícil a formação e principalmente a manutenção de volume de palhada, em quantidade suficiente para proteger plenamente a superfície do solo. Isto, aliado a intensa movimentação de máquinas e implementos, pode favorecer o surgimento de problemas de segunda geração, ou aqueles decorrentes do uso continuado do sistema de plantio direto, tais como: recompactação/readensamento do solo e salinização devido à constante deposição dos fertilizantes minerais na superfície (Kluthcouski et al., 2000).

A ausência de resposta a calagem e a adubação foi constada em áreas de média e alta fertilidade no SPD (Caires et al., 1999; Kluthcouski et al., 2000). Os nutrientes utilizados pela planta como P, K, Ca, Mg se concentram na camada superficial do solo devido a adubação e a calagem superficial utilizada nesse sistema. Assim, restringe a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas. Dessa forma, o aprofundamento dessa adubação e calagem gera melhor rendimento de grãos na cultura do milho (Kluthcouski et al., 2000).

A produção de milho no Brasil foi de 54 milhões de toneladas na safra 2009/2010, sendo que 33 milhões produzidos na safra de verão (safra normal) e 21 milhões na safra de inverno (safrinha) (Conab, 2010). Devido ao clima, há possibilidade de duas safras por ano na região central do Brasil, onde se concentra as áreas de Cerrado, safra

normal, de outubro a março, e safrinha de janeiro a junho.

A escolha das espécies ou cultura utilizadas no SPD depende da adaptação dessas das condições de clima de cada região e do interesse do produtor. O milho em sucessão a soja no SPD na região central do Brasil, contribui para permanência de sua palhada no período de inverno, devido sua baixa relação C:N do milho, favorecendo a cobertura do solo, mineralização da matéria orgânica, e o controle de plantas daninhas (Ceretta & Fries, 1998).

O SPD mostrou maiores rendimentos para cultura do milho em relação ao plantio convencional (Hernani, 1997; Ismail et al., 1994). Entretanto, a ausência de resposta dessa cultura no SPD em relação ao sistema convencional (Oliveira et al., 1989; Balbino et al., 1994; Fancelli & Favarin, 1989). O rendimento de grãos na maioria das culturas sob diferentes manejo do solo depende, dentre outros, das condições climáticas do ano agrícola, da qualidade do manejo, do nível de fertilidade do solo e do estado sanitário da cultura. Por estas razões, tem sido bastante variável, na literatura, o comportamento das culturas sob diferentes manejos do solo (Fageria et al., 1995; Carmo, 1997).

O aumento na produção de grãos de milho no SPD com a aplicação de calcário em superfície foi constatada por Moschler et al. (1973). Blevins et al. (1978) também relataram que houve aumento na produção de grãos de milho cultivado no SPD devido a eficiência da calagem superficial na neutralização da acidez do solo. Entretanto, houve ausência de respostas do milho à aplicação superficial de calcário em solos ácidos manejado em plantio direto (Pöttker & Ben, 1998; Caires et al., 1999; Rheinheimer et al., 2000). Dessa forma, a incorporação do calcário é necessária para neutralizar a acidez subsuperficial do solo e melhorar o rendimento das culturas (Alleoni et al. 2005), porém essa incorporação descaracteriza o SPD, sistema que tem como premissa o não revolvimento do solo. Já Amaral & Anghinoni (2001), utilizando a recalagem no sistema de plantio direto, descreveram que os valores de pH e os demais atributos químicos, das fase sólida e líquida, foram, como esperado, mais uniformes quando o calcário foi incorporado, e formaram gradientes a partir da superfície quando não foi incorporado.

A aplicação de calcário com granulometria maior que 0,30 mm em quantidade superior a dose recomendado e incorporada no solo na implantação do sistema de plantio direto pode favorecer o tempo de correção da acidez do solo e o fornecimento de Ca e Mg. O tempo de reatividade do calcário no solo pode favorecer o acúmulo de matéria orgânica pelo uso do sistema de plantio direto. O poder tampão do solo, ou seja, a manutenção de

um pH inalterável que favorece a equilíbrio de nutrientes disponíveis na solução do solo e o crescimento de raízes pode ser alcançada com maiores quantidades de matéria orgânica adicionadas ao solo.

O objetivo desse trabalho foi avaliar as alterações dos atributos químicos do solo e a resposta da cultura do milho a aplicação e incorporação de diferentes classes granulometrias de calcário acima de 0,30 mm na implantação do sistema de plantio direto em dois anos consecutivos.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em outubro de 2009 na Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, Goiânia-Goiás, localizado na latitude: 16° 36'6,91" S, longitude: 49° 16'57,22" WO. O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho distroférico pelo sistema brasileiro de classificação de solos – SiBCS (Santos et al., 2006) considerando os resultados obtidos na amostra extra 1 do solo na área do experimento (Apêndice A). O clima conforme Köppen, classifica-se como tropical chuvoso, Aw savana, tendo caráter sub-úmido, com duas estações bem definidas: uma seca, com duração de quatro a cinco meses, e outra chuvosa, ocorrendo do final de setembro a abril. A temperatura máxima situa-se entre 34°C e 36°C, e a mínima entre 0°C e 4°C. A isoterma anual varia entre 20°C e 22°C, com precipitação média anual variando de 1.500 mm a 2.000 mm.

O experimento constituiu de vinte parcelas de 50 m² com cinco tratamentos, especificados na Tabela 3.1. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições. O calcário utilizado no experimento foi coletado com auxílio de uma pá, armazenado em sacos plásticos e encaminhados ao laboratório de Análises de Solos e Foliar da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (LASF/EA/UFG). Nesse laboratório, o calcário coletado foi dividido nas granulometrias desejadas por meio de peneiras apropriadas. Todo calcário utilizado foi caracterizado como dolomítico extraído de rochas metamórficas com 27% de CaO e 20% de MgO, e com reatividade e poder de neutralização conforme Tabela 3.1.

O solo foi amostrado na área do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade. A necessidade de calagem (NC) foi calculada pelo método de saturação por bases: $NC = (V2-V1) \times T / 100$, onde V2 é saturação por bases requerida pela cultura, no caso

foi utilizado 50%, V1 é saturação por bases atual do solo, T é a capacidade de troca catiônica total atual do solo. O cálculo da calagem foi baseado nos resultados da análise do solo antes da instalação do experimento (Tabela 3.2). Cujas doses calculadas foram de 1,30 t ha⁻¹ considerando a profundidade de incorporação de 0-20 cm, e o PRNT do calcário de 100%. Os tratamentos tiveram suas doses corrigidas em função da reatividade (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Descrição das granulometrias do calcário, reatividade do calcário, poder de neutralização do calcário (P.N.) e doses de calcário utilizado para correção química do solo.

Granulometrias (mm)	Reatividade -----%-----	P. N.	PRNT	Correção reatividade	Dose calcário utilizado (t ha ⁻¹)
controle	0	0	0	0	0
0,20-0,30	100	97,93	97,93	dose recomendada	1,3
0,30-0,56	50	97,93	48,97	2x dose recomendada	2,6
0,56-0,82	33	97,93	32,32	3x dose recomendada	3,9
0,82-2,00	20	97,93	19,59	5x dose recomendada	6,6

A área do experimento ficou em pousio sem nenhuma cultura plantada por dois anos antes da implantação desse experimento. Antes disso, era utilizada como área demonstrativa de culturas como soja, milho e trigo. Nesses dois anos essa área era anualmente gradeada para controlar mecanicamente plantas daninhas invasoras.

O solo do experimento foi preparado com grade aradora de 12x32, ou seja, grade que possui 12 discos de 32 polegadas, seis meses antes da implantação do experimento e as diferentes doses e classes granulometrias de calcários foram aplicados dois meses antes do plantio do milho. A incorporação do calcário foi realizada com o auxílio de grade aradora a profundidade de 0-25 cm. A área do experimento ficou em pousio e a cobertura do solo foi preenchida por plantas daninhas que cresceram naturalmente antes do plantio.

As plantas daninhas que propagaram na área foram principalmente capim braquiária (*Brachiaria decumbens*), capim colônia (*Panicum maximum*), capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.), tiririca (*Cyperus rotundus* L.) e trapoeraba (*Commelina benghalensis*). Para o plantio do milho as plantas daninhas foram controladas com uma dessecação utilizando-se 3,5 L ha⁻¹ de glifosate e 1 L ha⁻¹ de 2,4-D com volume de calda de 100 L ha⁻¹. A cultura do milho foi plantada no dia 15 de dezembro de 2008, na primeira safra 2008/2009, e no dia 23 de dezembro de 2009 na segunda safra 2009/2010. O híbrido utilizado foi o 30A04 yieldguard da empresa Pioneer com espaçamento entre linhas

de 0,90 m e com uma população de 6 plantas por metro linear. O milho recebeu adubação de plantio com 350 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 08-28-20 (NPK) com 1,5% de micronutrientes (B e Zn). A adubação de cobertura com N foi realizado 30 dias após o plantio do milho onde foi utilizado 100 kg ha⁻¹ de uréia agrícola, aplicado manualmente junto a linha de plantio do milho. O milho foi conduzido aplicando-se tratos culturais à medida do surgimento de plantas daninhas, pragas e doenças da cultura.

Tabela 3.2. Resultados de pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, hidrogênio e alumínio (H⁺+Al³⁺), P, K⁺, saturação por bases (V), capacidade de troca catiônica total (CTCt), matéria orgânica (M.O.), areia, silte e argila em amostra do solo da área do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade. Goiânia-GO, 2008.

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	K ⁺	CTC	P	V	M.O.	AREIA	SILTE	ARGILA
(H ₂ O)	-----cmol _c dm ⁻³ -----			-----			mg dm ⁻³	%	-----	-----g kg ⁻¹ -----		
5,8	0,6	0,5	0,2	3,9	0,19	5,2	1,7	25	20	37	17,5	45,5

A avaliação química do solo foi feita após a implantação do experimento em cada parcela a cada safra, na época de florescimento do milho, após 60 dias do plantio. Assim, foram realizadas amostragens de solo nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade na safra 2008/2009 e nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade na safra 2009/2010. A utilização da análise de solo na camada do 0-5 cm de profundidade do solo no segundo ano, se deve ao fato do não revolvimento do solo devido a implantação do sistema plantio direto, assim a cobertura vegetal no período de pousio entre os plantios pode ter influenciado os atributos químicos nessa camada. As amostras de solo foram coletadas retirando-se uma amostra simples na linha e seis amostras entre linhas de plantio, formando uma amostra composta por parcela. As amostras coletadas foram encaminhadas ao LASF/EA/UFG. No laboratório foram analisados quimicamente os seguintes atributos: pH (em H₂O), H⁺+Al³⁺, Al³⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Matéria Orgânica (MO); seguindo metodologia descrito por Embrapa (2009). A partir da obtenção desses atributos químicos do solo, foram calculadas a capacidade de troca catiônica total (CTCt) e os valores de saturação por bases (V).

A nutrição das plantas foi avaliada a partir das coletas de amostras de folhas de milho a cada cultivo realizado. Amostragem foliar no milho foi realizada quando 50% a 75% da lavoura apresentou a inflorescência feminina, coletando-se abaixo e oposta à primeira espiga, descartando-se a nervura central, em dez plantas por parcela. As amostras coletadas foram encaminhadas ao LASF/EA/UFG. No laboratório as amostras obtidas

foram analisadas para a determinação dos macronutrientes (K, Ca e Mg) e de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) usando metodologia descrita por Embrapa (2009).

As espigas de milho foram colhidas dentro de uma parcela útil de 20m² no dia 15/04/2009 e no dia 25/04/2010 representando a produção de grãos do ano de 2009 e do ano de 2010 respectivamente. Essas espigas de milho foram trilhadas e os grãos de milho foram pesados corrigindo-se a umidade dos grãos para 13%. A produção de grãos de milho foi extrapolada para quilogramas por hectare.

Os dados obtidos pela influência do tempo de reatividade das classes granulométricas de calcário do solo em diferentes camadas no perfil de 0-40 cm de profundidade solo foram analisados estatisticamente utilizando o aplicativo computacional estatístico SAS (SAS Institute, 1999). Os dados foram analisados aplicando-se o teste F na análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Atributos da acidez do solo

As aplicações e incorporação de calcário em diferentes granulometrias influenciaram os valores de pH, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e acidez trocável (Al^{3+}) do solo. Os valores desses atributos da acidez do solo mostraram ser influenciados também pela reatividade ao longo do tempo dos calcários em diferentes granulometrias. A acidez potencial foi modificada diferentemente no perfil do solo pelo uso desses calcários (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para pH, $H^+ + Al^{3+}$ e Al^{3+} em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO.

Causas de Variação	pH	$H^+ + Al^{3+}$	Al^{3+}
Tempo de reatividade	0,000	0,000	0,000
Calcário com diferentes granulometrias	0,005	0,780	0,212
Bloco	0,268	0,101	0,000
Profundidade	0,710	0,014	0,383

Os valores de pH foram maiores no ano de 2009. Já a acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e acidez trocável (Al^{3+}) do solo foram maiores no ano de 2010, esse mesmo efeito não foi observado na área sem a aplicação de calcário. O calcário com maior

granulometria (2,00 mm a 0,82mm) mostrou efeito residual no segundo ano de estudo (Tabela 3.4).

Tabela 3.4. Médias dos valores de pH, H^+ + Al^{3+} e Al^{3+} do solo encontrados em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	profundidade (cm)	pH (H ₂ O)		CV (%)**		H^+ + Al^{3+} (cmol _c dm ⁻³)		Al^{3+} (cmol _c dm ⁻³)		CV (%)			
		2009	2010	média	média	2009	2010	média	média	2009	2010	média	CV (%)
Controle	0-10	4,95 a*	4,95 a	4,95 a	4,20	4,65 a	5,09 a	4,87 a	29,77	0,53 a	0,58 a	0,55	141,09
	10-20	4,95 a	4,95 a	4,95 a	6,22	4,95 a	4,51 a	4,73 a	24,83	0,51 a	0,60 a	0,55	144,04
	20-40	5,05 a	5,05 a	5,05 a	8,11	4,35 a	3,65 a	4,00 a	29,34	0,50 a	0,54 a	0,52	143,03
2,00 - 0,82	0-10	5,78 b	5,54 a	5,66 a	3,82	2,90 b	4,48 a	3,69 a	25,02	0,05 b	0,26 a	0,16	80,01
	10-20	5,65 b	5,55 a	5,60 a	5,73	2,95 b	4,66 a	3,80 a	27,94	0,08 b	0,40 a	0,24	90,76
	20-40	5,63 b	5,56 a	5,59 a	5,27	2,83 b	4,17 a	3,50 a	27,78	0,03 b	0,38 a	0,20	98,05
0,82 - 0,56	0-10	5,80 b	5,46 a	5,63 a	5,55	3,05 b	4,42 a	3,74 a	33,77	0,00 b	0,61 a	0,31	189,13
	10-20	5,60 b	5,27 a	5,44 a	4,89	3,08 b	4,51 a	3,79 a	26,01	0,00 b	0,90 a	0,45	140,31
	20-40	5,68 b	5,44 a	5,56 a	5,45	2,78 b	4,10 a	3,44 a	24,25	0,00 b	0,58 a	0,29	144,03
0,56 - 0,30	0-10	5,65 b	5,28 a	5,46 a	3,70	2,55 b	4,82 a	3,69 a	32,17	0,00 b	0,49 a	0,24	110,08
	10-20	5,73 b	5,35 a	5,54 a	4,26	3,08 b	4,49 a	3,78 a	22,98	0,00 b	0,68 a	0,34	132,00
	20-40	5,68 b	5,42 a	5,55 a	4,13	2,63 b	3,77 a	3,20 a	21,53	0,00 b	0,44 a	0,22	130,36
0,30 - 0,20	0-10	5,73 b	5,29 a	5,51 a	4,08	2,43 b	4,65 a	3,54 a	37,78	0,00 b	0,53 a	0,26	124,45
	10-20	5,68 b	5,42 a	5,55 a	6,57	2,60 b	4,95 a	3,78 a	46,24	0,08 b	0,51 a	0,29	145,15
	20-40	5,75 b	5,59 a	5,67 a	7,72	2,38 b	4,35 a	3,36 a	44,21	0,00 b	0,50 a	0,25	173,21

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**CV (%): coeficiente de variação.

As avaliações dos materiais corretivos da acidez dos solos são descritos pelo PRNT. Esse valor são obtidos em ensaio de incubação de amostras de solo, por um período de três meses. Por isso o PRNT, representa o quanto o material calcário utilizado vai reagir nesse período (Quaggio, 2000). Assim, o PRNT do calcário não representa exatamente sua atividade no solo e nem seu tempo de reatividade. Nesse sentido, o calcário com granulometrias mais grosseiras e com PRNT menor que 45% mostrou efeito residual na correção da acidez do solo em SPD no segundo ano nesse presente trabalho. O uso desse tipo de calcário torna-se uma alternativa viável para a implantação do SPD e aumentar o tempo de recalagem nesse sistema.

O calcário com granulometria mais fina (0,30 mm a 0,20 mm) elevou o pH do solo a 5,75 na camada de 20-40 cm de profundidade do solo, mas não houve diferenças significativas entre os tratamentos no primeiro ano. Desta forma, este calcário mais fino foi tão eficiente em relação aos tratamentos de maiores granulometrias para elevar o pH no primeiro ano, devido a utilização de doses mais elevadas destes calcários (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Valores de pH do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade cm	granulometria (mm)					média	C.V. (%)						
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2								
		pH(H ₂ O)												
2009	0-10	4,95	a A*	5,78	a A	5,80	a A	5,65	a A	5,73	a A	5,58	a	2,84
	10-20	4,95	a A	5,65	a A	5,60	a A	5,73	a A	5,68	a A	5,52	a	2,27
	20-40	5,05	a B	5,63	a AB	5,68	a AB	5,68	a AB	5,75	a A	5,56	a	1,35
	média	4,98	A	5,68	A	5,69	A	5,68	A	5,72	A	-	-	-
	C.V. (%)**	1,58		2,19		3,63		3,78		1,26		-	-	-
2010	0-5	5,00	a B	5,53	a A	5,55	a A	5,37	a A	5,25	a AB	5,34	a	4,55
	5-10	4,90	a A	5,55	a A	5,37	a A	5,18	a A	5,33	a A	5,27	a	4,22
	10-20	4,95	a A	5,59	a A	5,27	a A	5,35	a A	5,42	a A	5,32	a	5,43
	20-40	5,05	a A	5,56	a A	5,44	a A	5,42	a A	5,59	a A	5,41	a	4,62
	média	4,98	B	5,56	A	5,41	A	5,42	A	5,68	A	-	-	-
	C.V. (%)	3,45		2,37		3,87		3,76		2,03		-	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

Os valores médios de pH do solo não mostraram diferença significativa para as granulometrias de calcário utilizadas, se diferenciando apenas da área sem aplicação de calcário no segundo ano. Isso também ocorreu na camada de 0-5 cm de profundidade. Contudo, As maiores médias de pH do solo na camada de 0-40 cm de profundidade foram encontradas com o uso de calcário com granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm (Tabela

3.5). Assim, as maiores granulometrias de calcário foram eficientes em elevar o pH do solo quando comparado as granulometrias mais finas, devido ao aumento da doses desses calcários.

O efeito residual da aplicação e incorporação do calcário com PRNT de 69,2% em diferentes doses foi verificado no trabalho de Fageria et al. (2000), no qual as maiores doses desse calcário proporcionou os maiores valores de pH do solo na camada de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade após quatro cultivos consecutivos em SPD. O calcário apresenta efeito residual que persiste por vários cultivos sucessivos em solo de Cerrado, onde os valores de pH de um Latossolo Vermelho-Amarelo foram maiores após seis anos de plantio direto em comparação ao preparo convencional (Sousa et al., 2007). Esses trabalhos discordando dessa presente pesquisa, pois o valores do pH no segundo ano foram menores devido a acidificação proporcionada pelo cultivo da cultura do milho em SPD (Tabela 3.5).

As granulometrias de calcário acima de 0,30 mm mostraram resultados iguais para a acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) do solo em comparação com o uso de partículas menores que 0,30 mm de calcário no primeiro ano em função do ajuste da dose desses calcários devido a sua reatividade. Já no segundo ano, não houve diferença significativa nos valores de $H^+ + Al^{3+}$ para o uso de calcário em diferentes granulométricas (Tabela 3.6).

Tabela 3.6. Valores de acidez potencial do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade cm	granulometria (mm)					média	C.V. (%)						
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2								
		$H^+ + Al^{3+}$ (cmol _c dm ⁻³)												
2009	0-10	4,65	a A*	2,9	a AB	3,05	a AB	2,55	a B	2,43	a B	3,12	a	16,71
	10-20	4,95	a A	2,95	a AB	3,08	a AB	3,08	a AB	2,60	a B	3,33	a	21,92
	20-40	4,35	a A	2,83	a B	2,78	a B	2,63	a B	2,38	a B	2,99	a	17,08
	média	4,65	A	2,89	B	2,97	B	2,75	B	2,47	B	-	-	-
C.V. (%)**		15,40		6,94		10,52		16,23		10,58		-	-	-
2010	0-5	5,18	a A	4,46	a A	4,28	a A	4,59	ab A	4,45	a A	4,59	a	6,76
	5-10	5,00	a A	4,51	a A	4,57	a A	5,06	a A	4,85	a A	4,80	a	15,37
	10-20	4,51	a A	4,66	a A	4,51	a A	4,49	bc A	4,95	a A	4,62	a	17,16
	20-40	4,35	a A	4,17	a A	4,10	a A	3,77	c A	4,35	b A	4,01	b	19,79
	média	4,59	A	4,45	A	4,37	A	4,48	A	4,65	A	-	-	-
C.V. (%)		8,88		15,27		13,98		10,07		7,88		-	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

O solo sofreu uma reacidificação do primeiro para o segundo ano, pelo intemperismo ácido que ocorre na região dos Cerrados do Brasil e pelo próprio cultivo da

cultura do milho. Neste sentido, Helyar (2003) descreveu que a lixiviação de bases do solo com água de chuva, e o intemperismo ácido dos minerais do solo que se dissolvem fornecendo íons H^+ na solução do solo, e a adição desses íons de proveniente dos ciclos do C e do N orgânicos são causas da reacificação do solo. Sendo que, a mineralização e a nitrificação de N da matéria orgânica (e também dos fertilizantes nitrogenados amoniacaais) resultam na produção de ácido nítrico no ciclo do N e a produção de ácidos orgânicos em plantas e em microrganismos (como, por exemplo, no ciclo do ácido tricarbóxico durante o metabolismo dos carboidratos), são as principais fonte de H^+ no ciclo do C orgânico (Helyar, 2003). Isso intensifica a reacificação dos solos tropicais.

A acidez potencial na camada de 20-40 cm do solo foi menor que na camada 0-20 cm quando se utilizou calcário com granulometrias abaixo de 0,56 mm no ano de 2010 (Tabela 3.6). Esse efeito deve-se a incorporação do calcário e ao tamanho das partículas dessas granulometrias, e isso favoreceu que as partículas de calcário aprofundam-se no solo e sua reatividade até dezoito meses após a calagem. Nesse sentido, Alleoni et al. (2005) descreveram que a incorporação do calcário proporcionou correção da acidez do solo somente até 20 cm de profundidade a partir de seis meses após sua aplicação. Resultados semelhantes foram obtidos por Caires et al. (1998), em um Latossolo Vermelho distrófico textura média, com aumento do pH e diminuição da acidez trocável até 20 cm, após doze meses da calagem, chegando até 60 cm, após sessenta e oito meses.

A granulometria de calcário mais fina foi tão eficiente quanto a mais grossa na redução da acidez trocável (Al) no solo quando comparados o tratamento sem aplicação de calcário no perfil de 0-40 cm do solo no primeiro ano (Tabela 3.7). Esse efeito foi possível devido a correção das doses de calcário em função da reatividade de cada granulometria estudada. Assim, estes resultados não concordam com os obtidos por Alleoni et al. (2003) e Caires et al. (2001), na qual descrevem que as modificações nos valores de Al foram até à profundidade de 20 cm, quando o calcário foi incorporado, nas amostras coletadas aos dezoito e trinta meses após a calagem. O calcário com maior granulometria (2,00 mm a 0,82 mm) neste trabalho mostrou efeito residual no segundo ano de estudo, concordando com trabalho de Mello et al. (2003). Segundo esse autor, a aplicação de doses mais elevadas de calcário, com maior granulometria, PRNT de 56%, sugeriu efeito residual prolongado em comparação a granulometria mais fina, PRNT de 90%.

Tabela 3.7. Valores de acidez trocável do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometria (mm)					média	C.V. (%)						
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2								
		-----Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)-----												
2009	cm													
	0-10	0,53	a A*	0,05	a B	0,00	a B	0,00	a B	0,00	a B	0,12	a	263,31
	10-20	0,51	a A	0,08	a AB	0,00	a B	0,00	a B	0,08	a AB	0,13	a	329,14
	20-40	0,50	a A	0,03	a B	0,00	a B	0,00	a B	0,00	a B	0,11	a	447,21
	média	0,51	A	0,05	B	0,00	B	0,00	B	0,03	B	-	-	-
	C.V. (%)**	21,20		40,82		0,00		0,00		141,42		-	-	-
2010	0-5	0,57	a A	0,27	a A	0,45	a A	0,38	a A	0,45	a A	0,42	a	94,82
	5-10	0,60	a A	0,26	a A	0,78	a A	0,60	a A	0,60	a A	0,57	a	86,19
	10-20	0,63	a A	0,40	a A	0,90	a A	0,68	a A	0,51	a A	0,62	a	75,51
	20-40	0,54	a A	0,38	a A	0,58	a A	0,44	a A	0,50	a A	0,49	a	71,76
		média	0,58	A	0,33	A	0,68	A	0,52	A	0,51	A	-	-
	C.V. (%)	30,96		40,22		38,93		54,12		51,95		-	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

3.3.2 Potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺)

Os valores de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ foram modificados em relação ao tempo de reatividade e a sua concentração em diferentes camadas do solo amostradas devido a aplicação e incorporação de calcário em diferentes doses e classes granulométricas (Tabela 3.8). Os maiores valores de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ foram encontrados no segundo ano. Houve incremento de 38% e 34% nos valores médios de K⁺ e de Mg²⁺ do solo primeiro para o segundo ano respectivamente (Tabela 3.9). Assim, o efeito residual do calcário em diferente granulometria ao longo do tempo ficou evidente.

Tabela 3.8. Resumo dos valores de *p* (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO.

Causas de Variação	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Tempo de reatividade	0,000	0,014	0,000
Calcário com diferentes granulometrias	0,006	0,013	0,000
Bloco	0,043	0,224	0,542
Profundidade	0,000	0,002	0,068

Sousa et al. (2007) descreveram que o efeito residual do calcário se deve ao sistema de manejo do solo, em solos com o uso do sistema plantio direto (SPD), há um

efeito residual maior do que em solos revolvido anualmente. A implantação do SPD pode ter contribuído para o efeito residual dos calcários em diferentes granulometrias testados, aumentando os valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} no segundo ano (Tabela 3.9).

Tabela 3.9. Médias dos valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo encontrados em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	profundidade (cm)	K^+ (cmol _c dm ⁻³)			Ca^{2+} (cmol _c dm ⁻³)			Mg^{2+} (cmol _c dm ⁻³)		
		2009	2010	média CV (%)**	2009	2010	média CV (%)	2009	2010	média CV (%)
Controle	0-10	0,15 a*	0,15 a	0,15 39,84	0,58 a	0,58 a	0,58 31,26	0,35 a	0,35 a	0,35 34,14
	10-20	0,11 a	0,11 a	0,11 61,13	0,55 a	0,55 a	0,55 30,32	0,20 a	0,20 a	0,20 31,53
	20-40	0,08 a	0,08 a	0,08 24,04	0,40 a	0,40 a	0,40 31,19	0,20 a	0,20 a	0,20 39,70
2,00 - 0,82	0-10	0,18 b	0,41 a	0,29 50,96	2,63 b	3,04 a	2,83 14,06	0,95 b	1,43 a	1,19 23,05
	10-20	0,18 b	0,25 a	0,21 30,58	2,15 b	2,61 a	2,38 25,21	0,75 b	1,31 a	1,03 28,70
	20-40	0,16 b	0,22 a	0,19 27,58	2,05 b	2,49 a	2,27 17,89	0,78 b	1,24 a	1,01 31,72
0,82 - 0,56	0-10	0,18 b	0,38 a	0,28 37,76	3,18 b	3,37 a	3,27 49,74	0,75 b	1,37 a	1,06 31,24
	10-20	0,15 b	0,23 a	0,19 30,10	2,10 b	2,27 a	2,19 29,25	0,73 b	1,08 a	0,90 27,89
	20-40	0,15 b	0,22 a	0,19 23,80	2,20 b	2,27 a	2,24 19,65	0,70 b	1,19 a	0,95 30,46
0,56 - 0,30	0-10	0,18 b	0,39 a	0,29 38,05	3,70 b	2,85 a	3,28 18,51	0,90 b	1,36 a	1,13 23,55
	10-20	0,17 b	0,26 a	0,21 28,69	2,98 b	2,20 a	2,59 20,08	0,90 b	1,11 a	1,00 15,48
	20-40	0,16 b	0,24 a	0,20 31,54	2,25 b	2,11 a	2,18 16,66	0,83 b	1,04 a	0,93 15,71
0,30 - 0,20	0-10	0,18 b	0,38 a	0,28 14,22	2,80 b	2,88 a	2,84 66,53	0,78 b	1,48 a	1,13 44,39
	10-20	0,18 b	0,36 a	0,27 27,60	2,95 b	2,71 a	2,83 70,62	0,83 b	1,23 a	1,03 63,56
	20-40	0,17 b	0,21 a	0,19 40,38	2,63 b	2,35 a	2,49 80,53	0,90 b	1,31 a	1,10 68,63

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**CV (%): coeficiente de variação.

