INSTITUTO AGRONÔMICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO EM PLANTIO DIRETO APÓS CALAGEM

LAURA IANELLO GIASSETTI AGUIAR

Orientadora: Isabella Clerici De Maria

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais

Campinas, SP
Dezembro, 2007

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br

IAC
INSTITUTO AGRONÔMICO

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

PÓS-GRADUAÇÃO
AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

TÍTULO: **Propriedades físico-hídricas do solo em plantio direto após calagem**

Aluno(a): **Laura Ianello Giassetti Aguiar**
Processo SAA nº. **12119/06**

Orientador(a): **Isabella Clerici De Maria**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dr.(a) Isabella Clerici De Maria - IAC

Dr.(a) Paulo Leonel Libardi - ESALQ/USP

Dr.(a) Márcio Koiti Chiba - IAC

Campinas, 20 de dezembro de 2007

Visto:

Ana Maria M.A. Lagôa
Coordenadora
Pós-Graduação Instituto Agronômico

Aos meu pais
Sandra e José
DEDICO

Ao Fábio,
pelo amor e apoio

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- À pesquisadora científica Dra. Isabella Clerici De Maria pela orientação, dedicação e exemplo;
- Ao pesquisador científico Dr. Cristiano Alberto de Andrade pela oportunidade e auxílio;
- Ao Professor Doutor Paulo Leonel Libardi pela orientação durante minha graduação;
- Aos pesquisadores científicos do Centro de Conservação do Solo, Dra. Sonia Carmela Falci Dechen, Dr. Sidney Rosa Vieira, Dr. Ricardo Marques Coelho, Dr. Sandro Roberto Brancalião e Dr Márcio Koiti Chiba agradeço pelo exemplo de dedicação e pelos ensinamentos diários;
- Aos funcionários do Centro de Conservação do Solo, Regina, Maria Elizabeth, Luzia, Antonio, Carlos e João pela ajuda sempre presente;
- Aos funcionários e estagiários das APTAs de Assis (SP) e Mococa (SP) pelo empenho, sem os quais teria sido impossível a realização desse trabalho;
- À Prof ª Dr ª Mara de Andrade Marinho Weill e ao Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza, docentes da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, pela oportunidade de estágio docência;
- À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos;
- A Agrisus pelo financiamento do projeto;
- Aos colegas de república Juliano, Flávia, Silvia e Márcia pela grande amizade;
- A todos amigos pela presença;
- A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho;
- Aos meus pais, José e Sandra, e minha irmã, Mariana, pelo apoio incondicional;
- A toda minha família pelo apoio;
- Ao meu marido, Fábio, por estar sempre a meu lado;
- Ao meu avô Orlando (*in memorian*) pelo exemplo de vida;

AGUIAR, Laura Ianello Giassetti. **Propriedades físico-hídricas do solo em plantio direto após calagem**. 2007. 65f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós graduação – IAC.

RESUMO

Neste trabalho, avaliou-se o efeito de doses e da forma de aplicação de calcário sobre propriedades físico-hídricas do solo na implantação do sistema plantio direto, para verificar se a incorporação e a dose mais elevada sobre a superfície do solo podem ser utilizadas sem causar degradação da estrutura. Foram realizados dois ensaios de campo, em blocos ao acaso com parcela subdividida, compostos de três doses de calcário (zero, dose recomendada e quatro vezes a dose recomendada), duas formas de aplicação (incorporado e superficial) e quatro repetições em um Latossolo Vermelho férrico e um Nitossolo Vermelho. Foram avaliados o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água, a densidade, porosidade, condutividade hidráulica do solo saturado, grau de floculação, condutividade elétrica, armazenagem de água e resistência do solo à penetração. Os resultados foram semelhantes nos dois tipos de solo e conclui-se que (i) a forma de aplicação e a adição de doses mais elevadas de calcário não foram fatores determinantes de alteração dos atributos avaliados e (ii) não houve impacto negativo nas propriedades físico-hídricas do solo com a incorporação e com a dose de quatro vezes a recomendação de calcário.

Palavras-chave: preparo do solo, doses de calcário.

