

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO MAIS ATIVADOR
ENZIMÁTICO E CALAGEM NA DISPONIBILIDADE E
MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS NO SOLO**

CAROLINA TIRLONI

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL
2006**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO MAIS ATIVADOR
ENZIMÁTICO E CALAGEM NA DISPONIBILIDADE E
MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS NO SOLO**

CAROLINA TIRLONI

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

Dissertação apresentada à
Universidade Federal da Grande
Dourados, como requisito à obtenção
do título de Mestre em Agronomia,
área de concentração: Produção
Vegetal

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL- BRASIL
2006**

**ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO MAIS ATIVADOR ENZIMÁTICO E
CALAGEM NA DISPONIBILIDADE E MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS
NO SOLO**

CAROLINA TIRLONI

**Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA**

Aprovada em: 27 de março de 2006

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
UFGD
(Orientador)

Prof. Dr.^a Marlene Estevão Marchetti
UFGD
(Co-orientadora)

Prof. Dr. Luiz Carlos F. de Souza
(Co-orientador)

Dr. Francisco Dias Nogueira
Ex Prof. UFLA, Pesquisador
Aposentado pela EMBRAPA
Bolsista do CBP & D – Café

Aos meus pais,
Olair e Marisa,
aos meus irmãos,
Priscila e Diogo

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por possibilitar os instrumentos da sabedoria, da persistência e da tranquilidade para que eu conseguisse realizar esta dissertação.

À minha família, que prontamente se uniu em meu auxílio, à minha mãe Marisa que com sua dedicação e atenção me deu forças para continuar, ao meu pai Olair que me deu apoio e entendeu minha ausência no trabalho, necessária para a conclusão deste trabalho, à minha irmã, Priscila pelo carinho e união. Um agradecimento especial ao meu irmão Diogo que me ajudou em todas as fases de execução dos experimentos desenvolvidos para realização dessa dissertação.

Ao meu orientador Dr. Antônio Carlos Tadeu Vitorino pela amizade, paciência, apoio e sugestões feitas durante a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. José Oscar Novelino, Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza, Dra. Marlene Estevão Marchetti e Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, pela amizade e auxílio na conclusão deste trabalho.

Ao Dr. Francisco Dias Nogueira pelo apoio em diversas fases da realização desse trabalho.

Aos amigos Eulene, Lúcia, Daiana, Rosimeire, Mílson, Kellen, que não mediram esforços para me ajudar em dificuldades encontradas no Mestrado.

Aos funcionários da UFGD, em especial, Nilda, Tia Eva, Jesus, Deoselino, Vanderlei, Adriana e Cida, pelo apoio, amizade e prazer do convívio.

Ao meu namorado Paulo, que tem sido um presente de Deus todos os dias na minha vida, e à sua família que me acolheu como filha em sua casa.

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

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS – CAPÍTULO I.....	VII
LISTA DE FIGURAS – CAPÍTULO I.....	VIII
LISTA DE QUADROS – CAPÍTULO II.....	IX
LISTA DE FIGURAS – CAPÍTULO II.....	X
LISTA DE APÊNDICES.....	XII
CAPÍTULO I	1
RESUMO.....	2
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4. CONCLUSÕES.....	24
5. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	25
CAPÍTULO II	28
RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	31
1. INTRODUÇÃO.....	33
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4. CONCLUSÕES.....	56
5. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	57
APÊNDICES.....	59

LISTA DE QUADROS – CAPÍTULO I

QUADRO	Página
Quadro 1. Atributos químicos e físicos de amostras dos dois solos coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, antes da aplicação dos tratamentos.....	10
Quadro 2. Quantidades das fontes de nutrientes utilizados para adubação básica dos solos no experimento em casa-de-vegetação.....	11

LISTA DE FIGURAS – CAPÍTULO I

FIGURA		Página
Figura 1.	Valores médios de fósforo inorgânico (Pi) de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido à calagem superficial e incorporada na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	14
Figura 2.	Valores médios de fósforo total (Pt) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido à calagem superficial e incorporada na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	14
Figura 3.	Valores médios de P (Melich 1) num Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso em diferentes profundidades.....	16
Figura 4.	Valores médios de P inorgânico (Pi) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso em diferentes profundidades.....	17
Figura 5.	Valores médios de fósforo total (Pt) em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso em diferentes profundidades.....	17
Figura 6.	Valores médios de P (Melich 1) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	19

Figura 7.	Valores médios de fósforo inorgânico (Pi) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido à dois tipos de calagem na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	20
Figura 8.	Valores médios de fósforo total (Pt) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido à dois tipos de calagem na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	20
Figura 9.	Valores médios de fósforo remanescente (Prem) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido à dois tipos de calagem na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	22
Figura 10.	Valores médios de fósforo remanescente (Prem) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média em diferentes profundidades.....	23

LISTA DE QUADROS – CAPÍTULO II

QUADRO	Página	
Quadro 1.	Atributos químicos e físicos de amostras dos 2 solos coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, antes da aplicação dos tratamentos.....	36
Quadro 2.	Quantidades das fontes de nutrientes utilizados para adubação básica dos solos do experimento em casa-de-vegetação.....	37

LISTA DE FIGURAS – CAPÍTULO II

FIGURA		Página
Figura 1.	Valores médios de K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem e diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	39
Figura 2.	Valores médios de Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem e diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	41
Figura 3.	Valores médios de H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem e diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	41
Figura 4.	Valores médios de K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso.....	42
Figura 5.	Valores médios de Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.....	43
Figura 6.	Valores médios de Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.....	44
Figura 7.	Valores médios de H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito	

	argiloso submetido a dois tipos de calagem.....	45
Figura 8.	Valores médios de Soma de Bases (SB) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.....	45
Figura 9.	Valores médios de CTC ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.....	46
Figura 10.	Valores médios de V(%) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.....	47
Figura 11.	Valores médios de H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	48
Figura 12.	Valores médios de K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.....	49
Figura 13.	Valores médios de K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média.....	49
Figura 14.	Valores médios de Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.....	50
Figura 15.	Valores médios de Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.....	51
Figura 16.	Valores médios de Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.....	52
Figura 17.	Valores médios de H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.....	53
Figura 18.	Valores médios de SB ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.....	53
Figura 19.	Valores médios de CTC ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.....	54
Figura 20.	Valores médios de V (%) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.....	55

LISTA DE APÊNDICES

		Página
Apêndice 1.	Resumo da análise de variância para Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso.....	60
Apêndice 2.	Resumo da análise de variância para Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso.....	60
Apêndice 3.	Resumo da análise de variância para Latossolo Vermelho distrófico - textura média.....	61
Apêndice 4.	Resumo da análise de variância para Latossolo Vermelho distrófico - textura média.....	61

CAPÍTULO I

ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO MAIS ATIVADOR ENZIMÁTICO E CALAGEM NA DISPONIBILIDADE DE FORMAS DE FÓSFORO NO SOLO

ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO MAIS ATIVADOR ENZIMÁTICO E CALAGEM NA DISPONIBILIDADE DE FORMAS DE FÓSFORO NO SOLO

Autor: Carolina Tirloni

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

RESUMO

O aumento do intemperismo provoca mudanças em algumas propriedades do solo, tornando-o mais eletropositivo em com maior capacidade de adsorver ânions como fosfato. Os diferentes sistemas de manejo a que o solo é submetido podem aumentar ou reduzir a fixação de P, dependendo do grau de transformação e interação entre os componentes adicionados pelo manejo e pela matriz do solo propriamente dita. A adoção de sistemas de manejo que propiciem um incremento no teor de matéria orgânica, ou de uma fração desta (ácidos orgânicos, por exemplo), podem contribuir para a redução da adsorção de P, através da formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção de P na superfície dos óxidos de ferro e de alumínio. Várias propriedades do solo afetam essas relações, sendo as mais importantes: a mineralogia, a textura, o pH, o ponto de carga zero, a matéria orgânica, os tipos de ácidos orgânicos e a atividade microbiana. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos interativos entre doses de ácido cítrico mais ativador enzimático e a disponibilidade de algumas formas de fósforo em um solo de textura muito argilosa e em um solo de textura média submetidos a aplicação de calagem superficial e incorporada. O trabalho foi realizado em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Foram utilizados dois solos: Latossolo Vermelho distroférico, textura muito argilosa e Latossolo Vermelho distrófico, textura média. Sendo que os fatores estudados em cada solo foram: dois tipos de calagem (calagem superficial e calagem incorporada); seis doses de ácido cítrico mais ativador enzimático (0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg ha⁻¹); quatro profundidades (0-50, 50-100, 100-150, 150-200mm). Os solos foram submetidos à análise de Pi, Po, Pt e Prem e na análise de rotina foi determinado P (Melich 1). Nas condições em que o presente trabalho foi desenvolvido pode-se concluir que: A aplicação de doses de ácido cítrico + ativador enzimático induz reações no solo e os teores de Pi e Pt dependem da textura do solo e da forma de calagem; no solo de textura muito argilosa, os teores mais elevados de Pi e Pt são, geralmente, encontrados quando a calagem é incorporada, enquanto para o solo de

textura média isso ocorre para a calagem superficial; no solo de textura média os teores de Prem variam com a forma de calagem e as doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

Palavras-chave: ácidos orgânicos, adsorção, fósforo.

CITRIC ACID PLUS ENZYMATIC ACTIVATOR ADDITION AND LIMING IN THE FORMS OF PHOSPHORUS SOIL AVAILABILITY

Author: Carolina Tirloni

Adviser: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

ABSTRACT

The increase of the weathering cause changes in some soil properties, turning it more electropositive and with greater capacity of adsorbing ions such as phosphate. The different management systems to which the soil is submitted can increase or diminish the P fixation, depending on the transformation degree and interaction among the components added by the management and by the soil matrix by itself. The adoption of management systems that may offer an increase in the organic matter level, or of a fraction of it (organic acids, for instance), can contribute to the reduction of the P adsorption in the surface of the iron and aluminum oxides. Several soil properties affect these relationships, being the most important: the mineralogy, the texture, the pH, the zero charge point, the organic matter, the kind of organic acids, and the microbial activity. The present work aimed to evaluate the interactive effects between acid citric doses plus enzymatic activator and the availability of some phosphorus forms in a soil of strong clay texture and in a medium texture soil, submitted to the application of superficial and incorporated liming. The work was conducted in green house in the Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), of the Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Two types of soil were utilized: Distroferric red Latossol, with strong clay texture, and Distrofic Red Latossol, medium texture. The factors studied in each kind of soil were: two types of liming (surface liming and incorporated liming); six doses of citric acid plus enzymatic activator (0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg ha⁻¹); four depths (0-50, 50-100, 100-150, 150-200mm). The soils were submitted to the Pi, Po, Pt and Prem analyses, and in the routine analysis P (Melich 1) was determined. In the conditions in which this work was conducted it is possible to be concluded that: the application of citric acid plus enzymatic activator doses induces to reactions in the soil, and the Pi and Pt levels depend on the soil texture and liming form; in the soil with heavy clay texture, the more elevated levels of Pi and Pt are, in general, found when the liming is incorporated, while for the medium texture soil this occurs to the superficial liming; in the

medium texture soil the Prem levels vary according to the liming form and the citric acid plus enzymatic activator doses.

Key-words: organic acids, adsorption, phosphate.

1 Introdução

Os solos sob cerrado ocupam atualmente posição de destaque no cenário agrícola nacional, pois apesar de serem, em geral, ácidos e de baixa fertilidade, apresentam condições físicas favoráveis ao desenvolvimento das culturas e relevo plano de fácil mecanização (Piaia, 2000).

No entanto muitos desses solos, particularmente aqueles mais intemperizados, apresentam baixos teores de P disponíveis para as plantas e exigem adequada correção da deficiência desse nutriente para entrarem no processo de produção agrícola (Lins et al., 1989; Novelino, 1999).

O aumento do intemperismo provoca mudanças em algumas propriedades do solo, tornando-o mais eletropositivo e com maior capacidade de adsorver ânions como fosfato (Novais e Smyth, 1999). No caso específico dos fosfatos, a fixação ou retenção do fosfato, tanto pela superfície de minerais como pela sua precipitação na forma de compostos de baixa solubilidade com outros elementos da solução do solo, levam à necessidade de adubações com elevadas doses do nutriente. Para que a planta tenha P disponível são necessárias grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, pois alguns desses solos podem adsorver mais de 2 mg dm^{-3} de P (Férnandez, 1995), valor equivalente a 9200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , considerando a camada superficial de 20 cm.

Os diferentes sistemas de manejo a que o solo é submetido podem aumentar ou reduzir a fixação de P, dependendo do grau de transformação e interação entre os componentes adicionados pelo manejo com a matriz do solo propriamente dita. A adoção de sistemas de manejo que propiciem um incremento no teor de matéria orgânica, por exemplo, podem contribuir para a redução da adsorção de P, por meio da formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção de P na superfície dos óxidos de ferro e de alumínio. Porém, não se tem muito conhecimento de resultados experimentais de campo abordando esses aspectos para a região dos cerrados (Goedert et al., 1987).

Várias propriedades do solo afetam essas relações, sendo as mais importantes: a mineralogia, a textura, o pH, o ponto de carga zero, a matéria orgânica, os tipos de ácidos

orgânicos e a atividade microbiana. Segundo Lopes e Cox (1979), o processo de adsorção de P pelos óxidos (termo inclusivo para óxidos, hidróxidos e oxidróxidos) de ferro e de alumínio é um dos principais fatores envolvidos na fixação de P em solos tropicais.

Cerca de 80% dos fertilizantes fosfatados adicionados aos solos são consumidos pela fixação de P em constituintes mineralógicos, sobretudo óxidos de ferro e de alumínio dos solos ácidos intemperizados das regiões tropicais (Hedley et al., 1990).

Fontes et al. (1992), trabalhando com Oxisolos do Brasil, constataram a formação de complexos (ácidos húmicos e goethita). Segundo esses autores, grupos funcionais (COOH) bloqueiam a superfície da goethita, reduzindo drasticamente a adsorção de P.

As ligações se dão entre os grupos funcionais COOH e as hidroxilas da superfície dos óxidos de ferro ou de alumínio. Gerke e Hermann (1992) estudaram um modelo experimental de adsorção de ortofosfato em superfícies de complexos ácidos húmicos-ferro amorfo sintético, e constataram que o aumento do pH de 5,2 para 6,2 propiciou um aumento na adsorção de P da ordem de 30%.

Uma série de trabalhos dá suporte a esta idéia de bloqueio dos sítios de adsorção de íons por compostos orgânicos. Sibanda e Young (1986) estudaram a adsorção competitiva entre os ácidos húmicos ou fúlvicos e fosfato em dois solos tropicais. Houve uma redução significativa na adsorção de P quando o conteúdo de ácido húmico foi elevado de 0,7 a 3,0%; estes níveis equivalem a um aumento de 1,72 a 5,2% de matéria orgânica. Segundo os mesmos autores, houve uma redução de 68 e 48% na adsorção de P para o nível mais alto de ácido húmico (3%), respectivamente, para os solos com pH 4,6 e 5,1, o que mostra que o efeito é mais pronunciado em solos mais ácidos. López-Hernández et al. (1986) demonstraram a adsorção competitiva do fosfato com malato e oxalato em solos tropicais. Hue (1991) também evidencia o mesmo tipo de relação com ácido málico, acético e protocatecólico.

Mesquita Filho e Torrent (1993) encontraram correlações negativas entre adsorção máxima de P e teores de matéria orgânica em solos sob cerrado. A adsorção de P aumentou significativamente quando o solo foi tratado com H_2O_2 . Segundo os mesmos autores, a rápida oxidação da matéria orgânica no horizonte A, ou exposição das camadas subsuperficiais (pobres em matéria orgânica), pode resultar em sérios problemas para a agricultura na região dos cerrados.

Recentemente, as plantas de cobertura têm recebido atenção adicional no sistema plantio direto, contribuindo para reduzir os efeitos negativos da acidez na subsuperfície do

solo. Durante a decomposição dos resíduos vegetais, ocorre liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis que, em última análise, são ácidos orgânicos de baixo peso molecular (Franchini et al., 2001). Esses compostos possuem radicais funcionais que os tornam capazes de formar complexos orgânicos com alumínio, cálcio e magnésio (Pearson, 1966). Dessa forma, além de neutralizarem o alumínio tóxico, esses compostos podem aumentar a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado na superfície.

Conforme Haynes (1984), o solo pode adsorver ácidos orgânicos com grande energia, ocupando os sítios de adsorção de fosfato, aumentando a disponibilidade deste elemento para as plantas. Esses ácidos podem também formar complexos organometálicos estáveis com Fe e Al, em várias faixas de pH (Sposito, 1989). A eficiência desses ácidos em melhorar a disponibilidade de P para as plantas depende do valor de pH do solo, do tipo de ânion orgânico e da persistência destes ânions no solo (Stevenson, 1986; Kirk, 1999).

Considerando esses aspectos o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de doses de ácido cítrico mais ativador enzimático na disponibilidade de algumas formas de P em dois Latossolos, um solo de textura muito argilosa e um outro de textura média submetidos a aplicação de calagem superficial e incorporada.