Miranda et al. (2005) descreveram que mesmo com a incorporação do calcário o Ca e Mg concentraram na camada superficial do solo (0-10 cm), diminuindo sua concentração a medida do aumento da profundidade do solo avaliado. Porém, a incorporação de calcário na implantação do sistema plantio direto nesse presente trabalho mostrou influenciar nos valores de Ca e Mg no perfil de 0-40 cm do solo. Segundo Moreira et al. (2001), esse fato ocorre porque, com a incorporação, o calcário misturou-se com um maior volume de terra, havendo diluição do seu efeito na camada superficial.

Os valores médios de K^+ no solo na camada de 20-40 cm de profundidade foram menores no tratamento sem calcário em relação às granulometrias de calcário utilizados no ano de 2009. Nessa camada, o maior valor de K^+ foi encontrado utilizando calcário com 0,30 mm a 0,20 mm (Tabela 3.10). As diferentes granulometrias e doses de calcário elevaram os teores de K^+ no perfil de 0-40 cm do solo em relação a testemunha no ano de 2010. Além disso, ficou evidente no segundo ano que o K^+ se concentrou diferentemente na profundidade do solo quando aplicou e incorporou os calcários de diferentes granulometrias em relação ao tratamento sem calcário. Nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm os valores de K^+ foram maiores quando comparado com a profundidade de 10-40 cm no solo em todas as granulometrias testadas (Tabela 3.10).

Tabela 3.10. Valores de potássio do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade cm	granulometria (mm)					média	C.V. (%)						
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2								
		K^+ (cmol _c dm ⁻³)												
2009	0-10	0,15	a A*	0,18	a A	0,18	a A	0,18	a A	0,18	a A	0,18	a	11,33
	10-20	0,11	ab A	0,18	a A	0,15	a A	0,17	ab A	0,18	a A	0,16	ab	11,98
	20-40	0,08	b B	0,16	a AB	0,15	a AB	0,16	b AB	0,17	a A	0,15	b	5,82
	média	0,11	A	0,17	A	0,16	A	0,17	A	0,18	A	-	-	-
C.V. (%)**		12,60		5,52		15,21		5,02		4,19		-	-	-
2010	0-5	0,17	a B	0,43	a A	0,46	a A	0,44	a A	0,41	a A	0,38	a	22,24
	5-10	0,13	a B	0,38	ab A	0,30	b AB	0,34	b A	0,35	ab A	0,30	b	27,62
	10-20	0,11	a B	0,25	b AB	0,23	b AB	0,26	b AB	0,36	bc A	0,24	c	32,54
	20-40	0,08	a B	0,22	b A	0,22	b A	0,24	b A	0,21	c AB	0,19	c	27,96
	média	0,12	A	0,32	A	0,3	A	0,32	A	0,33	A	-	-	-
C.V. (%)		32,46		23,32		14,37		13,55		21,51		-	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

O aumento do teor de K^+ na superfície do solo foi encontrado também por Ciotta et al. (2004). O acúmulo de K^+ trocável na superfície do solo também foi observado

por Amaral (1998). O comportamento diferenciado do K^+ deve-se à sua dinâmica no solo, que é mais dependente da frequência de adubação potássica, aliado a fatores tais como tipo de solo, CTC e influência do pH na CTC (Maria & Castro, 1993).

Alleoni et al. (2005) descreveram que o teor de K^+ foi influenciado pelo revolvimento do solo para a incorporação do calcário dolomítico na camada de 0-40 cm do solo. Assim, o revolvimento do solo para incorporação de diferentes granulometrias de calcário promoveu este gradiente de K^+ em diferentes camadas do solo, se concentrando na sua superfície (Tabela 3.10).

As diferentes doses e granulometrias de calcário elevaram os valores de Ca e Mg no solo em comparação com a testemunha nos dois anos avaliados. Sendo que, os calcários com granulometrias mais grossas (2,00 mm a 0,82 mm, 0,82 mm a 0,56 mm), e mais fina (0,30 mm a 0,20 mm) promoveram maiores valores de cálcio no perfil de 0-40 cm do solo no ano primeiro ano. Já no segundo ano, verificou-se que na camada de 10-20 cm de profundidade do solo os valores de cálcio foram menores nos tratamentos de calcário com granulometria menor que 0,82 mm, em relação a camada de 0-10 cm. Para os valores de magnésio isso ocorreu somente com a granulometria de 0,56 mm a 0,30 mm de calcário (Tabela 3.11 e 3.12).

Tabela 3.11. Valores de cálcio do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade cm	granulometria (mm)					média	C.V. (%)						
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2								
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)														
2009	0-10	0,58	a B*	2,63	a AB	3,18	a AB	3,70	a AB	2,80	a AB	2,58	a	43,08
	10-20	0,55	a B	2,15	a A	2,10	a A	2,98	ab A	2,95	a A	2,15	ab	20,83
	20-40	0,40	a B	2,05	a A	2,20	a A	2,25	b A	2,63	a A	1,91	bc	19,44
	média	0,51	B	2,28	A	3,51	A	0,98	A	1,17	A	-	-	-
C.V. (%)**		23,04		19,53		47,39		12,93		13,94		-	-	-
2010	0-5	0,70	a B	3,03	a A	3,73	a A	3,10	a A	3,03	a A	2,72	a	23,83
	5-10	0,45	a B	3,06	a A	3,02	ab A	2,60	ab A	2,74	ab A	2,37	ab	19,26
	10-20	0,55	a B	2,61	a A	2,27	b A	2,20	b A	2,71	ab A	2,07	bc	23,79
	20-40	0,40	a B	2,49	a A	2,27	b A	2,11	b A	2,35	b A	1,92	c	22,93
média		0,53	B	2,80	A	2,82	A	2,50	A	2,70	A	-	-	-
C.V. (%)		12,35		14,55		22,27		15,34		13,39		-	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

Os calcários com maior granulometria e de menor reatividade foram mais eficientes que o calcário partículas de 0,30 mm a 0,20 mm e com reatividade de 100%

devido proporcionar residual de Ca e Mg no solo. Esse resultado concorda com os encontrados por Alvarez et al. (2010) onde o uso de partículas mais grossas se assemelharam ao uso das partículas mais finas de calcário magnesiano para elevar os valores de Ca e Mg no solo cultivado com pastagem.

Tabela 3.12. Valores de magnésio do solo com a aplicação e incorporação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometria (mm)					média	C.V. (%)						
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2								
	cm	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)												
2009	0-10	0,35	a B*	0,95	a A	0,75	a A	0,90	a A	0,78	a A	0,75	a	29,46
	10-20	0,20	a B	0,75	a A	0,73	a A	0,90	a A	0,83	a A	0,68	a	13,51
	20-40	0,20	a B	0,78	a A	0,70	a A	0,83	a A	0,90	a A	0,68	a	26,06
	média	0,25	B	0,83	A	0,73	A	0,88	A	0,83	A	-	-	-
	C.V. (%)**	23,51		23,12		16,73		11,27		12,81		-	-	-
2010	0-5	0,45	a B	1,42	a A	1,46	a A	1,47	a A	1,48	a A	1,26	a	13,81
	5-10	0,25	a B	1,43	a A	1,28	a A	1,24	ab A	1,48	a A	1,13	a	11,57
	10-20	0,20	a B	1,31	a A	1,08	a A	1,11	ab A	1,23	a A	0,98	b	16,9
	20-40	0,20	a B	1,24	a A	1,19	a A	1,04	b A	1,31	a A	1,00	b	14,91
	média	0,28	B	1,35	A	1,25	A	1,22	A	1,37	A	-	-	-
	C.V. (%)	14,88		14,32		16,07		14,67		13,46		-	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

Caires et al. (2003) descreveram que a aplicação de calcário em superfície do solo proporcionou aumento nos teores de cálcio e magnésio em um Latossolo somente na camada de 0-5 cm de profundidade e que somente houve movimentação das partículas de Ca no perfil do solo quando se utilizou gesso. Também descrevem que a incorporação do calcário aumentou nos teores de Ca e Mg até 20 cm de profundidade do solo. Contrariamente aos resultados obtidos por Caires et al. (2003), a granulometria de 2,00 mm a 0,82 mm de calcário incorporada ao solo nessa pesquisa proporcionou aumento nos teores de Ca e Mg até os 40 cm de profundidade por dois anos consecutivos.

3.3.3 Capacidade de troca catiônica total (CTCt), saturação por base (V) e matéria orgânica (M.O.)

A CTCt, V e M.O. mostraram influência do uso de calcário em diferentes doses e granulometrias para os fatores de tempo de reatividade e profundidade do solo. Sendo que, os valores de V não mostraram influencia da aplicação de calcário em diferentes granulometrias entre as diferentes profundidades amostradas do solo (Tabela 3.13).

Tabela 3.13. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para CTC, V e MO em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO.

Causas de Variação	CTC	V	M.O.
Tempo de reatividade	0,000	0,000	0,010
Calcário com diferentes granulometrias	0,004	0,005	0,030
Bloco	0,712	0,282	0,402
Profundidade	0,000	0,203	0,000

Os valores de CTCt do solo foram maiores no segundo ano em todos os tratamentos com o uso de calcário em diferentes doses e granulometrias. Os valores de V foram menores no segundo ano se utilizou granulometrias de calcário mais finas abaixo de 0,56 mm. Quando se utilizou calcário na dose de 6,5 t ha⁻¹ com granulometria de 0,20 mm a 0,82 mm a saturação por bases não mostrou diferença significativa entre as médias do primeiro e do segundo ano, em todas as profundidades avaliadas. Já a dose de 3,9 t ha⁻¹ de calcário, com granulometria de 0,82 mm a 0,56 mm, mostrou maiores valores de V para o segundo ano, na profundidade de 10-20 cm e 20-40 cm do solo (Tabela 3.14).

Mesmo o solo sofrendo reacidificação e diminuindo os valores de V do primeiro para o segundo ano, os calcários com granulometrias entre 2,00 mm a 0,56 mm foram mais eficientes em permanecer reagindo no solo, fornecendo Ca e Mg e diminuindo a acidez do solo. Os valores de M.O. do solo não apresentaram diferença significativa do primeiro para o segundo ano com o uso de calcário em diferentes doses e granulometrias (Tabela 3.14).

A aplicação de doses mais elevadas de calcário, com maior granulometria, sugeriu efeito residual conforme descrito por Mello et al. (2003), que compararam o efeitos entre calcário com PRNT de 56% e de 90%. A diferença de reatividade, encontrada entre as fontes de calcários, deve-se ao fato de que as partículas maiores dos calcários metamórficos possuem menor contato com o solo, em função da sua pequena superfície específico (Kurihara et al., 1999). No presente trabalho, os calcários com diferentes granulometrias também apresentaram efeito residual, certamente por serem oriundos de rochas metamórficas.

O efeito do calcário depende do tempo decorrido da aplicação e do volume de solo corrigido (Miranda et al., 2005). Nesse sentido, a aplicação e incorporação de calcário com granulometria entre 2,00 mm a 0,30 mm mostraram elevar a saturação de bases do

solo em relação a área sem aplicação após dezoito meses de sua aplicação na camada de 0-40 cm de profundidade do solo.

Tabela 3.14. Médias dos valores de capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e matéria orgânica (M.O.) do solo encontrada em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	profundidade (cm)	CTC (cmol _c dm ⁻³)				V (%)				M.O. (g dm ⁻³)				
		2009	2010	média	CV (%)**	2009	2010	média	CV (%)	2009	2010	média	CV (%)	
controle	0-10	5,72 a*	6,16 a	5,94	23,22	19,48 a	19,48 a	19,48	17,99	22,75	b	21,48 a	22,12	8,74
	10-20	5,81 a	5,36 a	5,58	16,69	17,35 a	17,35 a	17,35	18,86	19,00	b	19,83 a	19,42	8,55
	20-40	5,03 a	4,33 a	4,68	20,93	16,11 a	16,11 a	16,11	17,16	15,50	a	17,53 a	16,52	12,13
2,00 - 0,82	0-10	6,65 b	9,36 a	8,01	18,34	56,61 a	52,07 b	54,34	10,76	20,50	a	22,92 a	21,71	15,71
	10-20	6,03 b	8,82 a	7,43	21,57	51,27 b	47,13 a	49,20	17,49	19,25	b	21,05 a	20,15	13,06
	20-40	5,81 b	8,12 a	6,97	22,27	51,74 b	48,91 a	50,33	9,30	17,75	a	17,23 a	17,49	13,30
0,82 - 0,56	0-10	7,16 b	9,54 a	8,35	18,27	54,76 a	53,52 b	54,14	26,43	19,75	a	20,17 a	19,96	8,02
	10-20	6,05 b	8,09 a	7,07	17,37	49,12 b	44,03 a	46,57	19,80	18,50	a	20,93 a	19,72	15,41
	20-40	5,83 b	7,78 a	6,81	15,99	52,50 b	47,36 a	49,93	13,11	15,00	b	16,78 a	15,89	27,43
0,56 - 0,30	0-10	7,33 b	9,42 a	8,38	13,37	65,24 b	48,66 a	56,95	15,99	19,75	a	21,70 a	20,72	12,81
	10-20	7,12 b	8,05 a	7,59	9,71	57,02 b	44,16 a	50,59	15,88	23,00	a	19,18 a	21,09	22,04
	20-40	5,86 b	7,17 a	6,52	10,86	55,19 b	47,41 a	51,30	13,06	22,25	b	16,09 a	19,17	22,36
0,30 - 0,20	0-10	6,18 b	9,40 a	7,79	12,24	61,24 b	48,00 a	54,62	53,31	21,50	a	21,99 a	21,75	86,65
	10-20	6,55 b	9,24 a	7,90	16,51	60,62 b	48,68 a	54,65	60,43	21,50	a	20,72 a	21,11	20,47
	20-40	6,07 b	8,22 a	7,15	19,74	60,47 b	51,66 a	56,07	62,61	21,25	b	16,53 a	18,89	28,01

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**CV (%): coeficiente de variação.

O calcário em diferentes doses e granulometrias incorporados no solo não influenciaram nos valores de CTCt do solo no ano primeiro ano. A CTC total do solo foi maior para a camada de 0-20 cm de profundidade do solo nesse ano na área sem aplicação de calcário. Enquanto no ano de 2010, os valores de CTCt foram 61% maiores com o uso de calcário em diferentes granulometrias em relação ao tratamento sem a utilização de calcário. Nesse sentido, o maior valor médio de CTC foi encontrado no uso de calcário com granulometria de 2,00 mm a 0,82 mm na camada de 0-40 cm de profundidade do solo (Tabela 3.15).

Os valores de CTCt foram maiores na profundidade de 0-10 cm quando comparados com os valores encontrados nas profundidades de 10-40 cm com o uso de calcários nas granulometrias de 0,82 mm a 0,56 mm e 0,30 mm a 0,20 mm, como também no tratamento sem a aplicação de calcário, neste caso da camada de 0-20 cm para 20-40 cm de profundidade no ano de 2010. Entretanto, a CTCt do solo não mostrou esse gradiente no perfil do solo quando foi utilizado calcários com a granulometria de 2,00 mm a 0,82 mm e 0,56 mm a 0,30 mm (Tabela 3.15).

Tabela 3.15. Valores de capacidade de troca catiônica total do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometria (mm)					média	C.V. (%)						
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2								
-----Capacidade de troca catiônica total - CTC - (cmol _c dm ⁻³)-----														
2009	0-10	5,72	a A*	6,65	a A	7,16	a A	7,33	a A	6,18	a A	6,61	a	16,23
	10-20	5,81	a A	6,03	a A	6,05	a A	7,12	a A	6,55	a A	6,31	a	11,57
	20-40	5,03	b A	5,81	a A	5,83	a A	5,86	b A	6,07	a A	5,72	b	12,38
	média	5,52	A	6,17	A	6,35	A	6,77	A	6,27	A	-	-	-
	C.V. (%)**	8,99		9,42		18,25		7,20		11,10		-	-	-
2010	0-5	6,50	a B	9,33	a A	9,93	a A	9,61	a A	9,38	a A	8,95	a	6,22
	5-10	5,82	a B	9,39	a A	9,16	ab A	9,23	a A	9,41	a A	8,60	a	5,04
	10-20	5,36	a B	8,82	a A	8,09	bc A	8,05	a A	9,24	b A	7,91	b	9,92
	20-40	4,33	b B	8,12	a AB	7,78	c A	7,17	a A	8,22	c AB	7,13	c	9,8
	média	5,50	B	8,91	A	8,74	A	8,51	A	9,06	A	-	-	-
	C.V. (%)	5,59		11,64		6,04		6,60		6,84		-	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

A incorporação de doses crescentes de calcário dolomítico com PRNT 78,5% aumentou os valores de CTCt até 20 cm de profundidade (Mello et al., 2003). A CTC no solo foi maior na camada de 0-5 cm de profundidade, isto ocorreu pelo aumento na concentração de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ devido a aplicação de calcário (Alleoni et al., 2010).

Portanto, os valores de CTCt está relacionada diretamente aos conteúdos de H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo, que foram modificados no solo pelo uso de calcário em diferentes doses e granulometrias no presente trabalho.

A modificação dos atributos químicos do solo causada pela incorporação de calcário em diferentes doses e granulometrias proporcionou alterações dos valores de saturação por bases do solo em comparação o tratamento sem a aplicação de calcário nos dois anos. Nesse sentido, a saturação por bases não mostrou diferença significativa para a utilização de calcário em diferentes doses e granulometrias no primeiro e segundo ano (Tabela 3.16)

Tabela 3.16. Valores de saturação por bases do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometria (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2		
	cm	Saturação por bases - V - (%)						
2009	0-10	19,48 a B*	56,6 a A	54,76 a A	65,24 a A	61,24 a A	51,46 a	19,43
	10-20	17,35 a B	51,3 a A	49,12 a A	57,02 a A	60,62 a A	47,08 a	14,61
	20-40	16,11 a B	51,7 a A	52,50 a A	55,19 a A	60,47 a A	47,20 a	10,19
	média	17,64 B	53,2 A	52,13 A	59,15 A	60,78 A	-	-
	C.V. (%)**	12,84	10,72	13,19	8,37	3,52	-	-
2010	0-5	23,06 a B	52,10 a A	56,90 a A	52,21 a A	48,47 a A	46,55 a	13,78
	5-10	15,90 a B	52,03 a A	50,13 ab A	45,12 a A	47,52 a A	42,14 ab	14,11
	10-20	17,35 a B	47,13 a A	44,03 ab A	44,16 a A	48,68 a A	40,27 ab	16,25
	20-40	16,11 a B	48,91 a A	47,36 b A	47,41 a A	51,66 a A	42,29 b	14,64
	média	18,10 B	50,04 A	49,60 A	47,22 A	49,086 A	-	-
	C.V. (%)	9,37	6,53	10,57	9,71	6,84	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

A incorporação dos calcários com maiores granulometrias mostrou efeito residual superior aos calcários mais finos para a saturação por bases. Resultado semelhante foi descrito por Mello et al. (2003), que testaram diferentes granulometrias de calcário e verificaram que calcário mais grosso apresenta maior efeito residual no solo. Já para Alvarez et al. (2010), o calcário mais grosso teve o mesmo efeito que o mais fino nos atributos químicos do solo com pastagem.

A incorporação do calcário em diferentes doses e granulometrias promoveu o aumento da saturação por bases do solo no perfil de 0-40 cm do solo no primeiro e segundo ano, concordando com os trabalhos de Alleoni et al. (2010) e Kaminski et al (2005). Alleoni et al. (2010) concluíram que a saturação por bases foi maior nas parcelas

em que o calcário foi incorporado em relação ao calcário aplicado em superfície. Kaminski et al., (2005) relataram que a saturação por bases permaneceu acima de 60% na camada de até 12,5 cm quando foi incorporado ao solo calcário na dose de 17 t ha⁻¹, mesmo com a reaplicação de calcário em superfície somente quando se incorporou o calcário houve aumento na saturação por bases do solo.

Os maiores valores de matéria orgânica foram encontrados na camada superior do solo, 0-20 cm de profundidade, no tratamento sem calcário e com o uso de calcário na granulometria de 0,56 mm a 0,30 mm e 0,30 mm a 0,20 mm. Neste sentido, não houve efeito da aplicação de calcário em diferentes granulometrias no conteúdo de matéria orgânica do solo em dois anos de estudo (Tabela 3.17). Assim, a concentração da matéria orgânica na profundidade de 0-20 cm foi causada pelo revolvimento do solo causado pela incorporação do calcário.

Tabela 3.17. Valores de matéria orgânica do solo com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometria (mm)					média	C.V. (%)						
		Controle	2-0,82	0,82-0,56	0,56-0,3	0,3-0,2								
		Matéria Orgânica - M.O.- (g dm ⁻³)												
2009	cm													
	0-10	22,75	a A*	20,5	a A	19,75	a A	19,75	a A	21,50	a A	20,85	a	20,84
	10-20	19,00	a A	19,3	a A	18,50	a A	23,00	a A	21,50	a A	20,25	a	16,37
	20-40	15,50	a A	17,8	a A	15,00	a A	22,25	a A	21,25	a A	18,35	a	23,92
média		19,08	A	19,2	A	17,75	A	21,67	A	21,42	A	-	-	
C.V. (%)**		13,04		17,67		14,08		25,62		20,04		-	-	
2010	0-5	22,00	a A	22,88	a A	21,66	a A	22,48	a A	22,35	a A	22,27	a	7,75
	5-10	20,96	a A	22,95	a A	18,68	a A	20,92	a A	21,63	a A	21,03	a	9,79
	10-20	19,83	ab A	21,05	a A	20,93	a A	19,18	ab A	20,72	a A	20,34	a	14,78
	20-40	17,53	b A	17,23	a A	16,78	a A	16,09	b A	16,53	b A	16,83	b	12,59
	média	20,08	A	21,03	A	19,51	A	19,67	A	20,308	A	-	-	
C.V. (%)		10,33		8,91		12,17		8,71		9,34		-	-	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

O efeito da não concentração da M.O. na camada superficial do solo no primeiro ano deve-se ao revolvimento do solo pela incorporação do calcário. Neste sentido, Alleoni et al. (2005) descreveram que revolvimento do solo aumenta a aeração e o contato entre o solo e os resíduos orgânicos da superfície, o que aumentou a mineralização da M.O. na camada de 0-5 cm.

Alleoni et al. (2010) descreveram que a matéria orgânica acumulada na superfície do solo correlacionou com o aumento da CTC na camada de 0-5 cm, certamente

devido ao SPD que proporciona este acúmulo. Assim, houve o incremento 45% no teor de CTC total do solo (Tabela 3.14 e 3.15) com a aplicação de calcário com a granulometria de 2,00 mm a 0,82 mm e 12% no valor de M.O. (Tabela 3.17), isso ocorreu em todas as granulometrias estudadas em proporções diferentes.

3.3.4 Resposta da cultura do milho a aplicação de calcário em diferentes doses e granulometrias

Os teores de K, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn na folha do milho foram influenciados em função do tempo pelo uso de calcário em diferentes doses e granulometrias. Somente os teores de Ca e Fe na folha do milho mostraram influência do uso desses calcários. As produtividades do milho foram influenciadas em função do tempo reatividade dos calcários utilizados em diferentes doses e granulometrias (Tabela 3.18).

Tabela 3.18. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes e produtividade de milho em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO.

Causas de Variação	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ⁻	Produtividade
Tempo de reatividade	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,175	0,013
Calcário em diferentes granulometrias	0,745	0,044	0,199	0,577	0,284	0,761	0,559	0,023
Bloco	0,755	0,002	0,024	0,785	0,067	0,915	0,095	0,683

A aplicação e incorporação da granulometria de 0,56 mm a 0,30 mm de calcário nos solos diminuíram a concentração de Ca e Fe nas folhas de milho no segundo ano (Tabela 3.19). Dessa forma, as granulometrias mais grossas de calcário e em maior dosagem proporcionaram níveis equivalentes de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas de milho quando comparados às granulometrias mais finas, com exceção da granulometria de 0,56 mm a 0,30 mm. Neste sentido, a aplicação de calcário com menor reatividade e em maior volume não prejudicou a nutrição da planta de milho nos dois anos de cultivo.

O resultado esperado na nutrição foliar de milho com o uso de calcário em diferentes granulometrias era que os teores foliares de Ca e Mg aumenta-se conforme encontrado por Caires et al. (2002). Esse autor, descreve que a aplicação de doses de calcário aumentou os teores de Ca e Mg e reduziu a concentração de K nas folhas de milho, enquanto a reaplicação de calcário não alterou significativamente os teores foliares de nutrientes. De fato, isso não ocorreu no presente trabalho devido o fornecimento de Ca e

Mg no solo com o uso de calcário com granulometrias maiores que 0,2 mm ser lento e adequado, não causando desequilíbrio químico no fornecimento de nutrientes para as plantas de milho, o que refletiu em sua nutrição.

Tabela 3.19. Médias dos teores foliares de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	K ⁺			Ca ²⁺			Mg ²⁺		
	2009	2010	média CV (%)	2009	2010	média CV (%)	2009	2010	média CV (%)
Controle	16,90 a B*	21,18 a A	19,04 12,01	4,25 a A	3,53 a B	3,89 18,61	2,00 a A	1,40 a B	1,70 18,83
2,00 - 0,82	20,30 a B	21,18 a A	20,74 19,66	4,50 a A	3,45 a B	3,98 21,74	2,00 a A	1,33 a B	1,66 20,60
0,82 - 0,56	18,90 a B	21,18 a A	20,04 8,05	4,25 a A	3,48 a B	3,86 14,29	2,25 a A	1,35 a B	1,80 30,56
0,56 - 0,30	20,30 a B	21,30 a A	20,80 17,48	4,00 a A	2,97 b B	3,48 25,48	2,00 a A	1,27 a B	1,63 22,52
0,30 - 0,20	18,45 a B	21,23 a A	19,84 9,13	4,75 a A	3,63 a B	4,19 23,32	2,25 a A	1,45 a B	1,85 27,83
média	18,97	21,21	-	4,35	3,41	-	2,10	1,36	-
CV (%)**	23,57	0,56	-	23,27	5,29	-	15,67	7,30	-

granulometrias (mm)	Cu ²⁺			Fe ²⁺			Mn ²⁺			Zn ²⁺		
	2009	2010	média CV (%)	2009	2010	média CV (%)	2009	2010	média CV (%)	2009	2010	média CV (%)
Controle	12,00 a A	19,75 a A	15,88 26,43	223,75 a A	164,25 ab B	194,00 15,93	62,50 a A	52,00 a B	57,25 19,95	18,80 a A	18,00 a A	18,40 7,18
2,00 - 0,82	11,25 a A	18,75 a A	15,00 25,60	213,50 a A	152,00 ab B	182,75 18,26	57,00 a A	49,50 a B	53,25 22,74	19,65 a A	17,50 a A	18,58 11,40
0,82 - 0,56	12,25 a A	19,25 a A	15,75 22,84	220,25 a A	169,75 ab B	195,00 14,07	57,00 a A	45,75 a B	51,38 12,98	20,08 a A	18,75 a A	19,41 10,76
0,56 - 0,30	10,75 a A	19,00 a A	14,88 28,41	215,50 a A	144,33 b B	179,92 19,88	52,25 a A	51,00 a B	51,63 15,85	19,35 a A	19,67 a A	19,51 6,79
0,30 - 0,20	11,25 a A	20,25 a A	15,75 29,40	221,25 a A	177,75 a B	199,50 11,97	58,50 a A	51,75 a B	55,13 17,81	19,30 a A	19,50 a A	19,40 7,71
média	11,50	19,40	-	218,85	161,62	-	57,45	50,00	-	19,44	18,68	-
CV (%)**	10,04	5,84	-	5,08	7,40	-	5,72	13,93	-	9,05	9,05	-

*Médias seguidas de letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**CV (%): coeficiente de variação.

Segundo Martins et al. (2003), a aplicação e incorporação de calcário promove a redução significativa nas concentrações de Zn, Fe e Mn em folhas de milho em três dos quatro anos estudados, e as concentrações de Cu não foram afetadas pela adição do calcário. Já Caires et al. (2004) não encontraram influência da incorporação do calcário nos teores de macronutrientes nas folhas de milho. Dessa forma, esta presente pesquisa concorda com o trabalho de Martins et al. (2003) devido ao fato que o calcário com granulometria de 0,56 mm a 0,30 mm diminuíram a concentração de Fe na folha de milho no segundo ano, e discorda de Caires et al. (2004) mostrando que reatividade do calcário com essa granulometria diminuíram a concentração de Ca.