AGUIAR, Laura Ianello Giassetti. **Soil physical and hydraulic properties under no-tillage system after liming**. 2007. 65f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós graduação – IAC.

ABSTRACT

In this work, the effect of levels and form of lime application on soil physical properties, in the indroduction of no-tillage system, were evaluated, to verify if the lime incorporation and the highest levels on soil the surface could be used without degradation of the structure. The field experiment was carried out, in block design with split-plot, three liming levels (zero, recommended level and four times the recommended level), two forms of lime application (incorporated and superficial) and four replication in two acid soils, an Oxissol and an Ultissol. The following soil properties were evaluated: weighed average diameter of steady aggregates in water, bulk density, porosity, saturated hidraulic conductivity, degree of soil clay flocculation, electrical conductivity, soil water storage and resistence of soil to penetration. Results were similar for the two soils and the conclusions were: (i) forms (on surface or incorporated) and levels of application were not fundamental changing factors of the evaluated attributes and (ii) there was no negative impact on soil physical and hydraulic properties with lime incorporation and also with a level four times the recommended.

Key-words: soil tillage, lime levels.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8
3 OBJETIVOS 15
4 HIPÓTESES DE TRABALHO 16
5 MATERIAL E MÉTODOS 16
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 16
5.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 18
5.3 AVALIAÇÕES DAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO 18
5.3.1 Curva de retenção da água no solo 19
5.3.2 Condutividade hidráulica 20
5.4.3 Estabilidade de agregados 24
5.3.4 Tensiometria 25
5.3.5 Granulometria 26
5.3.6 Argila dispersa em água 26
5.3.7 Condutividade elétrica 26
5.3.8 Resistência do solo à penetração 26
5.4 ANÁLISE DE DADOS 27
6 RESULTADOS 27
6.1 LATOSSOLO VERMELHO FÉRRICO 28
6.1.1 Parâmetros físicos 29
6.1.2 Parâmetros hídricos 36
6.2 NITOSSOLO VERMELHO 43
6.2.1 Parâmetros físicos 45
6.2.2 Parâmetros hídricos 51
7 DISCUSSÃO 55
8 CONCLUSÕES 61
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61
ANEXOS 67

1 INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) apregoa o não revolvimento do solo e a manutenção de uma camada de cobertura vegetal morta na superfície como importantes ferramentas para a melhoria da qualidade do solo. Sua importância é admitida em muitas regiões produtoras de grãos no Brasil como um sistema de produção conservacionista que reduz as perdas de solo e fertilizantes, incrementando a produtividade e respeitando o ambiente. Seus efeitos mais evidentes são aumento no conteúdo de matéria orgânica a longo prazo e melhoria da estruturação do solo. Em contrapartida, o sistema convencional de cultivo não só expõe a superfície do solo, o que pode levar a graves problemas relacionados à erosão, mas também, pelo revolvimento freqüente, impede a consolidação de uma rede de poros e acelera a queima de matéria orgânica.

Por não haver revolvimento do solo no SPD, algumas práticas tradicionais na implantação das culturas têm merecido cada vez mais atenção para a correta avaliação de seus efeitos. Dentre elas destaca-se a aplicação de corretivos. Em geral estudos sobre a aplicação superficial do calcário priorizam as avaliações químicas, restringindo a avaliação das características e propriedades físicas e hídricas do solo a poucos parâmetros de análise (geralmente densidade e porosidade).

Assim, com a finalidade de verificar os efeitos da forma de aplicação, incorporado ou em superfície, e de doses de calcário em atributos físicos e hídricos do solo, foram instalados dois ensaios, em diferentes solos: um Latossolo Vermelho férrico de textura argilosa e um Nitossolo Vermelho de textura média. Neste estudo os atributos físicos avaliados foram: diâmetro médio dos agregados estáveis em água, densidade do solo, grau de floculação da argila, resistência do solo à penetração, porosidade, curva de retenção da água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado sistema de preparo do solo em duas épocas, 24 e 48 semanas após a aplicação do calcário.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo PRADO (2003), a acidez dos solos tropicais nas regiões de expansão do sistema plantio direto constitui um dos principais fatores que podem limitar a expressão potencial produtiva das espécies cultivadas. PRADO & ROQUE (2002) indicam que a incorporação profunda do calcário no início da adoção do sistema de plantio direto exerce efeito benéfico na produção agrícola. Porém, a prática da calagem superficial, sem incorporação, tem sido utilizada especialmente nas áreas com sistema integração lavoura-pecuária.