2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizado na latitude de 22°11'55'' S, longitude de 54°56'7''W e 452 m de altitude, em Dourados-MS. O clima regional, conforme Mato Grosso do Sul (1990) é classificado pelo sistema internacional de Köppen como CWa.

Para montagem do experimento foram utilizados dois solos, sendo:

Solo 1: Latossolo Vermelho distrófico, textura média, coletado no município de Ponta Porã-MS, em área pertencente a Fazenda Capão Verde.

Solo 2: Latossolo Vermelho distroférico, textura muito argilosa, coletado na área do Aeroporto Municipal de Dourados, no município de Dourados-MS.

As amostras foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade, secas à sombra, destorroadas, passadas em peneira de 4 mm e enviadas ao laboratório para a caracterização química e física. Os atributos químicos e físicos dos dois solos antes da aplicação dos tratamentos são apresentados no quadro 1.

O trabalho foi desenvolvido em vasos, sendo cada vaso montado por meio da união de quatro anéis de PVC com 100 mm de diâmetro, sendo três anéis inferiores medindo 5 cm de altura e o anel superior com 7 cm de altura, de forma que sobrasse espaço para adição de água ao vaso. Os anéis de PVC foram unidos por fita adesiva e na parte inferior dos vasos foi colocado uma placa de isopor. No interior do vaso foi colocado um saco plástico para evitar perdas de solo pelo fundo do vaso.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial 2 x 6 x 4, com três repetições para cada tipo de solo, totalizando 36 vasos para cada solo, sendo que os fatores estudados em cada solo foram: dois tipos de calagem (calagem superficial e calagem incorporada); seis doses de ácido cítrico mais ativador enzimático (equivalente a 0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg ha⁻¹ do produto comercial Biotech na formulação sólida); quatro profundidades (0-50, 50-100, 100-150, 150-200mm).

Quadro 1. Atributos químicos e físicos de amostras dos dois solos coletadas na profundidade de 0 a 200 mm, antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos do solo	Extrator- determinação	Solos	
		Latossolo Vermelho distrófico	Latossolo Vermelho distroférico
pH (H ₂ O)	Água	5,1	5,0
pH (CaCl ₂)	CaCl ₂ .H ₂ O	4,0	3,9
MO (g kg ⁻¹)	Walkley-Black	18,1	29,6
P Melich 1 (mg dm ⁻³)	Melich 1	1,0	1,0
P remanescente (mg L ⁻¹)		21,2	9,2
K (mmol _c dm ⁻³)	Melich 1	1,9	0,6
Ca (mmol _c dm ⁻³)	KCl 1 mol L ⁻¹	6,6	14,6
Mg (mmol _c dm ⁻³)	KCl 1 mol L ⁻¹	1,7	7,0
Al (mmol _c dm ⁻³)	KCl 1 mol L ⁻¹	11,2	17,5
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	Acetato de cálcio	62,0	111,0
SB (mmol _c dm ⁻³)		10,2	22,2
T (mmol _c dm ⁻³)		72,2	133,2
V (%)		14	16
Argila (g kg ⁻¹)	Pipeta	210	760
Areia (g kg ⁻¹)	Pipeta	660	91
Silte (g kg ⁻¹)	Pipeta	130	149

Optou-se por determinar a necessidade de calagem (NC) pelo método da saturação por bases (Raij, 1991), tendo por objetivo atingir um valor de saturação por bases de 60% (V = 60%).

Considerando que a calagem superficial é usada na região em áreas de plantio direto onde o solo já foi corrigido no passado, estimou-se que um valor mínimo de V = 45% deveria ser atingido e, nesse solo com V = 45% seria aplicada a calagem superficial. Para tanto, foi feita a homogeneização do solo em cada vaso com calcário dolomítico (PRNT = 100%), com doses de calcário suficientes para elevar a saturação por bases a 60% e 45%, calagem incorporada e calagem superficial, respectivamente. Os vasos foram incubados por 28 dias, com umidade mantida a 80% da capacidade de campo por pesagem. Posteriormente, os solos foram retirados dos vasos, secos ao ar e adubados com solução nutritiva seguindo recomendação de Novais et al. (1991) para vasos em ambiente controlado, adicionando-se 100 mL em cada vaso de uma solução contendo, para cada litro de solução, as seguintes doses (Quadro 2):

Quadro 2. Quantidades das fontes de nutrientes utilizados na adubação básica dos solos usados no experimento em casa-de-vegetação.

Fonte	Latossolo Vermelho	Latossolo Vermelho
	distrófico	distroférico
	Quantidade da fonte em 1 L de solução nutritiva	
NH ₄ H ₂ PO ₄	14,79g	14,79g
NaH ₂ PO ₄	4,79g	12,48g
KCl	2,27g	2,27g
K ₂ SO ₄	3,55g	3,55g
H ₃ B0 ₃	83,4g	83,4mg
CuSO ₄ .5H ₂ O	94mg	94mg
FeSO ₄ .7H ₂ O	138,9mg	138,9mg
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	6,18mg	6,18mg
MnCl ₂ .4H ₂ O	64,38mg	64,38mg
ZnSO ₄ .7H ₂ O	316,7mg	316,7mg

Após a adubação o solo foi novamente homogeneizado e recolocado nos vasos, então procedeu-se a aplicação do calcário em superfície para os vasos destinados a receber esse tratamento (para atingir V = 60%). Logo em seguida foram aplicadas as diferentes doses de ácido cítrico mais ativador enzimático na superfície do solo, seguida de uma nova incubação de seis dias.

Após esse período, procedeu-se a semeadura do sorgo, cultivar BRS 800, em 22 de junho de 2004, utilizando cinco sementes por vaso de modo a garantir a população desejada de plantas em cada vaso. Aos 14 dias após o plantio com completa emergência das plântulas de sorgo foi feito o desbaste mantendo-se apenas duas plantas por vaso.

A umidade dos vasos foi mantida por meio de pesagem dos mesmos, sendo as regas feitas de modo que o solo permanecesse em 80% da sua capacidade de campo.

Aos 49 dias após o plantio (DAP), no início da floração, a parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo, pesada, lavada em água corrente, depois lavada em água deionizada, deixada sobre papel absorvente para prévia secagem, acondicionada em sacos de papel perfurados e levada a estufa com circulação de ar forçada a 65^oC até peso constante.

Os anéis de cada vaso foram separados com o auxílio de uma faca e o solo contido em cada anel foi retirado e, após secos ao ar, levados ao laboratório onde foram submetidos à determinação de P Melich 1, P inorgânico (Pi), P orgânico (Po), P total (Pt) e P remanescente (Prem).

O P_i , P_o e P_t foram determinados pelo método proposto por Saunders e Williams (1955). O P_{rem} foi determinado pelo método proposto por Alvarez et al., 2000.

Através de análise de solo de rotina foi determinado P (Melich 1) (Embrapa, 1997).

Foram realizadas análise de variância isoladamente para cada tipo de solo. Optou-se por avaliar apenas interações duplas entre os tratamentos, e quando houve interação optou-se por explicá-lo de forma conjunta e não isoladamente. Os valores do teste de significância (t) que foram significativos na análise de variância foram corrigidos e então foram ajustadas equações de regressão utilizando-se o aplicativo computacional SAEG. Algumas variáveis analisadas no experimento foram significativas na análise de variância, mas não apresentaram coeficientes significativos nos ajustes de regressão, portanto não serão apresentadas e discutidas.

3 Resultados e Discussão

Como o trabalho foi desenvolvido em dois solos com características físicas diferentes, optou-se por discutir separadamente, os resultados de cada solo.

Quando se usou o calcário em superfície no Latossolo Vermelho distroférico houve uma diminuição do Pi e Pt (Figuras 1 e 2) com o aumento das doses de ácidos cítrico + ativador enzimático aplicadas. Esse fato pode estar relacionado com a grande adsorção entre o fosfato adicionado ao solo e a superfície adsorvente das argilas oxídicas presentes nesse solo. O calcário aplicado em superfície não teve movimentação em profundidade suficiente para promover a elevação do pH na coluna de solo, assim sendo, o pH em que esse solo se encontrava quando o fosfato foi adicionado, ainda era suficientemente baixo para permanecer com a carga superficial das partículas do solo positivas. Dessa forma, o fosfato adicionado ao solo foi adsorvido pelos óxidos de Fe e Al que permaneciam com carga positiva nas suas superfícies.

Outro aspecto importante a ser discutido com relação à diminuição dos teores de Pi e Pt (Figuras 1 e 2) pode estar relacionado com o aumento das concentrações de Fe e de Al, em resposta às doses de ácido cítrico + ativador enzimático. Segundo Sposito (1989) os grupos carboxílicos desses ácidos podem dissociar-se liberando seus prótons e ânions facilmente em ampla faixa de pH do solo, atacando os minerais do solo, promovendo sua dissolução; podendo os ânions orgânicos formar complexos solúveis com cátions metálicos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Andrade et al. (2003) que sugerem que a dissolução de óxidos de ferro e de alumínio pode favorecer a adsorção competitiva entre P e ácidos orgânicos, reduzindo a superfície de adsorção do solo para o fosfato. Entretanto, a presença de ferro e alumínio em grandes concentrações na solução pode levar à formação de compostos insolúveis com fosfato, diminuindo a concentração de fosfato em solução, como observado por Traina et al. (1986).

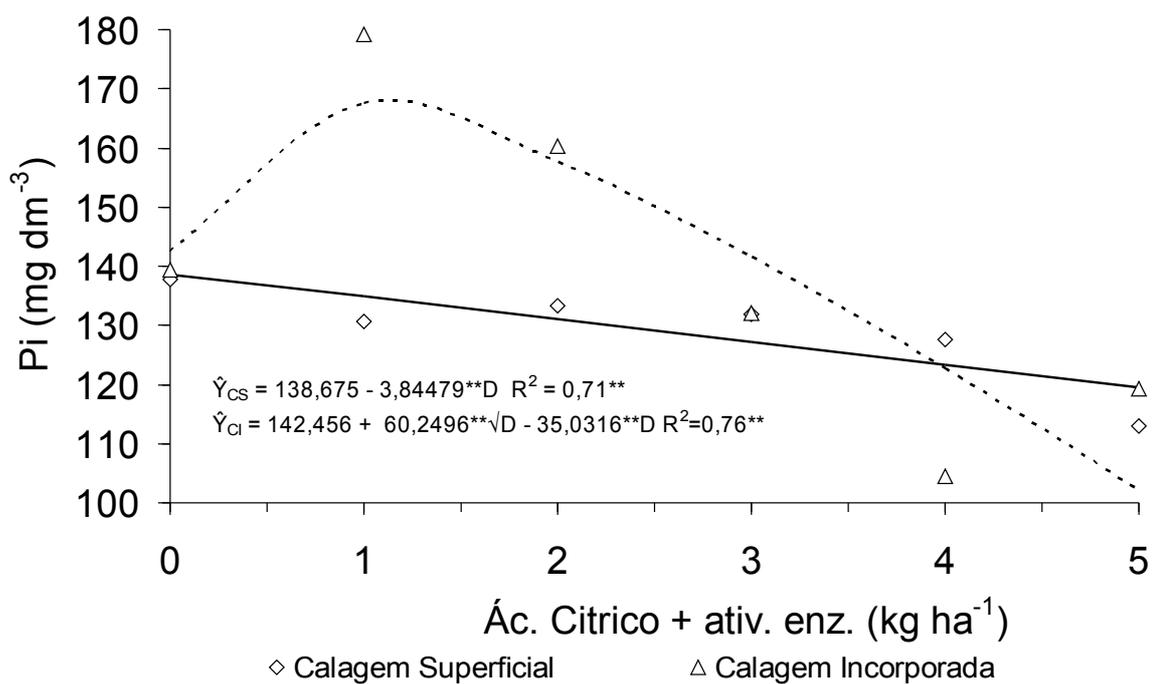


Figura 1. Valores médios de fósforo inorgânico (Pi) de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido à calagem superficial e incorporada na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

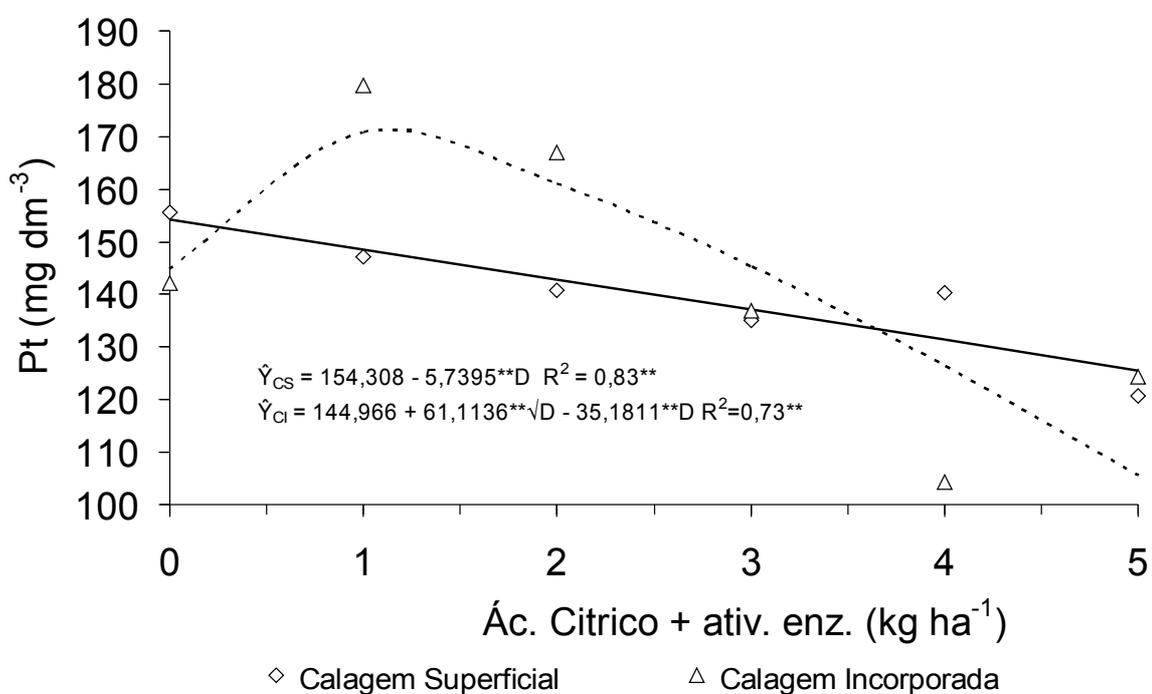


Figura 2. Valores médios de fósforo total (Pt) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso, submetido à calagem superficial e incorporada na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

A presença de ácidos orgânicos como o ácido cítrico na solução, podendo formar de cinco a seis ligações com o Al (Hue et al., 1986), aumenta a formação do complexo Al-citrato. Quanto maior a afinidade do ácido orgânico por Al, mais eficiente a ocupação dos sítios de ligação e, conseqüentemente, mais eficiente deverá ser a inibição à formação de polímeros de hidróxi-alumínio (Huang e Violante, 1986 citados por Andrade et al., 2003), que proporcionam maior adsorção de P.

No caso da calagem incorporada no solo com elevado teor de argila oxídica, a aplicação de doses crescentes de ácido cítrico + ativador enzimático gerou uma resposta não linear para os teores de Pi e Pt, sendo que os valores de Pi e Pt foram mais elevados quando a dose de ácido foi próxima a 1 kg ha⁻¹.

Como o ácido cítrico + ativador enzimático foi adicionado imediatamente após a aplicação do fosfato, até a dose de 1 kg ha⁻¹ esses ácidos promoveram aumento na disponibilidade de P. A partir dessa dose, o efeito de acidificação provocado pelo ácido foi sendo cada vez mais negativo, diminuindo assim os teores de Pi e Pt (Figuras 1 e 2). Esse fato se deve, provavelmente, a uma maior diminuição do pH, tornando a carga superficial das partículas do solo cada vez mais positivas, aumentando a adsorção entre o fosfato e a superfície adsorvente. Esse processo de adsorção está de acordo com o exposto por Barrow (1985) citado por Novais e Smith (1999). Além disso, o mecanismo de liberação de Fe e de Al por dissolução de minerais do solo como relatado por Sposito (1989) e a adsorção do P por esses cátions em solução (Traina et al., 1986), ajudam a explicar esses resultados.

O Pt apresentou o mesmo comportamento do Pi nas duas formas de calagem, isso deve-se a pequena quantidade de Po encontrada nas amostras desse solo.

O teor de P no Latossolo Vermelho distroférico aumentou gradativamente com a profundidade do solo, independente do tipo de calagem e das doses de ácido cítrico + ativador enzimático (Figura 3). Isso pode ter ocorrido pelo fato do ácido ter sido adicionado à superfície do vaso e, considerando as doses mais elevadas, a acidificação do solo gerando cargas positivas nas argilas e, a dissolução de minerais do solo pela ação ácida, terem aumentado a adsorção de P nas camadas mais superficiais do vaso.