A maior produtividade média de grãos de milho foi encontrada com o uso de calcário de granulometria entre 2,00 mm a 0,82 mm no primeiro ano. As menores produções de milho foram verificadas nas menores granulometrias que reagiram mais rápido no solo nesse ano. A produção de milho no segundo ano foi maior em relação ao primeiro ano com o uso de calcário com granulometria menor 0,56 mm, e ao contrário com granulometrias maior que 0,56 mm. A aplicação e incorporação de diferentes granulometrias e doses de calcário não mostrou diferença significativa para a produção de milho no ano de 2010 (Tabela 3.20).

Tabela 3.20. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de milho com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias em dois anos (2009 e 2010). Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	2009	2010	média	C.V. (%)
Controle	4.895,50 b* A	5.310,01 b A	5.102,76	28,38
2,00 - 0,82	9.888,21 a A	7.007,99 a B	8.448,10	10,89
0,82 - 0,56	7.775,02 ab A	7.516,13 a B	7.645,58	23,65
0,56 - 0,30	7.018,28 b B	7.853,13 a A	7.435,71	26,06
0,30 - 0,20	5.482,67 b B	7.092,68 a A	6.287,68	9,81
média	7.411,94	6.955,99	-	-
C.V.(%)**	15,57	12,61	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

A utilização de calcário dolomítico, pode ter mantido a relação Ca:Mg, já que esta relação no solo encontra-se em 1:1 (Tabela 3.2), antes da aplicação dos tratamentos no solo, sendo o ideal 3:1. Devido a maior reatividade de granulometrias mais finas de

calcário, foi fornecido Ca e Mg quase na mesma proporção, as concentrações de Ca e Mg praticamente continuaram com a mesma proporção inicial de 1:1 com isto pode ter influenciado a produção de milho. O menor tempo decorrido entre a aplicação do calcário e a avaliação dos seus efeitos no solo foi com a utilização de calcário constituído de partículas mais finas (0,105 a 0,053 mm) (Amaral et al., 2004). Como a reatividade do calcário com granulometrias maior que 0,56 mm foi mais lenta, a proporção de Ca:Mg foi modificada, corrigindo o solo e favorecendo a produtividade do milho. Quaggio (2000) relata que a produtividade das culturas é uma das formas de avaliar a eficiência dos materiais corretivos da acidez do solo. Nesse sentido, o uso de calcário com granulometria de 2,00 mm a 0,82 mm foi mais eficiente para favorecer a produtividade do milho no primeiro ano.

Os calcários com granulometrias mais grossas proporcionaram igual rendimento da cultura do milho em relação ao uso de calcário com granulometrias mais finas no segundo ano. Resultados semelhantes no caso para pastagem foram relatados por Alvarez et al. (2010), onde as maiores granulometrias de calcário aumentaram a produtividade da pastagem em relação ao uso de calcário mais finamente moído.

Gargantini (1974) não encontrou diferença significativa na produção de massa seca de milho colhido aos 60 dias após o plantio utilizando diferentes granulometrias de calcário, diferente do encontrado neste trabalho, provavelmente por se tratar de experimento em vaso e aqui o trabalho foi realizado no campo. Caires et al. (2003) verificaram que rendimento médio da produção de milho foi de 162,6 sacas de 60 kg ha⁻¹ de grãos no tratamento com calcário incorporado, e não encontrou diferenças significativas na produção de milho com calcário incorporado ou aplicado superficialmente, utilizando calcário com PRNT de 89% e na dose de 4,5 t ha⁻¹. Pode-se observar que neste trabalho mesmo calcário com maior granulometria maior, a produção de milho foi mantida (Tabela 3.20), quando comparada a do trabalho de Caires et al. (2004), no qual aplicaram calcário de granulometria mais fina.

3.4 CONCLUSÕES

- i. A acidez do solo é corrigida pelo uso de calcário em diferentes granulometrias devido a aplicação de doses proporcionais à sua reatividade.

- ii. Os valores de K, Ca e Mg no solo são aumentados com a utilização de diferentes granulometrias e doses de calcário em relação ao tratamento controle e ao tempo de reatividade do calcário.
- iii. Os valores CTC do solo foram maiores no segundo ano devido a proporções de aumento de K, Ca e Mg favorecidos pelo uso de calcário em diferentes granulometrias.
- iv. O calcário com granulometria aumentaram os valores de saturação por bases do solo acima de 50 % na camada de 0-40 cm de profundidade no primeiro ano.
- v. Os valores de saturação por bases são menores no segundo ano mostrando o efeito da reacidificação do solo ocasionado pela influencia climática e o cultivo do milho.
- vi. A produção de milho é maior com o uso de calcário com partículas entre 2,00 mm e 0,84 mm no primeiro ano.
- vii. A eficiência dos materiais calcários não deve ser definida apenas pelo valor do PRNT.

3.5 REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C.; PAULINO, V. T.; DENARDIN, J. S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n. 3, p. 387-392, maio 1989.
- ALLEONI, L. R. F; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 923-934, nov. 2005.
- ALLEONI, L. R. F; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J. Acidity and aluminum speciation as affected by surface liming in tropical no-till soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 1010-1017, mar. 2010.
- ALLEONI, L. R. F.; ZAMBROSI, F. C. S. B.; MOREIRA, S. G. E.; PROCHNOW, L. S. I. C.; PAULETTI, V. Liming and electrochemical attributes of an oxisol under no tillage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 119-123, jan. 2003.
- ALVAREZ, E.; FERNANDEZ-MARCOS, M. L.; HERNANDEZ-NISTAL, J. Limestone Particle Size and Liming Scheduling Influence Soil Properties and Pasture Production. **Soil Science**, Philadelphia, v. 175 n.12, p. 601-613, dez. 2010.
- AMARAL, A. S. **Reaplicação do calcário em sistema plantio direto consolidado**. 1998. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.4, p. 695-702, abr. 2001.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 2, p. 359-367, mar. 2004.

ARSHAD, M. A.; GILL, K. S. Field pea response to liming of an acid soil under two tillage systems. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.76, n. 4, p.549-555, out. 1996.

BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, E. F.; RALISCH, R. Desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.) submetido a três sistemas de manejo em um Latossolo Roxo eutrófico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., Goiânia, 1994. **Resumos....** Goiânia: ABMS, 1994. p.221.

BELLINGIERI, P. A.; SOUZA, E. C. A.; ALCARDE, J. C.; SHIKASHU, H. W. Importância da reatividade do calcário sobre a produção e algumas características da cultura da soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 49, n. especial, p. 61-71, 1992.

BLEVINS, R. L.; MURDOC, L. W.; THOMAS, G. W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 3, p.322-326, mar. 1978.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução normativa nº 35 de 4 julho de 2006, fica aprovada as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 12 de julho de 2006. Disponível em: <<http://www.faolex.fao.org/docs/texts/bra67952.doc>> Acesso em: 21 maio 2011

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 26 n. 6, p. 1011-1022, nov. 2002.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, mar. 2003.

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 aplicado na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 27-34, jan. 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, I. Crescimento radicular e nutrição de soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 6, p. 1029-1040, nov. 2001.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações de características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 315-327, abr. 1999.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho a calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 125-136, jan. 2004.

CARMO, D. A. S. Algumas considerações sobre agricultura irrigada na região dos cerrados. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 7., Brasília, 1989. Estratégias de utilização. **Anais...** Planaltina : EMBRAPA, CPAC, 1997. p. 87-97.

CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NEUMBERG, N.J. (Ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.111-120.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 317-326, mar. 2004.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamento de safras. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2> > Acesso em: 15/03/2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, nov. 2001.

FAGERIA, N. K.; SANTANA, E. P.; MORAIS, O. P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n. 9, p.1155-1161, set. 1995.

FANCELLI, A. L.; FAVARIN, J. L. Desempenho da cultura do milho em plantio direto e convencional. In: FANCELLI, A. L. (Coord.) **Plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba : FEALQ/ESALQ, 1989. p.174-175.

GARGANTINI, H. Efeitos da granulometria, formas e quantidades de materiais corretivos na acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 33, n. 9, p. 87-96, set. 1974.

HELYAR, K. Manejo da acidez do solo a curto e longo prazo. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 104, p. 1-12, 2003.

HERNANI, L. C. Manejo e conservação de recursos naturais da região Oeste do Brasil. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. **Milho: informações técnicas**. Dourados: EMBRAPA, CPAO, 1997, p. 39-67.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.1, p.193-198, jan. 1994.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema de plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 573-580, jul. 2005.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características químicas e físicas do solo afetadas por métodos de preparo modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 4, p.395-401, maio 1995.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, jan. 2000.

KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; HERNANI, L. C.; SILVA, W. N. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcários sul-mato-grossenses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1443-1449, ago.1999.

MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 471-477, jul. 1993.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 563-574, maio 2003.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. Alterações nos atributos químicos de um latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.3, p. 553-561, maio 2003.

MIRANDA, L. N. D.; MIRANDA, J. C. C. D.; REIN, T. A.; GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 6, p. 563-572, jun. 2005.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n. 1, p.71-81, jan. 2001.

MOSCHLER, W. W.; MARTENS, D. C.; RICH, C. I.; SHEAR, C. H. Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 71-73, jan. 1973.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p.95-102, jan. 1983.

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

OLIVEIRA, E. F.; BAIRRÃO, J. F. M.; CARRARO, I. M. Efeito dos sistemas de preparo do solo sobre algumas características físicas e rendimentos de grãos de soja e milho. In: Organização das cooperativas do estado do Paraná. **Resultados da pesquisa na safra de verão 1987/88**. Cascavel: OCEPAR, 1989, p. 233-237.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n. 4, p.675-684, jul. 1998.

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

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 5, p. 797-805, set. 2000.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**, Version 8. Cary, NC: SAS Institute, 1999.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2. ed., 2006, 306p.

SOUZA, D. M. G; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.(Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 5, p. 205-274.

SOUZA, D. M. G.; REIN, T. A. Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: experiências no Cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 126, p. 1-7, jul. 2009.

4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO COM A APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS DE CALCÁRIO

RESUMO

O calcário finamente moído e aplicado na superfície do solo é uma alternativa para correção da acidez do solo sem o revolvimento do mesmo no sistema plantio direto. O objetivo deste estudo foi verificar as modificações dos atributos químicos do solo e a resposta da cultura do milho com o uso de calcário finamente moído aplicado na superfície do solo. O experimento foi montado em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes granulometrias de calcário em dose calculada para aumentar a saturação por bases do solo em 50%, baseado na análise do solo antes do experimento, e um tratamento controle, ou seja, sem aplicação de calcário. As granulometrias de calcário estudadas foram: 0,30 mm a 0,20 mm; 0,20 mm a 0,10 mm; 0,10 mm a 0,05 mm e 0,05 mm a 0,01mm aplicados na superfície do solo. Os atributos químicos do solo, a nutrição foliar de milho e a produtividade do milho foram avaliados em duas safras 2008/2009 e 2009/2010. O uso de calcário com partículas de 0,30 mm a 0,20 mm reduziu Al trocável e aumentou os teores de Ca e Mg no perfil do solo. Os teores de nutrientes nas folhas do milho foram influenciados pelo uso de diferentes granulometrias aplicados na superfície do solo. A produção de milho não foi influenciada pelo uso de calcário finamente moído na superfície do solo.

Palavras-chave: *Zea mays*, tamanho de partícula, plantio direto, Latossolo Vermelho distroférico.

ABSTRACT

SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND RESPONSE OF CORN IN THE APPLICATION IN SURFACE OF DIFFERENT SIZE CLASSES OF LIME

Finely ground lime applied onto soil surface is an alternative to the correction of soil acidity with no disturbance within ridge-till. This study aimed at verifying modifications regarding chemical attributes of the soil and corn crop yield with finely ground lime applied onto soil surface. The experiment was assembled into randomized blocks with four repetitions. The treatments comprised different lime particle sizes at doses calculated to increase soil base saturation by 50% based on soil analysis before the experiment and one control treatment, i.e., with no lime application. The studied lime particle sizes were the following: 0.30 mm to 0.20 mm; 0.20 mm to 0.10 mm; 0.10 mm to 0.05 mm and 0.05 mm to 0.01mm applied onto soil surface. Chemical attributes of the soil, leaf nutrition and corn yield were assessed at the crops of 2008/2009 and 2009/2010. The

use of lime presenting particles from 0.3 mm to 0.2 mm reduced exchangeable Al and increased levels of Ca and Mg in the soil profile. The levels of corn leaf nutrients were influenced by the use of different particle sizes applied onto soil surface. Corn yield was not influenced by the use of finely ground lime applied onto soil surface.

Key words: *Zea mays*, particle size, soil acidity, no-till, dystroferric Red Oxisol.

4.1 INTRODUÇÃO

A acidez do solo pode ser neutralizada por vários compostos que liberam OH^- e, ou HCO_3^- . A eficiência dos corretivos da acidez do solo depende teor de substâncias em liberar OH^- e, ou HCO_3^- (neutralizantes), tamanho das partículas (grau de moagem), estrutura cristalina do material e teor de Mg. Os materiais corretivos mais utilizados na neutralização da acidez do solo são os calcários (Sousa et al., 2007).

A reação de neutralização da acidez do solo pelos calcários se dá pelo contato entre a superfície das partículas do corretivo e a solução do solo. Como os calcários são originalmente de baixa reatividade, é necessário que suas partículas sejam de menor tamanho possível, pois, quanto menores suas partículas, maior a superfície específica e maior a área de contato ou de reação (Sousa et al., 2007).

A legislação atual brasileira (Brasil, 2006) determina que as granulometrias de calcário devam apresentar as seguintes características: passar 100% por peneira de 2,00 mm (ABNT N° 10); 70% por peneira 0,84 mm (ABNT N° 20); e 50% por peneira 0,30 mm (ABNT N° 50). A partir da granulometria pode-se avaliar a reatividade do calcário (ER) no período de três meses. O teor neutralizante é avaliado pelo poder de neutralização (PN), expresso em equivalente de carbonato de cálcio (equivalente em CaCO_3). A partir do PN e ER calcula-se o poder relativo de neutralização total (PRNT) do corretivo. Para os materiais calcários, a legislação brasileira estabelece como valores mínimos de 67% para o PN, e 45% para o PRNT (Sousa et al., 2007). Quaggio (2000) relata que existem outros parâmetros para determinação da eficiência dos materiais calcários do somente o PRNT. A eficiência dos calcários para corrigir a acidez do solo pode ser medida pelo seu poder residual e também pela produtividade das culturas.

O sistema de plantio direto (SPD) ocupa extensas áreas agrícolas na América Latina (Kubota et al., 2005; Caires et al., 2005). A correção acidez do solo no SPD é diferenciada, pois não há o revolvimento do solo e assim não se podem incorporar os corretivos dessa acidez (Machado & Silva, 2001). A aplicação de calcário na superfície do

solo é largamente utilizada para neutralizar a acidez do solo no SPD. Em geral, esse manejo não reduz o a acidez no subsolo que depende da lixiviação de sais através perfil do solo (Raij & Carvalho, 1997; Alleoni et al., 2005). A calagem profunda por meio de incorporação pode resolver este problema, mas não é amplamente empregada em manejo do solo sob SPD (Caires et al., 1998).

Segundo Caires et al. (2003), a aplicação de gesso agrícola, associada ou não à calagem na superfície ou com incorporação, não foi uma estratégia interessante para o estabelecimento da soja no SPD, por não ocasionar melhoria na produção de grãos e nem a própria correção do solo. A ação do calcário na neutralização da acidez de subsolos é dificultada pelo aumento da retenção de cátions em decorrência da geração de cargas elétricas variáveis negativas com a elevação do pH do solo. Além disso, os ânions resultantes de sua dissolução, responsáveis pela correção da acidez, são também consumidos nas reações com outros cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}) na camada de deposição do calcário. No entanto, o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o HCO_3^- , acompanhado por Ca e Mg, assim movimenta-se para o subsolo corrigindo sua acidez (Caires et al., 2003).

A aplicação de calcário em superfície na instalação do sistema plantio direto, independentemente da granulometria e da dose do material corretivo, alterou positivamente os atributos químicos do solo (pH, H + Al, Ca^{2+} e Mg^{2+}) das camadas superficiais (0-5 cm e 5-10 cm), doze meses após a calagem. A aplicação de doses mais elevadas de calcário, com maior granulometria, mostrou efeito residual prolongado para a correção da acidez do solo (Mello et al., 2003).

Os valores do pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) da solução do solo não se alteraram na camada de 0-1 cm ao longo do tempo, porém, nas outras camadas até 0-4 cm verifica-se aumento do pH, principalmente a partir dos 180 dias. A aplicação de calcário na superfície até alteraram os valores de pH, Al, Ca e Mg trocáveis, e os valores de Ca e Mg na solução, até 2 cm de profundidade, aos 360 dias após a sua aplicação. A dissolução máxima de calcário ocorre aos 90 dias de sua aplicação, conforme indicam os valores de condutividade elétrica e de Ca e Mg na solução do solo (Amaral & Anghinoni, 2001).

A produção de milho, no Brasil tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de plantio. Os plantios de verão, ou primeira safra, são realizados na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto, na região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste (no Nordeste, esse período ocorre

no início do ano). A cultura do milho é amplamente utilizada em sucessão ao plantio da soja em SPD para elevar a cobertura com resíduos vegetais na superfície do solo (Duarte et al., 2007). A produção de milho no Brasil foi de 54 milhões de toneladas na safra 2009/2010, sendo que 33 milhões produzidos na safra de verão (safra normal) e 21 milhões na safra de inverno (safrinha) (Conab, 2010).

A utilização de calcário com granulometria menor que 0,30 mm aplicado na superfície do solo em SPD tem reação mais rápida na superfície e isso favorece sua movimentação no perfil solo corrigindo sua acidez. Desta forma, este trabalho teve o objetivo de avaliar as modificações dos atributos químicos no perfil do solo a resposta da cultura do milho com a aplicação superficial de calcário com diferentes granulometrias.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em outubro de 2009 na Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, Goiânia-Goiás, localizado na latitude: 16° 36'6,91" S, longitude: 49° 16'57,22" WO. O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho distroférico pelo sistema brasileiro de classificação de solos – SiBCS (Santos et al., 2006) considerando os resultados obtidos na amostra extra 1 do solo na área do experimento (Apêndice A). O clima conforme Köppen, classifica-se como tropical chuvoso, Aw savana, tendo caráter sub-úmido, com duas estações bem definidas: uma seca, com duração de quatro a cinco meses, e outra chuvosa, ocorrendo do final de setembro a abril. A temperatura máxima situa-se entre 34°C e 36°C, e a mínima entre 0°C e 4°C. A isoterma anual varia entre 20°C e 22°C, com precipitação média anual variando de 1.500 mm a 2.000 mm.

O experimento foi montado em blocos casualizados com quatro repetições. O experimento constituiu de vinte parcelas de 50 m² com cinco tratamentos. Os tratamentos consistiram em diferentes granulometrias de calcário em dose calculada para aumentar a saturação por bases do solo em 50%, baseado na análise do solo antes do experimento (Tabela 3.2, Capítulo 2), e um tratamento controle, ou seja, sem aplicação de calcário. As granulometrias de calcário utilizadas foram: 0,30 mm a 0,20 mm; 0,20 mm a 0,10 mm; 0,10 mm a 0,05 mm e 0,05 mm a 0,01 mm aplicados na superfície do solo na dose de 1,3 t ha⁻¹.

O calcário utilizado no experimento foi coletado com auxílio de uma pá, armazenado em sacos plásticos e encaminhados ao laboratório de Análises de Solos e Foliar da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (LASF/EA/UFG). Nesse laboratório, o calcário coletado foi dividido nas granulometrias desejadas por meio de peneiras apropriadas. O calcário foi amostrado separando-os pelas granulometrias e analisado. Todo calcário utilizado foi caracterizado como dolomítico extraído de rochas metamórficas com 27% de CaO e 20% de MgO, e com ER e PN de 100%.

O solo foi amostrado na área do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade. A necessidade de calagem (NC) foi calculada pelo método de saturação por bases: $NC = (V2-V1) \times T / 100$, onde V2 é saturação por bases requerida pela cultura, no caso foi utilizado 50%, V1 é saturação por bases atual do solo, T é a capacidade de troca catiônica total atual do solo. O cálculo da calagem foi baseado nos resultados da análise do solo antes da instalação do experimento (Tabela 3.2, Capítulo 2). A dose calculada foi de $1,30 \text{ t ha}^{-1}$ considerando a profundidade de 0-20 cm, e o PRNT do calcário de 100%.

A área do experimento ficou em pousio sem nenhuma cultura plantada por dois anos antes da implantação desse experimento. Antes disso, era utilizada como área demonstrativa de culturas como soja, milho e trigo. Nesses dois anos essa área era anualmente gradeada para controlar mecanicamente plantas daninhas invasoras.

O solo do experimento foi preparado com grade aradora de 12x32, ou seja, grade que possui 12 discos de 32 polegadas, seis meses antes da implantação do experimento e as diferentes doses e classes granulometrias de calcários foram aplicados dois meses antes do plantio do milho na superfície do solo. A área do experimento ficou em pousio e a cobertura do solo foi preenchida por plantas daninhas que cresceram naturalmente antes do plantio. As plantas daninhas que propagaram na área foram principalmente capim braquiária (*Brachiaria decumbens*), capim colônia (*Panicum maximum*), capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.), tiririca (*Cyperus rotundus* L.) e trapoeraba (*Commelina benghalensis*). Para o plantio do milho as plantas daninhas foram controladas com uma dessecação utilizando-se $3,5 \text{ L ha}^{-1}$ de glifosate e 1 L ha^{-1} de 2,4-D com volume de calda de 200 L ha^{-1} .

A cultura do milho foi plantada no dia 15 de dezembro de 2008, na primeira safra 2008/2009, e no dia 23 de dezembro de 2009 na segunda safra 2009/2010. O híbrido utilizado foi o 30A04 yieldguard da empresa Pioneer com espaçamento entre linhas de

0,90 m e com uma população de 6 plantas por metro linear. O milho recebeu adubação de plantio com 350 Kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 08-28-20 (NPK) com 1,5% de micronutrientes (B e Zn). A adubação de cobertura com N foi realizado 30 dias após o plantio do milho onde foi utilizado 100 kg ha⁻¹ de uréia agrícola, aplicado manualmente junto a linha de plantio do milho. O milho foi conduzido aplicando-se tratos culturais à medida do surgimento de plantas daninhas, pragas e doenças da cultura.

A avaliação química dos solos foi feita após a implantação do experimento em cada parcela a cada safra, na época de florescimento do milho, após 60 dias do plantio. Assim, foram realizadas amostragens de solo nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade na safra 2008/2009 e nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade na safra 2009/2010. A utilização do análise de solo na camada do 0-5 cm de profundidade do solo no segundo ano, se deve ao fato do não revolvimento do solo devido a implantação do sistema plantio direto, assim a cobertura vegetal no período de pousio entre os plantios pode ter influenciado os atributos químicos nessa camada. As amostras de solo foram coletadas retirando-se uma amostra simples na linha e seis amostras entre linhas de plantio, formando uma amostra composta por parcela. As amostras coletadas foram encaminhadas ao LASF/EA/UFG. No laboratório foram analisados quimicamente os seguintes atributos: pH (em H₂O), H⁺+Al³⁺, Al³⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Matéria Orgânica (M.O.); seguindo metodologia descrito por Embrapa (2009). A partir da obtenção desses atributos químicos do solo, foram calculadas a capacidade de troca catiônica total (CTCt) e os valores de saturação por bases (V).

A nutrição das plantas foi avaliada a partir das coletas de amostras de folhas de milho a cada cultivo realizado. Amostragem foliar no milho foi realizada quando 50% a 75% da lavoura apresentou a inflorescência feminina, coletando-se abaixo e oposta à primeira espiga, descartando-se a nervura central, em dez plantas por parcela. As amostras coletadas foram encaminhadas ao LASF/EA/UFG. No laboratório as amostras obtidas foram analisadas para a determinação dos macronutrientes (K, Ca e Mg) e de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) usando metodologia descrita por Embrapa (2009). As espigas de milho foram colhidas dentro de uma parcela útil de 20m² no dia 15/04/2009 e no dia 25/04/2010 representando a produção de grãos do ano de 2009 e do ano de 2010 respectivamente. Essas espigas de milho foram trilhadas e os grãos de milho foram pesados corrigindo-se a umidade dos grãos para 13%.

Os dados obtidos pela influência do tempo de reatividade das classes granulométricas de calcário do solo em diferentes camadas no perfil de 0-40 cm de profundidade solo foram analisados estatisticamente utilizando o software estatístico SAS (SAS Institute, 1999). Os dados foram analisados aplicando-se o teste F na análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Atributos da acidez do solo

Os valores de pH, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e acidez trocável (Al^{3+}) foram influenciados pelo uso de calcário em diferentes granulometrias aplicados na superfície do solo. A reatividade dos calcários em diferentes granulometrias influenciaram os valores desses atributos da acidez do solo ao longo do tempo (Tabela 4.1). Dessa forma, os calcários com granulometria menor que 0,30 mm possuem efeito residual no solo.

Tabela 4.1. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para pH, $H^+ + Al^{3+}$ e Al^{3+} em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO.

Causas de Variação	pH	$H^+ + Al^{3+}$	Al^{3+}
Tempo de reatividade	0,000	0,000	0,000
Calcário com diferentes granulometrias	0,000	0,030	0,046
Bloco	0,044	0,000	0,373
Profundidade	0,402	0,121	0,386

Os valores de pH no segundo ano foram menores que no primeiro ano na camada de 0-20 cm de profundidade do solo com o uso de calcário com granulometria entre 0,20 mm a 0,10 mm. Isso também ocorreu com o calcário em granulometria de 0,05 mm a 0,01 mm na camada de 0-40 cm de profundidade do solo. Nos outros tratamentos não houve diferença significativas nos valores de pH do primeiro para o segundo ano. Já os valores da acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foram maiores no segundo ano, sendo que na área sem a aplicação de calcário não houve esse diferença. Entretanto, os maiores valores da acidez trocável (Al^{3+}) foram encontrados no ano de 2010 até mesmo nas áreas sem o uso de calcário (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Médias dos valores de pH, $H^+ + Al^{3+}$ e Al^{3+} do solo encontrados em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias.

granulometrias profundidade (mm)	(cm)	pH (H ₂ O)		CV (%)**		$H^+ + Al^{3+}$ (cmol _c dm ⁻³)		Al^{3+} (cmol _c dm ⁻³)		CV (%)			
		2009	2010	média	CV (%)**	2009	2010	média	CV (%)	2009	2010	média	CV (%)
Controle	0-10	4,58 a*	4,95 a	4,76	5,92	4,65 a	5,23 a	4,94	17,88	0,53 b	1,01 a	0,77	59,31
	10-20	4,55 a	5,10 a	4,83	7,62	4,95 a	5,23 a	5,09	25,72	0,51 b	1,40 a	0,95	91,82
	20-40	4,58 a	4,94 a	4,76	8,61	4,35 a	4,42 a	4,38	29,75	0,50 b	0,95 a	0,72	85,02
0,30 - 0,20	0-10	5,25 a	5,47 a	5,36	8,39	2,93 b	4,72 a	3,82	26,91	0,05 b	0,42 a	0,23	84,82
	10-20	5,18 a	5,39 a	5,28	9,03	2,90 b	4,48 a	3,69	27,21	0,13 b	0,64 a	0,38	81,79
	20-40	5,27 a	5,42 a	5,34	8,10	3,47 b	4,36 a	3,91	25,19	0,07 b	0,62 a	0,34	94,15
0,20 - 0,10	0-10	5,10 a	4,73 b	4,91	6,77	3,45 b	5,78 a	4,61	28,50	0,05 b	1,77 a	0,91	115,02
	10-20	5,18 a	4,95 a	5,06	6,66	3,53 b	4,67 a	4,10	25,61	0,08 b	1,30 a	0,69	112,97
	20-40	5,08 a	5,28 a	5,18	9,03	3,73 a	3,78 a	3,75	14,08	0,08 b	0,69 a	0,38	123,91
0,10 - 0,50	0-10	5,13 a	5,29 a	5,21	8,92	4,28 b	4,69 a	4,48	15,54	0,03 b	0,57 a	0,30	99,82
	10-20	5,07 a	5,07 a	5,07	8,38	4,23 b	4,90 a	4,57	19,08	0,07 b	0,95 a	0,51	107,71
	20-40	5,03 a	5,25 a	5,14	9,77	3,48 b	4,36 a	3,92	25,93	0,08 b	0,59 a	0,33	105,67
0,05 - 0,01	0-10	5,55 a	5,16 b	5,35	5,74	3,33 b	4,65 a	3,99	28,48	0,00 b	0,53 a	0,26	124,45
	10-20	5,55 a	5,11 b	5,33	8,22	3,35 b	4,37 a	3,86	36,72	0,05 b	0,34 a	0,20	150,97
	20-40	5,65 a	5,29 b	5,47	9,72	3,25 b	4,82 a	4,04	36,01	0,08 b	0,60 a	0,34	144,92

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**CV (%): coeficiente de variação.