A prática da calagem é um dos fatores mais importantes da produção agrícola no Brasil, já que cerca de 70% do território é constituído de solos ácidos, sendo que em 40% a produtividade das culturas é reduzida à metade. Mesmo assim, a média de consumo nos 51 milhões de hectares cultivados é de apenas 0,3 t ha^{-1}, quando deveriam ser usados pelo menos 1 t ha^{-1} por ano em média (QUAGGIO, 2000).

No entanto a calagem excessiva (supercalagem) pode elevar o pH acima dos limites ideais para o desenvolvimento de raízes, além de provocar deficiência de diversos nutrientes, prejudicando também os microrganismos envolvidos no processo, gerando menores ganhos em estruturação. É, portanto, importante determinar se a aplicação do calcário em superfície não promove uma superdosagem nas primeiras camadas do solo, especialmente de 0 a 0,05 m (MELLO et al., 2003).

MELLO et al. (2003) afirmam que a calagem superficial exerce influência principalmente nos 5 primeiros centímetros de solo, aumentando significativamente o pH, sendo menor sua influência na camada de 0,05 a 0,10 m. Em contrapartida, GARCIA et al. (2004), em um experimento comparando a calagem em plantio direto (calagem superficial) e em cultivo mínimo (com escarificação a 0,25 m para incorporação do calcário), afirmam que é possível evitar a interrupção do plantio direto com a aplicação do calcário em superfície.

CAIRES et al. (2000) verificaram a correção da acidez em camadas superficiais e no subsolo com a aplicação superficial de calcário. Segundo os autores, diversos mecanismos podem estar envolvidos na correção da acidez do subsolo em plantio direto com aplicação de calagem superficial, dentre eles: (a) a formação e migração de $Ca(HCO_3)$ e $Mg(HCO_3)$ para camadas mais profundas, (b) deslocamento mecânico de partículas de calcário por canais formados por raízes mortas e que não são destruídos pela ausência de preparo e (c) migração de

complexos orgânicos hidrossolúveis de cálcio em profundidade, com a substituição do cálcio por alumínio do subsolo, formando complexos mais estáveis, com reações semelhantes ocorrendo para o magnésio.

CASTRO (1989) não observou efeito negativo do calcário alguns anos após a calagem: os cátions podem ter sido absorvidos ou lixiviados, prevalecendo o efeito agregante do Ca^{+2} e Mg^{+2}. Seu trabalho, em um Latossolo Vermelho Escuro, cultivado com citros, em que o último revolvimento foi realizado na ocasião da incorporação do calcário três anos antes da amostragem, mostrou que os tratamentos que receberam calcário apresentaram maior porcentagem de agregados nas duas maiores classes avaliadas (9,5-7,9 e 7,9-6,3 mm), nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Contudo, nesses tratamentos foi encontrado um acréscimo de argila dispersa na camada de 0,10-0,20 m e um decréscimo na camada de 0-0,10 m, evidenciando que nas concentrações mais elevadas de cálcio e magnésio na camada superficial pode ter havido dispersão do solo, com transferência de argila para a camada inferior, caracterizando a chamada erosão vertical, o que teria contribuído para ao aumento da argila dispersa na profundidade de 0,10-0,20 m.

Ainda no trabalho anterior, na camada de 0-0,10 m, foi encontrado coeficiente de correlação positivo significativo entre o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP) e Ca^{+2} e os parâmetros afetados diretamente pela calagem, como pH, soma de bases e saturação por bases e Al^{+3}, sendo que com o último a correlação foi, obviamente, negativa. Observou-se a mesma na camada de 0,10-0,20 m. O Mg^{+2} não apresentou correlação com os índices de agregação, assim como a argila dispersa não apresentou correlação com nenhum dos parâmetros testados. Os resultados ainda mostraram que, na camada de 0,05 m, os valores de densidade foram maiores nos tratamentos que receberam calagem, o que não ocorre a 0,15 m, onde houve grande variação entre os tratamentos, porém sem relação com o calcário aplicado.