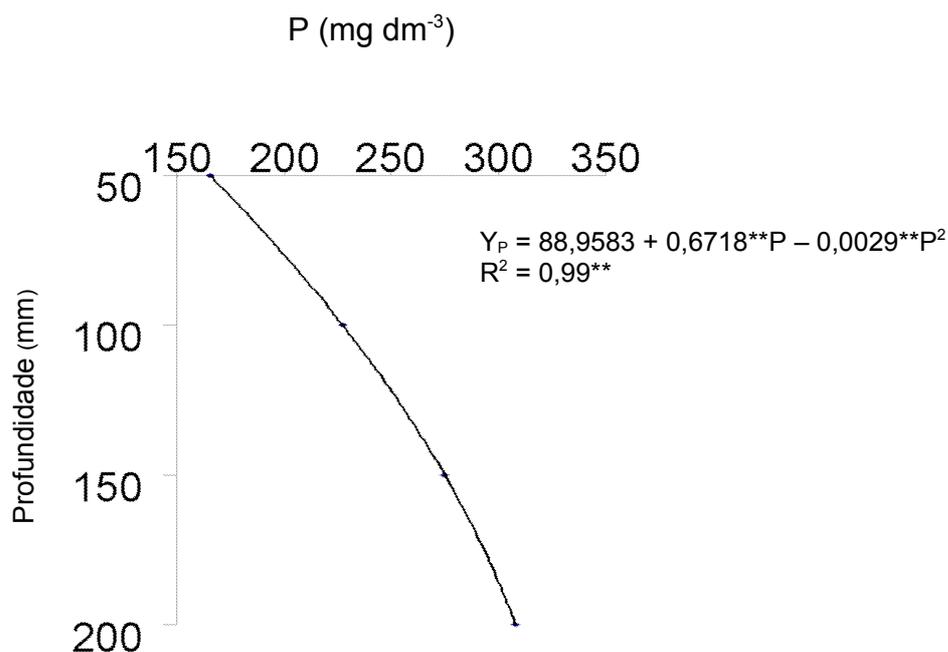


Figura 3. Valores médios de P (Melich 1) num Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso em diferentes profundidades.

O P inorgânico (Pi) e P total (Pt) independente do tipo de calagem e doses de ácido apresentaram comportamento quadrático para as diferentes profundidades analisadas, aumentando de 0-100 mm, atingindo ponto de máxima muito próximo em profundidade, e decrescendo a partir daí (Figuras 4 e 5).

A aplicação do ácido cítrico + ativador enzimático na superfície dos vasos pode ter provocado uma acidificação do meio, tornando a superfície das argilas oxídicas com carga positiva e aumentando a dissolução de minerais do solo liberando Fe e Al para a solução, promovendo maior adsorção do P (Andrade et al., 2003). Esse efeito é reduzido na camada intermediária dos vasos onde encontram-se os maiores teores de Pi e Pt.

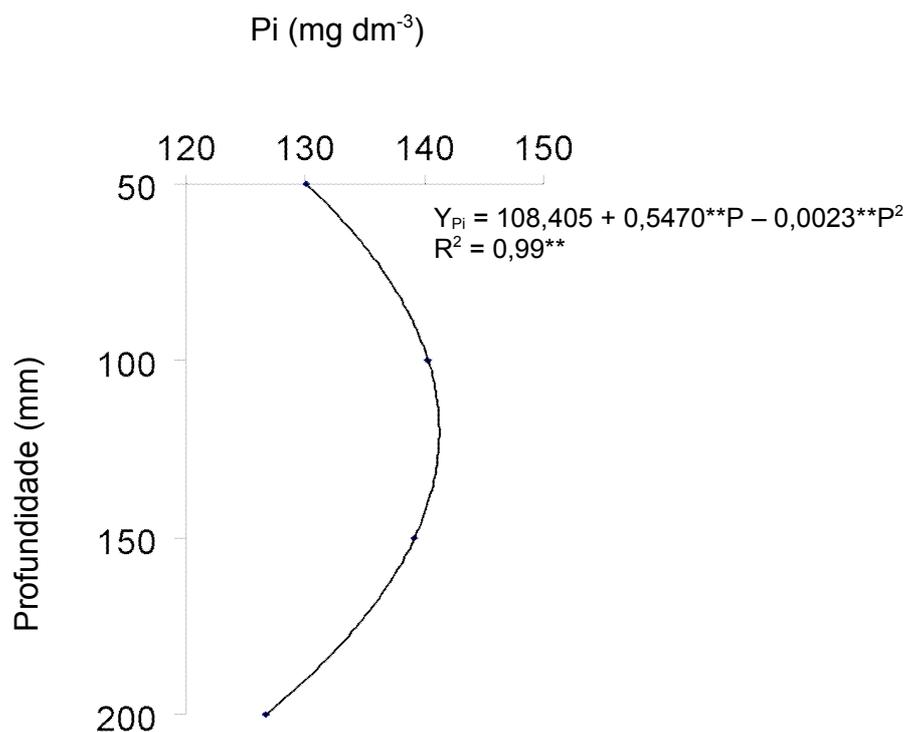


Figura 4. Valores médios de P inorgânico (Pi) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso em diferentes profundidades.

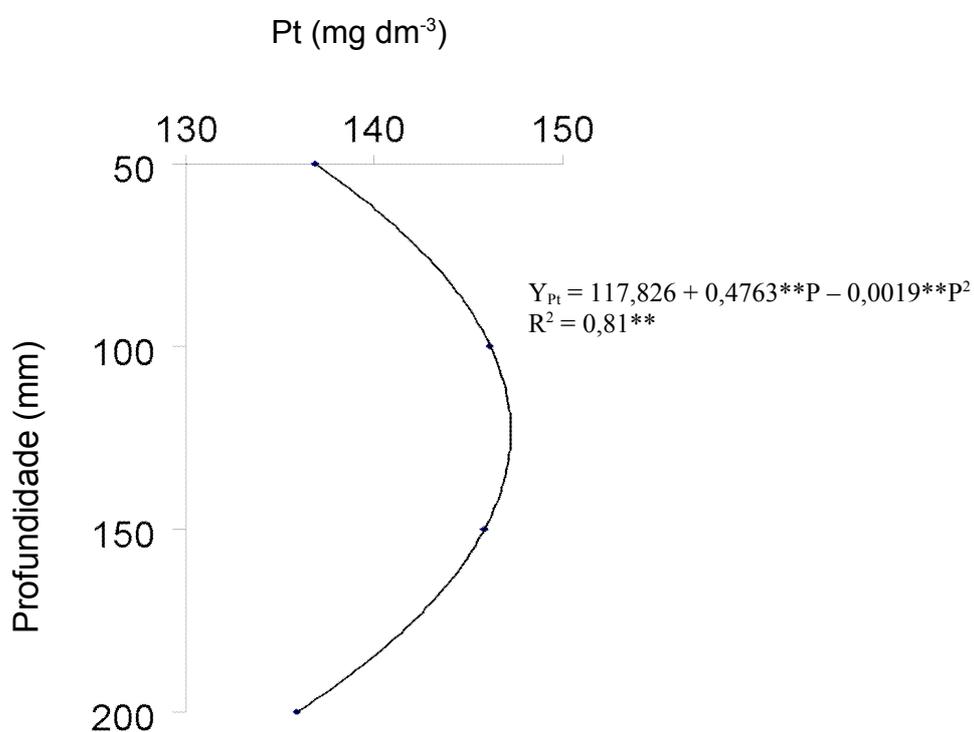


Figura 5. Valores médios de fósforo total (Pt) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso em diferentes profundidades.

Quando se usou o calcário em superfície no Latossolo Vermelho distrófico, em geral, maiores teores de P foram observados do que quando este solo foi submetido à calagem incorporada (Figura 6).

O P apresentou uma tendência de comportamento seguindo um modelo quadrático tanto para calagem superficial quanto para calagem incorporada, sendo que para calagem superficial a maior disponibilidade de P ocorreu quando a dose de ácido cítrico + ativador enzimático foi de 2,83 kg ha⁻¹. De forma contrária, quando a calagem foi incorporada a menor disponibilidade de P ocorreu quando a dose foi de 2,43 kg ha⁻¹ (Figura 6).

Quando a calagem foi superficial, o pH na superfície do vaso foi maior do que quando a calagem foi incorporada, nessa condição, doses crescentes de ácido cítrico + ativador enzimático promoveram uma menor precipitação do P por Ca, até a dose de 2,83 kg ha⁻¹, a partir dessa dose houve decréscimo nos teores de P. Em maiores concentrações, o ácido aplicado pode atuar na dissolução de minerais do solo, liberando Fe e Al que promoveriam adsorção de P, diminuindo seus teores.

Isotermas de solubilidade de compostos fosfatados em função do pH (condicionante da solubilização) mostram, por exemplo, que fosfatos de Al e de Fe são mais estáveis em meio ácido (têm solubilidade aumentada com o aumento do pH do meio), ao passo que fosfatos de Ca, pelo contrário, são menos estáveis em meio ácido (diminuem a solubilidade como aumento do pH) (Olsen e Khasawneh, 1980, citados por Novais e Smith, 1999). Solo com pH mais elevado, com muito Ca trocável, natural ou como consequência de supercalagem, podem ter a precipitação de fosfatos adicionados ao solo (Sample et al., 1980, citados por Novais e Smith, 1999). Sob condição de calagem incorporada, a adição de ácidos até a dose de 2,43 kg ha⁻¹ promoveu uma diminuição nos teores de P. A partir dessa dose, como o solo é de textura média, o ácido cítrico + ativador enzimático adicionado passou a ter influência sobre a ligação com o Ca, diminuindo a precipitação de P-Ca, uma vez que em solo de textura média com calagem incorporada, o potencial de carga superficial positiva é baixo (neutralizado pelo aumento de pH) e há pouca disponibilidade de Fe e Al trocáveis.

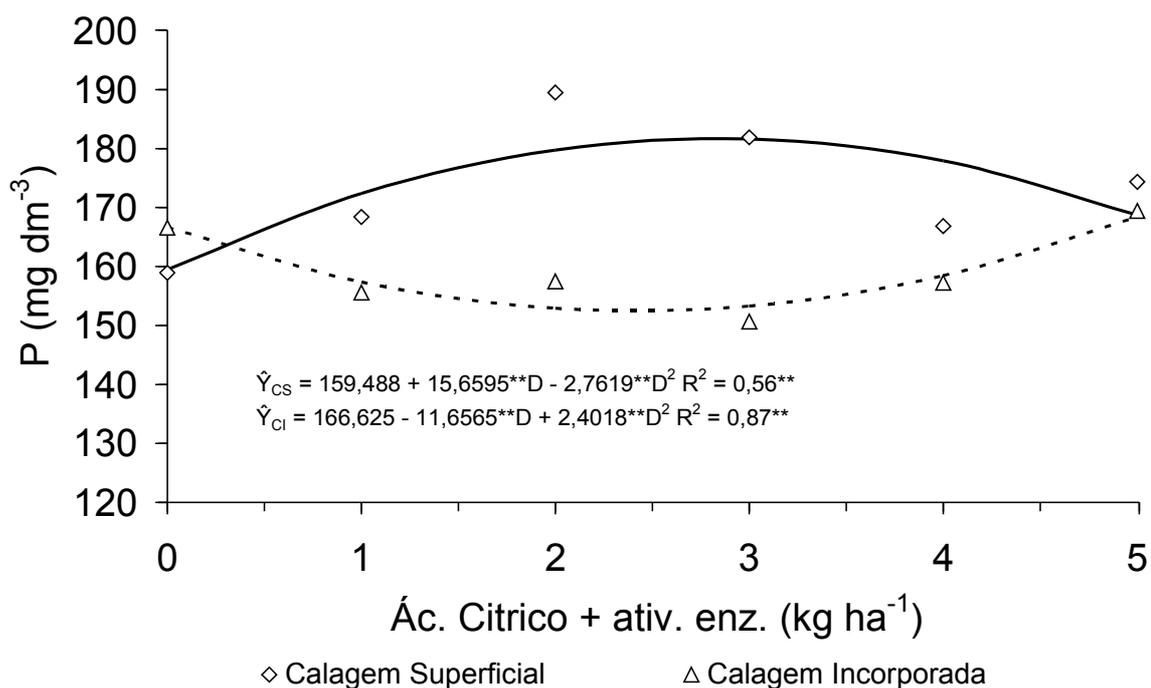


Figura 6. Valores médios de P (Melich 1) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

Da mesma forma que no solo de textura muito argilosa o solo de textura média apresentou comportamento muito semelhante no Pt e Pi (Figuras 7 e 8) devido ao baixo teor de Po encontrado nas amostras de solo.

Para o Latossolo Vermelho distrófico as respostas do Pi e Pt em função das doses de ácido cítrico + ativador enzimático aplicadas se mostram com comportamento semelhante. Quando a calagem foi feita em superfície ocorreu diminuição nos teores de Pi e Pt, após a dose de 1 kg ha⁻¹ de ácido cítrico + ativador enzimático. Quando a adição do calcário foi realizada de forma incorporada ao solo, os valores de Pi e Pt também apresentaram uma tendência de resposta linear, sendo uma constante para o Pi, enquanto que para o Pt houve uma pequena diminuição dos valores com o aumento das doses de ácido cítrico + ativador enzimático (Figuras 7 e 8).

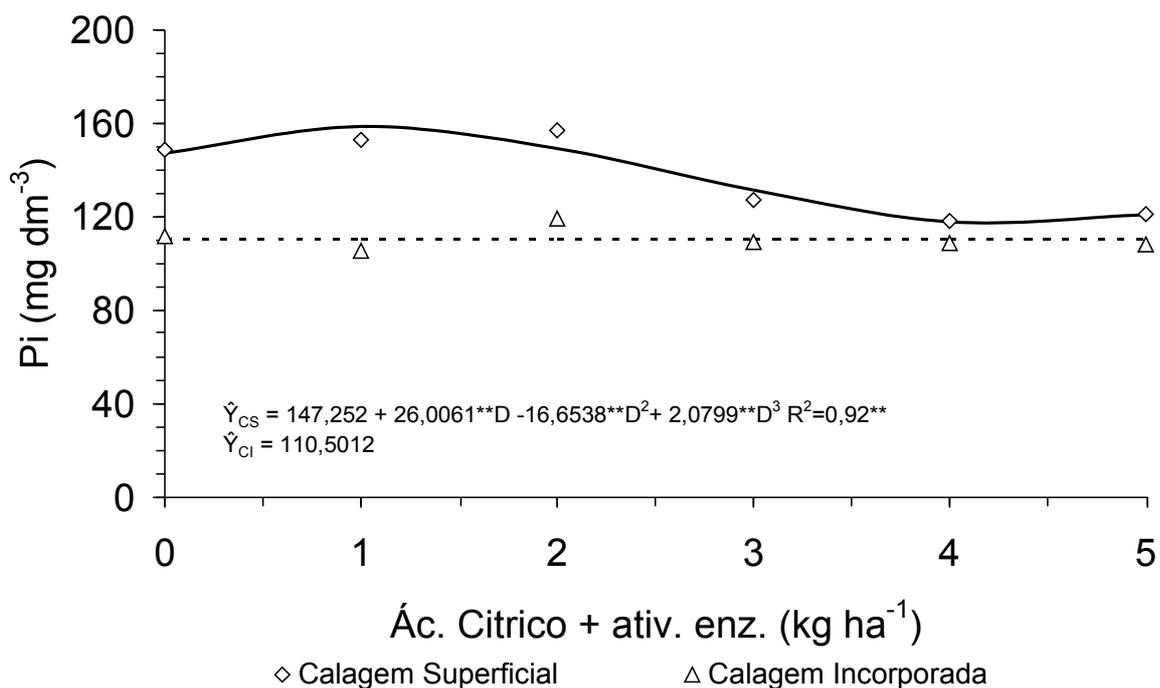


Figura 7. Valores médios de fósforo inorgânico (Pi) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média, submetido a dois tipos de calagem na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

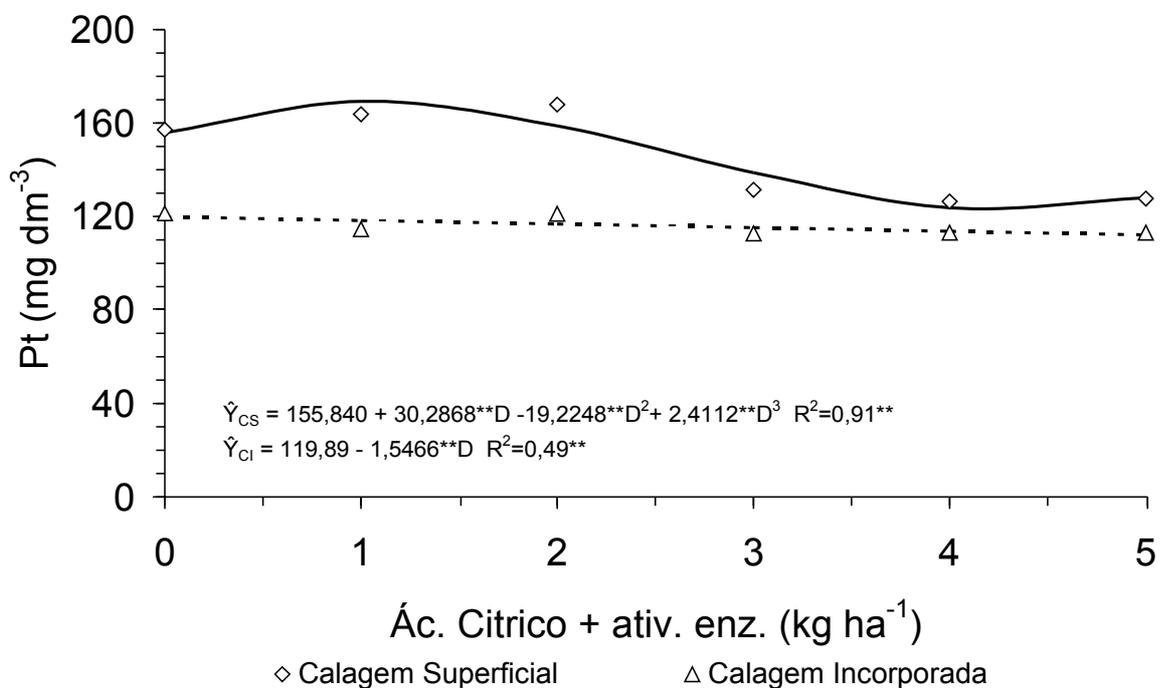


Figura 8. Valores médios de fósforo total (Pt) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

Observando os valores de P_i e P_t (Figuras 7 e 8) é possível verificar que os teores de fósforo nessas formas foram sempre maiores quando a calagem foi superficial, isso adicionado à baixa superfície de adsorção dos solos de textura média, pode estar levando a um processo de precipitação do P pelo Ca quando o calcário é incorporado ao solo. Nessa condição, a aplicação de calcário em superfície favoreceria uma maior disponibilidade do P, pela menor precipitação.