A reatividade do calcário com granulometrias menores que 0,3 mm foram maiores no primeiro ano. Esse resultado contraria os dados de Sousa & Lobato (2002) que reaplicaram 2,8 t ha⁻¹ de calcário (PRNT = 100%) na superfície de um Latossolo Vermelho argiloso de Cerrado, cultivado com milho no SPD, onde descreveram que o esse calcário reagiu gradativamente com o tempo de cultivo, atingindo 100% de reatividade aos seis anos após a aplicação.

O uso de calcário finamente moído aplicado superficialmente no solo em SPD alterou os valores de pH do solo no primeiro e no segundo ano. Porém, esta constatação não foi observada por Miranda et al. (2005), onde os valores de pH do solo ficaram inalterados por sucessivos cultivos em SPD na camada de 0-5 cm do solo com calcário aplicado em superfície. Isso, não foi verificado por Caires et al. (1998) onde calagem superficial em SPD consolidado promoveu aumento do pH e redução do Al trocável na camada de 0-10 cm do solo.

O maior valor de pH (em H₂O) encontrado no primeiro ano na camada de 0-10 cm de profundidade do solo foi quando utilizou-se calcário com a granulometria de 0,05 mm a 0,01 mm. Entretanto, os calcários utilizados não modificaram os valores de pH no perfil do solo nesse ano. Já no ano de 2010 o calcário com granulometria de 0,3 mm a 0,2 mm proporcionou maior média de pH na camada de 0-40 cm (Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Valores de pH do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade cm	granulometrias do calcário (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01		
-----pH (H ₂ O)-----								
2009	0-10	4,58 a B*	5,25 a AB	5,10 AB A	5,13 aAB	5,55 a A	5,12 a	2,95
	10-20	4,55 a A	5,18 a A	5,18 a A	5,07 a A	5,55 a A	5,10 a	2,99
	20-40	4,58 a A	5,27 a A	5,08 b A	5,03 a A	5,65 a A	5,12 a	3,96
	média	4,57 A	5,23 A	5,12 A	5,07 A	5,58 A	-	-
C.V. (%)**		2,53	2,31	0,98	3,86	0,97	-	-
2010	0-5	5,00 a AB	5,55 a A	4,73 a B	5,56 a A	5,31 a AB	5,23 ab	4,55
	5-10	4,90 a A	5,39 a A	4,72 a A	5,01 a A	5,01 ab A	5,00 ab	4,22
	10-20	5,10 a A	5,43 a A	4,95 a A	5,07 a A	5,11 b A	5,13 ab	5,43
	20-40	4,94 a A	5,42 a A	5,28 a A	5,25 a A	5,29 ab A	5,23 a	4,62
	média	4,99 B	5,44 A	4,92 B	5,22 AB	5,18 AB	-	-
C.V. (%)		1,51	2,09	3,99	1,68	1,99	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

O calcário com granulometria 0,3 mm a 0,2 mm mostrou efeito residual no ano de 2010 além de aumentar os valores de pH do solo em relação a área sem a aplicação de calcário em todo o perfil do solo. Nesse sentido, a aplicação de calcário em superfície proporcionou modificação aumentos nos valores de pH no perfil do solo, que em outros estudos ficaram concentrados na camada de 0-10 cm (Mello et al., 2003; Caires et al., 2003; Weirich Neto et al., 2000).

Sousa et al. (2007) relataram que com o calcário aplicado na superfície do solo a área de contato do corretivo com o solo é menor, diminuindo sua dissolução. Nesse sentido, utilizando calcários com maior superfície específica no presente trabalho, quanto mais fino maior a sua superfície específica, houve a sua dissolução no solo e acelerou a sua reatividade, com isso a camada superficial do solo foi corrigida e o excedente das partículas de calcário percolaram para camadas mais profundas do solo corrigindo a acidez do subsolo.

A acidez potencial do solo não mostrou diferença significativa entre as granulometrias de calcário no ano de 2009 (Tabela 4.4). Entretanto, no ano de 2010 mostraram maiores valores de $H^+ + Al^{3+}$ na superfície do solo (0-10 cm) quando se utilizou calcário com granulometria de 0,20 mm a 0,10 mm e de 0,05 mm a 0,01 mm, sendo que nesta última, o perfil do solo ficou dividido em camadas 0-20 cm e 20-40 cm. Além disso, o valor médio de $H^+ + Al^{3+}$ no solo foi maior na camada de 5-10 cm, comparado as outras profundidades amostradas, mostrando o residual efeito dos calcários somente nessa camada. Mas os valores de $H^+ + Al^{3+}$ no perfil do solo com o calcário de granulometria entre 0,30 mm e 0,20 mm, 0,10 mm a 0,05 mm foram iguais entre as profundidades amostradas (Tabela 4.4).

Caires et al. (2000) relatam que houve redução dos teores de $H^+ + Al^{3+}$ até 60 cm de profundidade com a aplicação de calcário em diferentes doses na superfície do solo corroborando com essa pesquisa onde as granulometrias de calcário diminuíram os teores de $H^+ + Al^{3+}$ no perfil do solo em comparação a testemunha. Já Caires et al. (2005) descreveram que houve alterações na acidez do solo somente na camada de 0-5 cm com a aplicação de calcário na superfície do solo. No entanto, todas as granulometrias de calcário utilizadas mostraram reduzir a acidez potencial no perfil do solo no primeiro ano, e no segundo ano com efeito da reacidificação pelo processo de cultivo e intemperismo ácido (Helyar, 2003), somente as granulometrias de calcário entre 0,30 mm e 0,20 mm e 0,10 mm e 0,05 mm mostraram esse efeito.

Tabela 4.4. Valores de acidez potencial do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometrias do calcário (mm)						média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01			
	cm	-----H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)-----							
2009	0-10	4,65 a A*	2,93 a A	3,45 a A	4,28 a A	3,33 a A	3,73 a	21,79	
	10-20	4,95 a A	2,90 a A	3,53 a A	4,23 a A	3,35 a A	3,79 a	26,09	
	20-40	4,35 a A	3,47 a A	3,73 a A	3,48 a A	3,25 a A	3,65 a	24,99	
	média	4,65 A	3,10 A	3,57 A	3,99 A	3,31 A	-	-	
	C.V. (%)**	16,85	26,89	13,93	19,72	13,12	-	-	
2010	0-5	4,92 a AB	4,52 a AB	5,73 a A	4,08 a B	4,45 a AB	4,74 ab	11,89	
	5-10	5,54 a A	4,93 a A	5,82 ab A	5,30 a A	4,85 a A	5,29 a	6,87	
	10-20	5,23 a A	4,48 a A	4,67 bc A	4,90 a A	4,37 a A	4,73 b	6,51	
	20-40	4,42 a A	4,36 a A	3,78 c A	4,36 a A	4,82 b A	4,35 c	7,65	
	média	5,02 A	4,57 A	5,00 A	4,66 A	4,85 A	-	-	
	C.V. (%)	10,93	14,70	9,91	14,84	7,70	-	-	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

As diferentes granulometrias de calcário foram eficientes em reduzir o Al no solo no primeiro ano em comparação a área sem aplicação de calcário. Mas esse efeito foi verificado somente na camada de 0-10 cm do solo. O calcário com granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm foi mais eficiente em reduzir o Al no perfil de 0-10 cm e 0-40 cm do solo no segundo ano, mostrando efeito residual desse tipo de calcário (Tabela 4.5). Assim, o uso de granulometrias de calcário 0,20 mm aplicados na superfície do solo foi eficiente para reduzir o Al na camada de 0-40 cm de profundidade.

A utilização de calcário com granulometria entre 0,30 mm e 0,20 mm aplicados na superfície do solo foram mais eficientes que calcários mais finos. Resultados diferentes foram encontrados por Silva & Lemos (2008), os quais descreveram que a aplicação de calcário com PRNT de 72% na superfície do solo foi eficiente para reduzir o Al somente até 10 cm de profundidade.

As amostras de solo nesta pesquisa foram retiradas aos dezoito meses a aplicação de calcário em superfície, e a granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm mostram neutralizar a acidez no perfil de 0-40 cm de profundidade do solo. Entretanto, o trabalho de Alleoni et al. (2005) discorda desses resultados, onde relataram que a neutralização da acidez do solo ficou restrita aos 10 cm de profundidade aos trinta meses após a aplicação de calcário na superfície do solo. Petreire & Anghinoni (2001), estudando a movimentação de calcário “filler” em colunas de solos sob SPD e sistema de plantio convencional (SPC), observaram que no SPD as taxas de infiltração foram maiores (19 e 16 cm h⁻¹,

respectivamente, para o SPD e o SPC) e também relatam que a movimentação física do calcário ficou restrita aos primeiros centímetros do solo (camada de 2,50-3,75 cm).

Tabela 4.5. Valores de acidez trocável do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade cm	granulometrias do calcário (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01		
		-----Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)-----						
2009	0-10	0,53 a A*	0,05 a B	0,05 a B	0,03 a B	0,00 a B	0,13 a	164,96
	10-20	0,51 a A	0,13 a A	0,08 a A	0,07 a A	0,05 a A	0,16 a	68,85
	20-40	0,50 a A	0,07 a A	0,08 a A	0,08 a A	0,08 a A	0,16 a	83,48
	média	0,51 A	0,08 A	0,07 A	0,06 A	0,04 A	-	-
C.V. (%)**		22,86	40,03	82,92	75,92	173,26	-	-
2010	0-5	0,62 a AB	0,31 b B	1,46 a A	0,29 b B	0,45 a B	0,63 b	94,82
	5-10	1,40 a AB	0,52 a C	2,08 a A	0,85 a B	0,60 a BC	1,09 a	86,19
	10-20	1,41 a A	0,64 a A	1,30 a A	0,95 a A	0,34 a A	0,93 ab	75,51
	20-40	0,95 a A	0,62 a A	0,69 b A	0,59 a A	0,60 a A	0,69 b	71,76
	média	1,09 A	0,52 A	1,38 A	0,67 A	0,50 A	-	-
C.V. (%)		36,68	40,62	45,79	50,66	39,95	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo diminui as variações de temperatura e de umidade do solo no SPD, o que favorece a fauna responsável pela abertura de canais contínuos, pelos quais pode ocorrer movimentação física do calcário aplicado superficialmente (Oliveira & Pavan, 1996). Esses poros ou canais deixados pelas raízes mortas e o fendilhamento natural do solo favorecem o deslocamento de partículas finas, junto com o movimento descendente da água. O volume de macroporos e a conexão entre eles é maior no SPD do que em sistemas que utilizam a mobilização do solo por grades ou arados (Schaefer et al., 2001). Nesse sentido, a implantação do SPD facilitou a movimentação de partículas de calcário finamente moído no perfil do solo nessa presente pesquisa, em apenas um ano de adoção desse sistema de cultivo.

O aumento do pH do solo e redução do Al³⁺ no solo foram verificados com o uso da recalagem na superfície do solo na cultura do milho em SPD após três anos de sua aplicação, atingindo a profundidade de 10 cm no solo. Nesse mesmo trabalho, a mobilidade do calcário foi até a profundidade de 20 cm após seis anos de sua aplicação (Sousa & Lobato, 2002). O calcário então mostrou efeito residual e mobilidade no solo quando aplicado superficialmente no solo, concordando com resultados de deste trabalho.

As diferentes granulometrias de calcário é uma ferramenta para a correção da acidez do solo no SPD sem precisar revolver o solo.

4.3.2 Potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+})

A aplicação de calcário com granulometria menor 0,30 mm na superfície do solo influenciou os valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Esses elementos no solo também foram influenciados pelo tempo de reatividade do uso do calcário em diferentes granulometrias. Os efeitos da calagem superficial nesses elementos foram diferentes em cada profundidade do solo (Tabela 4.6).

Tabela 4.6. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO.

Causas de Variação	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Tempo de reatividade	0,000	0,000	0,000
Calcário com diferentes granulometrias	0,002	0,000	0,000
Bloco	0,084	0,657	0,938
Profundidade	0,000	0,002	0,046

Os valores de K^+ e Ca^{2+} foram maiores no segundo ano com a utilização de calcário em diferentes granulometrias aplicados na superfície do solo. Já os valores de Mg^{2+} foram iguais na área sem aplicação de calcário no primeiro e segundo ano. O uso de calcário com granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm, 0,20 mm a 0,10 mm e 0,05 mm a 0,01 mm aumentou os valores de Mg^{2+} na camada de 0-20 cm de profundidade do solo no segundo ano. Entretanto, quando se utilizou calcário com granulometria entre 0,10 mm a 0,05 mm os valores de Mg^{2+} foram maiores no segundo ano somente na camada de 0-10 cm do solo (Tabela 4.7).

O calcário com granulometria entre 0,30 mm a 0,01 mm mostrou efeito residual no solo elevando os valores de K^+ e Ca^{2+} no segundo ano no perfil de 0-40 cm do solo. No caso do Mg^{2+} esse efeito ficou restrita a camada de 0-20 cm do solo. Esse efeito também foi constatado em vários trabalhos utilizando a calagem superficial em SPD (Amaral, 1998; Amaral et al., 2004; Ciotta et al., 2004; Alleoni et al., 2005). O acúmulo de K^+ trocável na superfície do solo também foi observado por Amaral (1998).

Tabela 4.7. Médias dos valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo encontrados em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	profundidade (cm)	K^+ (cmol _c dm ⁻³)			Ca^{2+} (cmol _c dm ⁻³)			Mg^{2+} (cmol _c dm ⁻³)				
		2009	2010	média CV (%)**	2009	2010	média CV (%)	2009	2010	média CV (%)		
Controle	0-10	0,15 a*	0,15 a	4,16	0,58 a	0,58 a	0,58	5,79	0,35 a	0,35 a	0,35	34,00
	10-20	0,11 a	0,11 a	4,12	0,55 a	0,67 a	0,61	3,46	0,20 a	0,23 a	0,22	31,32
	20-40	0,08 a	0,08 a	3,87	0,40 a	0,36 a	0,38	5,67	0,20 a	0,18 a	0,19	39,90
0,30 - 0,20	0-10	0,16 b	0,40 a	48,28	1,95 b	2,71 a	2,33	37,81	0,55 b	1,39 a	0,97	67,27
	10-20	0,15 b	0,21 a	26,59	1,40 b	2,18 a	1,79	44,34	0,38 b	1,19 a	0,78	72,46
	20-40	0,15 b	0,16 a	11,33	0,83 b	1,92 a	1,38	63,69	0,27 b	1,54 a	0,90	81,98
0,20 - 0,10	0-10	0,16 b	0,36 a	43,69	1,70 b	1,54 a	1,62	32,21	0,60 b	1,26 a	0,93	51,14
	10-20	0,14 b	0,25 a	39,74	1,40 b	1,58 a	1,49	42,76	0,30 b	1,37 a	0,84	72,46
	20-40	0,15 b	0,18 a	27,05	0,90 b	1,65 a	1,28	54,65	0,30 b	1,07 a	0,69	74,30
0,10 - 0,50	0-10	0,14 b	0,38 a	53,31	1,88 b	2,76 a	2,32	40,52	0,45 b	1,37 a	0,91	72,76
	10-20	0,15 b	0,17 a	11,46	1,27 b	2,23 a	1,75	46,97	0,33 b	1,18 a	0,75	75,28
	20-40	0,14 b	0,14 a	15,87	1,08 b	2,20 a	1,64	52,72	0,30 b	1,14 a	0,72	77,38
0,05 - 0,01	0-10	0,18 b	0,32 a	19,45	1,83 b	2,23 a	2,03	57,21	0,43 b	1,48 a	0,95	34,28
	10-20	0,14 b	0,21 a	18,55	1,38 b	1,73 a	1,55	51,32	0,45 b	1,19 a	0,82	51,96
	20-40	0,14 b	0,15 a	32,84	1,48 b	1,77 a	1,62	64,07	0,43 b	1,09 a	0,76	52,03

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);
 **CV (%): coeficiente de variação.

Amaral et al. (2004) descreveram que CTC efetiva formou gradientes no perfil de solo devido a movimentação de partículas de Ca^{2+} até os 20 cm de profundidade. O aumento do teor de K^+ na superfície do solo foi encontrado também por Ciotta et al. (2004). A calagem superficial aumentou os valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo até a profundidade de 10 cm após trinta meses da aplicação do calcário (Alleoni et al., 2005).

A aplicação de calcário com granulometria menor que 0,30 mm na superfície do solo influenciaram os valores de K^+ somente na camada 10-20 cm de profundidade, onde esses valores foram maiores com a aplicação desses calcários em relação a área sem aplicação de calcário no primeiro ano. No segundo ano, os teores de K^+ mostraram uma frente de concentração da superfície para o subsolo, tanto na testemunha quanto na utilização de diferentes granulometrias de calcário aplicados na superfície do solo. Os maiores valores de K^+ foram encontrados valores nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm quando comparado com a profundidade de 20-40 cm no solo no segundo ano (Tabela 4.8).

Tabela 4.8. Valores de potássio do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade cm	granulometrias do calcário (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01		
----- K^+ (cmol _c dm ⁻³)-----								
2009	0-10	0,15 a A*	0,16 a A	0,16 a A	0,14 a A	0,18 a A	0,16 a	13,94
	10-20	0,11 b B	0,15 a A	0,14 a A	0,15 a A	0,14 a A	0,14 b	8,80
	20-40	0,08 b A	0,15 a A	0,15 a A	0,14 a A	0,14 a A	0,13 b	9,79
	média	0,11 A	0,15 A	0,15 A	0,14 A	0,16 A	-	-
	C.V. (%)**	9,77	6,44	9,58	3,27	15,89	-	-
2010	0-5	0,17 a B	0,43 a A	0,39 a A	0,40 a A	0,38 a A	0,35 a	22,24
	5-10	0,13 ab B	0,37 a A	0,32 ab A	0,37 a A	0,27 b A	0,29 b	27,62
	10-20	0,11 bc B	0,21 b AB	0,25 bc A	0,17 bAB	0,21 b AB	0,19 c	32,54
	20-40	0,08 c B	0,16 b A	0,18 c A	0,14 b A	0,15 c A	0,14 c	27,96
	média	0,12 B	0,29 A	0,29 A	0,27 A	0,25 A	-	-
	C.V. (%)	17,05	24,08	13,80	29,39	7,17	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

O K^+ no solo concentrou-se nas camadas superficiais do solo devido ao acúmulo de matéria orgânica nessa camada e pelas adubações potássicas realizados nos dois anos de cultivo do milho. Essa tendência de aumento do teor de K^+ na superfície do solo também foi encontrado por Ciotta et al. (2004) e por Amaral (1998). O comportamento diferenciado do K^+ deve-se à sua dinâmica no solo, que é mais dependente

da frequência de adubação potássica, aliado a fatores tais como tipo de solo, CTC e influência do pH na CTC (Maria & Castro, 1993). Relacionado a isso, o solo foi adubado com potássio em dois anos consecutivos, as diferentes granulometrias de calcário aplicados na superfície do solo estabeleceram menor acidez na superfície do solo e o SPD promoveu acúmulo de matéria orgânica nessa camada do solo.

A aplicação de calcário na superfície do solo com granulometria menor que 0,30 mm proporcionaram maiores valores de Ca^{2+} em relação à área sem aplicação de calcário somente na camada de 20-40 cm de profundidade do solo no primeiro ano. As granulometrias de calcário de 0,30 mm a 0,20 mm e de 0,10 mm a 0,05 mm proporcionaram maiores médias de Ca^{2+} no perfil de 0-40 cm do solo, no segundo ano. Sendo que, todas as granulometrias de calcário pesquisadas foram eficientes em elevar os teores de Ca^{2+} na camada de 0-40 cm de profundidade do solo em relação à área sem aplicação de calcário no segundo ano (Tabela 4.9).

Tabela 4.9. Valores de cálcio do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade cm	granulometrias do calcário (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01		
		----- Ca^{2+} (cmol _c dm ⁻³)-----						
2009	0-10	0,58 a A*	1,95 a A	1,70 a A	1,88 a A	1,83 a A	1,59 a	40,95
	10-20	0,55 a A	1,40 ab A	1,40 a A	1,27 a A	1,38 a A	1,20 a	33,72
	20-40	0,40 a B	0,83 b AB	0,90 a AB	1,08 a A	1,48 a A	0,94 a	63,02
	média	0,51 A	1,39 A	1,33 A	1,41 A	1,56 A	-	-
C.V. (%)**		55,71	32,00	40,47	34,32	21,81	-	-
2010	0-5	0,70 a B	2,83 a A	1,66 a AB	3,09 a A	2,67 a A	2,19 a	23,83
	5-10	0,45 a C	2,58 a A	1,42 a BC	2,42 a A	1,80 a AB	1,73 b	19,26
	10-20	0,67 a B	2,18 a A	1,58 a A	2,23 a A	1,73 a A	1,68 b	23,79
	20-40	0,36 a B	1,92 a A	1,65 a A	2,20 a A	1,77 a A	1,58 b	22,93
	média	0,54 C	2,38 A	1,58 AB	2,48 A	1,99 BC	-	-
C.V. (%)		22,61	18,92	12,19	23,27	19,68	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

O maior valor de Mg^{2+} do solo foi de 0,45 cmol_c dm⁻³ encontrado na camada de 10-20 cm de profundidade no primeiro ano. Contudo, no segundo ano, todas as diferentes granulometrias de calcário aplicados a superfície do solo foram eficientes em aumentar os teores de Mg^{2+} do solo em relação a testemunha na camada de 0-40 cm de profundidade. Entretanto, na granulometria de calcário de 0,10 mm a 0,05 mm houve acúmulo de Mg^{2+} na camada de 0-5 cm de profundidade do solo (Tabela 4.10).

O aumento da concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} restringiu-se à camada de 0-10 cm do solo após trinta meses da aplicação de calcário em sua superfície (Alleoni et al., 2005). Mello et al. (2003) descreveram que Ca^{2+} e Mg^{2+} também concentraram na superfície do solo com o uso de SPD em relação ao sistema convencional e que mesmo utilizando granulometrias mais grossas somente houve aumento do Ca^{2+} e Mg^{2+} até 10 cm de profundidade. Discordando destas pesquisas, as diferentes granulometrias de calcário foram eficientes em aumentar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil de 0-40 cm do solo após dezoito meses de sua aplicação na superfície do solo.

Tabela 4.10. Valores de magnésio do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometrias do calcário (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01		
	cm	----- Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)-----						
2009	0-10	0,35 a A*	0,55 a A	0,60 a A	0,45 a A	0,43 a A	0,48 a	43,66
	10-20	0,20 a B	0,38 abAB	0,30 a AB	0,33 aAB	0,45 a A	0,33 ab	26,63
	20-40	0,20 a A	0,27 b A	0,30 a A	0,30 a A	0,43 a A	0,30 b	38,79
	média	0,25 A	0,40 A	0,40 A	0,36 A	0,43 A	-	-
	C.V. (%)**	21,82	30,23	74,54	20,69	35,04	-	-
2010	0-5	0,45 a B	1,45 a A	1,32 a A	1,57 a A	1,54 a A	1,26 a	13,81
	5-10	0,25 a B	1,33 a A	1,21 a A	1,17 b A	1,43 a A	1,08 a	11,57
	10-20	0,23 a B	1,19 a A	1,37 a A	1,18 b A	1,19 a A	1,03 a	16,90
	20-40	0,18 a B	1,54 a A	1,07 a A	1,14 b A	1,09 a A	1,00 a	14,91
	média	0,28 B	1,37 A	1,24 A	1,26 A	1,31 A	-	-
	C.V. (%)	20,75	27,01	15,55	13,21	21,44	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

Amaral et al. (2004) afirmaram que a movimentação do calcário em colunas de percolação ocorreu majoritariamente ao deslocamento vertical de partículas do calcário que não reagiram na superfície do solo e ao transporte dos produtos de sua dissolução através da solução percolada, que no caso no campo é a chuva. Neste sentido, Rheinheimer et al. (2000) relataram que a aplicação de calcário proporcionou aumento de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo com pastagem até 10 cm de profundidade e, que efeitos da calagem superficial só ocorreram após a neutralização da camada de aplicação ou da alcançada pela migração. Dessa forma, foi possível constatar que as partículas de calcário finamente moído moveram para camadas mais profundas do solo em razão da infiltração de água no solo, e assim proporcionou aumento dos teores Ca^{2+} e Mg^{2+} até os 40 cm de profundidade do solo em comparação a área sem a aplicação de calcário no segundo ano nessa presente pesquisa.

4.3.3 Capacidade de troca catiônica total (CTCt), saturação por base (V) e matéria orgânica (M.O.)

Os calcários com diferentes granulometrias aplicados na superfície do solo modificaram o valores de CTC, V e M.O. Esses atributos do solo também foram influenciados pelo tempo de reatividade das granulometrias de calcários. Os valores de CTC e M.O. foram modificados pelo uso desses calcário em função da profundidade do solo analisada (Tabela 4.11).

Tabela 4.11. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para CTC, V e M.O. em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias, bloco e profundidade. Goiânia-GO.

Causas de Variação	CTC	V	M.O.
Tempo de reatividade	0,000	0,007	0,000
Calcário com diferentes granulometrias	0,000	0,000	0,046
Bloco	0,002	0,096	0,070
Profundidade	0,000	0,125	0,000

Os valores de CTC do solo foram maiores com o uso de calcários com granulometrias menores que 0,30 mm no segundo ano. A saturação por bases (V) do solo foram maiores no segundo ano devido o uso de calcário com granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm e 0,20 mm a 0,10 mm na camada de 10-40 cm de profundidade do solo. Os valores de V do solo na camada de 0-10 cm do solo com o uso de calcário dessas granulometrias foram maiores no primeiro ano. Já com a granulometria entre 0,10 mm a 0,05 mm a saturação por bases foi maior no segundo ano em todas as profundidades avaliadas (Tabela 4.12).

A calagem superficial aumentou a CTC a pH 7,0 do solo até a profundidade de 10 cm após trinta meses da aplicação do calcário, devido a grande proporções do aumento de Ca e Mg na superfície do solo (Alleoni et al., 2005). Amaral et al. (2004), descreveram que CTC efetiva formou gradientes no perfil de solo devido a movimentação de partículas de Ca até os 20 cm de profundidade. Estas pesquisas discordam dos resultados encontrados com o uso de diferentes granulometrias do calcário aplicados na superfície do solo, onde todas as granulometrias utilizadas foram eficientes em aumentar a CTC total do solo após dezoito meses de sua aplicação. Fidalski & Tormena (2005) avaliaram a tempo de reatividade de calcário com PRNT de 100% aplicado na superfície de um Latossolo

Vermelho distrófico, onde verificaram que a máxima resposta ocorreu no terceiro ano após a aplicação do calcário na camada de 0-10 cm do solo. Corroborando com o presente trabalho onde o calcário finamente moído mostra efeito residual para a correção da acidez do solo no segundo ano.

Tabela 4.12. Médias dos valores de capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e matéria orgânica (M.O.) do solo encontrada em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	profundidade (cm)	CTC (cmol _c dm ⁻³)		V (%)		M.O. (g dm ⁻³)							
		2009	2010	média	CV (%)	2009	2010	média	CV (%)				
Controle	0-10	5,75 a*	5,90	5,83	25,00	19,48 a	19,48	42,56	19,50 b	22,38 a	20,94	45,13	
	10-20	5,32 a	5,48	5,40	23,49	17,35 a	21,30 a	19,33	50,93	14,75 b	19,54 a	17,15	36,94
	20-40	5,29 a	5,51	5,40	27,87	16,11 a	13,98 a	15,05	53,84	16,75 a	15,47 a	16,11	42,31
0,30 - 0,20	0-10	5,58 b	9,22	7,40	24,84	47,62 a	44,30 b	45,96	20,05	18,25 a	22,98 a	20,61	38,24
	10-20	4,82 b	8,05	6,44	28,95	39,65 b	44,51 a	42,08	13,04	14,75 b	18,88 a	16,82	47,87
	20-40	4,72 b	7,97	6,34	29,07	28,24 b	45,30 a	36,77	29,66	18,67 a	18,81 a	18,74	33,10
0,20 - 0,10	0-10	5,91 b	8,93	7,42	25,14	40,62 a	35,40 b	38,01	15,17	17,75 a	20,61 a	19,18	36,01
	10-20	5,37 b	7,87	6,62	24,05	35,26 b	40,51 a	37,89	19,11	18,00 a	18,67 a	18,34	55,23
	20-40	5,07 b	6,68	5,88	16,81	26,73 b	43,41 a	35,07	29,71	13,75 b	16,04 a	14,90	12,52
0,10 - 0,50	0-10	6,74 b	9,20	7,97	20,69	36,19 b	48,95 a	42,57	15,89	18,25 a	22,70 a	20,47	30,56
	10-20	5,98 b	8,47	7,23	21,77	29,33 b	42,55 a	35,94	20,71	18,67 a	19,52 a	19,09	50,95
	20-40	4,99 b	7,84	6,41	27,67	31,05 b	44,96 a	38,00	22,94	12,00 b	18,10 a	15,05	33,59
0,05 - 0,01	0-10	5,72 b	9,09	7,41	23,03	41,80 b	43,77 a	42,78	39,12	22,75 a	22,75 a	22,75	32,53
	10-20	5,81 b	8,25	7,03	21,10	36,68 b	37,16 a	36,92	48,45	19,00 a	18,67 a	18,83	58,17
	20-40	5,03 b	7,35	6,19	21,68	38,00 b	40,72 a	39,36	54,42	15,50 b	16,40 a	15,95	52,36

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**CV (%): coeficiente de variação.