Ainda em CASTRO (1989), os resultados no Podzólico Vermelho Amarelo mostraram que houve predomínio de pequenos agregados (nas classes de 1-0,5 e <0,5 mm), sem efeito das doses de calcário na distribuição dos agregados. Entre 0-0,10 m apenas o tratamento com 4 t ha^{-1} de calcário calcítico apresentou DMP superior ao da testemunha, sendo que nos demais tratamentos o DMP foi inferior. Na camada de 0,1-0,2 m todos os tratamentos apresentaram DMP superior ao da testemunha, em especial os que receberam calcário dolomítico. Na profundidade de

0,05 m houve aumento da densidade com o aumento da dose de calcário aplicada, o que não foi observado a 0,15 m de profundidade. Quanto à macro e microporosidade, não houve alteração em função da calagem ou densidade do solo nas duas profundidades. A explicação para a menor agregação do solo Podzólico é constante revolvimento, já que se encontra sob cultivo convencional com plantio de soja, impedindo a formação de agregados mais estáveis, além dos menores teores de argila, o que também confere menor estabilidade.

As diferenças obtidas por ensaios de laboratório e campo quanto aos efeitos da calagem ressaltam a importância de novos estudos. Ao passo que em laboratório há a incubação por um curto período de tempo e sem a presença de fatores naturais como precipitação e absorção pelas raízes, em estudos de campo não é realizado o acompanhamento das etapas iniciais da aplicação, sendo comum a realização de estudos 2 ou 3 anos após a calagem (CASTRO, 1989; ROTH et al., 1986), não havendo, portanto, informações sobre as etapas iniciais do processo. Um exemplo de problema que pode estar acontecendo e não mensurado é o efeito dispersante sobre as argilas apenas em um estágio inicial, agravando o processo de erosão até que haja crescimento vegetal suficiente e estabilização da agregação.

COSTA et al. (2004) não encontraram variação de argila dispersa em água e diâmetro médio geométrico de agregados nos tratamentos com calcário superficial ou incorporado, embora o potencial elétrico na camada superficial tenha passado de (-) 90mV no tratamento sem calcário para (-)118 mV nos tratamentos com calcário, independente da forma de aplicação, indicando maior quantidade de sais solúveis quando há aplicação do corretivo. Esses resultados refletem a importância da matéria orgânica no sistema, já que os teores eram mais elevados na camada superficial, tendo influência na estabilidade de microagregados e influência positiva na atividade microbiana. Os autores ressaltam que o estudo foi realizado 5 anos após a aplicação do calcário e afirmam que pode ter ocorrido uma recuperação das propriedades físicas do solo durante esse período.

ROTH et al. (1986), avaliando um Latossolo Roxo distrófico sob cultivo de café dois anos após a aplicação de calcário, encontraram valores crescentes de infiltração e diâmetro médio ponderado de agregados com o aumento do pH. Houve correlação positiva da porcentagem de agregados com os teores dos cátions trocáveis Ca, Ca+Mg e pH, além de uma correlação negativa com o carbono orgânico. A adição do calcário no solo pode provocar um aumento na atividade biológica,

diminuindo o teor de carbono orgânico com a elevação do pH e elevando a estabilidade dos agregados como resultado da ação dos produtos de decomposição orgânica, que atuam como agentes cimentantes entre as partículas (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

Nos sistemas conservacionistas pode haver perdas contínuas da parte coloidal com a retenção da areia, indicando que embora esse sistema reduza as perdas de solo de forma geral, essa redução não ocorre na mesma proporção quanto à perda de nutrientes, já que a fração responsável pela adsorção dos cátions não deixa de ser carreada (TENGBERG et al., 1997).

Tendo em vista tais informações, conclui-se que é de fundamental importância a avaliação do efeito da calagem superficial no SPD, já que a possibilidade de aumento de dispersão da argila em períodos próximos a aplicação do corretivo pode agravar as perdas de solo, especialmente da fração coloidal, principal responsável pela retenção de nutrientes dos solos.