A aplicação de calagem incorporada promoveu uma maior interação do P com o Ca, favorecendo a formação de precipitados, que não foram afetados com a aplicação do ácido cítrico + ativador enzimático em superfície. Por outro lado, a calagem apenas em superfície seguida da aplicação de ácido cítrico + ativador enzimático fez com que o ácido aplicado estabelecesse ligações com o Ca liberado do calcário, diminuindo a precipitação e mantendo maiores teores de P_i e P_t . No entanto, com o aumento das doses de ácido cítrico + ativador enzimático pode ter ocorrido uma maior dissolução do calcário adicionado em superfície o que levaria a uma maior liberação de Ca e favorecimento da formação de precipitados.

Analisando esses resultados pode-se perceber que a calagem incorporada em solos de textura média pode favorecer a diminuição de P_i e P_t . Isso está em acordo com a citação de Sample et al. (1980) citados por Novais e Smith (1999) que diz que solos com pH mais elevado, com muito Ca trocável natural ou como consequência de uma supercalagem, podem ter a precipitação de fosfatos adicionados ao solo. Novais e Smith (1999) relatam que o produto insolúvel formado é uma forma de P-Ca de menor disponibilidade para as plantas que o P-Al formado em condição ácida.

Para o Latossolo Vermelho distrófico foi observada diferença no teor de P remanescente (P_{rem}) quando o solo foi submetido às duas formas de calagem e diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

O P_{rem} apresentou tendência de comportamento quadrático quando a calagem foi aplicada superficialmente, atingiu ponto de máxima concentração na dose do ácido cítrico + ativador enzimático de 2,33 kg ha⁻¹ decrescendo para doses maiores. Para a calagem incorporada o P_{rem} apresentou tendência linear, aumentando com as doses de ácido cítrico + ativador enzimático (Figura 9), embora os teores tenham variado apenas entre os valores de 38,2 a 39,7 mg dm⁻³.

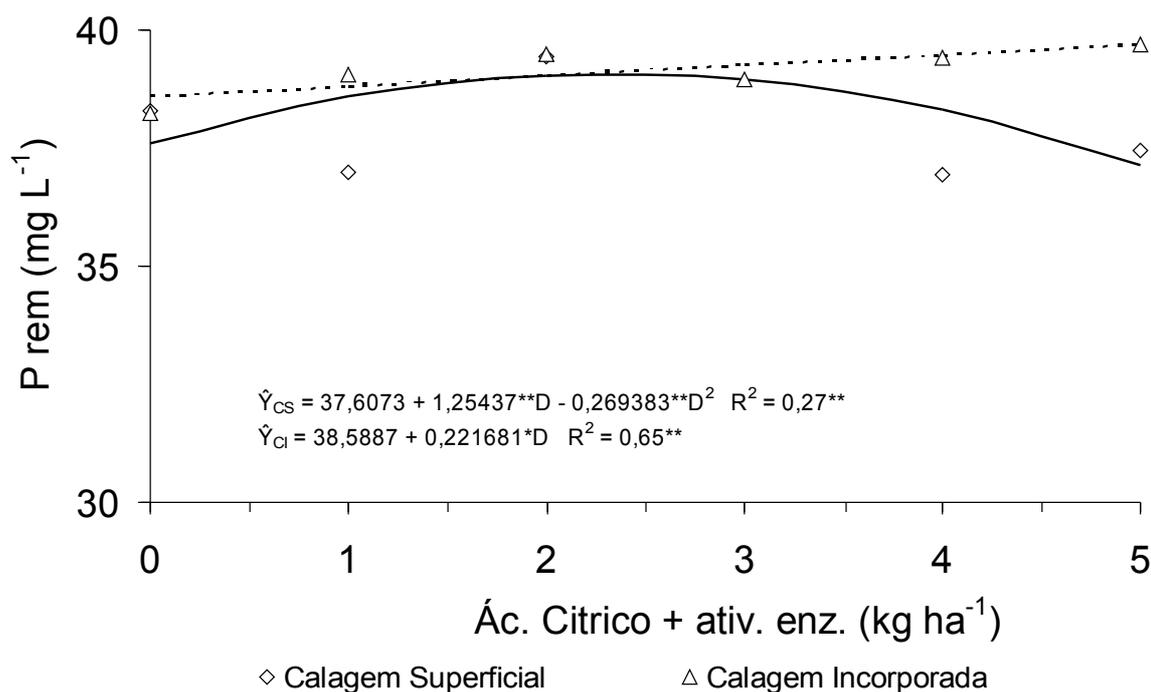


Figura 9. Valores médios de fósforo remanescente (Prem) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem na presença de diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

O Prem ainda apresentou diferença de concentração em função da profundidade, independente da dose de ácido cítrico + ativador enzimático aplicada. Quando o solo foi submetido à calagem superficial, a camada mais superficial do solo (0-100 mm) apresentou teores menores de Prem, a partir daí o Prem aumenta e, praticamente, se estabiliza. Já para a calagem incorporada não foi observada diferença nos teores de Prem nas diferentes profundidades, e para este tipo de calagem o teor de Prem foi mais elevado (Figura 10).

Na calagem superficial, a maior concentração de Ca na primeira camada de solo pode estar contribuindo para uma maior fixação de P pelo Ca, o que fez com que diminuísse os valores de Prem nessa camada. A partir da segunda camada de solo os valores de Prem têm comportamento semelhante aos encontrados para calagem incorporada, sugerindo que nessa camada o ácido cítrico + ativador enzimático promoveu uma diminuição da adsorção de P.

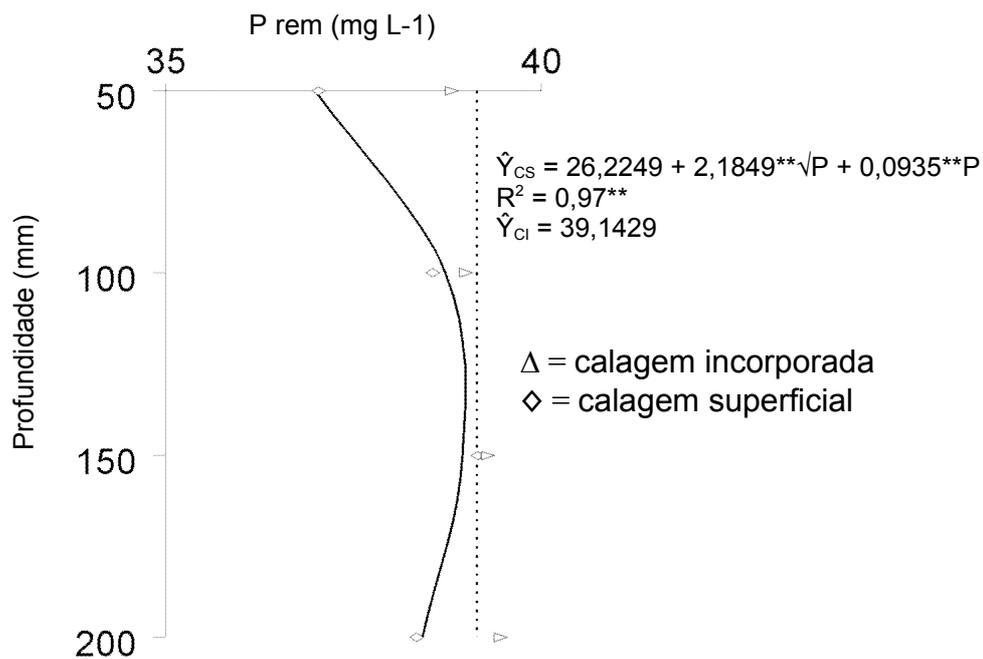


Figura 10. Valores médios de fósforo remanescente (Prem) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média, em diferentes profundidades.

4 Conclusões

Nas condições em que o presente trabalho foi desenvolvido pode-se concluir que:

O efeito da aplicação de doses de ácido cítrico +ativador enzimático nos teores de Pi e Pt depende da textura do solo e da forma de calagem;

No Latossolo Vermelho distroférico, os teores mais elevados de Pi e Pt são, geralmente, encontrados quando a calagem é incorporada, enquanto para o solo de textura média isso ocorre para a calagem superficial;

No Latossolo Vermelho distrófico os teores de Prem variam com a forma de calagem e as doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

5 Bibliografia citada

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H. e NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.1003-1011, 2003.

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E. e OLIVEIRA, J. A. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Boletim Informativo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n.1, Viçosa, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FÉRNANDEZ, R. I. E. J. Reversibilidade de P não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos a redução microbiológica ou química. Viçosa, UFV, 1995. 94p. **(Tese de Doutorado)**.

FONTES, M.R.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some oxisols from Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.982-990, 1992.

FRANCHINI, J. C.; GONZALEZ-VILLA, F. J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. e PAVAN, M. A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in a acid Oxisol. **Plant Soil**, v.231, p. 55-63, 2001.

GERKE, J.; HERMANN, R. Adsorption of orthophosphate to humic-Fe-complexes and to amorphous Fe-oxide. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, v.155, p.233-236, 1992.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel/Embrapa-CPAC, 1987. p.129-166.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil plant system. **Adv. Agron.**, v.37, p. 249-315, 1984

HEDLEY, M. J.; HUSSIM, A. e BOLAN, M. S. New approaches to phosphorus fertilization. In: **Symposium of phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania**, 1. Filipinas, 1990. Proceedings... Filipinas, IRRI, 1990. p.125-142.

HUE, N. V.; CRADDOCK, G. R. e ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 28-34, 1986.

HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, Madison, v.152, n.6, p.463-471, 1991.

KIRK, G. J. D. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. **Europ. J. Soil Sci.**, v. 50, p. 369-378, 1999.

LINS, I. D. G.; COX, F. R. e SOUZA, D. M. G. Teste de um modelo matemático para otimizar a adubação fosfatada na cultura da soja em solos sob cerrado com diferentes teores e tipos de argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13(1), p.65-73, 1989.

LOPES, A.S.; COX, F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.82-88, 1979.

LOPEZ HERNANDEZ, D.; SIEGERT, G. e RODRIGUEZ, J. V. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1460-1462, 1986.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas Multireferencial**. Campo Grande, 1990. 28p.

MESQUITA FILHO, M.V. de; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v.58, p.107-123, 1993.

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

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J.D. e LOURENÇO, S. Método de pesquisa em fertilidade de solos. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253..

NOVELINO, J. O. Disponibilidade de P e sua cinética, em solos sob cerrado fertilizados com P, avaliada por diferentes métodos de extração. Viçosa, UFV, 1999. 70p. (**Tese de Doutorado**).

PEARSON, R. G. Acids and Bases. **Science**, v. 151, p. 172-177, 1966.

PIAIA, F. L. Efeito da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturação por bases na cultura da soja. Lavras, UFLA, 2000. 43p. (**Dissertação de Mestrado**).

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do Solo e Adubação**. Piracicaba, Ceres: POTAFÓS, 1991. 334p.

SAUNDERS, W. M. H. , WILLIAMS, E. G. Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. **Journal of Soil Science**. v.6, n. 2, 1955. p. 254-267

SIBANDA, H.M.; YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **Journal of Soil Science**, v.37, p.197-204, 1986.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University, 1989. 277p.

STEVENSON, F. J. **Cycles of carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients**. New York, John Wiley e Sons, 1986. 380p.

TRAINA, S. J.; SPOSITO, G.; HESTERBERG, D. e KAFKAFI, U. Effects of pH and organic acids on orthophosphate solubility in na acidic montmorillonitic soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p. 45-51, 1986.

CAPÍTULO II

ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO MAIS ATIVADOR ENZIMÁTICO E CALAGEM NA DISPONIBILIDADE E MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIONS NO SOLO

ADIÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO MAIS ATIVADOR ENZIMÁTICO E CALAGEM NA DISPONIBILIDADE E MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIONS NO SOLO

Autor: Carolina Tirloni

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

RESUMO

A acidificação do solo consiste na remoção de cátions básicos (Ca, Mg e K) do complexo de troca solo e sua substituição por cátions ácidos (Al e H). Essa acidez natural pode ser devida ao material de origem do solo ou ao intenso processo de lixiviação de bases que esses solos sofreram ao longo de centenas de milhares ou milhões de anos de exposição aos agentes de intemperismo. Essa é a situação dos Latossolos da região do Cerrado, onde é crescente a utilização do sistema plantio direto que prevê o não revolvimento do solo tornando necessária a calagem sem incorporação, a qual diminui a superfície de contato do corretivo com os colóides, tornando-se ponto de discussão a eficiência de sua aplicação em superfície. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição de ácido cítrico + ativador enzimático e duas formas de calagem na disponibilidade e movimentação de cátions em um solo de textura muito argilosa e um solo de textura média. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Foram utilizados dois tipos de solo: Latossolo Vermelho distroférico, textura muito argilosa e Latossolo Vermelho distrófico, textura média. Sendo que os fatores estudados em cada solo foram: dois tipos de (calagem: calagem superficial e calagem incorporada); seis doses de ácido cítrico mais ativador enzimático (0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg ha⁻¹); quatro profundidades (0-50, 50-100, 100-150, 150-200mm). Os solos foram submetidos à análise de rotina onde foi determinado K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V%. Nas condições em que o presente trabalho foi desenvolvido pode-se concluir que: O Al e H+Al aumentaram com o aumento das doses de ácido cítrico + ativador enzimático quando foi feita calagem superficial no solo de textura muito argilosa; Quando a calagem foi incorporada não houve grandes alterações nos teores de Ca e Mg nas diferentes profundidades, já quando a calagem foi superficial os maiores teores de Ca e Mg foram observados na superfície do solo para os dois solos; a presença de Al e H+Al no solo de textura média indica que embora possa ter uma movimentação vertical de calcário nesse solo, esta não foi suficiente para corrigir o

solo em profundidade; no solo de textura média os teores de K foram maiores com o aumento nas doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

Palavras-chave: movimentação de nutrientes, ácidos orgânicos, calagem.

CITRIC ACID PLUS ENZYMATIC ACTIVATOR AND LIMING IN THE MOTION AND AVAILABILITY OF CATIONS IN THE SOIL

Author: Carolina Tirloni

Adviser: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

ABSTRACT

The soil acidification consists in the removal of basic cations (Ca, Mg, and K) from the soil exchanges complex and its replacement by acid cations (Al and H). This natural acidity can be due to soil material origin or to the intense bases lixiviation process that these soils suffered throughout hundreds of thousand or of million years of exposition to the "intemperismo" agents. This is the situation of the "Cerrado" region Latossols, where there is a growing utilization of direct planting systems which foresee or not the soil revolving, making it necessary the liming without incorporation, which diminishes the contact surface of the lime with the "colóides", becoming a discussion issue its efficiency of surface application. This work had as an objective to evaluate the effect of the addition of citric acid plus enzymatic activator and two liming methods in the cations motion and availability in a soil with heavy clay texture and another of medium texture. The experiment was conducted in green house in the Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), of the Universidade Federal d Grande Dourados (UFGD). Two types of soil were utilized: Distroferric Red Latossol, strong clay texture, and Distrofic Red Latossol, medium texture. The traits studied in each type of soil were: two liming types (superficial liming and incorporated liming); six doses of citric acid plus enzymatic activator (0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg ha⁻¹); four depths (0-50, 50-100, 100-150, 150-200mm). The soils were submitted to the routine analysis where were determined K,Ca, Mg, Al, H+Al,, SB, CTC, and V%. In the conditions were the present work was generated it is possible to conclude that: the Al and H+Al increased with the growth of citric acid plus enzymatic activator doses when it was done superficial liming in the heavy clay soil texture; when the liming was incorporated there were no great alterations in the Ca and Mg levels in the different depths; yet when the liming was superficial the greatest contents of Ca and Mg were observed in the soil surface for both kinds of soil; the presence of Al and H+Al in the medium texture soil indicates that, although there may be a vertical liming movement in this soil, this motion was not

sufficient to correct the soil in depth; in the medium texture soil the K levels were greater with the increase of citric acid plus enzymatic activator doses.