Os calcários finamente moídos aplicados superficialmente no solo mostrou efeito residual para os valores de CTCt, V e M.O. no segundo ano. Nesse ano, houve a percolação de partículas de calcário com granulometrias entre 0,30 mm a 0,10 mm para camadas mais profundas, onde esse calcário elevou a saturação por bases no subsolo (Tabela 4.12).

O teor de M.O. do solo foi maior no segundo ano com o uso de calcário de granulometria entre 0,30 mm a 0,20 mm na camada de 10-20 cm de profundidade do solo. Esse mesmo resultado foi encontrado com a granulometria de 0,20 mm a 0,10 mm, mas na camada de 20-40 cm, e com a granulometria de 0,10 mm a 0,05 mm nas camadas de 0-10 cm e 20-40 cm (Tabela 4.12). Com o uso de calcário nas demais granulometrias os valores de M.O. foram iguais no primeiro e no segundo ano em todas as profundidades avaliadas e também na área sem aplicação de calcário.

As diferentes granulometrias de calcário aplicados no solo não influenciaram nos valores de CTC total do solo no primeiro ano. Além disso, todas as granulometrias de calcário utilizadas foram eficientes em aumentar os valores de CTC total do solo no segundo ano em relação ao tratamento sem aplicação de calcário (Tabela 4.13).

Tabela 4.13. Valores de capacidade de troca catiônica total do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometrias do calcário (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01		
		-----Capacidade de troca catiônica total - CTC - (cmol _c dm ⁻³)-----						
2009	cm							
	0-10	5,75 a A*	5,58 a A	5,91 a A	6,74 a A	5,72 a A	5,94 a	24,46
	10-20	5,32 a A	4,82 a A	5,37 a A	5,98 a A	5,81 a A	5,46 a	17,07
	20-40	5,29 a A	4,72 a A	5,07 a A	4,99 a A	5,03 a A	5,02 a	22,12
	média	5,46 A	5,04 A	5,45 A	5,90 A	5,52 A	-	-
	C.V. (%)**	18,45	22,67	17,94	20,96	10,50	-	-
2010	0-5	5,98 a B	9,23 a A	9,10 a A	9,14 a A	9,29 a A	8,55 a	6,22
	5-10	5,82 a B	9,21 a A	8,76 a A	9,26 a A	8,89 a A	8,39 a	5,04
	10-20	5,48 a B	8,05 a A	7,87 a A	8,47 a A	8,25 a A	7,62 a	9,92
	20-40	5,51 a B	7,97 a A	6,68 a A	7,84 a A	7,35 a A	7,07 a	9,80
	média	5,69 B	8,62 A	8,10 A	8,68 A	8,45 A	-	-
	C.V. (%)	13,35	12,03	12,44	14,28	15,08	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

As médias de saturação por bases foram maiores na camada de 0-20 cm de profundidade em todas as granulometrias de calcário utilizadas em comparação com a área sem aplicação de calcário no primeiro ano. Mas, na camada de 20-40 cm, não houve efeito

da elevação da saturação por bases no solo quando se utilizou calcários de fina granulometria na superfície do solo nesse primeiro ano (Tabela 4.14).

Tabela 4.14. Valores de saturação por bases do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometrias do calcário (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01		
		-----Saturação por bases - V - (%)-----						
2009	cm							
	0-10	19,48 a B*	47,62 a A	40,62 a A	36,19 a A	41,80 a A	37,14 a	15,27
	10-20	17,35 a B	39,65 ab A	35,26 a AB	29,33 a AB	36,68 a A	31,66 b	17,07
	20-40	16,11 a A	28,24 b A	26,73 a A	31,05 a A	38,00 a A	28,02 b	31,09
	média	17,64 A	38,50 A	34,20 A	32,19 A	38,83 A	-	-
	C.V. (%)**	25,23	15,10	20,77	12,44	13,40	-	-
2010	0-5	23,06 a C	51,19 a AB	37,16 a BC	55,22 a A	48,65 a AB	43,06 a	13,78
	5-10	15,90 a B	37,42 a AB	33,64 a AB	42,68 a A	38,88 a AB	33,70 b	14,11
	10-20	21,30 a B	44,51 a A	40,51 a A	42,55 a A	37,16 a AB	37,21 ab	16,25
	20-40	13,98 a B	45,30 a A	43,41 a A	44,96 a A	40,72 a A	37,67 ab	14,64
		média	18,56 B	44,60 A	38,68 AB	46,35 A	41,35 A	-
	C.V. (%)	12,05	26,25	9,72	14,92	9,11	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

Os calcários finamente moídos foram eficientes em elevar a saturação por bases no perfil de 0-40 cm do solo no segundo ano. Porém, não foi atingida a saturação de bases desejada com a aplicação de 1,3 t ha⁻¹ de calcário em diferentes granulometrias. Dessa forma, a granulometria de calcário entre 0,10 mm e 0,50 mm foi que obteve maior média de saturação por bases do solo no perfil de 0-40 cm de profundidade. Exceto, na camada de 0-5 cm de profundidade do solo, onde essa mesma granulometria de calcário elevou a saturação por bases a 55%. Por outro lado, a granulometria de calcário entre 0,20 mm e 0,10 mm não foi eficiente em aumentar a saturação por bases do solo, nem nas camadas mais superficiais do solo (Tabela 4.14).

Os resultados mostram que a resposta a calagem superficial está na aplicação de diferentes granulometrias de calcário que conseguiram elevar a saturação por bases dos solos no perfil de 0-40 cm, dependendo do tempo de reação no solo, no caso em dezoito meses. Assim, essas granulometrias de calcário movimentaram e reagiram no perfil do solo. Pelo contrário, Caires et al. (2000), Alleoni et al. (2005) e Kaminski et al. (2005), utilizando calcário filler aplicado na superfície do solo, não verificaram essa constatação.

Alleoni et al. (2005) descreveram que em seis meses após a calagem, o efeito do calcário aplicado em superfície na saturação por bases (V) ficou restrito a 5 cm de

profundidade, chegando até à camada de 5-10 cm aos dezoito meses. Aos trinta meses da calagem superficial, não houve aumento da saturação por bases nas camadas de 10-20 e 20-40 cm. Caires et al. (2000) relataram que a calagem superficial somente foi eficiente para aumentar a saturação por bases do solo quando o solo apresentou pH (CaCl₂) inferior a 5,6 ou saturação por bases inferior a 65%, na camada de 0-5 cm. Kaminski et al. (2005), relataram que houve aumento da saturação por bases com a calagem superficial somente até 15 cm de profundidade.

Os teores de matéria orgânica mostraram gradiente de concentração na profundidade do solo com maiores valores nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm em relação a profundidade de 20-40 cm. Neste sentido, não houve efeito da aplicação de calcário em diferentes granulometrias no conteúdo de matéria orgânica do solo em dois anos de estudo (Tabela 4.15). Assim, a concentração da matéria orgânica na profundidade de 0-20 cm foi causada pela adoção do sistema de plantio direto no segundo ano do experimento.

Tabela 4.15. Valores de matéria orgânica do solo com a aplicação superficial de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

Ano	Profundidade	granulometrias do calcário (mm)					média	C.V. (%)
		Controle	0,3-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01		
	cm	-----Matéria Orgânica - M.O.- (g dm ⁻³)-----						
2009	0-10	19,50 a A*	18,25 a A	17,75 a A	18,25 a A	22,75 a A	19,30 a	15,27
	10-20	14,75 a A	14,75 a A	18,00 a A	18,67 a A	19,00 a A	17,03 a	20,14
	20-40	16,75 a A	18,67 a A	13,75 a A	12,00 a A	15,50 a A	15,33 a	22,99
	média	16,69	18,30	19,97	7,67	16,95	-	-
	C.V. (%)**	14,01	16,90	18,00	18,67	14,75	-	-
2010	0-5	22,87 a A	22,70 a A	21,56 a A	22,92 a A	24,50 a A	22,91 a	7,75
	5-10	21,89 a A	23,26 a A	19,65 b A	22,48 a A	21,00 a A	21,65 a	9,79
	10-20	19,54 ab A	18,88 a A	18,67 b A	19,52 a A	18,67 a A	19,06 b	14,78
	20-40	15,47 b A	18,81 a A	16,04 c A	18,10 a A	16,40 b A	16,96 c	12,59
	média	19,94	20,91	18,98	20,75	20,14	-	-
	C.V. (%)	14,17	13,30	4,32	14,95	8,06	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

Santos et al. (1995) observaram maiores teores de M.O. na camada mais superficial em SPD e teores maiores de M.O. nas camadas mais subsuperficiais em SPC. Resultados semelhantes foi encontro por Alleoni et al. (2005), e discordam dos encontrados por Alleoni et al. (2003). O efeito da não concentração da M.O. na camada superficial do solo no primeiro ano deve-se ao revolvimento do solo pela incorporação do calcário. Neste sentido, Alleoni et al. (2005) descreveram que revolvimento do solo

aumenta a aeração e o contato entre o solo e os resíduos orgânicos da superfície, o que aumentou a mineralização da M.O. na camada de 0-5 cm.

4.3.4 Resposta da cultura do milho a aplicação de calcário em diferentes doses e granulometrias

O uso de calcário com granulometrias menores que 0,30 mm aplicado na superfície do solo influenciou os teores foliares de Mn^{2+} e na produtividade do milho. O tempo de reatividade desses calcários interferiram nos teores foliares de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} e Mn^{2+} nas plantas de milho (Tabela 4.16). O efeito do calcário nas plantas está relacionado ao tempo de reatividade do mesmo (Miranda et al., 2005).

Tabela 4.16. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os teores de macronutrientes, micronutrientes e produtividade de milho em função do tempo de reatividade, calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO.

Causas de Variação	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cu^{2+}	Fe^{3+}	Mn^{2+}	Zn^{2+}	Produtividade
Tempo de reatividade	0,559	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,988	0,012
Calcário em diferentes granulometrias	0,792	0,688	0,126	0,616	0,182	0,042	0,816	0,228
Bloco	0,168	0,116	0,077	0,215	0,401	0,000	0,370	0,342

Os teores foliares de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} no milho não mostraram diferenças significativas com o uso de calcário com granulometria menor que 0,30 mm aplicado na superfície do solo (Tabela 4.17). Neste sentido, a aplicação de calcário mais fino na superfície do solo não prejudicou a nutrição da planta de milho nos dois anos de cultivo. Caires et al. (2002) descreveram que o uso da recalagem na superfície do solo não proporcional influência significativa nos teores foliares de macro e micronutrientes na cultura do milho concordando com essa presente pesquisa.

Caires et al. (2004) relataram que a aplicação de calcário na superfície do solo aumentou os teores de Mg nas folhas da cultura do milho, discordando dessa pesquisa onde esse aumento não foi constatado. Já Pires et al. (2003) descreveram que os teores de macro e micronutrientes nas folhas de milho não foram influenciados pelos modos de aplicação do calcário, incorporado, aplicado superficialmente e no sulco de plantio e alega que isso ocorreu devido a condição adequada de umidade e o nível de fertilidade do solo, durante o ciclo da cultura, podem ser as possíveis causas da não diferenciação entre os tratamentos, impedindo que os cultivares testados exibissem distinção quanto à tolerância ao Al^{3+} .

Tabela 4.17. Médias dos teores foliares de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) no milho em dois anos (2009 e 2010) com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺					
	2009	2010	2009	2010	2009	2010				
Controle	19,90 a A*	21,08 a A	3,75 a A	3,45 a A	11,20	2,00 a A	1,30 a A	1,65	21,43	
0,30 - 0,20	20,50 a A	21,30 a A	3,75 a A	3,25 a A	3,50	2,00 a A	1,28 a A	1,64	22,22	
0,20 - 0,10	21,60 a A	21,13 a A	3,75 a A	3,55 a A	3,65	2,00 a A	1,40 a A	1,70	17,89	
0,10 - 0,05	19,25 a A	21,13 a A	4,25 a A	3,55 a A	3,90	15,12	2,25 a A	1,30 a A	1,78	31,96
0,05 - 0,01	22,10 a A	21,15 a A	3,50 a A	3,78 a A	3,64	13,95	2,00 a A	1,28 a A	1,64	22,22
média	20,67	21,16	3,80	3,52	-	2,05	1,31	-	-	
CV (%)**	17,66	0,44	14,41	12,93	-	14,41	12,93	-	-	

granulometrias (mm)	Cu ²⁺		Fe ²⁺		Mn ²⁺		Zn ²⁻									
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010								
Controle	11,00 a A*	19,75 a A	15,38	30,15	154,50 a A	88,00 a A	121,25	16,43	88,00 a A	45,75 a A	66,88	35,27	19,83 a A	18,50 a A	19,16	8,62
0,30 - 0,20	12,50 a A	20,25 a A	16,38	24,03	150,00 a A	88,00 a A	119,00	19,53	88,00 a A	50,25 a A	69,13	30,35	19,20 a A	21,00 a A	20,10	14,26
0,20 - 0,10	11,75 a A	20,00 a A	15,88	27,89	176,50 a A	84,00 a A	130,25	12,28	84,00 a A	47,00 a A	65,50	30,59	19,90 a A	19,75 a A	19,83	6,83
0,10 - 0,05	11,50 a A	20,25 a A	15,88	28,60	196,00 a A	75,00 a A	135,50	21,49	75,00 a A	41,25 a A	58,13	30,16	19,33 a A	19,75 a A	19,54	7,24
0,05 - 0,01	11,00 a A	20,00 a A	15,50	29,74	196,50 a A	74,75 a A	135,63	18,32	74,75 a A	46,25 a A	60,50	29,41	20,70 a A	20,00 a A	20,35	10,31
média	11,55	20,05	-	174,70	81,95	-	81,95	46,10	-	19,79	19,80	-	-	-	-	-
CV (%)**	10,30	8,60	-	24,20	9,17	-	9,17	17,72	-	7,33	14,35	-	-	-	-	-

* Médias seguidas de letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

**CV (%): coeficiente de variação.

Segundo Tissi et al. (2004) o uso de calagem superficial em diferentes doses de calcário com PRNT de 85% promoveu o aumento na quantidade de P, Ca, Mg e S absorvida pelas plantas de milho. Entretanto, mesmo utilizando calcário finamente moído com PRNT de 100% aplicado na superfície do solo nessa presente pesquisa não foi observado aumento de macro e micronutrientes na folha de milho em dois anos consecutivos de cultivo, no presente trabalho. Esse resultado não era esperado, pois com o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo pela calagem, aumentam-se os teores foliares desses nutrientes. Porém, o uso de calcário com granulometria menor que 0,30 mm promoveu uma frente de correção do solo e não concentrou-se na camada superficial, que permitiu um equilíbrio químico entre nutrientes no solo, e assim favorecendo a absorção adequada desses nutrientes.

A aplicação de calcário com granulometrias menor que 0,30 mm na superfície do solo não influenciaram as produções de milho nas safras 2008/2009 e 2009/2010, somente diferenciaram da testemunha. Assim, o rendimento da cultura do milho não foi prejudicado pelas modificações dos atributos químicos do solo e dos teores foliares de nutrientes ocorridos pelo uso de calcário com partículas menores que 0,30 mm (Tabela 4.18).

Tabela 4.18. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de milho com a aplicação de calcário em diferentes granulometrias em dois anos (2009 e 2010). Goiânia-GO.

granulometrias (mm)	2009	2010	média	C.V. (%)
Controle	4.164,58 b* A	5.233,46 b A	4.699,02	38,38
0,30 -0,20	8.776,13 a A	7.452,47 a A	8.114,30	18,29
0,20 - 0,10	8.488,37 a A	8.131,87 a A	8.310,12	19,53
0,10 -0,05	8.061,89 a A	7.839,21 a A	7.950,55	15,51
0,05 - 0,01	7.551,30 a A	8.027,35 a A	7.789,33	14,20
média	8.514,93	7.336,87	-	-
C.V. (%)**	15,78	14,68	-	-

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$);

**C.V. (%): coeficiente de variação.

Resultados semelhantes da produção de milho foram encontrados por Caires et al. (2004) e Pires et al. (2003). Esses trabalhos relatam que a produtividade de milho não se diferenciou pela aplicação de diferentes doses de calcário na superfície do solo. Esse tipo de aplicação de calcário no SPD atua apenas na superfície, mesmo assim, essa calagem

mantém teores suficientes de Ca e Mg e aumenta a absorção de nutrientes, mesmo não promovendo a correção do Al^{3+} em subsuperfície e o crescimento de raízes em profundidade (Caires et al., 2001).

4.4 CONCLUSÕES

- i. A calagem superficial em SPD com uso de calcário com partículas menor que 0,30 mm proporciona redução do Al trocável e aumento nos teores de Ca e Mg na camada de 0-40 cm do solo no primeiro ano.
- ii. A aplicação de calcários finamente moídos aumentam os valores de K, Ca, Mg e da CTC total do solo no segundo ano.
- iii. O calcário com granulometria menor que 0,30 mm aumenta a saturação por bases do solo acima de 50% somente na camada de 0-5 cm de profundidade do solo no SPD após dezoito meses de sua aplicação.
- iv. O uso de calcário com diferentes granulometrias menor que 0,3 mm aplicado superficialmente no solo promove aumento na produção de grãos de milho em dois anos consecutivos.

4.5 REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 923-934, nov. 2005.
- ALLEONI, L. R. F.; ZAMBROSI, F. C. S. B.; MOREIRA, S. G. E.; PROCHNOW, L. S. I. C.; PAULETTI, V. Liming and electrochemical attributes of an oxisol under no tillage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 119-123, jan. 2003.
- AMARAL, A. S. **Reaplicação do calcário em sistema plantio direto consolidado**. 1998. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.4, p. 695-702, abr. 2001.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 2, p. 359-367, mar. 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução normativa nº 35 de 4 julho de 2006, fica aprovada as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 12 de julho de 2006. Disponível em: <<http://www.faolex.fao.org/docs/texts/bra67952.doc>> Acesso em: 21 maio 2011

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97 n. 3, p. 791-798, mar. 2005.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 161-169, jan. 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, mar. 2003.

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 aplicado na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 27-34, jan. 1998.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho a calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 125-136, jan. 2004.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 317-326, mar. 2004.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamento de safras. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>> Acesso em: 15/03/2011.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. **Economia da produção**. Embrapa milho e sorgo, sistemas de produção, 2007. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_3ed/economia.htm> Acesso em: 26 abr. 2011.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. S. A. Dinâmica da calagem superficial em um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 235-247, mar. 2005.

HELYAR, K. Manejo da acidez do solo a curto e longo prazo. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 104, p. 1-12, 2003.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema de plantio direto em um argissolo sob pastagem natural **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 573-580, jul. 2005.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p.150-158, mar. 2005.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Bonn, v.61, n. 2, p.119-130, set. 2001.

MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 471-477, jul. 1993.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 563-574, maio 2003.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. Alterações nos atributos químicos de um latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.3, p. 553-561, maio 2003.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of acidity in no-tillage system soybean production. **Soil and Tillage Research**, Maryland, v. 38, n.1, p. 47-57, jan. 1996.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 5, p. 885-895, set. 2001.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; QUEIROZ, D. M.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C. Alteração de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.1, p. 121-131, jan. 2003.

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

RAIJ, B. van.; CARVALHO, M. C. S. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, Crawley, v. 192, n. 1, p. 37-48, maio 1997.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 5, p. 797-805, set. 2000.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2. ed., 2006, 306p.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 449-454, maio 1995.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**, Version 8. Cary, NC: SAS Institute, 1999.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS, M. F. S.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C.; RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 5, p. 765-769, set. 2001.

SILVA, T. R. B. D.; LEMOS, L. B. Efeito da calagem superficial em plantio direto na concentração de cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1199-1207, maio 2008.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem avaliada em plantio direto num Latossolo de Cerrado. In: Fertibio, 2002. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, SBCS, 25., 2002, Rio de Janeiro. **Resumos Expandidos...**, Rio de Janeiro: SBCS, 2002. 1 CD-ROM.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.(Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 5, p. 205-274.

TISSI, J. A.; CAIRES, E. F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n.3, p. 405-413, dez. 2004.

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

5 ATRIBUTOS RADICULARES DE MILHO COM A APLICAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS

RESUMO

O calcário aplicado e incorporado ao solo promove o desenvolvimento de raízes de milho em solos ácidos. O objetivo deste estudo foi verificar o desenvolvimento radicular, a nutrição e a produtividade da cultura do milho com a aplicação e incorporação de diferentes de calcário com granulometria acima de 0,30 mm. O experimento foi montado com delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. As granulometrias de calcário dolomítico incorporadas ao Latossolo Vermelho distroférico foram: 0 (controle), 0,20 mm a 0,30 mm; 0,30 mm a 0,56 mm; 0,56 mm a 0,82 mm e 0,82 mm a 2,00 mm, nas doses de 1,3 t ha⁻¹; 2,6 t ha⁻¹; 3,9 t ha⁻¹ e 6,5 t ha⁻¹ respectivamente. O calcário utilizado foi caracterizado como dolomítico extraídos de rochas metamórficas. Os atributos radiculares, a nutrição foliar e a produtividade do milho foram avaliados em duas safras 2008/2009 e 2009/2010. O uso de calcário em granulometria maior que 0,82 mm, e na quantidade de 6,5 t ha⁻¹ aplicado e incorporado ao solo evidenciou o alongamento e afinamento das raízes de milho na camada de 20-40 cm no solo. Nesse mesmo manejo proposto do calcário foi encontrada a maior produtividade de milho no primeiro ano. O atributo de raízes de milho avaliado correlacionou com os teores foliares de K, Ca e Cu e com a produtividade do milho.

Palavras-chave: *Zea mays*, tamanho de partícula, Latossolo Vermelho distroférico.

ABSTRACT

CORN ROOT ATTRIBUTES AS RELATED WITH THE APPLICATION AND INCORPORATION OF PARTICLE SIZES OF LIME

The lime when incorporated and applied onto soil surface promotes the development of corn roots in acid soils. This study aimed at verifying root development, nutrition and corn crop yield with the application and incorporation of different lime presenting particle sizes larger than 0.30 mm. The experiment was assembled into randomized block designs with five treatments and four repetitions. Particle sizes of domilitic lime incorporated to dystroferric Red Oxisol were the following: 0 (control), 0.20 mm to 0.30 mm; 0.30 mm to 0.56 mm; 0.56 mm to 0.82 mm and 0.82 mm to 2.00 mm, at doses of 1.3 t ha⁻¹; 2.6 t ha⁻¹; 3.9 t ha⁻¹ and 6.5 t ha⁻¹ respectively. The used lime was characterized as domilitic, being extracted from metamorphic rocks. Root attributes, leaf nutrition and corn yield were assessed at the crops of 2008/2009 and 2009/2010. The use of lime presenting particle sizes larger than 0.82 mm at the dose of 6.5 t ha⁻¹ applied and incorporated to the soil, demonstrated lengthening and thinning of corn roots at the layers of 20-40 cm within the soil. At the same proposed lime management, higher corn

productivity was found. The assessed root attribute correlated with leaf levels of K, Ca and C and with corn yield as well.

Key words: *Zea mays*, particle size, dystroferric Red Oxisol.

5.1 INTRODUÇÃO

As raízes constituem cerca de 33% da produtividade primária líquida global, sendo que a entrada de carbono e nutrientes no solo, proveniente das raízes, é igual ou maior que a proporcionada pelas folhas (Hendrick & Pregitzer, 1993). Apesar de sua importância no entendimento da ecologia terrestre, ciclagem de nutrientes e carbono, poucas informações existem sobre as suas características básicas (biomassa, comprimento, e área superficial) e como elas podem responder a futuras mudanças globais. Essa carência de estudos é função, principalmente, das dificuldades relacionadas com suas determinações.

As raízes finas (diâmetro menor que 2,0 mm) são as principais responsáveis pela captura de água e nutrientes, para as plantas, o mesmo papel apresentado pelas folhas na captura de carbono e energia. Enquanto que as raízes finas constituem menos 1% da biomassa total das florestas, a produção anual de raízes finas pode contribuir com mais de 50% na produção primária líquida total das plantas (Santos-Júnior et al., 2007).

Os estudos sistemáticos do sistema radicular começaram no Século XVIII, com a simples técnica da escavação, observando o sistema radicular de plantas cultivadas e determinando sua morfologia, peso e crescimento. Com o incremento na agricultura de fertilizantes minerais na segunda parte do Século XIX, cientistas agrônômicos interessaram no estudo de raízes, desenvolveram outras técnicas para estudar a dinâmica de raízes no solo (Böhm, 1979).

O sistema de plantio direto foi instalado de forma sistemática em todas as regiões agrícolas do país, principalmente na região dos Cerrados. Entretanto, ainda faltam investigações que elucidem o problema da ausência de resposta à fertilizantes e a calagem em áreas de SPD de longa duração que podem estar ligada a baixa eficiência da calagem superficial. Segundo Caires et al. (2003), em um experimento de calagem em SPD consolidado, a aplicação de gesso agrícola associada ou não à calagem na superfície ou com incorporação, não foi uma estratégia interessante para o estabelecimento da soja no

sistema plantio direto, por não ocasionar melhoria na produção de grãos e nem a própria correção do solo.

A ausência de resposta a calagem e a adubação foi constatada em áreas de média e alta fertilidade no SPD (Caires et al., 1999; Kluthcouski et al., 2000). Os nutrientes utilizados pela planta como P, K, Ca, Mg se concentram na camada superficial do solo devido a adubação e a calagem superficial utilizada nesse sistema. Assim, restringe a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas. Dessa forma, o aprofundamento dessa adubação e calagem gera melhor rendimento de grãos na cultura do milho (Kluthcouski et al., 2000).

A escolha das espécies ou cultura utilizadas no SPD depende da adaptação dessas das condições de clima de cada região e do interesse do produtor. O milho em sucessão a soja no SPD na região central do Brasil, contribui para permanência de sua palhada no período de inverno, devido sua baixa relação C:N, favorecendo a cobertura do solo, mineralização da matéria orgânica, e o controle de plantas daninhas (Ceretta & Fries, 1998).

Silva et al. (2000) observaram que maior parte das raízes de milho encontra-se na camada de 0-20 cm devido a disponibilidade de nutrientes em função da calagem superficial no SPD. Nesse trabalho, essa camada também apresentou maior pH, maior concentração de carbono orgânico e menor concentração de Al tóxico. Além disso, a densidade de raízes de milho (cm de raiz por cm^{-3} de solo) foi significativamente correlacionado, de forma positiva, com a concentração de nutrientes: P (0-5 cm), K (25-30 cm) e Ca (5-10 cm, 10-15 cm e 35-40 cm), pH em água (5-10 cm) e SMP (10-15 cm) e, de forma negativa, com elemento tóxico: Al trocável (5-10 cm, 10-15 cm e 20-25 cm) e propriedades físicas: densidade do solo (10-15 cm) e silte (0-5 cm e 35-40 cm).

O aumento do pH do solo até certo ponto altera a disponibilidade de nutrientes, causando aumentos na absorção dos nutrientes pelo milho. A aplicação de calcário incorporado ao solo em sistema de preparo convencional causa aumentos consideráveis na produção de milho (Caires et al., 2002). A adequação da fertilidade do solo e a correção da sua acidez favorecem o desenvolvimento radicular da planta de milho (Caires et al., 2002).

A aplicação de doses mais elevadas e com maior granulometria sugeriu efeito residual prolongado nos atributos químicos de em Latossolo distrófico (Mello et al., 2003). O tempo de reatividade do calcário no solo pode dispensar o uso da recalagem, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica pelo uso do sistema de plantio direto. Desta

forma, mantendo o poder tampão do solo, ou seja, a manutenção de um pH inalterável que favorece a equilíbrio de nutrientes disponíveis na solução do solo e o crescimento de raízes no solo.

A aplicação de calcário com granulometria maior que 0,30 mm em quantidade superior a dose recomendado e incorporada no solo na implantação do SPD favorece o tempo de correção da acidez do solo e o fornecimento de Ca e Mg. O objetivo deste trabalho foi verificar a influencia da utilização de calcário com granulometrias superior a 0,30 mm incorporado no solo nos atributos radiculares, nos teores foliares de macro e micronutrientes e na produtividade da cultura do milho.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento constituiu em avaliar os parâmetros radiculares das plantas de milho plantados nas parcelas onde os calcários com diferentes granulometrias foram incorporados ao solo conforme seção de material e métodos do Capítulo 3. A amostragem do solo juntamente com as raízes foi feita com trado “tipo caneca” adaptado com 9,8 cm de diâmetro interno e 60 cm de comprimento, dividido em uma escala de 10 cm, para ajustar a profundidade de amostra desejada, com uma haste para facilitar o movimento e a aplicação de força. Esse método de amostragem de raízes foi adaptado de Böhm (1979).