Estes resultados expressam bem as dúvidas existentes quanto à aplicação do calcário em superfície no sistema de plantio direto, deixando clara a necessidade de novos estudos, especialmente no que se refere à propriedades físico-hídricas do solo, como a estabilidade de agregados, a condutividade de água, a retenção da água no solo, a distribuição de poros e os efeitos na umidade ao longo do tempo.

A estabilidade de agregados é usada como um índice do solo à dispersão, de sua resistência à compactação, porosidade, susceptibilidade à erosão, capacidade de drenagem e da taxa de infiltração de água, sendo uma importante indicação das condições físicas de um solo. O método de análise de agregados fornece um perfil da quantidade e distribuição dos agregados estáveis em água por tamanho. DUFRANC et al. (2004) utilizou agitação lenta dentro da água de amostras de solo por um tempo determinado e as frações da amostra que permaneceram nas classes de tamanho foram usadas para descrever a condição do solo em sistema plantio direto.

A estrutura é de grande importância na quantidade de solo arrastado, havendo dois pontos principais de interesse: (i) as propriedades físico-químicas da argila que permitem que os agregados permaneçam estáveis em presença de água e (ii) as propriedades biológicas causadas pela presença de matéria orgânica em decomposição.

Desta forma, a agregação do solo permite avaliar o processo erosivo e os cátions trocáveis influenciam a agregação do solo por afetar a floculação das argilas,

a interação entre a matéria orgânica e as partículas de argila e a produção e decomposição da matéria orgânica (CERQUEIRA, 1984). BAVER et al. (1973) afirmam que em solos alcalinos, onde prevalecem as relações Ca^{+2} e Na^{+}, a substituição do sódio pelo cálcio melhora as condições estruturais; já em solos ácidos, onde a interação entre cálcio e hidrogênio é predominante, há uma íntima ligação com a presença de matéria orgânica, com a melhoria das qualidades estruturais devido ao aumento desta, como resultado do maior desenvolvimento das culturas após a calagem.

ANGULO (1983) afirma que o aumento da acidez do solo aumenta a estabilidade de agregados, sendo esta uma das características que melhor se relaciona com a erodibilidade dos solos. Segundo EL SWAIFY (1980), em pH natural a caulinita apresenta predomínio de cargas positivas e a coexistência de cargas positivas e negativas explica a forte tendência dos colóides flocularem e a calagem, ao aumentar as cargas negativas do solo, pode reduzir as ligações intra-agregados, prejudicando a estrutura do solo.

A floculação das argilas é um processo também ligado à estabilidade da agregação do solo e é função do pH e da natureza e concentração dos eletrólitos presentes na solução do solo. Com a redução do pH há uma diminuição das cargas negativas favorecendo a aproximação das partículas e a floculação; quando o pH aumenta, há aumento de cargas negativas e aumento da repulsão e dispersão (CASTRO, 1989). Assim sendo, a medida de argila dispersa em água é um parâmetro útil na avaliação dos efeitos de diferentes doses de calcário aplicadas no solo.

Tão importante quanto a estabilidade de agregados, a retenção de água é um parâmetro imprescindível na caracterização de um solo e na identificação de possíveis alterações. O termo *curva de retenção* refere-se ao gráfico que relaciona o conteúdo de água no solo com o potencial mátrico da água no solo. O conteúdo de água é um índice que diz a quantidade de água presente no solo e o potencial mátrico é uma medida da energia de retenção da água pela matriz do solo.

Em seu trabalho de busca de uma equação para quantificar o movimento da água no solo sob condições de não saturação, BUCKINGHAM (1907) foi quem introduziu de maneira indireta na ciência do solo essa relação entre o conteúdo de água e o potencial mátrico. A metodologia de determinação da curva de retenção teve seu início aparentemente, como o trabalho de HAINES (1930) que utilizou um