Key words: nutrients movement, organic acids, liming.

1 Introdução

A acidificação do solo consiste na remoção de cátions básicos (Ca, Mg e K) do complexo de troca do solo e sua substituição por cátions ácidos (Al e H). Essa acidez natural pode ser devida ao material de origem do solo ou ao intenso processo de lixiviação de bases que esses solos sofreram ao longo de centenas de milhares ou milhões de anos de exposição aos agentes de intemperismo, situação essa típica dos Latossolos da região do Cerrado. Uma vez sob cultivo, o processo de acidificação intensifica-se, seja porque as plantas absorvem Ca, Mg e K ou pelo uso de fertilizantes nitrogenados. Após algumas colheitas, a quantidade de bases diminui drasticamente, permanecendo, Al^{+3} e H^+ no complexo de troca (Araújo, 2003).

Nos solos sob cerrado é crescente a utilização do sistema plantio direto que prevê o não revolvimento do solo tornando necessária a calagem sem incorporação, a qual diminui o contanto do corretivo com os colóides, tornando-se ponto de discussão a eficiência de sua aplicação em superfície.

Além disso, a utilização agrícola intensiva e as quantidades de bases trocáveis absorvidas pelas plantas constituem os mais importantes mecanismos de acidificação desses solos. Cerca de 80% do custo do fertilizante fosfatado adicionado aos solos são consumidos pela fixação de P pelos constituintes mineralógicos, sobretudo óxidos de ferro e de alumínio dos solos ácidos intemperizados das regiões tropicais (Hedley et al., 1990).

Recentemente, as plantas de cobertura têm recebido atenção adicional no sistema plantio direto, contribuindo para reduzir os efeitos negativos da acidez na subsuperfície do solo. Durante a decomposição dos resíduos vegetais, ocorre liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis que, em última análise, são ácidos orgânicos de baixo peso molecular (Franchini et al., 2001). Esses compostos possuem radicais funcionais que os tornam capazes de formar complexos orgânicos com alumínio, cálcio e magnésio (Pearson, 1966). Dessa forma, além de neutralizarem o alumínio tóxico, esses compostos podem aumentar a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado na superfície.

De acordo com Lopes e Cox (1977), 98% dos solos sob cerrado tem pH em água inferior a 6,0.

Tendo em vista estes aspectos, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição de ácido cítrico + ativador enzimático e duas formas de calagem na disponibilidade e movimentação de cátions em um solo de textura muito argilosa e um solo de textura média.

2 Material e Métodos

O trabalho foi realizado em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizado na latitude de 22°11'55'' S, longitude de 54°56'7''W e 452 m de altitude, em Dourados-MS. O clima regional, conforme Mato Grosso do Sul (1990) é classificado pelo sistema internacional de Köppen como CWa.

Para montagem do trabalho foram utilizados dois solos, sendo:

Solo 1: Latossolo Vermelho distrófico, textura média, coletado no município de Ponta Porã-MS, em área pertencente a Fazenda Capão Verde.

Solo 2: Latossolo Vermelho distroférico, textura muito argilosa, coletado na área do Aeroporto Municipal de Dourados, no município de Dourados-MS.

As amostras foram coletadas na camada de 0-200 mm de profundidade, secas à sombra, destorroadas, passadas em peneira de 4 mm e enviadas ao laboratório para a caracterização química e física. Os atributos químicos e físicos dos dois solos antes da aplicação dos tratamentos são apresentados no quadro 1.

O trabalho foi desenvolvido em vasos, sendo cada vaso montado por meio da união de quatro anéis de PVC com 100 mm de diâmetro, sendo três anéis inferiores medindo 5 cm de altura e o anel superior com 7 cm de altura, de forma que sobrasse espaço para adição de água ao vaso. Os anéis de PVC foram unidos por fita adesiva e na parte inferior dos vasos foi colocado uma placa de isopor. No interior do vaso foi colocado um saco plástico para evitar perdas de solo pelo fundo do vaso. O volume do vaso era 0,00157m³.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial 2 x 6 x 4, com três repetições para cada tipo de solo, totalizando 36 vasos para cada solo, sendo que os fatores estudados em cada solo foram: dois tipos de calagem (calagem superficial e calagem incorporada); seis doses de ácido cítrico mais ativador enzimático (equivalente a 0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg ha⁻¹ do produto comercial Biotech na formulação sólida); quatro profundidades (0-50, 50-100, 100-150, 150-200mm).

Quadro 1. Atributos químicos e físicos de amostras dos dois solos coletadas na profundidade de 0 a 200 mm, antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos do solo	Extrator- determinação	Solos	
		Latossolo Vermelho distrófico	Latossolo Vermelho dístroférico
pH (H ₂ O)	Água	5,1	5,0
pH (CaCl ₂)	CaCl ₂ .H ₂ O	4,0	3,9
MO (g kg ⁻¹)	Walkley-Black	18,1	29,6
P Melich 1 (mg dm ⁻³)	Melich 1	1,0	1,0
P remanescente (mg L ⁻¹)		21,2	9,2
K (mmol _c dm ⁻³)	Melich 1	1,9	0,6
Ca (mmol _c dm ⁻³)	KCl 1 mol L ⁻¹	6,6	14,6
Mg (mmol _c dm ⁻³)	KCl 1 mol L ⁻¹	1,7	7,0
Al (mmol _c dm ⁻³)	KCl 1 mol L ⁻¹	11,2	17,5
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	Acetato de cálcio	62,0	111,0
SB (mmol _c dm ⁻³)		10,2	22,2
T (mmol _c dm ⁻³)		72,2	133,2
V (%)		14	16
Argila (g kg ⁻¹)	Pipeta	210	760
Areia (g kg ⁻¹)	Pipeta	660	91
Silte (g kg ⁻¹)	Pipeta	130	149

A necessidade de calagem (NC) foi determinada pelo método da saturação por bases (Raij, 1991), tendo por objetivo atingir um valor de saturação de bases de 60% (V = 60%).

Considerando que a calagem superficial é usada na região em áreas onde o solo já foi corrigido no passado, estimou-se que um valor mínimo de V = 45% deveria ser atingido e, nesse solo com V = 45% seria aplicada a calagem superficial. Para tanto, foi feita a homogeneização do solo em cada vaso com calcário dolomítico (PRNT = 100%), com doses de calcário suficientes para elevar a saturação por bases a 60% e 45%, calagem incorporada e calagem superficial, respectivamente. Os vasos foram incubados por 28 dias, com umidade mantida a 80% da capacidade de campo por pesagem. Posteriormente os solos foram retirados dos vasos, secos ao ar e adubados com solução nutritiva seguindo recomendação de Novais et al (1991) para vasos em ambiente controlado, adicionando-se 100 mL em cada vaso de uma solução contendo, para cada litro de solução, as seguintes doses (Quadro 2):

Quadro 2. Quantidades das fontes de nutrientes utilizados na adubação básica dos solos usados no experimento em casa-de-vegetação.

Fonte	Latossolo Vermelho	Latossolo Vermelho
	distrófico	distroférico
	Quantidade da fonte em 1 L de solução nutritiva	
NH ₄ H ₂ PO ₄	14,79g	14,79g
NaH ₂ PO ₄	4,79g	12,48g
KCl	2,27g	2,27g
K ₂ SO ₄	3,55g	3,55g
H ₃ B ₃	83,4g	83,4mg
CuSO ₄ .5H ₂ O	94mg	94mg
FeSO ₄ .7H ₂ O	138,9mg	138,9mg
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	6,18mg	6,18mg
MnCl ₂ .4H ₂ O	64,38mg	64,38mg
ZnSO ₄ .7H ₂ O	316,7mg	316,7mg

Após a adubação o solo foi novamente homogeneizado e recolocado nos vasos, então procedeu-se a aplicação do calcário em superfície para os vasos que continham esse tratamento (para atingir V = 60%). Logo em seguida foram aplicadas as diferentes doses de ácido cítrico mais ativador enzimático na superfície do solo, seguida de uma nova incubação de seis dias.

Após esse período, procedeu-se a semeadura do sorgo, cultivar BRS 800, em 22 de junho de 2004, utilizando cinco sementes por vaso de modo a garantir a população desejada de plantas em cada vaso. Aos 14 dias após o plantio com completa emergência das plântulas de sorgo foi feito o desbaste mantendo-se apenas duas plantas por vaso.

A umidade dos vasos foi mantida por meio de pesagem dos mesmos, sendo as regas feitas de modo a manter o solo em 80% da sua capacidade de campo.

Aos 49 dias após o plantio (DAP), no início da floração, a parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo, pesadas, lavadas em água corrente, depois lavadas em água deionizada, deixadas sobre papel absorvente para prévia secagem, acondicionadas em sacos de papel perfurados e levadas a estufa com circulação de ar forçada a 65°C até peso constante.

Os anéis de cada vaso foram separados com o auxílio de uma faca, e o solo contido em cada anel foi retirado e, após secos ao ar, levados ao laboratório onde foram submetidos à análise de rotina onde foram determinados P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% (Embrapa, 1997).

Foram realizadas análise de variância isoladamente para cada tipo de solo. Optou-se por avaliar apenas interações duplas entre os tratamentos, e quando houve interação optou-se por explicá-lo de forma conjunta e não isoladamente. Os valores do teste de

significância (t) que foram significativos na análise de variância foram corrigidos e então foram ajustadas equações de regressão utilizando-se o aplicativo computacional SAEG. Algumas variáveis analisadas no experimento foram significativas na análise de variância, mas não apresentaram coeficientes significativos nos ajustes de regressão, portanto não serão apresentadas e discutidas.

3 Resultados e discussão

Para o Latossolo Vermelho distroférico, houve efeito da interação dose x calagem somente para K, Al e H+Al (Figuras 1, 2 e 3). Para o K, sob calagem incorporada nenhum modelo estudado foi satisfatório para explicar o comportamento dos resultados, optando-se por representar a resposta pelo valor médio de K. Para calagem superficial houve tendência de comportamento quadrático (Figura 1), com valor mínimo para teor de K obtido na dose de 3 kg ha⁻¹ do ácido cítrico + ativador enzimático.

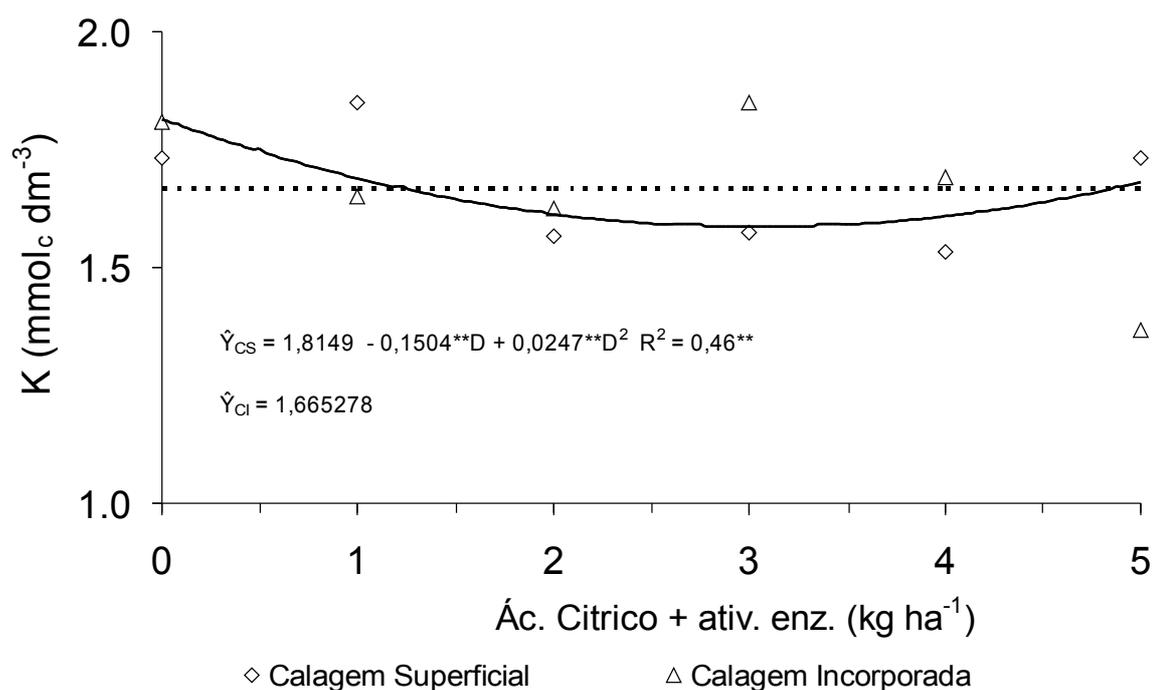


Figura 1. Valores médios de K (mmol_c dm⁻³) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem e diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

Franchini et al., (1999) e Miyazawa et al., (1996) relataram a importância da formação de compostos hidrossolúveis de Ca com produtos da decomposição de resíduos orgânicos no solo. Estudos como os Rheinheimer et al. (2000) relataram que a movimentação vertical de calcário varia com as doses utilizadas. Eles observaram que não

ocorreu movimentação quando foram aplicadas doses menores que a necessária para neutralizar o Al trocável das camadas superiores. Enquanto existir Al a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito de subsuperfície. Assim sendo, sob calagem incorporada o comportamento esperado é que não haja movimentação de Ca e Mg em profundidade. O mesmo comportamento pode ser esperado com relação ao K que, por sua natureza química deve formar complexos ainda menos estáveis que o Ca ou o Mg-orgânico.

No caso da calagem superficial, desde que esta seja suficiente para gerar excesso de Ca, pode ocorrer movimentação de íons e isso pode ser potencializado pela presença de resíduos orgânicos (ácidos orgânicos de baixo peso molecular) segundo Rheinheimer et al. (2000). Nessa complexação há alteração de carga do cátion, facilitando sua descida ao longo do perfil e, na camada subsuperficial, o Ca, o Mg e o K dos complexos são deslocados pelo Al trocável, devido à maior estabilidade do complexo Al-orgânico em relação ao Ca, Mg ou K-orgânico, diminuindo a acidez trocável.

Quando a calagem foi incorporada no Latossolo Vermelho distroférico não houve diferença de concentração do Al para as diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático tendo sido o procedimento suficiente para a neutralização total do Al em todas as amostras. Quando a calagem foi superficial o teor de Al aumentou com o aumento das doses de ácido cítrico + ativador enzimático (Figura 2).

Provavelmente, a calagem superficial não foi suficiente para corrigir o pH na subsuperfície desse solo, que se manteve baixo e, ainda foi mais acidificado pela adição crescente do ácido cítrico + ativador enzimático, fazendo assim com que os teores de Al fossem aumentando. Por se tratar de um solo com alto teor de argila a movimentação vertical de calcário nesse solo fica reduzida.

Quando a calagem foi incorporada ao solo não houve diferença na concentração de H+Al nas diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático, por outro lado, quando a calagem foi feita superficialmente, o aumento nas doses de ácido cítrico + ativador enzimático ocasionou maior concentração de H+Al (Figura 3).