O trado possui na sua extremidade uma série de pontas afiadas, parecendo uma serra, que auxilia no corte das raízes e na penetração do equipamento ao solo. O trado utilizado foi feito de aço inox e com a haste de ferro (Figura 5.1). A cada 10 cm de profundidade temos a capacidade de amostrar 754 cm³ de solo com raízes. Essa amostragem foi feita nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade do solo em duas coletas por parcela, em dois anos, 2009 e 2010. As amostras foram coletadas sempre na época de florescimento do milho.

O procedimento para retirar a amostra do solo com raízes foi iniciado com a escolha da área de amostragem que deve ser homogênea com a lavoura do milho, excluindo-se áreas afetadas por pragas e doenças, plantas desuniformes, formigueiros, buracos, etc. O trado foi cravado no solo de tal maneira que fique próximo ao caule da planta de milho, seccionando nas profundidades diferentes desejadas (Figura 5.2). A planta de milho foi retirada com auxílio de uma faca, seccionando o seu caule junto ao solo, para facilitar a retirada da amostra de solo com raízes.



Figura 5.1. Trado tipo caneca adaptado para amostragem destrutiva de raízes junto com solo.



Figura 5.2. Amostragem de raízes com solo na cultura do milho.

As amostras destrutivas de raízes junto com solo foram armazenadas em sacos plásticos com devida identificação. Os sacos plásticos utilizados possuía grande resistência para aguentar o peso do solo. As amostras foram pesadas em balança de precisão antes da separação das raízes com o solo, dessa forma tem-se o peso do solo com raízes. Foi coletada uma pequena amostra de 100 g junto com a amostra destrutiva de raízes com solo para determinar o conteúdo de água no solo e descontá-la posteriormente. Essas amostras foram armazenadas em câmara fria por um período de um mês com temperatura abaixo de 5°C, para posterior separação de raízes e do solo. A separação de raízes do solo foi realizada no menor tempo possível a partir da extração do campo, evitando perdas de massa seca ou mesmo a desidratação das raízes.

Para a obtenção das raízes, foram necessárias duas etapas que consistem na utilização de água para a eliminação do solo e outros materiais inertes. A primeira etapa separou as raízes do solo com auxílio de água. A segunda etapa separou as raízes de materiais orgânicos e outras raízes que não são da planta de interesse. Nessa primeira etapa, foi necessário o uso de um balde para a deposição e dispersão da amostra de solo com raízes em água. Em seguida passa todo o seu conteúdo em uma peneira ABNT 35 (malha de 500 micros) mediante a aplicação de água para a remoção do solo (Figura 5.3). Para facilitar este procedimento utilizou-se uma mesa redonda de plástico com buracos confeccionados do mesmo tamanho das peneiras (Figura 5.3 e 5.4). Esse procedimento foi repetido quatro vezes para remover o máximo de solo, evitando qualquer tipo de perda de raízes.



Figura 5.3. Separação do solo e raízes de milho com uso de água.

Após a essa separação, coletou-se os resíduos (materiais orgânicos e raízes) retidos na peneira, e os mesmos foram colocados em sacos plásticos identificados para o processo procedimento (Figura 5.4). Os resíduos coletados foram conservados com refrigeração, em câmara fria, a 5 °C, até proceder a próxima lavagem. A segunda separação de raízes ocorreu no menor tempo possível para evitar a presença de fungos nas raízes em consequência à umidade.



Figura 5.4. Raízes separadas na primeira etapa com auxílio de água.

O processo da segunda lavagem da amostra serviu para retirar as impurezas que ficaram como: pedras, carvão, pequenas palhas e raízes indesejadas. Esses materiais poderiam dificultar o processo de aquisição das imagens aumentando assim a fonte de erro, principalmente no peso das raízes. O processo da segunda lavagem iniciou-se com a deposição da amostra contida no saco plástico em um recipiente com água. Após isso, separaram-se as raízes das impurezas com auxílio de uma pinça cirúrgica. A água ajuda a remover às impurezas que ficam grudadas as raízes (Figura 5.5). Foi utilizado um recipiente branco e raso para melhor visualização das impurezas. Esse procedimento foi repetido duas vezes para obter uma amostra sem impurezas, evitando perda de raízes.

A digitalização das raízes de milho separadas do solo foram realizadas com o auxílio de lâminas de vidro do tamanho de uma folha A4 (21 cm x 29,7 cm) com 2 mm de espessura, sem bordas laterais. Nessa lâmina, se colocou uma fita adesiva transparente com 2 cm de comprimento por 2 cm de largura para referenciar a escala de escaneamento das raízes. As raízes separadas foram colocadas em cima de papel toalha para retirar o excesso de água que pode afetar a digitalização das raízes. As raízes secas e separadas foram colocadas em lâminas de vidro, organizadas em sentido vertical, sem sobreposição, para posterior digitalização (Figura 5.5).



Figura 5.5. Raízes separadas na segunda etapa e preparação das raízes de milho para a sua digitalização.

O processo de aquisição da imagem das raízes foi feito através da digitalização das mesmas anteriormente preparadas com o uso de um escâner de mesa de tamanho apropriado (com capacidade de digitalizar uma folha A4 inteira). O escâner foi configurado para capturar imagens com resolução de 300 DPI, com digitalização em escala de cinza. A digitalização proporcionou imagens com contraste, as raízes pretas em um fundo branco, para isso foi colocado uma folha de papel em branco e uma transparência na parede do escâner. O escâner utilizado nessa pesquisa foi da marca gênius modelo HR8 (Figura 5.6).



Figura 5.6. Procedimento de digitalização de raízes de milho com auxílio de escâner de mesa e microcomputador.

O uso de aplicativos computacionais como PICASA3 ou CorelDraw4[®] auxiliaram nessa aquisição de imagem (Figura 5.7). As imagens de raízes de milho adquiridas foram salvas com extensão de arquivo tipo bitmap para posterior análise no programa SIARCS 3.0[®].



Figura 5.7. Tela do aplicativo computacional PICASA3, junto com a tela do aplicativo computacional Genius digitalizando as raízes de milho.

As raízes digitalizadas foram colocadas em sacos de papel identificados pesados para se obter a massa verde de raízes. Essas raízes foram colocadas em estufas de ventilação forçada por 72 horas a 60⁰C e posteriormente pesada para obter a sua massa seca. A lâmina de vidro de tamanho de 21 cm x 29,7 cm, em alguns casos, pelo volume de raízes amostradas não comporta todas as raízes. Dessa forma, foram feitas subamostras das raízes separada e não digitalizadas. As subamostras de raízes passaram pelo mesmo processo das raízes digitalizadas para se obter sua massa verde e massa seca. Assim, ao final do processo de análise de área e comprimento de raízes foram feitas correções com base na subamostra para calcular o seu volume, área e comprimento por volume e massa de solo amostrado.

As análises das imagens de raízes foram feita pelo aplicativo computacional SIARCS 3.0[®] desenvolvido pela Embrapa transferência de tecnologia (Jorge & Crestana, 1996) (Figura 5.8). O primeiro passo foi abrir o arquivo com a imagem das raízes de milho no aplicativo computacional SIARCS 3.0[®] (Figura 5.9). As imagens de raízes digitalizadas foram salvas na unidade de HD principal do computador para facilitar o processo de abrir essa imagem no SIARCS 3.0[®]. O aplicativo computacional SIARCS 3.0[®] foi largamente utilizado para análise de todas as imagens de raízes de milho digitalizadas.



Figura 5.8. Tela de abertura do aplicativo computacional SIARCS 3.0[®].

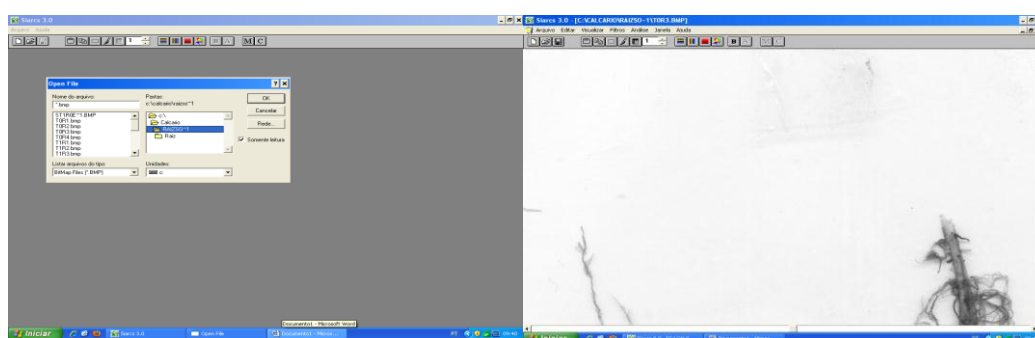


Figura 5.9. Início do processo de análise de raízes digitalizadas com a abertura da imagem no aplicativo computacional SIARCS 3.0[®].

O procedimento a seguir foi referenciar uma escala para o software SIARCS 3.0[®]. Nessa etapa, verificamos a fita adesiva transparente que colocamos na lâmina de digitalização, com medida conhecida (2 cm de comprimento), que aparece na imagem digitalizada. Para colocar a escala, primeiro clicou-se em **Análise** e depois em **Escala** (Figura 5.10), e com o botão esquerdo do mouse, coloque uma linha na base da fita adesiva, ao final clique com o botão direito do mouse e em uma caixa de texto colocou-se o tamanho da escala de referencia para o aplicativo computacional (Figura 5.10).

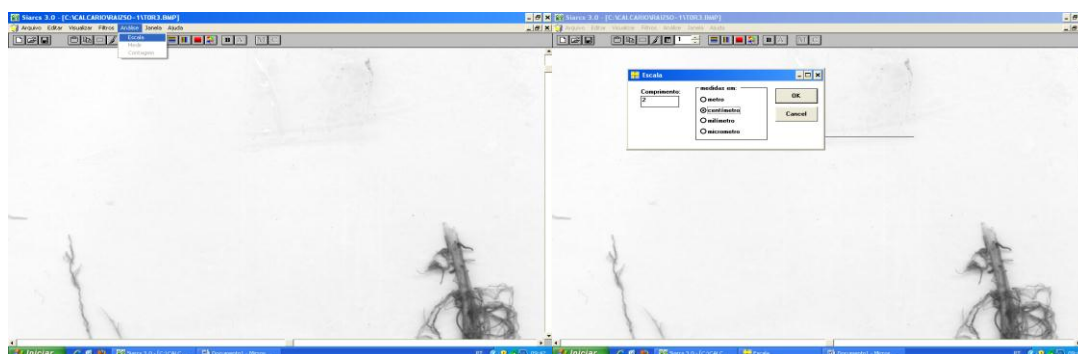


Figura 5.10. Referência de escala para a análise de raízes no aplicativo computacional SIARCS 3.0[®].

A imagem digitalizada de raízes gerou um contraste de cores, e isso que faz o reconhecimento das raízes pelo aplicativo computacional SIARCS 3.0[®]. Para que esse aplicativo computacional separe-se as raízes digitalizadas de milho do restante da imagem clicou-se em selecionar cores (botão na parte superior do aplicativo com um quadro em vermelho) e foi selecionada a escala de cores que o aplicativo precisa marcar (Figura 5.11). Feito isso, escolhemos a cor que as raízes de milho devem aparecer na imagem (Figura 5.11). Esse procedimento é necessário para verificar se todas as raízes foram selecionadas pelo software. Se isso não ocorria, reiniciava-se esse procedimento onde essa seleção deve ser ampliada para cores mais claras.

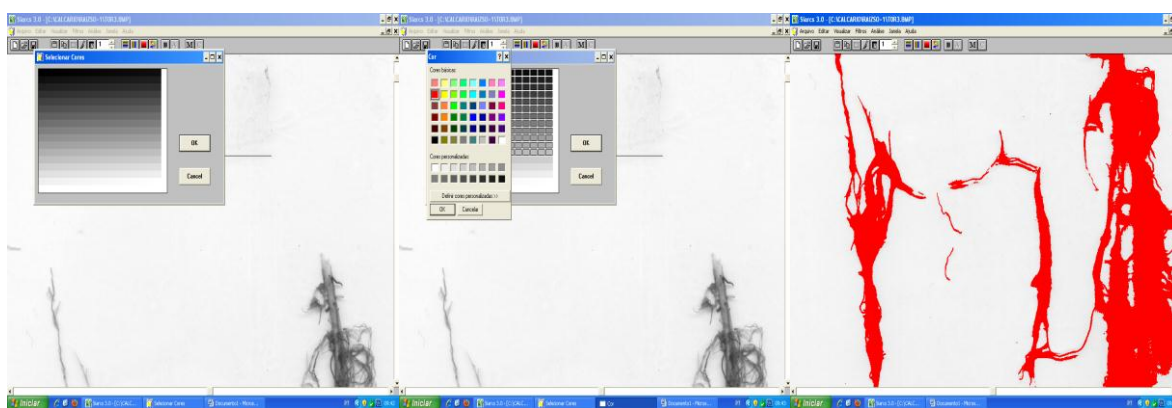


Figura 5.11. Seleção das raízes de milho a serem analisadas no aplicativo computacional SIARCS 3.0[®].

Após selecionar as raízes de milho na imagem digitalizada, o próximo procedimento foi binarizar essas raízes. Para isso, clicou-se em binarizar a imagem de raízes digitalizadas (botão na parte superior do aplicativo computacional com palavra B). Depois disso, as raízes ficaram na cor preta indicando que a binarização foi realizada (Figura 5.12).

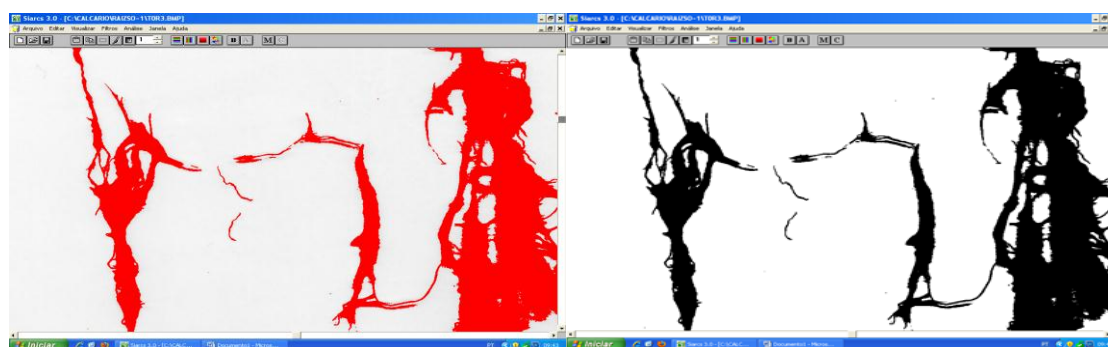


Figura 5.12. Binarização das raízes de milho pelo aplicativo computacional SIARCS 3.0[®].

O procedimento para mensurar a área que as raízes ocupam na imagem foi realizado após a binarização da imagem. Para isso, clicaram-se em **Análise, Contagem, Opções, Área e cm²**. Depois desses procedimentos obteve-se o valor da área que as raízes de milho ocuparam na imagem, o qual é mostrada na tela do aplicativo computacional SIARCS 3.0[®] (Figura 5.13).

O comprimento radicular foi feito através do afinamento das raízes selecionadas na imagem digitalizada após a binarização. Para esse procedimento, clicou-se no botão afinar (botão com a letra A na parte superior da tela). Depois disso, as raízes selecionadas na imagem ficaram em linhas, indicando o afinamento. Assim, se faz a leitura da medida de comprimento que as raízes ocupam na imagem (cm) no aplicativo computacional SIARCS 3.0[®] (Figura 5.14).

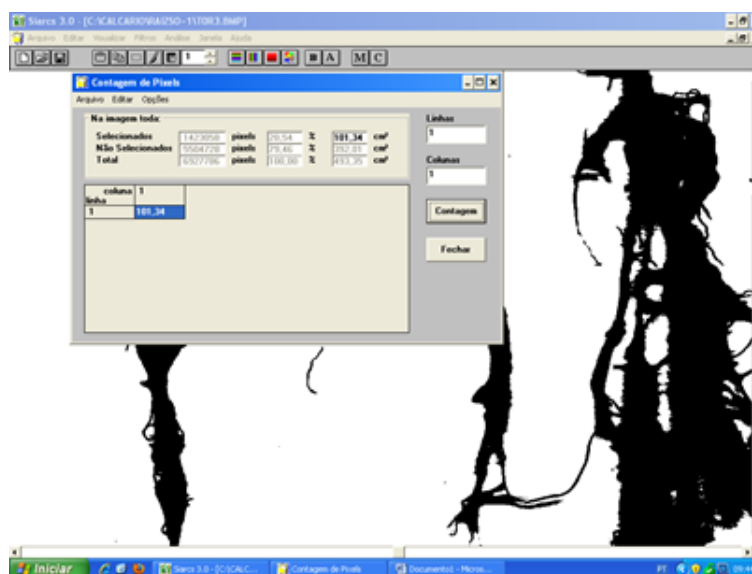


Figura 5.13. Mensuração da área de superfície ocupada pelas raízes de milho na imagem digitalizada no aplicativo computacional SIARCS 3.0[®].

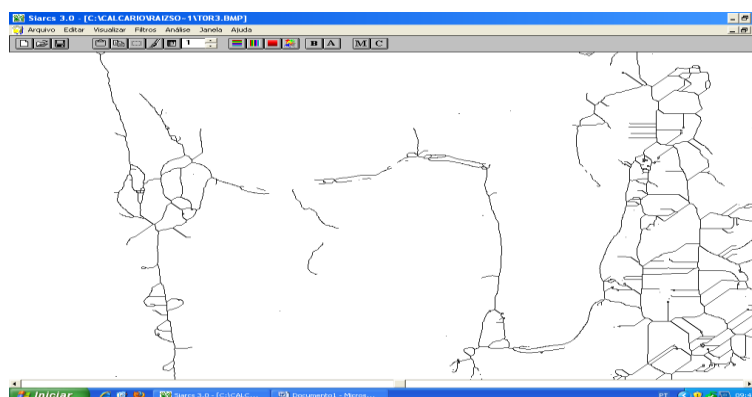


Figura 5.14. Mensuração do comprimento das raízes de milho no aplicativo computacional SIARCS 3.0[®].

Os dados de área, comprimento e massa radicular de milho foram utilizados para gerar os seguintes atributos radiculares em função do volume e da massa de solo amostrado: A área radicular em função do volume de solo amostrado (ARV); A área radicular em função da massa de solo amostrado (ARM); O comprimento radicular em função do volume de solo amostrado (CRV); O comprimento radicular em função da massa de solo amostrado (CRM); A massa de raízes em função do volume de solo amostrado (MRV); A massa de raízes em função da massa de solo amostrado (MRS); O comprimento radicular em função da massa de raízes pela massa de solo amostrado (CREM). O CREM refere-se ao diâmetro das raízes no solo, quanto maior o comprimento em relação a massa de raízes, menor é o diâmetro dessas raízes.

Os atributos químicos do solo, a nutrição das plantas e a produção de grãos de milho foram avaliados conforme descritos na seção de material e métodos do Capítulo 3 e os mesmos resultados foram utilizados. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente utilizando o software SAS (SAS Institute, 1999). Os dados foram analisados aplicando-se o teste F na análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Foi realizada a correlação dos atributos radiculares de milho com os teores foliares e a produção dessa cultura e com os atributos químicos do solo.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de calcário em diferentes granulometrias influenciou apenas o comprimento de raiz específico em função da massa de solo (CREM) no primeiro ano (Tabela 5.1). O CREM refere-se ao diâmetro das raízes no solo, quanto maior o comprimento em relação a massa de raízes, maior é presença de raízes finas no solo. As raízes finas (menor que 0,20 mm) são responsáveis pela maior absorção de água e nutrientes (Santos-Junior et al., 2007).

Tabela 5.1. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os atributos radiculares de milho em função de calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO. 2009.

Causas de Variação	ARV	ARM	CRV	CRM	MRV	MRS	CREM
Doses e granulometrias do calcário	0,577	0,379	0,686	0,201	0,452	0,401	0,012
Bloco	0,712	0,053	0,389	0,000	0,995	0,989	0,005

A área radicular por massa de solo (ARM), comprimento radicular por massa de solo (CRM), a massa seca de raiz por volume e massa de solo (MRV e MRS) e o comprimento específico de raiz por massa do solo (CREM) do milho foram influenciados pelo uso de calcário em diferentes granulometrias no segundo ano (Tabela 5.2). Isso indica que essas granulometrias possuem efeito residual no solo, pois influenciaram o desenvolvimento radicular das plantas de milho após dezoito meses de sua aplicação. O efeito residual de calcário em granulometrias maiores que 0,30 mm foi constatada também por Rosolem et al. (1995), Mello et al. (2003) e Alvarez et al. (2001). A eficiência dos materiais corretivos da acidez do solo é medida apenas pelo poder relativo de neutralização total (PRNT), segundo a legislação atual sobre calcários (Brasil, 2006).

Tabela 5.2. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os atributos radiculares de milho em função de calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO. 2010.

Causas de Variação	ARV	ARM	CRV	CRM	MRV	MRS	CREM
Doses e granulometrias do calcário	0,181	0,027	0,124	0,015	0,001	0,032	0,034
Bloco	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,172	0,000

Quaggio (2000) relata que para medir a eficiência desses corretivos deve considerar o poder residual desses calcários e no solo a resposta das culturas e não somente o PRNT. Nesse sentido, verificou-se nesse trabalho que o uso de calcário em diferentes granulometrias foi eficiente em promover o desenvolvimento radicular das plantas de milho (Tabela 5.1 e 5.2).

O uso de calcário em diferentes granulometrias não alterou a distribuição radicular da planta de milho na camada de 0-20 cm do solo no ano de 2009. Nesse ano, o milho apresentou maior CREM com o uso de calcário em granulometria de 2,00 mm a 0,82 mm (Tabela 5.3). O efeito residual de calcário em granulometrias maiores que 0,30 mm foi constatada também por Rosolem et al. (1995), Mello et al. (2003) e Alvarez et al (2001). A eficiência dos materiais corretivos da acidez do solo é medida apenas pelo poder relativo de neutralização total (PRNT) segundo a legislação atual sobre calcários (Brasil, 2006). O efeito residual do calcário e o desenvolvimento radicular das plantas promovido por ele devem ser considerados para medir sua eficiência.

Bordin et al. (2008) descreveram que a profundidade efetiva do sistema radicular de milho está entre 0,40 m a 0,46 m independente do sistema de cultivo utilizado, direto ou convencional. Dessa forma, o calcário com diferentes granulometrias

proporcionaram que raízes do milho atingissem sua profundidade efetiva no solo. Sendo que, a granulometria de 2,00 mm a 0,82 mm, promoveu maior volume de raízes finas do milho nessa camada. Assim, resultou em uma maior exploração do solo e absorção de nutrientes pela planta.

Tabela 5.3. Atributos radiculares de milho com aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO. 2009.

Granulometrias (mm)	ARV* cm ² dm ⁻³	ARM cm ² kg ⁻¹	CRV cm dm ⁻³	CRM cm kg ⁻¹	MRV g dm ⁻³	MRS g kg ⁻¹	CREM cm g ⁻¹ kg ⁻¹
----- 0-10 cm -----							
Controle	125,59 a**	92,77 a	1554,73 a	861,28 a	3,02 a	2,23 a	527,36 a
2,00 - 0,82	129,97 a	111,45 a	1701,41 a	1094,25 a	2,95 a	2,53 a	579,26 a
0,82 - 0,56	223,55 a	157,95 a	2301,11 a	1219,34 a	3,78 a	2,67 a	651,86 a
0,56 - 0,30	267,14 a	227,47 a	1922,03 a	1227,50 a	3,88 a	3,30 a	466,91 a
0,30 - 0,20	170,94 a	132,07 a	1825,56 a	1057,80 a	3,17 a	2,45 a	571,14 a
média	183,44	144,34	1860,97	1092,03	3,36	2,64	559,31
C.V. (%)***	85,87	43,96	58,39	29,55	42,63	42,16	43,40
----- 10-20 cm -----							
Controle	39,74 a	27,75 a	482,52 a	252,75 a	1,07 a	0,74 a	341,05 a
2,00 - 0,82	35,91 a	23,75 a	516,54 a	256,25 a	1,13 a	0,75 a	329,97 a
0,82 - 0,56	59,92 a	43,82 a	632,52 a	346,98 a	1,42 a	1,04 a	366,51 a
0,56 - 0,30	26,74 a	20,43 a	382,24 a	219,06 a	1,17 a	0,89 a	247,58 a
0,30 - 0,20	53,06 a	36,43 a	554,67 a	285,63 a	1,25 a	0,86 a	332,94 a
média	43,07	30,44	513,70	272,14	1,21	0,86	323,61
C.V. (%)	30,76	28,91	31,17	26,56	24,89	24,78	39,62
----- 20-40 cm -----							
Controle	10,99 a	8,14 a	175,46 a	195,89 a	0,42 a	0,31 a	668,86 b
2,00 - 0,82	12,79 a	9,10 a	208,63 a	223,91 a	0,39 a	0,28 a	809,55 a
0,82 - 0,56	20,22 a	14,69 a	277,52 a	304,05 a	0,68 a	0,49 a	630,02 c
0,56 - 0,30	9,87 a	7,90 a	177,47 a	214,24 a	0,44 a	0,35 a	668,93 bc
0,30 - 0,20	17,17 a	12,80 a	252,35 a	503,01 a	0,45 a	0,34 a	758,53 ab
média	14,21	10,53	218,29	288,22	0,48	0,35	707,18
C.V. (%)	61,08	36,77	50,52	21,76	27,46	27,11	19,58

*ARV – área de raízes com base no volume de solo amostrado; ARM - área de raízes com base na massa de solo amostrado; CRV – comprimento de raízes com base no volume de solo amostrado; CRM – comprimento de raízes com base na massa de solo amostrado; MRV – massa de raízes com base no volume de solo amostrado; MRS – massa seca de raízes com base na massa de solo amostrado; CREM – comprimento de raízes por massa de raiz com base na massa de solo amostrado; ** Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, P<0,05);***C.V.: Coeficiente de variação.

O calcário com granulometria entre 0,56 mm a 0,30 mm proporcionou maior massa de raízes de milho por volume de solo (MRV), e a granulometria 0,30 mm a 0,20

mm promoveu maior massa de raízes de milho por massa de solo (MRS) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo no ano de 2010 (Tabela 5.4). Já na camada de 10-20 cm de profundidade, o uso de calcário com granulometria entre 2,00 mm e 0,82 mm promoveu maior área (ARM) e comprimento radicular (CRM) de milho. Esse mesmo efeito foi encontrado com a granulometria de 0,30 a 0,20 mm para ARM nessa camada (Tabela 5.4).

Tabela 5.4. Atributos radiculares de milho com aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO. 2010.

Granulometrias (mm)	ARV* cm ² dm ⁻³	ARM cm ² kg ⁻¹	CRV cm dm ⁻³	CRM cm kg ⁻¹	MRV g dm ⁻³	MRS g kg ⁻¹	CREM cm g ⁻¹ kg ⁻¹
----- 0-10 cm -----							
Controle	292,17 a**	265,01 a	3186,12 a	2389,59 a	5,93 b	5,48 ab	350,17 a
2,00 - 0,82	243,27 a	181,56 a	2366,33 a	1774,75 a	6,05 ab	5,25 ab	383,80 a
0,82 - 0,56	292,80 a	233,86 a	2869,82 a	2152,36 a	6,32 ab	5,18 b	444,97 a
0,56 - 0,30	112,28 a	77,77 a	1102,83 a	827,13 a	7,29 a	4,17 b	136,35 a
0,30 - 0,20	329,80 a	228,96 a	3340,97 a	2505,73 a	7,03 ab	5,57 a	520,73 a
média	254,06	197,43	2573,21	1929,91	6,53	5,13	367,21
C.V. (%)***	66,27	58,83	63,96	56,27	9,18	18,84	58,31
----- 10-20 cm -----							
Controle	65,02 a	49,14 c	708,08 a	531,06 b	5,41 a	4,40 ab	112,63 c
2,00 - 0,82	120,83 a	95,73 b	1037,28 a	777,96 b	5,25 a	4,19 ab	194,44 ab
0,82 - 0,56	245,47 a	218,01 a	2103,57 a	1577,68 a	6,70 a	6,25 a	271,40 ab
0,56 - 0,30	114,45 a	88,85 bc	1122,77 a	842,08 b	5,37 a	2,97 b	175,00 bc
0,30 - 0,20	199,38 a	168,98 ab	1901,48 a	1426,11 ab	4,31 a	3,60 ab	290,28 a
média	149,03	124,14	1374,64	1030,98	5,41	4,28	208,75
C.V. (%)	50,16	53,37	37,67	42,79	14,24	19,68	37,61
----- 20-40 cm -----							
Controle	47,75 a	45,50 a	596,85 a	900,05 a	3,28 a	3,03 a	284,20 b
2,00 - 0,82	65,60 a	59,53 a	721,01 a	1087,29 a	2,88 a	2,85 a	426,22 ab
0,82 - 0,56	69,30 a	59,52 a	793,00 a	1195,84 a	2,79 a	2,49 a	484,14 a
0,56 - 0,30	46,99 a	40,92 a	461,80 a	696,40 a	3,18 a	2,19 a	255,50 b
0,30 - 0,20	74,65 a	65,67 a	747,36 a	1127,03 a	2,55 a	2,33 a	389,91 ab
média	60,86	54,23	664,01	1001,32	2,94	2,58	367,99
C.V. (%)	37,59	41,50	29,09	32,09	10,28	20,62	33,64

*ARV – área de raízes com base no volume de solo amostrado; ARM - área de raízes com base na massa de solo amostrado; CRV – comprimento de raízes com base no volume de solo amostrado; CRM – comprimento de raízes com base na massa de solo amostrado; MRV – massa de raízes com base no volume de solo amostrado; MRS – massa seca de raízes com base na massa de solo amostrado; CREM – comprimento de raízes por massa de raiz com base na massa de solo amostrado; ** Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, P<0,05);***C.V.: Coeficiente de variação.