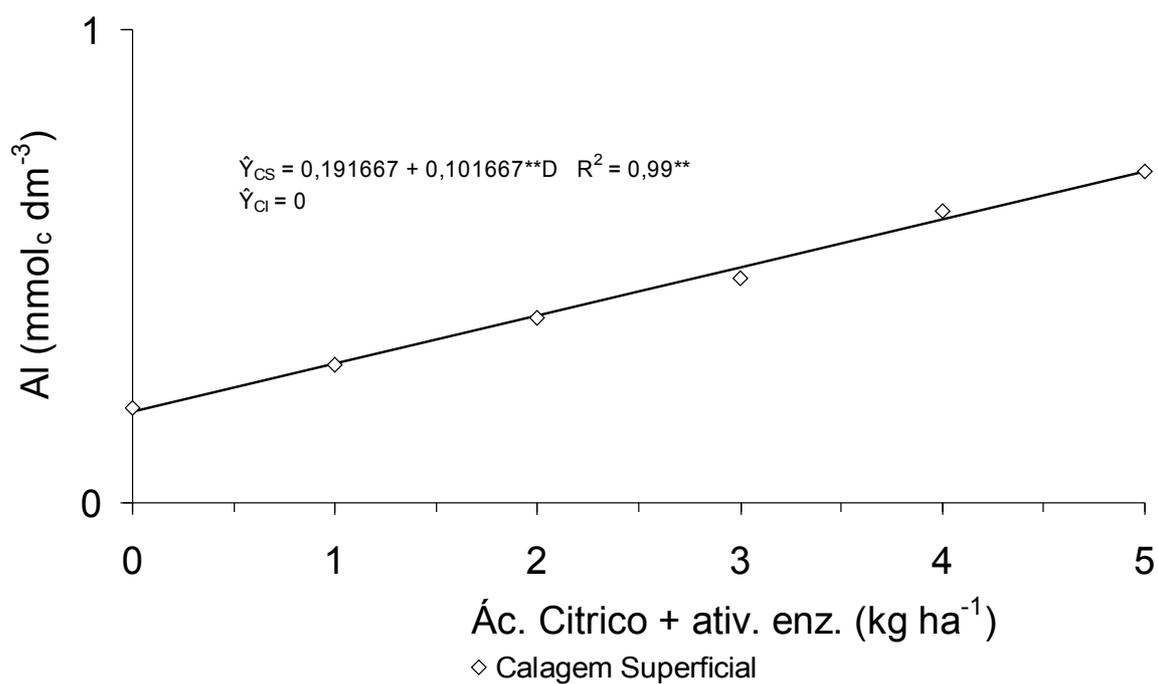


Figura 2. Valores médios de Al (mmol_c dm⁻³) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem e diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

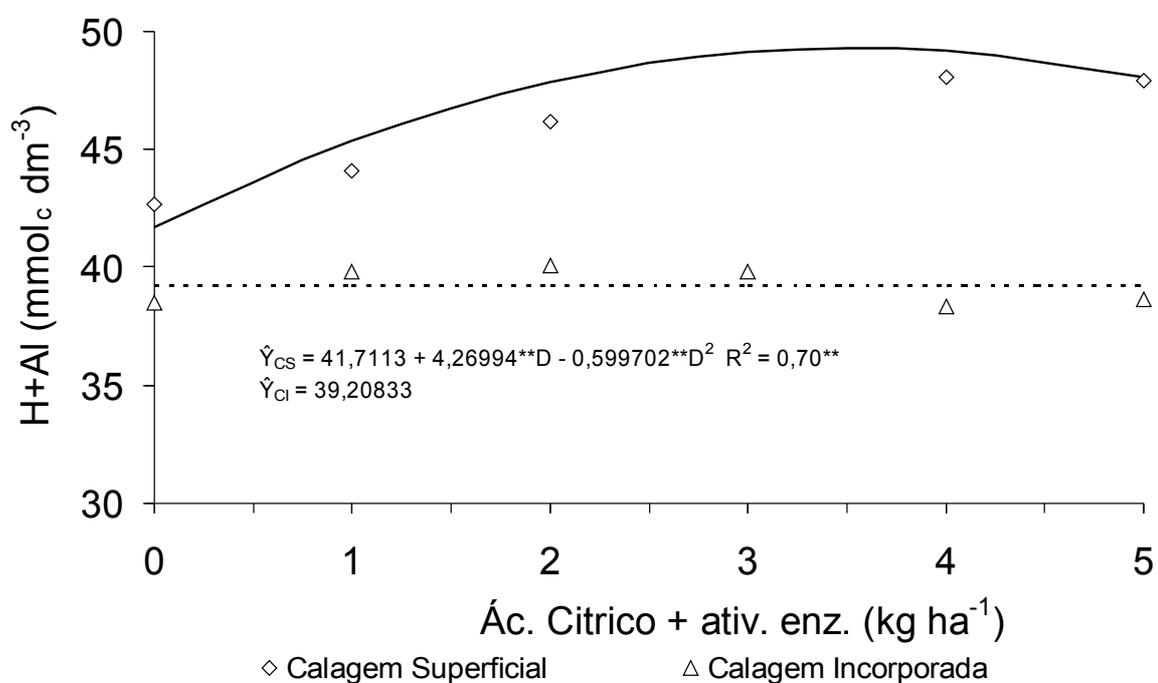


Figura 3. Valores médios de H+Al (mmol_c dm⁻³) em um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem e diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

Da mesma forma que para o Al, esse comportamento está relacionado com o aumento da acidificação proporcionada pelas doses crescentes do ácido cítrico + ativador enzimático, promovendo dissolução da estrutura cristalina de minerais do solo. Os grupos carboxílicos desses ácidos podem dissociar-se liberando seus prótons facilmente em ampla faixa de pH do solo, atacando os minerais do solo, promovendo sua dissolução; podendo os ânions orgânicos formar complexos solúveis com cátions metálicos (Sposito, 1989). Resultados semelhantes foram obtidos por Andrade et al. (2003), que constataram aumento das concentrações de Fe e de Al em resposta às doses de ácidos orgânicos ou ácidos húmicos na solução do solo.

Para o Latossolo Vermelho distroférico o K apresentou diferentes teores nas diferentes profundidades do vaso, independente da calagem e das doses de ácido cítrico + ativador enzimático. Tendo seu teor diminuído da superfície do vaso até a camada intermediária que encontra-se ao redor dos 13 cm de profundidade e passa a aumentar a partir daí (Figura 4).

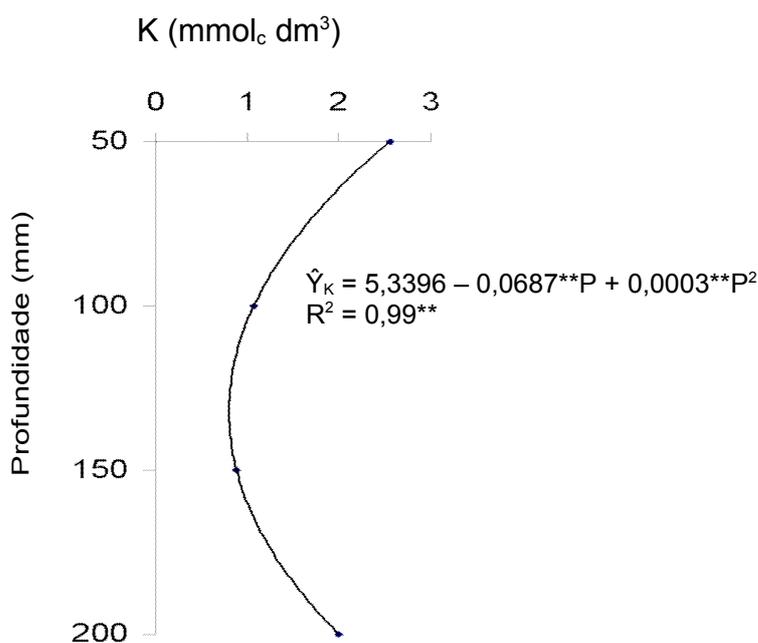


Figura 4. Valores médios de K (mmolc dm⁻³) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso.

Quando a calagem foi incorporada ao solo não foi observada diferença nos teores de Ca nas diferentes profundidades do solo. Entretanto, quando a calagem foi feita superficialmente os teores de Ca foram diminuindo com a profundidade do vaso (Figura 5). Tal fato ocorreu porque o Ca é um elemento que tem baixa mobilidade no solo, fator

agravado por se tratar de um solo de textura muito argilosa onde a sua mobilidade é ainda mais diminuída. Portanto, o elemento Ca concentrou-se na camada onde foi aplicado.

O Mg segue o mesmo comportamento do Ca, apresentando teores médios muito próximos em todas as camadas do vaso quando a calagem foi incorporada. Quando a calagem foi superficial o Mg se concentrou na camada mais superficial do vaso também devido à baixa mobilidade do elemento no solo agravada pelo fato do solo ser muito argiloso (Figura 6).

Pavan et al. (1984) avaliaram a movimentação de calcário no perfil do solo em condições de laboratório. Os resultados mostraram que o calcário elevou o pH significativamente até 0,15m e ligeiramente até 0,3m, não tendo efeito além dessa profundidade. Incrementos de Ca ocorreram apenas até 0,15 m do solo e o Al trocável diminuiu até a profundidade de 0,3 m. Para haver percolação do Ca, é necessário a movimentação conjunta de um ânion acompanhante. O CO_3^{2-} do calcário reage prontamente com a acidez (H^+), do solo, ficando assim impedido de movimentar-se verticalmente. Por essa razão, o efeito isolado do calcário no solo está restrito apenas à camada superficial. Experimentos realizados no campo não foram muito diferentes. Após a aplicação de calcário em superfície, Sá (1999) observou aumento do pH apenas a 0,05 m de profundidade. Mesmo após quatro anos, o calcário havia se movimentado até 0,10 m. Abaixo de 0,10 m não houve efeito da calagem superficial.

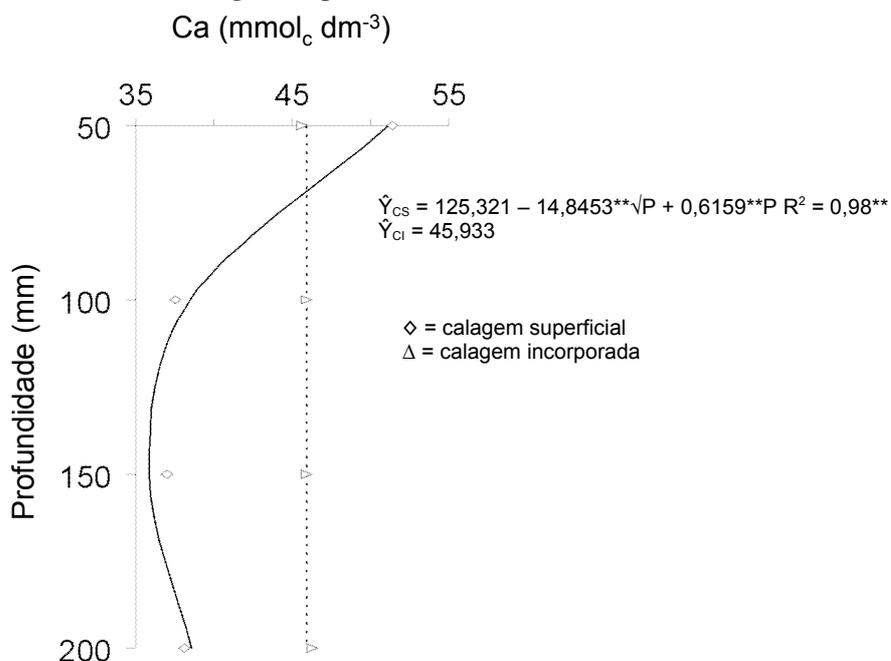


Figura 5. Valores médios de Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.

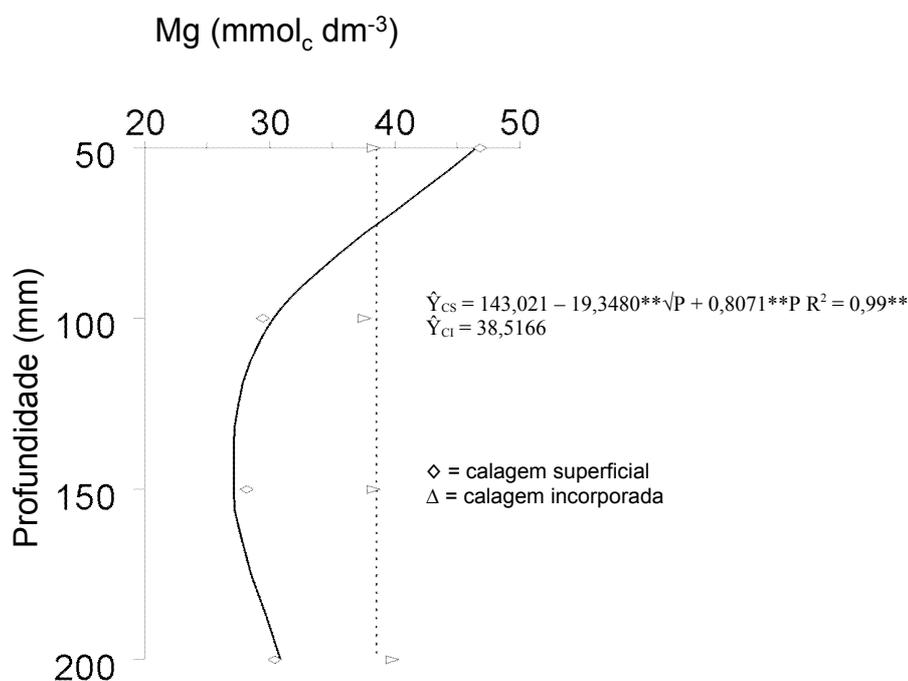


Figura 6. Valores médios de Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.

Quando a calagem foi incorporada o teor de H+Al não apresentou diferença nas diferentes profundidades, mantendo-se ao redor dos $40 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$. Já, quando a calagem foi superficial o teor de H+Al no solo foi reduzido na camada mais superficial do solo (Figura 7).

Isso mostra que a calagem superficial promoveu uma diminuição do H+Al na superfície, mas não teve movimentação no perfil do solo por se tratar de um solo de textura muito argilosa.

A Soma de Bases (SB) é representada pelo somatório entre K, Ca e Mg. Como já apresentado nesses elementos, a curva segue a mesma tendência, não apresentando diferença nas profundidades para calagem incorporada, e apresentando teores mais elevados na camada mais superficial do vaso quando a calagem foi feita na superfície (Figura 8).

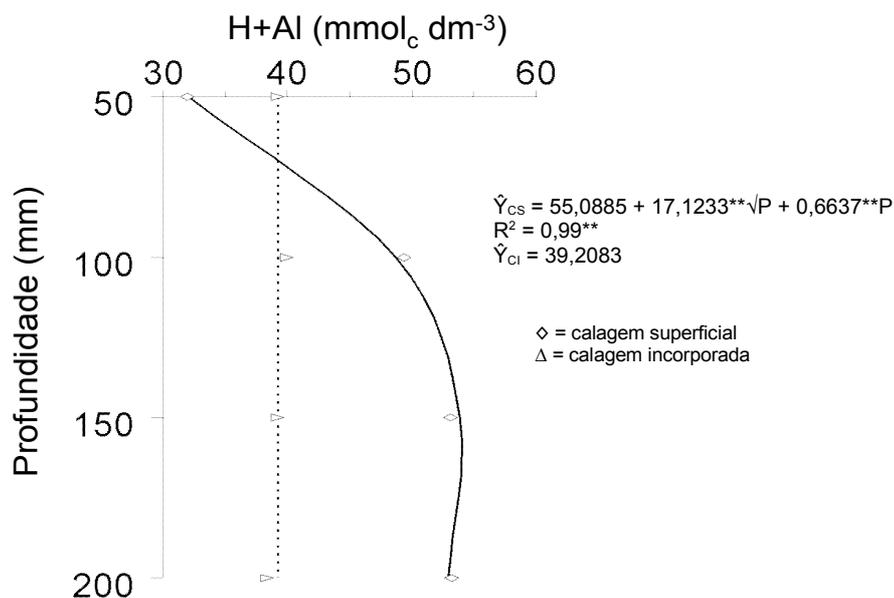


Figura 7. Valores médios de H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.

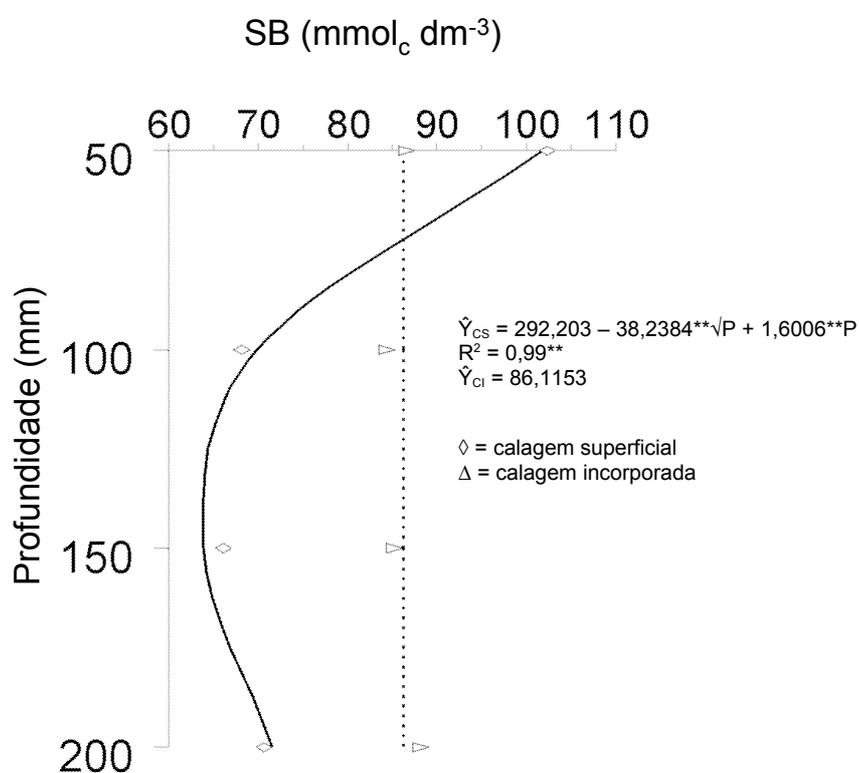


Figura 8. Valores médios de Soma de Bases (SB) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) representada pelo somatório de K, Ca, Mg, H+Al também segue a mesma tendência apresentada para esses elementos. Não apresenta diferença de concentração nas diferentes profundidades do solo quando a calagem foi incorporada. Quando a calagem foi superficial os valores de CTC foram mais elevados nas camadas mais superficiais (Figura 9).

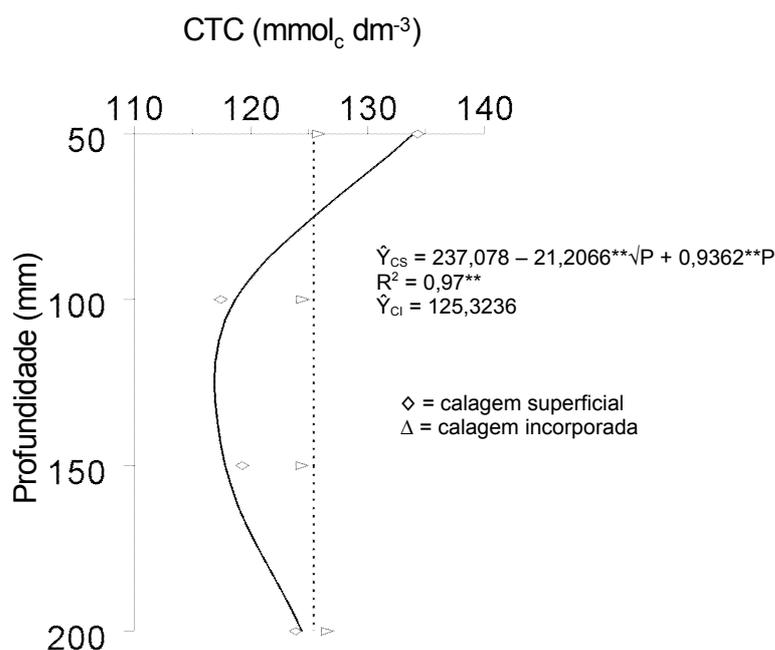


Figura 9. Valores médios de CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.

Quando a calagem foi incorporada ao solo a saturação de bases ($V\%$) manteve-se em torno dos 68% e não teve alterações significativas para as diferentes profundidades. Já quando a calagem foi aplicada na superfície do solo o $V\%$ foi mais elevado na camada mais superficial do solo, decrescendo com a profundidade do solo (Figura 10). Isso mostra a baixa mobilidade das bases nesse solo, que apesar de estarem presentes com altas concentrações tiveram baixa movimentação vertical no solo de textura muito argilosa.

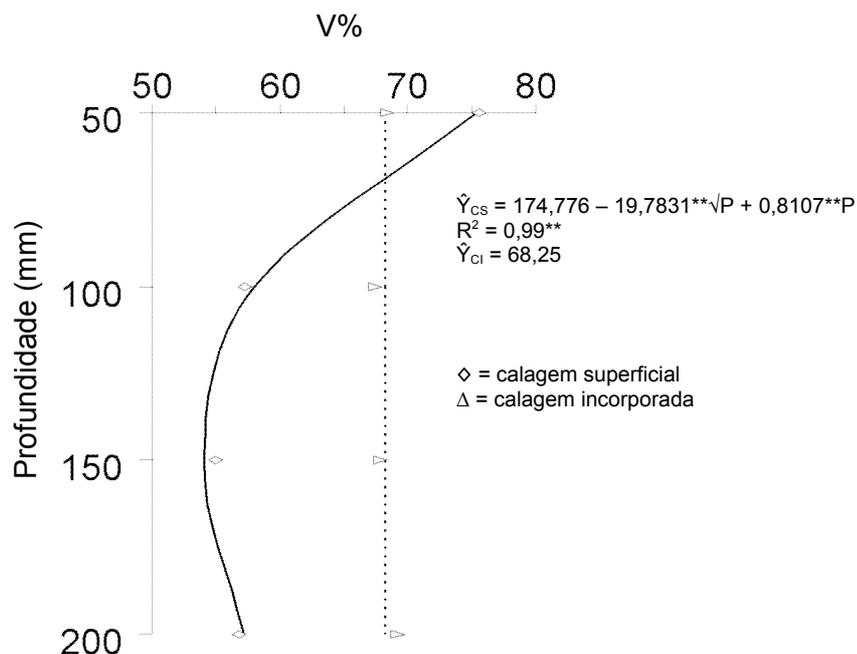


Figura 10. Valores médios de V(%) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico - muito argiloso submetido a dois tipos de calagem.

Araújo (2003) estudando calagem e extratos vegetais hidrossolúveis na movimentação de íons em solo concluiu que o efeito de extratos vegetais hidrossolúveis na movimentação de calcário não é relevante em solos muito argilosos do Brasil Central, mesmo aplicando-se grandes quantidades dos mesmos. Outros mecanismos de movimentação vertical de calcário (fluxo preferencial em macroporos, pedoturbação) provavelmente tem papel preponderante na movimentação de calcário, tal como observada no campo por Lange (2002) que verificou nítida movimentação vertical de calcário em Latossolo muito argiloso do Cerrado. Parece claro, portanto, que embora a movimentação de calcário ocorra em condições reais no campo, ela não pode ser atribuída a extratos vegetais hidrossolúveis oriundos da decomposição da palhada. Presumivelmente, tal movimentação deve ser atribuída a processos físicos que ocorram no campo, tais como fendas no solo, canais de raízes, animais e outros que fazem com que as partículas de calcário atinjam profundidades superiores a 0,2 m, mesmo quando somente aplicado na superfície.

Adicionalmente, Rheinheimer et al. (2000) observaram que não ocorreu movimentação de calcário quando foram aplicadas doses menores que a necessária para neutralizar o Al trocável das camadas superiores. Obviamente, a utilização de doses de calcário acima do recomendado favorece certamente a movimentação vertical do mesmo.

Vários autores têm demonstrado que a calagem associada aos resíduos vegetais favorece a mineralização da matéria orgânica ativando a microbiota do solo e então aumenta os teores de Ca, Mg e aumenta também o pH em profundidade no solo, dentre eles Ziglio et al. (1999). Acredita-se, no entanto, que esse efeito é muito mais devido a degradação da matéria orgânica disponibilizando o Ca contido nos extratos vegetais, o qual obviamente é mais móvel, do que o Ca suprido pelo calcário.

O teor de H+Al aumenta com as doses de ácido cítrico + ativador enzimático até a dose de 4 kg ha⁻¹ e decresce a partir daí. O H+Al encontra-se em maiores quantidades na camada mais profunda do vaso (Figura 11)

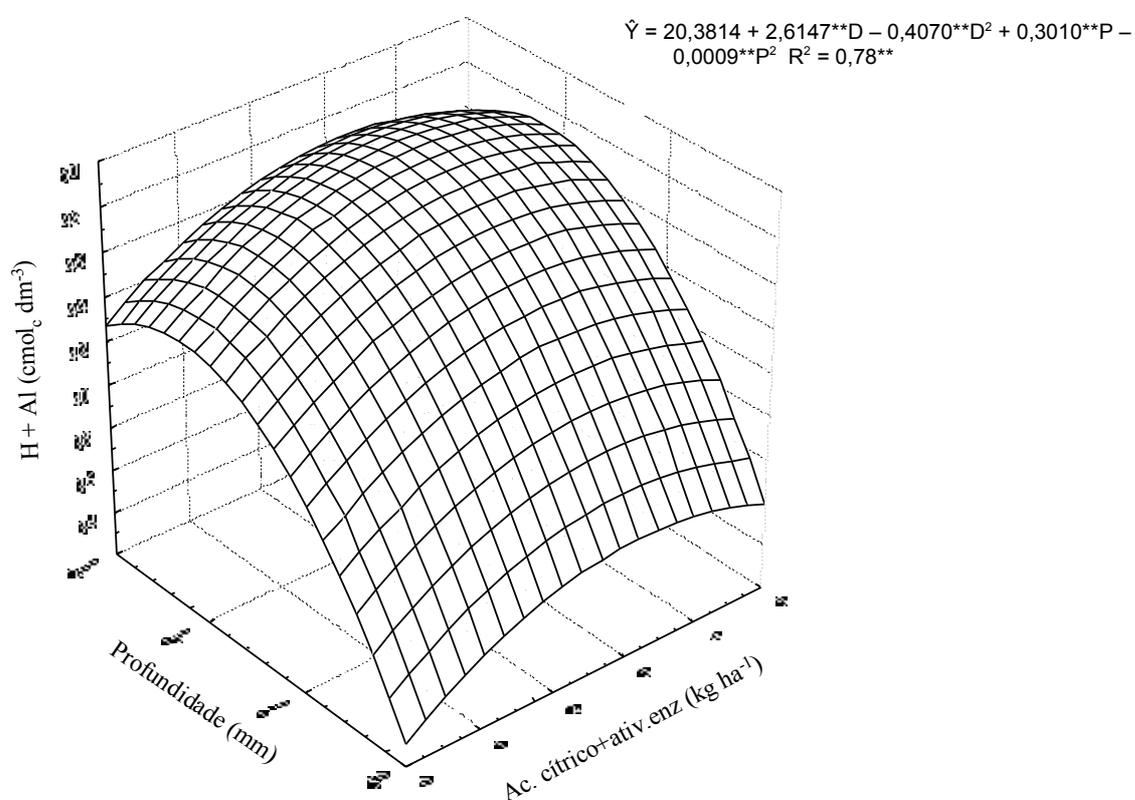


Figura 11. Valores médios de H+Al (mmol_c dm⁻³) em diferentes profundidades de um solo muito argiloso submetido a diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

No Latossolo Vermelho distrófico os teores de K foram mais elevados com o aumento nas doses de ácido cítrico + ativador enzimático (Figura 12). O aumento nas doses de ácido cítrico + ativador enzimático gera cargas positivas no solo que competem

pelos mesmos sítios de adsorção, fazendo com que o K ficasse menos ligado a cargas negativas.

No Latossolo Vermelho distrófico o K teve um decréscimo até os 120 mm de profundidade aproximadamente, começa a aumentar seu teor a partir dessa profundidade, independente do tipo de calagem e das doses de ácido cítrico + ativador enzimático (Figura 13).

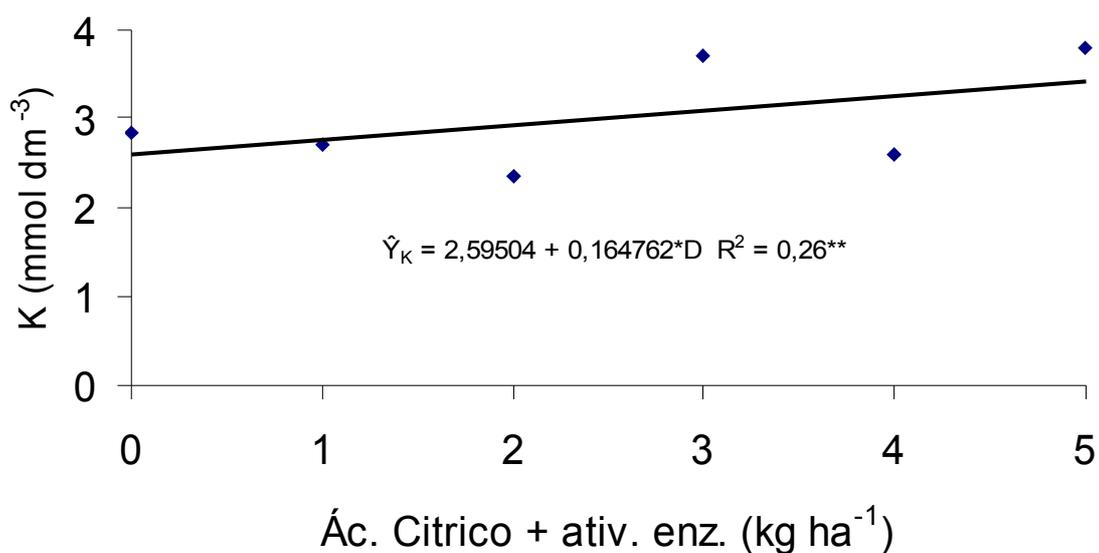


Figura 12. Valores médios de K (mmol_c dm⁻³) em um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a diferentes doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

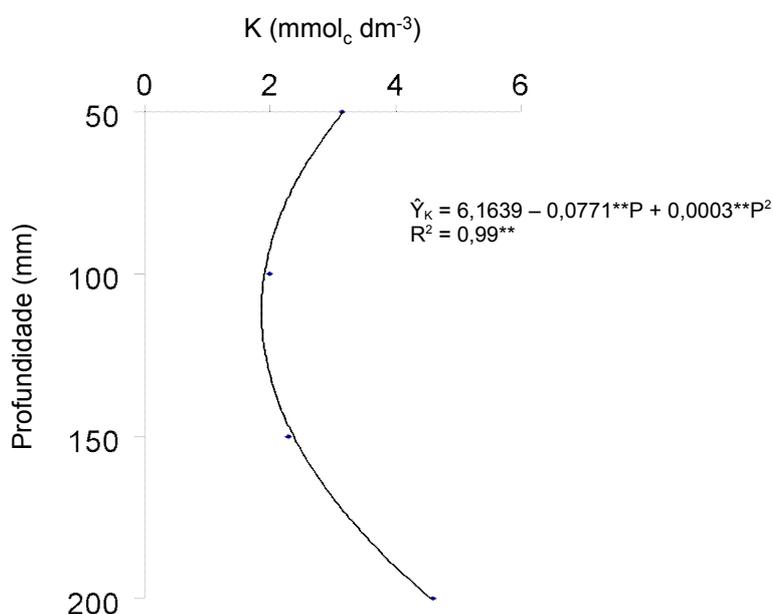


Figura 13. Valores médios de K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em Latossolo Vermelho distrófico - textura média.

Quando a calagem foi incorporada ao solo de textura média os teores de Ca aumentaram com a profundidade. Já, quando a calagem foi aplicada superficialmente os teores de Ca na superfície eram altos, diminuíram nas camadas intermediárias e tiveram um leve aumento na camada mais profunda do solo (Figura 14). O aumento do teor de Ca em profundidade quando a calagem foi incorporada pode ter ocorrido devido ao movimento vertical de Ca nesse solo, já que o mesmo tem textura média e possibilita essa movimentação. O calcário foi distribuído uniformemente no perfil, então qualquer movimento vertical possibilitaria esse comportamento do elemento Ca.

Para a calagem superficial a alta concentração de Ca na superfície do solo fez com que, mesmo que este apresentasse alguma movimentação no perfil, se encontrasse em concentrações mais elevadas na superfície do solo.

O Mg apresenta o mesmo comportamento que o Ca nos dois tipos de calagem para o solo de textura média (Figura 15). É um elemento que apresenta mobilidade no solo semelhante ao Ca, sendo passível da mesma explicação.

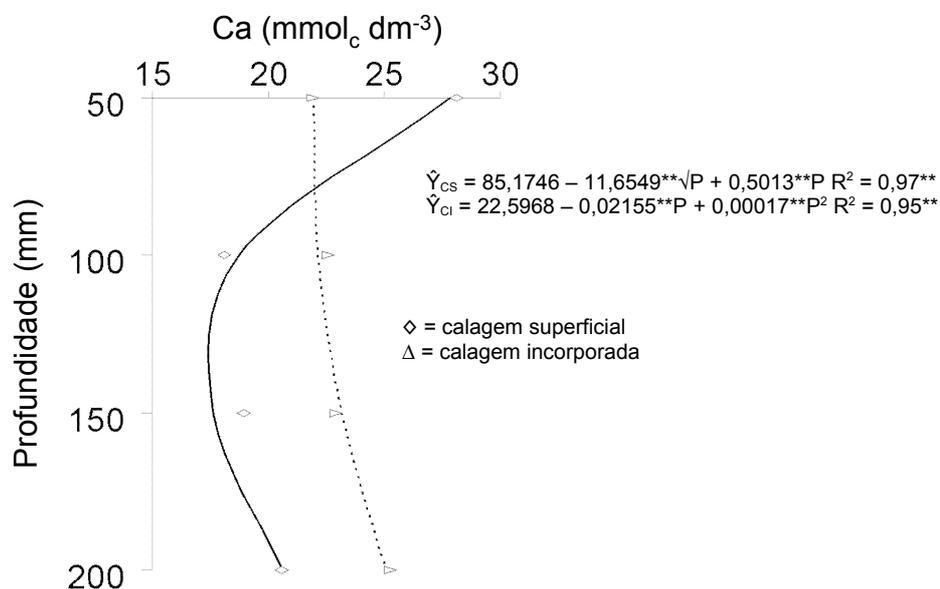


Figura 14. Valores médios de Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.

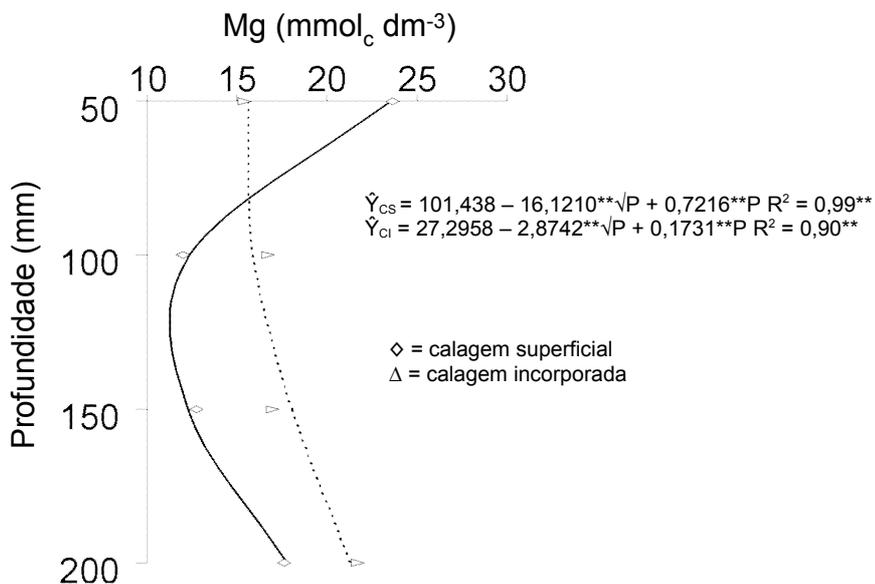


Figura 15. Valores médios de Mg (mmol_c dm⁻³) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.