Caires et al. (2004) observaram também que a incorporação de calcário e a aplicação de gesso não favoreceu o crescimento do sistema radicular do milho em SPD. Já

Comin et al. (2006) descreveram que o crescimento radicular do milho é afetado pela concentração de Al no solo. Assim, o calcário com maior granulometria incorporado ao solo promoveu a precipitação do Al na camada de 20-40 cm, e isso favoreceu o crescimento radicular das plantas de milho no primeiro e segundo ano.

O milho apresentou raízes mais finas medidas pelo valor de CREM na camada de 20-40 cm do solo com utilização de calcário de granulometria entre 2,00 mm a 0,56 mm, mostrando que esses calcários foram mais eficientes que os mais finos para promover o enraizamento das plantas. Assim, a incorporação do calcário refletiu no desenvolvimento radicular do milho nessa pesquisa. Neste mesmo sentido, Leite et al. (2006) descreveram que a incorporação de calcário na dose de 6,8 t ha⁻¹ em um Argissolo distrófico, promoveu o crescimento radicular do milho até 0,45 m de profundidade no solo, em comparação a calagem superficial.

Os valores de densidade de comprimento radicular (CRV) e (CRM) no primeiro ano foram maiores que os encontrados por Bordin et al. (2008). Esses autores relatam que as raízes de milho em dois sistemas de cultivo, direto e convencional, ficaram com densidade de comprimento radicular em torno de 1,0 cm cm⁻³ a 1,5 cm cm⁻³ enquanto com o uso de diferentes granulometrias de calcário esse valor ficou em torno de 0,02 cm cm⁻³ a 2,30 cm cm⁻³ dependendo da profundidade do solo. Nesse sentido, isso mostra que o desenvolvimento radicular do milho está relacionado ao uso de calcário e a profundidade do solo em que esse calcário corrige a acidez do solo.

Os teores de Ca e Mn nas folhas de milho mostraram correlação significativa no ano de 2009. Já os atributos ARV, ARM, CRV, CRM e CREM do milho correlacionaram significativamente com os teores foliares de Cu. Os valores de ARV correlacionaram significativamente com os ARM, CRV, CRM e CREM, e os de MRV com os de MRS (Tabela 5.5). Assim, o desenvolvimento radicular interferiu nos teores foliares de nutrientes e isso não refletiu na produtividade do milho.

A maior produção de milho foi encontrada com o uso de calcário em granulometria 2,00 mm a 0,82 mm no primeiro ano (Tabela 3.20, Capítulo 3). Nessa mesma granulometria foi encontrado o maior desenvolvimento de raízes finas (CREM) na camada de 20-40 cm de profundidade do solo (Tabela 5.3). Mesmo assim, não foi observado correlação entre essa granulometria e a produção de milho (Tabela 5.5).

O uso calcário em diferentes granulometrias não mostrou correlação significativa dos atributos químicos do solo e o desenvolvimento radicular das plantas de

milho. Discordando do trabalho de Caires et al. (2008), em que concluíram que o desenvolvimento radicular de milho correlacionou com os atributos químicos do solo com a aplicação de calcário superfície do solo em SPD consolidado.

Tabela 5.5. Correlações entre os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes, atributos radiculares e produção de grãos de milho. Goiânia-GO, 2009.

Váriaveis	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	ARV ⁽¹⁾	ARM	CRV	CRM	MRV	MRS	CREM	Produção
K	1	-0,09	0,09	0,10	0,17	-0,28	-0,21	0,00	0,04	-0,02	0,03	0,09	-0,04	0,02	-0,36
Ca	-0,09	1	0,24	0,08	-0,11	0,47**	-0,03	-0,17	-0,21	-0,18	-0,24	0,08	-0,03	-0,31	0,21
Mg	0,09	0,24	1	-0,16	0,04	0,14	0,24	0,26	0,15	0,30	0,18	-0,05	0,17	0,15	-0,05
Cu	0,10	0,08	-0,16	1	0,20	-0,01	0,14	-0,57**	-0,60**	-0,46**	-0,48**	-0,12	0,00	-0,54**	0,28
Fe	0,17	-0,11	0,04	0,20	1	-0,05	-0,23	-0,22	-0,18	-0,25	-0,21	0,16	0,04	-0,22	0,02
Mn	-0,28	0,47**	0,14	-0,01	-0,05	1	0,03	-0,20	-0,29	-0,25	-0,34	-0,12	-0,07	-0,34	0,27
Zn	-0,21	-0,03	0,24	0,14	-0,23	0,03	1	-0,05	-0,11	-0,02	-0,09	-0,01	0,21	-0,10	-0,13
ARV	0,00	-0,17	0,26	-0,57**	-0,22	-0,20	-0,05	1	0,98**	0,96**	0,93**	0,16	0,38	0,94**	-0,10
ARM	0,04	-0,21	0,15	-0,60**	-0,18	-0,29	-0,11	-0,98**	1	0,92**	0,95**	0,21	0,32	0,97**	-0,16
CRV	-0,02	-0,18	0,30	-0,46**	-0,25	-0,25	-0,02	-0,98**	0,92	1	0,97**	0,22	0,47**	0,94**	-0,15
CRM	0,03	-0,24	0,18	-0,48**	-0,21	-0,34	-0,09	-0,98**	0,95	0,97	1	0,26	0,41	0,98**	-0,22
MRV	0,09	0,08	-0,05	-0,12	0,16	-0,12	-0,01	0,16	0,21	0,22	0,26	1	0,67**	0,19	0,00
MRS	-0,04	-0,03	0,17	0,00	0,04	-0,07	0,21	0,38	0,32	-0,98**	0,41	0,98**	1	0,29	-0,06
CREM	0,02	-0,31	0,15	-0,54**	-0,22	-0,34	-0,10	0,94**	0,97**	0,94**	0,98**	0,19	0,29	1	-0,19
Produção	-0,36	0,21	-0,05	0,28	0,02	0,27	-0,13	-0,10	-0,16	-0,15	-0,22	0,00	-0,06	-0,19	1

* significativo a 1 %; ** significativo a 5%;

⁽¹⁾ARV – área de raízes com base no volume de solo amostrado; ARM – área de raízes com base na massa de solo amostrado; CRV – comprimento de raízes com base no volume de solo amostrado; CRM – comprimento de raízes com base na massa de solo amostrado; MRV – massa de raízes com base no volume de solo amostrado; MRS – massa seca de raízes com base na massa de solo amostrado; CREM – comprimento de raízes por massa de raiz com base na massa de solo amostrado.

Os teores foliares de K correlacionaram significativamente com os atributos ARV, ARM, CRM e CREM do milho no ano de 2010. Isso ocorre também para os teores de Ca e os atributos ARV, ARM, CRV, CRM, CREM nesse ano (Tabela 5.6).

Tabela 5.6. Correlações entre os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes, atributos radiculares e produção de grãos de milho. Goiânia-GO, 2010.

Váriaveis	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	ARV ⁽¹⁾	ARM	CRV	CRM	MRV	MRS	CREM	Produção
K	1	-0,26	0,22	0,04	-0,01	-0,16	0,13	0,41	0,49**	0,37	0,45**	-0,02	-0,11	0,47**	-0,10
Ca	-0,26	1	0,42	0,17	0,68**	-0,55**	0,26	-0,55**	-0,60**	-0,61**	-0,66**	-0,21	-0,20	-0,65**	0,16
Mg	0,22	0,42	1	0,79**	0,46**	0,07	0,35	-0,38	-0,40	-0,36	-0,38	-0,23	-0,24	-0,39	0,12
Cu	0,04	0,17	0,79**	1	0,29	0,42	0,42	-0,15	-0,20	-0,11	-0,16	-0,31	-0,19	-0,16	0,07
Fe	-0,01	0,68**	0,46**	0,29	1	-0,24	0,07	-0,25	-0,39	-0,24	-0,38	-0,24	0,10	-0,43	-0,05
Mn	-0,16	-0,55**	0,07	0,42	-0,24	1	-0,03	0,24	0,19	0,30	0,25	0,08	0,24	0,21	0,06
Zn	0,13	0,26	0,35	0,42	0,07	-0,03	1	-0,22	-0,17	-0,30	-0,26	-0,38	-0,29	-0,20	-0,15
ARV	0,41	-0,55**	-0,38	-0,15	-0,25	0,24	-0,22	1	0,98**	0,96**	0,93**	0,16	0,38	0,94**	-0,09
ARM	0,49**	-0,60**	-0,40	-0,20	-0,39	0,19	-0,17	0,98**	1	0,92**	0,95**	0,21	0,32	0,97**	-0,05
CRV	0,37	-0,61**	-0,36	-0,11	-0,24	0,30	-0,30	0,96**	0,92**	1	0,97**	0,22	0,47**	0,94**	-0,14
CRM	0,45**	-0,66**	-0,38	-0,16	-0,38	0,25	-0,26	0,93**	0,95**	0,47**	1	0,26	0,41	0,98**	-0,10
MRV	-0,02	-0,21	-0,23	-0,31	-0,24	0,08	-0,38	0,16	0,21	0,22	0,26	1	0,67**	0,19	0,56**
MRS	-0,11	-0,20	-0,24	-0,19	0,10	0,24	-0,29	0,38	0,32	0,47**	0,41	0,67**	1	0,29	0,16
CREM	0,47**	-0,65**	-0,39	-0,16	-0,43	0,21	-0,20	0,94**	0,97**	0,94**	0,98**	0,19	0,29	1	-0,08
Produção	-0,10	0,16	0,12	0,07	-0,05	0,06	-0,15	-0,09	-0,05	-0,14	-0,10	0,56**	0,16	-0,08	1

* significativo a 1 %; ** significativo a 5%;

⁽¹⁾ARV – área de raízes com base no volume de solo amostrado; ARM – área de raízes com base na massa de solo amostrado; CRV – comprimento de raízes com base no volume de solo amostrado; CRM – comprimento de raízes com base na massa de solo amostrado; MRV – massa de raízes com base no volume de solo amostrado; MRS – massa seca de raízes com base na massa de solo amostrado; CREM – comprimento de raízes por massa de raiz com base na massa de solo amostrado.

No segundo ano também houve correlação significativa entre MRV e a produção de grãos de milho e os valores de ARV, ARM, CRV, CRM e CREM, e os de MRV com os de MRS correlacionaram significativamente entre si (Tabela 5.6). Mesmo com essas correlações, o desenvolvimento radicular do milho proporcionada pelo uso de calcário com diferentes granulometrias não resultaram aumento nos teores de nutrientes na folha de milho (Tabela 3.19, Capítulo 3).

Os teores foliares de K correlacionaram significativamente com os atributos ARV, ARM, CRM e CREM do milho no segundo ano. Isso ocorre também para os teores de Ca e os atributos ARV, ARM, CRV, CRM, CREM nesse ano. Nesse segundo ano também houve correlação significativa entre MRV e a produção de grãos de milho e os valores de ARV, ARM, CRV, CRM e CREM, e os de MRV com os de MRS correlacionaram significativamente entre si (Tabela 5.6). Mesmo com essas correlações, o desenvolvimento radicular do milho proporcionada pelo uso de calcário com diferentes granulometrias não resultaram aumento nos teores de nutrientes na folha de milho (Tabela 3.19, Capítulo 3).

Caires et al. (2008) descreveram que a presença do alumínio no solo devido ao processo de reacidificação causado pelas chuvas em regiões tropicais (Cerrado) depois da implantação do SPD diminuiu o desenvolvimento radicular e a produção de milho. Essa reacidificação ocorreu também no presente trabalho, porém não influenciou no desenvolvimento radicular da cultura do milho no segundo ano.

Daros et al. (1999) relataram que a distribuição e a atividade das raízes determinam a quantidade de água e nutrientes absorvidos. Assim, o uso de calcário com maior granulometria (2,00 mm a 0,82 mm) melhorou a distribuição de raízes no solo e isso possibilitou a correlação entre a absorção de nutrientes como no caso K e Ca e também na produção de grão de milho no segundo ano (Tabela 5.6). Mas, essa influência do desenvolvimento radicular não refletiu diferença significativa entre o uso de calcário em diferentes granulometrias para a produção de grãos de milho no segundo ano (Tabela 3.20, capítulo 1).

Leite et al. (2006) utilizaram o método do monólito adaptado de Bohm (1979), para estudar o desenvolvimento radicular de milho com o uso de calcário incorporado e aplicado superficialmente em Argissolo distrófico. Esse método precisa da abertura de uma trincheira para observar o desenvolvimento radicular. Dessa forma, o método do trado é mais prático devido a não precisar da abertura de uma trincheira para o estudo de raízes de

milho e mostra a possibilidade de estudos de parâmetros radiculares entre área, comprimento e massa de raízes de milho que não foi descrito no trabalho de Leite et al. (2006).

Fante-Jr & Reichardt (1994) compararam os métodos do trado, do cilindro volumétrico e do processamento de imagens do método na distribuição radicular do milho no perfil do solo e verificaram que o do trado constituiu-se no mais adequado para uma avaliação simples, rápida e barata, contudo, insuficiente para uma caracterização completa do sistema radicular e o método de processamento de imagens apresentou como uma ferramenta muito poderosa para o estudo detalhado do sistema radicular podendo ser também aplicado às diversas áreas dentro da ciência agrônoma. Nesse sentido, o método do trado associado com o método do processamento de imagens no presente trabalho foi eficiente para o estudo dos parâmetros radiculares de milho no perfil de solo influenciado pelo uso de calcário com diferentes granulometria na implantação do SPD, mostrando baixo coeficiente de variação para os atributos radiculares avaliados, e sua correlação entre com os teores foliares de nutrientes e a produção de milho.

5.4 CONCLUSÕES

- i. O maior desenvolvimento de raízes finas de milho (CREM) é encontrado com o uso de calcário em granulometria de 2,00 mm a 0,82 mm no primeiro ano;
- ii. O desenvolvimento radicular da cultura de milho influencia na absorção de K e Ca e a produção de grãos de milho;
- iii. A metodologia do trado associada com o de processamento de imagens de raízes é eficiente para verificar a resposta da cultura do milho os corretivos da acidez do solo e fertilizantes.

5.5 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, E.; FERNANDEZ-MARCOS, M. L.; HERNANDEZ-NISTAL, J. Limestone Particle Size and Liming Scheduling Influence Soil Properties and Pasture Production. **Soil Science**, Philadelphia, v. 175 n.12, p. 601-613, dez. 2010.

BÖHM, W. Methods of studying root systems. In: DURHAM, W.D.B., ATHENS, F.G., WÜRZBURG, O.L.L., OAK RIDGE, J.S.O. (Ed.). **Ecological Studies: analysis and synthesis**. v. 33. Brühlsche Universitätsdruckerei. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 1979. 188 p.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. D. C.; SANTOS, J. C. F. D.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1785-1792, dez. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução normativa nº 35 de 4 julho de 2006, fica aprovada as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 12 de julho de 2006. Disponível em: <<http://www.faolex.fao.org/docs/texts/bra67952.doc>> Acesso em: 21 maio 2011

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 26 n. 6, p. 1011-1022, nov. 2002.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, mar. 2003.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações de características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, mar. 1999.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 28, n.1, p. 57-64, jan. 2008.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho a calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 125-136, jan. 2004.

CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NEUMBERG, N. J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.111-120.

COMIN, J. J.; BARLOY, J.; HALLAIRE, V.; ZANETTE, F.; MILLER, P. R. M. Effects of aluminium on the adventitious root system, aerial biomass and grain yield of maize grown in the field and in a rhizotron. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 42, n. 03, p. 351-366, mar. 2006.

DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; GRACIANO, P. A.; ZANETTE, F. Desenvolvimento e distribuição de raízes de diferentes culturas em condições de rizotron, no Paraná. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Embrapa/Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 167-177.

FANTE-JR., L.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular de milho em terra roxa estruturada latossólica: I. comparação de metodologias. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n. 3, p. 513-518, set. 1994.

HENDRICK, J. J.; PREGITZER, K. S. Patterns of fine roots mortality in two sugar maple forest. **Nature**, London, v. 361, n. 6407, p.59-61, jul. 1993.

JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia, **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 5p.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p.97-104, jan. 2000.

LEITE, G. H. M. N.; ELTZ, F. V. L. F.; AMADO, T. J. C.; COGO, N. P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30 n. 4, p. 685-693, jul. 2006.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. Alterações nos atributos químicos de um latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.3, p. 553-561, maio 2003.

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

ROSOLEM, C. A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1995, 53p.

SANTOS-JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; FERREIRA, E. A. B.; RESK, D. V. S.; LAVRES-JÚNIOR, J. **O sistema minirhizotrons no estudo da dinâmica de raízes**. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2007, 24 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**, Version 8. Cary, NC: SAS Institute, 1999.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 191-199, jan. 2000.

6 ATRIBUTOS RADICULARES DE MILHO COM A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO FINAMENTE MOÍDO NA SUPERFÍCIE DO SOLO

RESUMO

O calcário aplicado na superfície no sistema de plantio direto promove o desenvolvimento radicular no perfil do solo. O objetivo deste estudo foi verificar os atributos radiculares, a nutrição e a produtividade da cultura do milho com a aplicação superficial de calcário finamente moído. O experimento foi montado com delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes granulometrias de calcário aplicados superficialmente no solo em SPD, 0) testemunha, sem calcário; 1) 0,30 mm a 0,20 mm; 2) 0,20 mm a 0,10 mm; 3) 0,10 mm a 0,05 mm e 4) 0,05 mm a 0,01 mm. O calcário utilizado foi caracterizado como dolomítico extraídos de rochas metamórficas. Os atributos radiculares, a nutrição foliar e a produtividade do milho foram avaliados em duas safras 2008/2009 e 2009/2010. O alongamento das raízes na camada de 20-40 cm de profundidade foi maior quando se utilizou calcário com granulometrias entre 0,30 mm e 0,20 mm. O comprimento radicular das plantas de milho correlacionou com os valores de Mn nas folhas de milho. O desenvolvimento radicular promovido pela aplicação de calcário não refletiu efeito na produtividade da cultura do milho.

Palavras-chave: *Zea mays*, tamanho de partícula, plantio direto, Latossolo Vermelho distroférrico.

ABSTRACT

CORN ROOT ATTRIBUTES AND PRODUCTION IN THE APPLICATION FINELY LIME IN SURFACE OF SOIL

The lime when applied onto the surface using the no-till system promotes root development within soil profile. This study aimed at verifying root attributes, corn nutrition and yield with the superficial application of finely ground corn. The experiment was assembled into randomized block designs with five treatments and four repetitions. The treatments comprised different lime particle sizes superficially applied onto the soil using no-till system, 0) control with no lime; 1) 0.30 mm to 0.20 mm; 2) 0.20 mm to 0.10 mm; 3) 0.10 mm to 0.05 mm e 4) 0.05 mm to 0.01 mm. The used lime was characterized as domilitic being extracted from metamorphic rocks. Root attributes, leaf nutrition and corn yield were assessed at the crops of 2008/2009 and 2009/2010. Root lengthening at the layer of 20-40 cm of depth was higher when using lime particle sizes between 0.30 mm and 0.20 mm. Corn root lengthening correlated with levels of Mn within corn leaves. Root development promoted by the application of lime has not influenced corn crop yield.

Key words: *Zea mays*, particle size, root, no-till, dystroferric Red Oxisol,

6.1 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (SPD) tem ocupado extensas áreas agrícolas sob diversas condições ambientais na América Latina (Kubota et al., 2005; Caires et al., 2005). Nesse sistema a adubação e a calagem são empregadas na superfície do solo, já que uma de suas premissas é o não revolvimento do solo. Assim, os nutrientes utilizados pela planta como P, K, Ca, Mg se concentram na camada superficial do solo e restringe a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas (Alleoni et al., 2005; Caires et al., 2000). Dessa forma, devem-se utilizar estratégias para melhorar o aprofundamento de raízes nesse sistema (Kluthcouski et al., 2000).

A eficiência agronômica dos calcários é medida pelo poder relativo de neutralização total (PRNT) (Sousa et al., 2007). Entretanto, Quaggio (2000) discorda que o PRNT é o único indicativo para avaliar a eficiência dos materiais corretivos da acidez do solo como os calcários. A eficiência dos materiais calcários pode ser avaliada através da resposta da cultura a esses materiais e seu poder residual no solo (Quaggio, 2000).

A legislação atual de calcário (Brasil, 2006) determina que a reatividade dos materiais calcários esta relacionada com sua granulometrias, sendo que, as menores que 0,30 mm são mais reativas. Sousa & Lobato (2002) relataram que o uso de calcário com partículas finas ou seja “filler” com granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm em SPD aplicado na superfície possui poder residual no solo devido ao não revolvimento do solo. Dessa forma a superfície de contato entre o solo e calcário é menor e por isso ele apresenta residual no solo. Entretanto, esse efeito fica restrito a camada superficial do solo (0-10 cm), desfavorecendo o aprofundamento de raízes das plantas no solo e a absorção de água e nutrientes. Essa constatação foi verificado nos trabalhos de Alleoni et al. (2005), Kaminski et al. (2005) e Caires et al. (2000).

As raízes finas são principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes pelas plantas (Rylter, 1997). A avaliação da distribuição radicular de uma cultura é fundamental para o desenvolvimento de práticas racionais de manejo agrícola que visam a otimização da produtividade (Fante-JR & Reichardt, 1998). Apesar do seu papel fundamental no ecossistema e na produção de culturas, o desenvolvimento dessas raízes é

pouco estudado, em razão da dificuldade das técnicas empregadas em seu estudo (Jansen et al., 2002).

O estudo de raízes no solo na segunda parte do Século XIX foi promovido devido a utilização de fertilizantes e a implantação de novos manejos no cultivo de plantas (Böhm, 1979). As raízes são então indicadoras da eficiência dos usos de fertilizantes e manejos na produção e desenvolvimento das plantas. Nesse sentido Caires et al. (2002) relatam que a adequação da fertilidade do solo e a correção da sua acidez favorece o desenvolvimento radicular da planta de milho. O aumento do pH do solo altera a disponibilidade de nutrientes, causando aumentos na absorção dos nutrientes pelo milho. A aplicação de calcário incorporado ao solo em sistema de preparo convencional causa aumento consideráveis na produção de milho (Caires et al., 2002).

O milho em sucessão a soja no SPD na região central do Brasil, contribui para permanência de sua palhada no período de inverno, devido sua baixa relação C:N, favorecendo a cobertura do solo, mineralização da matéria orgânica, e o controle de plantas daninhas. Devido a essa contribuição do milho com a palhada principalmente plantado na época de safrinha, muitos produtores adotam essa cultura no SPD (Ceretta & Fries, 1998).

Os calcários com granulometrias menores que 0,30 mm possuem menor superfície específica e aplicados na superfície do solo em SPD suas partículas percolam para camadas subsuperficiais corrigindo a acidez do solo e favorecendo o aprofundamento de raízes nesse sistema. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da utilização de calcário com granulometrias menores a 0,30 mm aplicados na superfície do solo nos atributos radiculares da cultura do milho.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento constituiu em avaliar os atributos radiculares das plantas de milho cultivados nas parcelas onde os calcários com diferentes granulometrias aplicados na superfície do solo conforme a seção de material e métodos descrita no Capítulo 4.

A amostragem do solo juntamente com as raízes foi feita com a mesma metodologia descrita na seção de material e métodos no Capítulo 5. Os dados de área, comprimento e massa radicular de milho foram utilizados para gerar os seguintes atributos radiculares em função do volume e da massa de solo amostrado: A área radicular em função do volume de solo amostrado (ARV); A área radicular em função da massa de solo

amostrado (ARM); O comprimento radicular em função do volume de solo amostrado (CRV); O comprimento radicular em função da massa de solo amostrado (CRM); A massa de raízes em função do volume de solo amostrado (MRV); A massa de raízes em função da massa de solo amostrado (MRS); O comprimento radicular em função da massa de raízes pela massa de solo amostrado (CREM). O CREM refere-se ao diâmetro das raízes no solo, quanto maior o comprimento em relação a massa de raízes, maior é presença de raízes mais finas no solo.

Os atributos químicos do solo, a nutrição das plantas e a produção de grãos de milho foram avaliados conforme descritos na seção de material e métodos no Capítulo 4 e os mesmos resultados foram utilizados. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente utilizando o software estatístico SAS (SAS Institute, 1999). Os dados foram analisados aplicando-se o teste F na análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Foi realizada a correlação dos atributos radiculares de milho com os teores foliares e a produção dessa cultura e com os atributos químicos do solo.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área radicular por massa de solo (ARM) e o comprimento radicular específico por massa de solo (CREM) do milho mostraram influência do uso de calcário com granulometria menor que 0,30 mm aplicada superficialmente no solo em SPD (Tabela 6.1). A ARM do milho representa a quantidade de área ocupada por raiz no solo. A área radicular indica como as raízes de milho se desenvolveram no solo.

Tabela 6.1. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os atributos radiculares de milho em função de calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO. 2009.

Causas de Variação	ARV	ARM	CRV	CRM	MRV	MRS	CREM
Granulometrias do calcário	0,190	0,001	0,480	0,363	0,329	0,294	0,502
Bloco	0,988	0,601	0,946	0,441	0,908	0,911	0,619

A aplicação superficial de calcário com granulometria menor de 0,30 mm modificou os valores de CRV, CRM e CREM do milho (Tabela 6.2). O alongamento das raízes de milho no perfil do solo foi medido através desses atributos. Isso indica uma maior exploração de solo pelas raízes de milho.

O comprimento radicular por superfície do solo foi maior com uso de calcário com PRNT de 84% aplicado na superfície do solo na camada de 10-20 cm do solo na cultura do milho. Já o raio médio das raízes de milho não foi modificado pela calagem superficial, esses atributos radiculares estão relacionados a presença de Ca e Al no solo, o que restringiu a exploração das raízes na camada superficial do solo (Caires et al., 2002). Nesse sentido, esses resultados discordam do presente trabalho, onde com a aplicação superficial de calcário finamente moído as raízes de milho alongaram-se no perfil do solo.

Tabela 6.2. Resumo dos valores de p (probabilidade de erro tipo I) associados ao teste F na análise de variância para os atributos radiculares de milho em função de calcário em diferentes granulometrias e bloco. Goiânia-GO. 2010.

Causas de Variação	ARV	ARM	CRV	CRM	MRV	MRS	CREM
Granulometrias do calcário	0,089	0,168	0,026	0,047	0,406	0,785	0,017
Bloco	0,112	0,175	0,034	0,072	0,000	0,223	0,009

O comprimento radicular por superfície do solo foi maior com uso de calcário com PRNT de 84% aplicado na superfície do solo na camada de 10-20 cm do solo na cultura do milho. Já o raio médio das raízes de milho não foi modificado pela calagem superficial, esses atributos radiculares estão relacionados a presença de Ca e Al no solo, o que restringiu a exploração das raízes na camada superficial do solo (Caires et al., 2002). Nesse sentido, esses resultados discordam do presente trabalho, onde com a aplicação superficial de calcário finamente moído as raízes de milho alongaram-se no perfil do solo.

O maior valor de CREM do milho foi encontrado com a aplicação superficial de calcário com granulometria entre 0,30 mm e 0,20 mm na camada de 20-40 cm do solo no primeiro ano (Tabela 6.3). O uso de calcário com partículas menores que 0,20 mm aplicados na superfície do solo não foram eficientes para melhorar o desenvolvimento radicular das plantas de milho nesse primeiro ano.

Tissi et al. (2004) descreveram que o comprimento de raízes de milho por superfície de solo até a profundidade de 40 cm, tanto na linha de semeadura como nas entrelinhas, não foi alterado significativamente com a aplicação superficial de doses de calcário. Concordando com a presente pesquisa, as granulometrias de calcário aplicado na superfície do solo modificaram o perfil de enraizamento do milho no perfil do solo, melhorando o aprofundamento radicular na camada de 20-40 cm do solo.

Caires et al. (2002) observaram 40% do comprimento radicular das plantas de milho cultivado em semeadura direta concentraram na camada de solo de 0-10 cm, com

aplicação de calcário na superfície do solo. A distribuição espacial de raízes com as maiores concentrações próximas à planta e na superfície ocorre devido à morfologia do sistema radicular e às condições, geralmente, mais adequadas quanto à disponibilidade de nutrientes, aeração e atividade biológica para o desenvolvimento radicular nas camadas superficiais do solo (Barreto, 1991). Entretanto, o presente trabalho apresenta que as raízes de milho não concentraram na camada superficial do solo.