Ziglio et al. (1999) e Lange (2002) observaram que a aplicação de calcário na superfície de solos arenosos, os quais tenderiam a facilitar a movimentação, não alterou significativamente a composição química das camadas inferiores do solo, sendo que grande parte do Ca e do Mg permaneceu na superfície sem reação.

Caïres et al. (1999) estudaram a movimentação de calcário em Latossolo Vermelho distrófico textura média e observaram, em condições de campo, aumentos no pH e nos teores de Ca e Mg e diminuição da toxidez por Al após a aplicação de calcário em superfície. Em alguns casos esses efeitos foram observados até 0,6 m de profundidade após 18 meses de aplicação de calcário em superfície. Rheinheimer et al. (2000) também observaram a movimentação vertical de calcário, embora muito menor do que a observada por Caïres et al. (1999).

Pavan e Oliveira (1997) relatam que em certos casos ocorre o movimento de calcário e em outros não. A aparente confusão é atribuída a condições experimentais, tipo e quantidade de cargas do solo, CTC dependente de pH, e teor e natureza dos grupos reativos da matéria orgânica. Eles consideram ainda que existem dois tipos de movimentação: a que eleva pH, teores de Ca e Mg, e a que não eleva o pH, só aumentando Ca e Mg.

Quando a calagem foi incorporada não houve diferença no teor de Al nas diferentes profundidades. Já, para a calagem superficial os teores de Al foram menores nas camadas mais superficiais do solo e aumentaram nas camadas intermediárias (Figura 16). Isso mostra que a calagem incorporada corrigiu o solo em todo seu perfil, já a calagem superficial foi eficiente apenas para corrigir o Al na superfície, mostrando que mesmo sendo um solo de textura média a mobilidade do calcário no perfil do solo foi pequena.

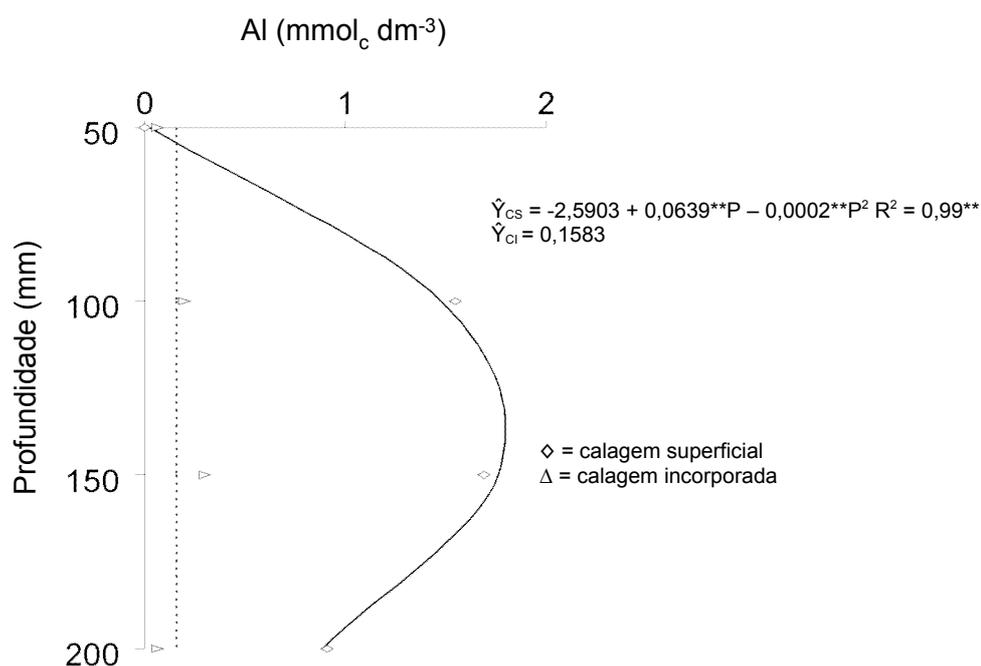


Figura 16. Valores médios de Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.

O H+Al teve um comportamento linear para a calagem incorporada aumentando com a profundidade. Já, para calagem superficial o teor de H+Al na superfície do solo foi menor, aumentou na camada intermediária e depois volta a cair (Figura 17).

Para o solo de textura média pode-se observar que há uma maior concentração de bases na superfície do solo para os dois tipos de calagem (Figura 18). Quando a calagem foi superficial a Soma de bases (SB) diminui na camada de 10-15 cm e então volta a aumentar. Na calagem incorporada a SB aumentou com a profundidade do solo, isso deve-se a uma possível movimentação do calcário no perfil do solo, pois este tem uma textura mais arenosa.

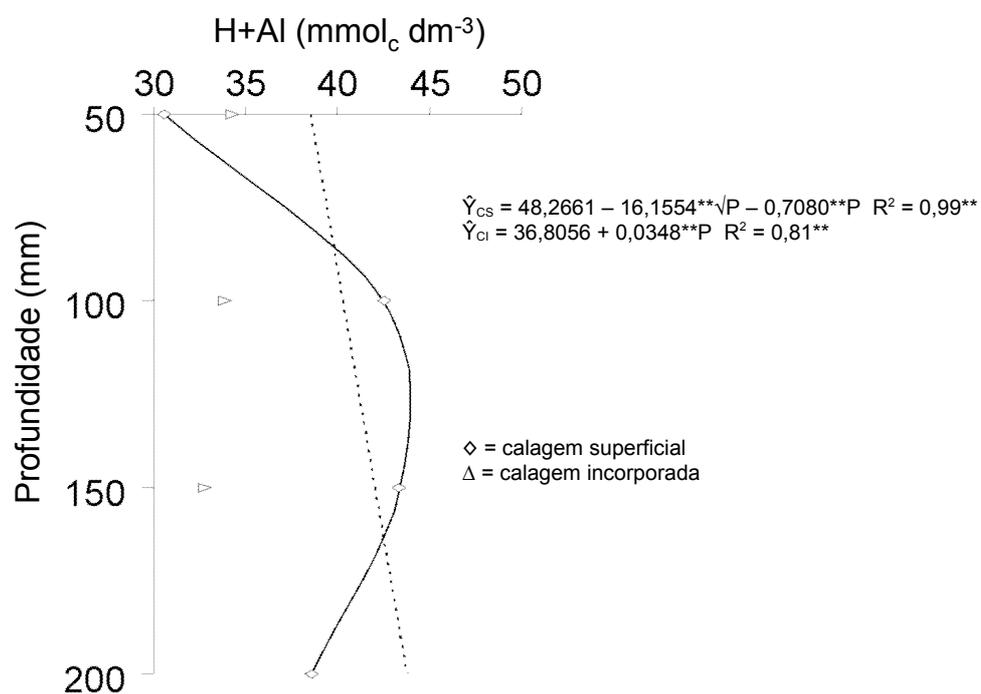


Figura 17. Valores médios de H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.

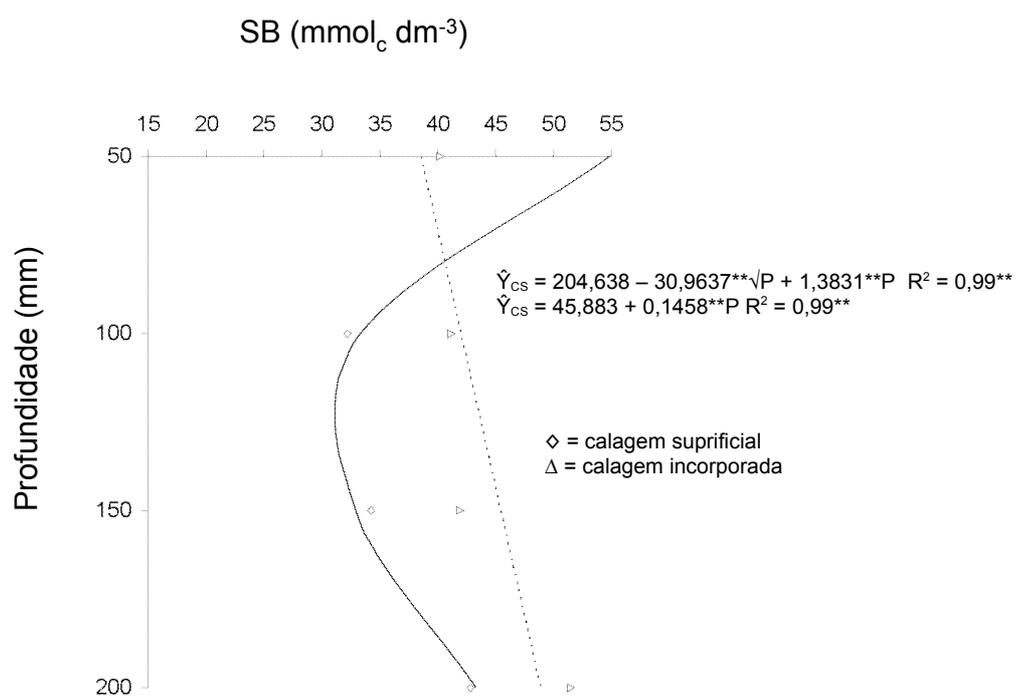


Figura 18. Valores médios de SB ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.

Na calagem incorporada a CTC aumentou com a profundidade (Figura 19). Esse comportamento pode ter ocorrido devido a maior concentração de Al e SB nas camadas mais profundas do solo.

Para a calagem superficial a CTC foi mais elevada na superfície do solo e decresceu na camada intermediária do solo, esse fato deve-se, provavelmente, a alta concentração de Ca e Mg nas camadas superficiais desse solo.

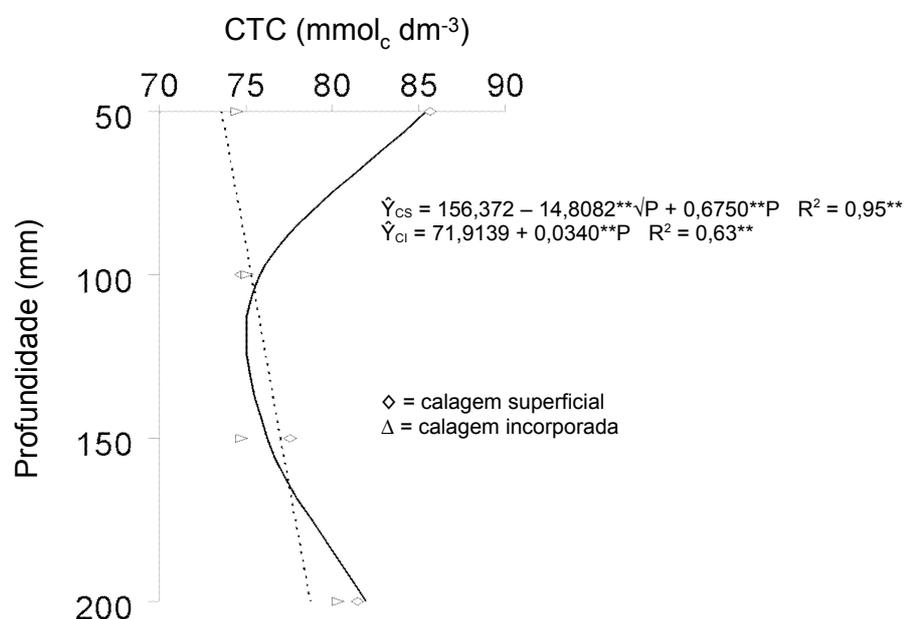


Figura 19. Valores médios de CTC ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.

Os valores de V% foram menores nas camadas mais superficiais quando o solo de textura média foi submetido à calagem incorporada, e aumentou com a profundidade do solo (Figura 20). Quando a calagem foi aplicada superficialmente o V% foi maior na camada superficial em comparação a calagem incorporada, mas decresce na camada de 10.

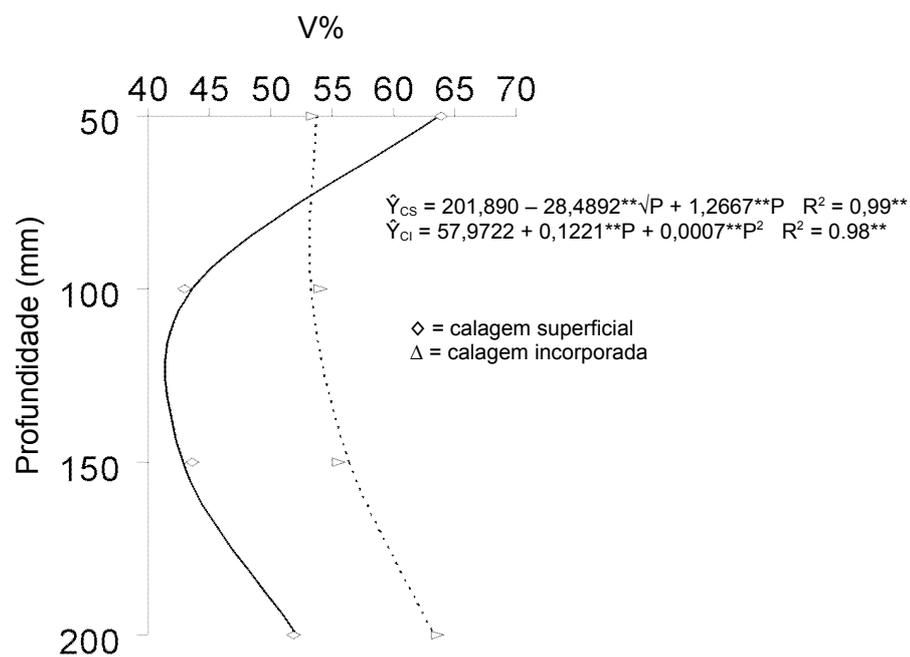


Figura 20. Valores médios de V (%) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho distrófico - textura média submetido a dois tipos de calagem.

4 Conclusões

Nas condições em que o presente trabalho foi desenvolvido pode-se concluir que:

O Al e H+Al aumentam com as doses de ácido cítrico + ativador enzimático quando a calagem é superficial no Latossolo Vermelho distróférico;

Para calagem incorporada não ocorre grandes alterações nos teores de Ca e Mg nas diferentes profundidades, porém para calagem superficial os maiores teores de Ca e Mg são observados na superfície do solo para os dois solos;

A presença de Al e H+Al no Latossolo Vermelho distrófico indica que embora possa ter uma movimentação vertical de calcário nesse solo, esta não é suficiente para corrigir o solo em profundidade;

No Latossolo Vermelho distrófico os teores de K são maiores com o aumento nas doses de ácido cítrico + ativador enzimático.

5 Bibliografia citada

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H. e NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1003-1011, 2003.

ARAÚJO, A. R. Calagem e extratos vegetais hidrossolúveis na movimentação de íons em solo. Lavras, 84p., 2003. **(Dissertação de Mestrado)**

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. e MALAVOLTA, E. Alterações químicas em solos ácidos após aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 533-542, 1999.

FRANCHINI, J. C.; GONZALEZ-VILLA, F. J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. e PAVAN, M. A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in a acid Oxisol. **Plant Soil**, v. 231, p. 55-63, 2001.

HEDLEY, M. J.; HUSSIM, A. e BOLAN, M. S. New approaches to phosphorus fertilization. In: **Symposium of phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania**, 1. Filipinas, 1990. Proceedings... Filipinas, IRRI, 1990. p.125-142.

LANGE, A. Palhada e nitrogênio afetando as propriedades do solo e rendimento de milho em sistema plantio direto no cerrado, UFLA, Lavras, 148p., 2002. **(Dissertação de Mestrado)**.

LOPES, A. S. e COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under cerrado vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 4, p. 742-746, 1977.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas Multireferencial**. Campo Grande, 1990. 28p.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. e CALEGARI, A. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxysol. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH 4., 1996. Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: SBCS-EMBRAPA-CPAC, 1996. p.8.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J.D. e LOURENÇO, S. Método de pesquisa em fertilidade de solos. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253..

PEARSON, R. G. Acids and Bases. **Science**, v. 151, p. 172-177, 1966.

PAVAN, M. A.; BIGHAM, F. T. e PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M. A. e OLIVEIRA, E. L. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: IAPAR, 86p., 1997. (IAPAR, Circular, 95).

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do Solo e Adubação**. Piracicaba, Ceres: POTAFÓS, 1991. 334p.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C. e 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.4, p. 797-805, 2000.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema Plantio Direto. In: SIQUEIRA, J. O. ET AL (Ed). **Interrelação fertilidade do solo, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS-UFLA, p. 267-319, 1999.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University, 1989. 277p.

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M. e PAVAN, M. A. Formas orgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives Biology Technology**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 257-262, 1999.