Tabela 6.3. Atributos radiculares de milho com aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia, 2009.

Granulometrias (mm)	ARV* cm ² dm ⁻³		ARM cm ² kg ⁻¹		CRV cm dm ⁻³		CRM cm kg ⁻¹		MRV g dm ⁻³		MRS g kg ⁻¹		CREM cm g ⁻¹ kg ⁻¹	
----- 0-10 cm -----														
Controle	114,25	a**	97,12	a	1367,97	a	872,13	a	3,06	a	2,60	a	453,27	a
0,30 - 0,20	125,48	a	96,33	a	1562,35	a	899,58	a	4,12	a	3,16	a	398,65	a
0,20 - 0,10	158,60	a	130,06	a	1616,93	a	994,43	a	3,87	a	3,17	a	391,13	a
0,10 - 0,05	93,46	a	73,43	a	1192,67	a	702,77	a	2,86	a	2,25	a	404,22	a
0,05 - 0,01	135,75	a	104,88	a	1555,76	a	901,46	a	3,31	a	2,56	a	206,10	a
média	125,51		100,36		1459,13		874,07		3,44		2,75		370,67	
C.V. (%)***	61,35		22,71		46,72		24,24		36,02		36,21		57,71	
----- 10-20 cm -----														
Controle	41,24	a	32,14	a	624,82	a	365,23	a	1,27	a	0,99	a	361,16	a
0,30 - 0,20	74,08	a	53,35	a	702,71	a	379,51	a	1,52	a	1,09	a	331,48	a
0,20 - 0,10	41,90	a	31,16	a	552,09	a	307,94	a	1,29	a	0,96	a	324,71	a
0,10 - 0,05	44,92	a	33,08	a	520,36	a	287,39	a	1,18	a	0,87	a	332,77	a
0,05 - 0,01	55,33	a	41,69	a	770,23	a	435,26	a	1,55	a	1,17	a	350,42	a
média	51,50		38,28		634,04		355,07		1,36		1,02		340,11	
C.V. (%)	61,68		31,58		52,31		26,13		29,36		29,47		27,75	
----- 20-40 cm -----														
Controle	7,29	a	5,19	a	139,24	a	149,66	a	0,42	a	0,30	a	496,32	b
0,30 - 0,20	36,22	a	28,28	a	432,23	a	508,82	a	0,67	a	0,53	a	858,18	a
0,20 - 0,10	7,33	a	5,57	a	123,32	a	141,43	a	0,42	a	0,32	a	435,00	b
0,10 - 0,05	9,72	a	7,58	a	170,35	a	200,21	a	0,45	a	0,35	a	581,79	b
0,05 - 0,01	15,09	a	12,25	a	225,63	a	276,23	a	0,59	a	0,48	a	514,81	b
média	15,13		11,77		218,16		255,27		0,51		0,39		577,22	
C.V. (%)	86,77		32,02		63,63		27,51		39,89		41,07		32,53	

*ARV – área de raízes com base no volume de solo amostrado; ARM - área de raízes com base na massa de solo amostrado; CRV – comprimento de raízes com base no volume de solo amostrado; CRM – comprimento de raízes com base na massa de solo amostrado; MRV – massa de raízes com base no volume de solo amostrado; MRS – massa seca de raízes com base na massa de solo amostrado; CREM – comprimento de raízes por massa de raiz com base na massa de solo amostrado; ** Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, P<0,05);***C.V.: Coeficiente de variação.

Os maiores valores de CREM do milho na camada de 10-20 cm de profundidade do solo foi encontrado com o uso de calcário com granulometria entre 0,10

mm a 0,05 mm no segundo ano. Já na camada de 20-40 cm, o calcário com granulometria entre 0,30 mm a 0,2 mm promoveu maior CRV do milho (Tabela 6.4). Dessa forma, o uso de calcário com maior granulometria melhorou o aprofundamento de raízes do milho no perfil do solo.

Tabela 6.4. Atributos radiculares de milho com aplicação de calcário em diferentes granulometrias. Goiânia-GO, 2010.

Granulometrias (mm)	ARV* cm ² dm ⁻³	ARM cm ² kg ⁻¹	CRV cm dm ⁻³	CRM cm kg ⁻¹	MRV g dm ⁻³	MRS g kg ⁻¹	CREM cm g ⁻¹ kg ⁻¹							
----- 0-10 cm -----														
Controle	97,08	a**	64,49	a	741,10	a	494,11	a	6,31	a	4,39	a	124,30	a
0,30 - 0,20	185,92	a	152,07	a	1448,52	a	1185,08	a	6,35	a	4,22	a	194,37	a
0,20 - 0,10	85,73	a	80,46	a	756,95	a	676,32	a	4,07	a	3,81	a	139,93	a
0,10 - 0,05	269,15	a	233,82	a	2726,22	a	2404,31	a	6,36	a	4,81	a	331,34	a
0,05 - 0,01	143,75	a	150,93	a	948,67	a	984,79	a	5,48	a	5,35	a	173,43	a
média	156,33		136,35		1324,29		1148,92		5,72		4,52		192,67	
C.V. (%)***	122,96		130,44		133,15		139,03		9,19		26,46		111,29	
----- 10-20 cm -----														
Controle	114,38	a	106,06	a	954,65	a	846,36	a	4,78	a	4,13	a	173,84	ab
0,30 - 0,20	137,80	a	121,65	a	1267,25	a	1130,22	a	3,74	a	3,14	a	122,93	b
0,20 - 0,10	169,37	a	144,58	a	1115,53	a	937,40	a	3,92	a	2,76	a	147,22	b
0,10 - 0,05	256,30	a	208,94	a	2487,28	a	2062,34	a	3,80	a	3,11	a	355,39	a
0,05 - 0,01	171,47	a	151,00	a	1321,87	a	1164,18	a	4,91	a	4,18	a	243,24	ab
média	169,86		146,45		1429,32		1228,10		4,23		3,47		208,52	
C.V. (%)	72,20		84,67		85,09		91,58		33,17		41,76		75,04	
----- 20-40 cm -----														
Controle	16,92	a	12,00	a	153,02	a	110,59	ab	2,02	a	1,67	a	59,06	a
0,30 - 0,20	64,11	a	115,71	a	624,26	a	1127,31	a	2,49	a	3,24	a	198,55	a
0,20 - 0,10	37,43	a	31,73	a	368,30	a	319,14	ab	2,00	a	2,03	a	102,16	a
0,10 - 0,05	57,44	a	55,46	a	509,35	a	515,91	ab	2,14	a	2,57	a	167,08	a
0,05 - 0,01	37,91	a	44,52	a	422,89	a	493,43	b	2,06	a	2,71	a	103,25	a
média	42,76		51,88		415,56		513,27		2,14		2,44		126,02	
C.V. (%)	69,21		111,68		62,78		108,74		30,15		57,61		81,47	

*ARV – área de raízes com base no volume de solo amostrado; ARM - área de raízes com base na massa de solo amostrado; CRV – comprimento de raízes com base no volume de solo amostrado; CRM – comprimento de raízes com base na massa de solo amostrado; MRV – massa de raízes com base no volume de solo amostrado; MRS – massa seca de raízes com base na massa de solo amostrado; CREM – comprimento de raízes por massa de raiz com base na massa de solo amostrado; ** Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, P<0,05);***C.V.: Coeficiente de variação.

o comprimento radicular específico por massa de raiz (CREM) representa o comprimento de raízes em relação a sua massa, quanto o valor desse parâmetro mais fina

são as raízes. Nesse sentido, o milho apresentou raízes finas na camada de 10-20 cm do solo com utilização de calcário de granulometria entre 0,10 mm a 0,05 mm. As raízes finas são responsáveis principalmente pela absorção de água e nutrientes do solo pelas plantas. Entretanto, isso refletiu na correlação entre as raízes de milho e os teores foliares de nutrientes na folha dessa planta no primeiro ano (Tabela 6.5).

Os teores de Ca foliar em milho correlacionou significativamente com os de Mg e Zn no ano de 2009. Apenas o CRM de milho correlacionou com os teores de Mn nas folhas de milho. Os atributos ARV, ARM, CRV, CRM, CRM, MRV, MRS, CREM mostraram correlação significativa entre si nesse ano. Os atributos radiculares avaliados não correlacionaram com a produção de grãos de milho no primeiro ano em função da aplicação de calcário com granulometrias menores que 0,30 mm na superfície do solo (Tabela 6.5).

O teor de Ca na folha de milho correlacionou significativamente com os de Fe e Mn no segundo ano. Nesse ano, não houve correlação entre os atributos radiculares de milho e os teores de macro e micronutrientes nas folhas de milho e a também para a produção de grãos de milho em função da aplicação de calcário finamente moído aplicado superficialmente no solo. Porém, os atributos radiculares avaliados apresentaram correlação significativa entre si (Tabela 6.6).

O raio médio de raízes de milho foi maior (raízes mais grossas) em condições de maior acidez do solo, onde o Al estava presente em maiores concentrações (Tissi et al. 2004). Nessa presente pesquisa os atributos radiculares de milho não correlacionaram com os valores de Al, K, Ca, Mg, CTC, V e M.O. (Tabelas 4.5, 4.8, 4.9, 4.10, 4.13, 4.14 e 4.15 Capítulo 4). Mesmo assim houve maior comprimento de raízes com o uso de calcário com granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm na camada de 20-40 cm do solo.

Os valores de Mn na folha de milho (Tabela 4.18 Capítulo 4) não mostraram diferença significativa para o uso de calcário com granulometria menor que 0,30 mm, mesmo tendo obtido correlação significativa entre o Mn foliar e o CRM das plantas de milho no primeiro ano. Nesse sentido, o maior comprimento de raiz de milho (CRM) foi encontrado com calcário de granulometria entre 0,30 mm a 0,20 mm na camada de 20-40 cm do solo. Mostrando que esse calcário permitiu que as raízes de milho explorassem e absorvesse mais água e nutriente do solo. Mesmo assim, isso também não refletiu nos teores foliares de macro e micronutrientes e nem na produção de grãos de milho no primeiro ano e no segundo ano (Tabela 4.17 e 4.18 Capítulo 4).

Tabela 6.5. Correlações entre os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes, atributos radiculares e produção de grãos de milho. Goiânia-GO. 2009.

Váriaveis	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	ARV ⁽¹⁾	ARM	CRV	CRM	MRV	MRS	CREM	Produção
K	1	-0,17	0,05	-0,32	0,11	0,05	-0,37	0,07	0,09	-0,06	0,08	-0,06	0,12	-0,09	-0,08
Ca	-0,17	1	0,54**	-0,07	0,11	-0,07	-0,69**	-0,03	-0,02	0,01	-0,06	0,03	-0,05	0,01	-0,20
Mg	0,05	0,54**	1	0,09	0,46**	-0,30	-0,33	0,11	0,09	0,14	-0,01	0,13	-0,03	0,09	-0,16
Cu	-0,32	-0,07	0,09	1	0,03	0,42	0,10	0,11	0,13	0,15	-0,11	0,17	-0,02	0,21	-0,16
Fe	0,11	0,11	0,46**	0,03	1	-0,35	0,03	-0,01	-0,13	0,01	0,11	-0,08	-0,06	-0,16	-0,32
Mn	0,05	-0,07	-0,30	0,42	-0,35	1	-0,10	-0,35	-0,28	-0,35	0,46**	-0,30	-0,33	-0,22	0,18
Zn	-0,37	-0,69**	-0,33	0,10	0,03	-0,10	1	0,07	0,03	0,09	0,05	0,05	0,08	0,08	-0,02
ARV	0,07	-0,03	0,11	0,11	-0,01	-0,35	0,07	1	0,98**	0,97**	0,62**	0,96**	0,72**	0,89**	-0,41
ARM	0,09	-0,02	0,09	0,13	-0,13	-0,28	0,03	0,98**	1	0,94**	0,56**	0,96**	0,72**	0,92**	-0,41
CRV	-0,06	0,01	0,14	0,15	0,01	-0,35	0,09	0,97**	0,94**	1	0,66**	0,98**	0,70**	0,89**	-0,37
CRM	0,08	-0,06	-0,01	-0,11	0,11	0,46**	0,05	0,62**	0,56**	0,66**	1	0,61**	0,87**	0,59**	-0,12
MRV	-0,06	0,03	0,13	0,17	-0,08	-0,30	0,05	0,96**	0,96**	0,98**	0,61**	1	0,71**	0,94**	-0,37
MRS	0,12	-0,05	-0,03	-0,02	-0,06	-0,33	0,08	0,72**	0,72**	0,70**	0,87**	0,71**	1	0,74	-0,34
CREM	-0,09	0,01	0,09	0,21	-0,16	-0,22	0,08	0,89**	0,92**	0,89**	0,59**	0,94**	0,74**	1	-0,36
Produção	-0,08	-0,20	-0,16	-0,16	-0,32	0,18	-0,02	-0,41	-0,41	-0,37	-0,12	-0,37	-0,34	-0,36	1

* significativo a 1 %; ** significativo a 5%;

⁽¹⁾ARV – área de raízes com base no volume de solo amostrado; ARM – área de raízes com base na massa de solo amostrado; CRV – comprimento de raízes com base no volume de solo amostrado; CRM – comprimento de raízes com base na massa de solo amostrado; MRV – massa de raízes com base no volume de solo amostrado; MRS – massa seca de raízes com base na massa de solo amostrado; CREM – comprimento de raízes por massa de raiz com base na massa de solo amostrado.

Tabela 6.6. Correlações entre os teores foliares de macronutrientes, micronutrientes, atributos radiculares e produção de grãos de milho. Goiânia-GO, 2010.

Váriaveis	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	ARV ⁽¹⁾	ARM	CRV	CRM	MRV	MRS	CREM	Produção
K	1	0,05	-0,19	-0,05	0,05	-0,10	0,36	0,13	0,17	0,08	0,18	0,11	0,20	0,19	-0,04
Ca	0,05	1	0,34	0,20	0,67**	-0,55**	0,31	0,01	-0,04	-0,02	0,07	-0,06	0,04	-0,06	-0,44
Mg	-0,19	0,34	1	-0,26	0,05	-0,24	0,04	0,17	0,10	0,23	0,24	0,17	0,01	0,06	-0,57
Cu	-0,05	0,20	-0,26	1	0,35	0,23	0,21	0,02	0,03	-0,14	-0,40	-0,12	-0,30	-0,12	0,10
Fe	0,05	0,67**	0,05	0,35	1	-0,21	0,18	0,16	0,17	0,08	0,12	0,08	0,24	0,10	0,14
Mn	-0,10	-0,55**	-0,24	0,23	-0,21	1	-0,10	0,00	0,01	-0,04	-0,08	-0,03	-0,13	-0,15	0,56
Zn	0,36	0,31	0,04	0,21	0,18	-0,10	1	-0,10	-0,13	-0,16	-0,02	-0,18	-0,11	-0,20	-0,01
ARV	0,13	0,01	0,17	0,02	0,16	0,00	-0,10	1	0,98**	0,97**	0,62**	0,96**	0,72**	0,89**	-0,08
ARM	0,17	-0,04	0,10	0,03	0,17	0,01	-0,13	0,98**	1	0,94**	0,56**	0,96**	0,72**	0,92**	0,00
CRV	0,08	-0,02	0,23	-0,14	0,08	-0,04	-0,16	0,97**	0,94**	1	0,66**	0,98**	0,70**	0,89**	-0,13
CRM	0,18	0,07	0,24	-0,40	0,12	-0,08	-0,02	0,62**	0,56**	0,66**	1	0,61**	0,87**	0,59**	-0,22
MRV	0,11	-0,06	0,17	-0,12	0,08	-0,03	-0,18	0,96**	0,96**	0,98**	0,61**	1	0,71**	0,94**	-0,07
MRS	0,20	0,04	0,01	-0,30	0,24	-0,13	-0,11	0,72**	0,72**	0,70**	0,87**	0,71**	1	0,74	0,03
CREM	0,19	-0,06	0,06	-0,12	0,10	-0,15	-0,20	0,89**	0,92**	0,89**	0,59**	0,94**	0,74**	1	-0,09
Produção	-0,04	-0,44	-0,57	0,10	0,14	0,56	-0,01	-0,08	0,00	-0,13	-0,22	-0,07	0,03	-0,09	1

* significativo a 1 %; ** significativo a 5%;

⁽¹⁾ARV – área de raízes com base no volume de solo amostrado; ARM – área de raízes com base na massa de solo amostrado; CRV – comprimento de raízes com base no volume de solo amostrado; CRM – comprimento de raízes com base na massa de solo amostrado; MRV – massa de raízes com base no volume de solo amostrado; MRS – massa seca de raízes com base na massa de solo amostrado; CREM – comprimento de raízes por massa de raiz com base na massa de solo amostrado.

O sistema plantio direto permite que as raízes aprofundem no solo por meio de uma rede de poros contínuos formada por raízes senescentes e pela micro e macrofauna (Eltz et al., 1989). Entretanto, no SPD consolidado a movimentação de maquinário aumentando a resistência a penetração do solo (Rosolem et al., 1994), e a aplicação de fertilizantes e corretivos na superfície do solo não permite o aprofundamento de raízes de milho para camadas mais subsuperficiais (Klusthouski et al., 2000). O SPD ainda não consolidado juntamente com o uso de calcário de granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm aplicado na superfície do solo promoveu o alongamento de raízes em camadas mais profundas do solo.

Rosolem et al. (1994) verificaram que a calagem teve efeito positivo no crescimento radicular do milho, mas o raio médio das raízes não foi alterado. Sob o mesmo ponto de vista, o raio médio de raízes foi menor com aplicação superficial de calcário de granulometria entre 0,10 mm a 0,05 mm na camada de 10-20 cm do solo.

As diferentes granulometrias de calcário alteraram a distribuição radicular da planta de milho na camada de 0-20 cm do solo nos dois anos estudado. Neste sentido, Caires et al. (2004), observaram também que a incorporação de calcário não favoreceu o crescimento do sistema radicular do milho comparado a aplicação superficial utilizando calcários com 100% de PRNT. Já Leite et al. (2006) descreveram que a incorporação do calcário na dose de 6,8 t ha⁻¹ em um Argissolo distrófico, promoveu o crescimento radicular do milho até 0,45 m de profundidade no solo, em comparação a calagem superficial. Mesmo não incorporando o calcário com granulometria entre 0,30 mm e 0,20 mm promoveu maior desenvolvimento radicular na camada de 20-40 cm do solo no segundo ano.

O método do trado associado com o método de processamento de raízes foi eficiente na descrição dos parâmetros de enraizamento das plantas de milho com o uso de calcário em diferentes granulometrias. Fante-Jr & Reichardt (1998) compararam os métodos do trado, do cilindro volumétrico e do processamento de imagens do método na distribuição radicular do milho no perfil do solo e verificaram que o do trado constituiu-se no mais adequado para uma avaliação simples, rápida e barata, contudo, insuficiente para uma caracterização completa do sistema radicular e o método de processamento de imagens apresentou como uma ferramenta muito poderosa para o estudo detalhado do sistema radicular podendo ser também aplicado às diversas áreas dentro da ciência agrônômica.

6.4 CONCLUSÕES

- i. O calcário com granulometria entre 0,10 mm e 0,05 mm aplicado superficial no solo em SPD promove o desenvolvimento de raízes finas na camada de 10-20 cm de profundidade;
- ii. O alongamento de raízes de milho na camada de 20-40 cm de profundidade é promovido pelo uso calcário com granulometria entre 0,30 mm e 0,20 mm aplicados na superfície do solo em SPD;
- iii. O comprimento radicular das plantas de milho correlaciona com os valores de Mn nas folhas de milho;
- iv. O desenvolvimento radicular promovido pela aplicação superficial de calcário finamente moído não reflete efeito na produtividade da cultura do milho.

6.5 REFERÊNCIAS

ALLEONI, L. R. F; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 923-934, nov. 2005.

BARRETO, A. C. **Efeito de sistemas de rotação, sucessão e níveis de calagem, sobre características físicas e químicas do solo e no desenvolvimento do sistema radicular e produção de grãos de milho (Zea mays L.)**. 1991. 154 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

BÖHM, W. Methods of studing root systems. In: DURHAM, W. D. B., ATHENS, F. G., WÜRZBURG, O. L. L., OAK RIDGE, J. S. O. (Ed.). **Ecological Studies: analysis and syntesis**. v. 33. Brühlsche Universitätsdruckerei. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 1979. 188 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução normativa nº 35 de 4 julho de 2006, fica aprovada as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 12 de julho de 2006. Disponível em: <<http://www.faolex.fao.org/docs/texts/bra67952.doc>> Acesso em: 21 maio 2011

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97 n. 3, p. 791-798, mar. 2005.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 161-169, jan. 2000.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 26 n. 6, p. 1011-1022, nov. 2002.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho a calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 125-136, jan. 2004.

CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NEUMBERG, N. J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.111-120.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 259-267, mar. 1989.

FANTE-JR., L.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular de milho em terra roxa estruturada latossólica: I. comparação de metodologias. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n. 3, p. 513-518, set. 1994.

JANSEN, S., BROADLEY, M. R., ROBBRECHT, E.; SMETS, E. Aluminum hyperaccumulation in Angiosperms: A review of its phylogenetic significance. **The Botanical Review**, New York, v. 68, n. 2, p. 235-269, apr. 2002.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema de plantio direto em um argissolo sob pastagem natural **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 573-580, jul. 2005.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, jan. 2000.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p.150-158, mar. 2005.

LEITE, G. H. M. N.; ELTZ, F. V. L. F.; AMADO, T. J. C.; COGO, N. P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30 n. 4, p. 685-693, jul. 2006.

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

ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 491-497, maio 1994.

RYLTER, R. M. **Fine root production and carbono and nitrogen allocation in basket willows**. 1997. 253 f. Thesis (Doctoral in Agronomy: soils) – Swedish University of Agricultural Sciensis, Uppsala, 1997.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**, Version 8. Cary, NC: SAS Institute, 1999.

SOUZA, D. M. G; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.(Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 5, p. 205-274.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

TISSI, J. A.; CAIRES, E. F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n.3, p. 405-413, dez. 2004.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de calcário com granulometria maior que 0,30 mm em dose proporcional à sua reatividade incorporado ao solo promove a correção da acidez do solo na implantação do SPD. Além disso, aumenta os teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e a CTC do solo em dois anos consecutivos. O tempo de reatividade do calcário no solo não favorece o acúmulo de matéria orgânica (M.O) pelo uso do sistema de plantio direto em dois anos, precisaria um tempo maior de estudo para verificar esse efeito. A reacidificação do solo no segundo ano proporciona a elevação dos valores de H^+ e Al^{3+} e diminui os valores de pH. Isso mostra que o tamponamento do solo não é alcançado com uso de calcário com granulometria maior que 0,30 mm.

A eficiência dos materiais calcários não deve ser definida apenas pelo valor do PRNT desses materiais. Pois, os calcários com granulometria maior que 0,30 mm é eficientes em corrigir a acidez do solo, elevar a saturação por bases do solo e melhorar a produtividade do milho mesmo com PRNT abaixo de 45% em comparação a calcário com PRNT de 100%. Ainda mais, o tempo de reatividade do calcário não é considerado no cálculo do PRNT. Quando maior o tempo de reatividade do calcário maior são os retornos econômicos de sua aplicação, pois seus efeitos na correção da acidez do solo e fornecimento de cálcio e magnésio no solo permanecem por sucessivos cultivos.

O uso de calcário com granulometria menor que 0,30 mm aplicado na superfície corrige a acidez no perfil de 0-40 cm no primeiro ano. A acidez do solo é maior no segundo ano devido a reacidificação pelo processo de cultivo e intemperismo ácido, e os calcários com granulometrias menores que 0,10 mm são lixiviados no solo. Porém, nesse ano esses calcários proporcionam aumentos significativos dos valores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e da CTC no perfil de 0-40 cm do solo. Isso refletiu nos teores de nutrientes avaliados nas folhas de milho e a produção de milho com o uso desses calcários foram maiores em relação às áreas sem a aplicação de calcário.

O método do trado associado com o de processamento de imagens empregado na presente pesquisa é eficiente em descrever os atributos radiculares de milho em função da aplicação de calcário em diferentes granulometrias (maior e menor

que 0,30 mm) e do modo de aplicação (incorporado e superficial). Sob este ponto de vista, a incorporação de calcário com 2,00 mm a 0,82 mm proporciona o desenvolvimento de raízes finas de milho na camada de 20-40 cm de profundidade do solo e maior produtividade de milho no primeiro ano.

A aplicação superficial de calcário com granulometria menor que 0,30 mm melhora o desenvolvimento radicular de milho na camada de 0-40 cm de profundidade do solo. Assim, a granulometria de 0,10 mm a 0,05 mm proporciona maior desenvolvimento de raízes finas na camada de 10-20 cm do solo e a granulometria de 0,30 mm a 0,20 mm promoveu o alongamento de raízes na camada de 20-40 cm do solo.

O desenvolvimento radicular no solo reflete o seu ambiente. Com isso, os atributos químicos, físicos e biológicos do solo interferem no seu desenvolvimento. Assim, os atributos radiculares de milho infere o ambiente modificado pelo uso da calagem, mostrando as raízes também é um parâmetro para avaliar a eficiência dos corretivos da acidez e dos materiais calcários.

APÊNDICE

APÊNDICE A. Descrição geral, morfológica e analítica da Amostra Extra 1.	138
--	-----

Apêndice A. Descrição geral, morfológica e analítica da Amostra Extra 1.

DESCRIÇÃO GERAL:

AMOSTRA EXTRA Nº: 1.

DATA - 25/08/2008.

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO VERMELHO distroférico, textura argiloarenosa, fase floresta tropical subcaducifolia, relevo suave ondulado a plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVd

LOCALIZAÇÃO - Área experimental da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. Latitude: 16° 36'6,91" S; Longitude: 49° 16'57,22" WO.

SITUAÇÃO E DECLIVE - Terço/médio inferior de encosta, em local com 5-8% de declividade.

ALTITUDE: 716 m

LITOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Rochas Granulíticas meta e paraderivadas. Complexo Granulítico Anápolis-Itaúçu.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de alteração de rochas locais.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - Plano.

DRENAGEM - Bem drenado.

EROSÃO - Não aparente

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta Tropical Subcaducifólia

USO ATUAL - Agricultura.

DESCRITO E COLETADO POR - Rafael Felipe Ratke, Pérola Morais Calil e Cristiane Rodrigues

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

BA - 0-13cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3 úmido); argiloarenosa; moderada e pequena granular; solta, friável; plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual.

Bw1 - 13-50 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); argiloarenosa; fraca pequena granular; solta, friável; plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual.

Bw2 - 50+ cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); argiloarenosa; fraca muito pequena granular; solta, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

RAÍZES - Finas e poucas no BA.

OBSERVAÇÕES - Área antropizada, revolvida sem a presença do horizonte A.

DESCRIBÇÃO ANALÍTICA

Resultados analíticos: Amostra Extra 1- LVd								
Granulometria da Terra Fina (g kg^{-1})								
Horizontes (Símbolo)	Profund. (cm)	Areia		Silte (mm)	Argila T2 (mm)	Argila Natural (g kg^{-1})	Grau de Floculação ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Silte Argila
		Grossa 2 – 0,2 (mm)	Areia Fina 0,2 – 0,05 (mm)					
BA	0-13	290,00	210,00	90,00	50,00	410,00	88,00	0,22
Bw1	13-50	280,00	190,00	100,00	0,00	430,00	100,00	0,23
Bw2	50+	250,00	200,00	110,00	0,00	440,00	100,00	0,25

Horizontes (Símbolo)	Bases trocáveis				Soma de Bases (S)	CTC Total (T)	Saturação por bases (V)	Saturação por Alumínio (m)	Saturação por sódio
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}					
	-----($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)-----				-----(%)------				
BA	0,63	0,38	0,15	0,00	1,16	5,82	19,93	31,76	0,00
Bw1	0,42	0,22	0,11	0,00	0,75	5,72	13,11	41,41	0,00
Bw2	0,40	0,20	0,08	0,00	0,68	5,04	13,49	42,86	0,00

Horizontes (Símbolo)	pH (1:2,5)		Acidez Extraível		C	N	M.O.	Relação C/N	P
	H_2O	KCl	H^{+}	Al^{3+}					
	-		--($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)--		-----(g kg^{-1})-----				
BA	4,95	4,50	4,12	0,54	10,04	0,00	18,00	0,00	7,00
Bw1	4,95	4,50	4,44	0,53	34,08	0,00	60,00	0,00	1,00
Bw2	5,05	5,40	3,85	0,51	11,06	0,00	20,00	0,00	0,30

Horizontes (Símbolo)	Ataque por H_2SO_4 (g kg^{-1})				Relações Moleculares		
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	Ki = $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	Kr = $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
BA	-	-	-	-	-	-	-
Bw1	90,00	143,00	165,00	11,00	1,07	0,62	1,36
Bw2	-	-	-	-	-	-	-