funil munido de placa porosa na parte inferior do seu corpo com o qual fixava valores de potencial mátrico ou tensão da água no solo e media os conteúdos de água correspondentes após o equilíbrio. Por isso, o funil de placa porosa comercial disponível no comércio é também chamado de *funil de Haines* (LIBARDI, 2000) e é usado para determinação da parte mais úmida da curva de retenção (valores de tensão menores que 10 kPa). Posteriormente, RICHARDS (1941, 1947, 1949) desenvolveu a câmara de pressão de placa porosa para medida de tensões maiores (10 a 2000 kPa) também conhecida pelo nome *câmara de pressão de Richards*. Atualmente esses dois aparelhos são equipamentos de rotina para determinação da curva de retenção nos laboratórios de física do solo. Algumas variações do funil podem ser encontradas (mas o princípio teórico é o mesmo) com os nomes de, por exemplo, mesa de tensão, tanque de areia, etc. (KUTILEK & NIELSEN, 1994). É importante esclarecer que a curva de retenção pode ser obtida por secamento ou por molhamento, resultando no fenômeno da histerese (POULOVASSILIS 1983, KLUTE 1986). Nesse contexto, para a utilização prática dos resultados, há necessidade de se especificar o ramo da curva que se está utilizando (MORAES, 1991).

A importância do conhecimento da curva de retenção completa de um solo (de 0 a 1500 kPa) é indiscutível pois, além de refletir o comportamento da água no solo em termos de disponibilidade de água para as plantas, é também o reflexo de propriedades físicas do solo importantes como textura, estrutura, distribuição de poros, consistência, etc. (SHARMA & UEHARA, 1968; REEVE et al. 1973; RAWLS & PACHEPSKY, 2002). Além disso, no que diz respeito à condução da água pelos solos, a curva de retenção pode ser uma alternativa à medida direta da condutividade hidráulica do solo em função do conteúdo de água no solo, isto é, pode-se calcular teoricamente esta função a partir de dados de retenção da água mais facilmente medidos no campo ou laboratório (CHILDS & COLLIS-GEORGE, 1950; BURDINE, 1953; MARSHALL, 1958; MILLINGTON & QUIRK, 1961; MUALEM, 1976; GENUCHTEN, 1980).

BOUMA (1982) ressalta a importância da continuidade da rede de poros para o fluxo de água no solo, sendo que poros pequenos podem conduzir melhor a água desde que formem uma rede contínua, enquanto que poros maiores podem não contribuir para o fluxo, caso apresentem uma descontinuidade. Assim, não é só o diâmetro dos poros, mas também a continuidade destes que interfere no processo de redistribuição.

Assim como a estrutura, a textura tem um papel fundamental na retenção de água, pois ela, diretamente, determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água e determina as proporções de poros de diferentes tamanhos. A estrutura também afeta a retenção de água, pois ela determina o arranjo das partículas, que por sua vez vai determinar a distribuição de poros (REICHARDT & TIMM, 2004). A capacidade de penetração de água num solo é, em grande parte, condicionada pela quantidade e pela qualidade (diâmetro e continuidade) de seus poros. Isso significa que a distribuição textural e a geometria do espaço poroso são de fundamental importância para o movimento da água no solo (FERNANDES et al., 1983).

Desta forma, complementar à retenção de água no solo, a condutividade da água também é um parâmetro muito importante na caracterização dos processos físico-hídricos do solo. A condutividade hidráulica é o coeficiente de proporcionalidade entre a densidade de fluxo e o gradiente de potencial total da água no solo, equação de Darcy-Buckingham, sendo uma propriedade do solo que expressa a magnitude com que a água é transportada através do solo (LIBARDI, 2005).

Sob condições de laboratório, tanto a metodologia de determinação da condutividade hidráulica do solo saturado, por meio do permeâmetro de carga constante (KLUTE, 1986) - que é uma reprodução do experimento de Darcy para amostras pequenas - como a metodologia de determinação da curva de retenção por meio de funis e câmaras de pressão com placa porosa, são as mais utilizadas (MELO FILHO, 2002).

Outro fator no que se refere aos efeitos do calcário é a umidade do solo. A atividade do calcário aplicado está diretamente relacionada à disponibilidade de água no solo, uma vez que a solubilização dos carbonatos de cálcio e magnésio necessita de água e gás carbônico para ocorrer (QUAGGIO, 2000). Considerando que a quantidade de gás carbônico dissolvido no na solução do solo é suficiente para que ocorra a reação, tem-se a água como fator limitante.

Na medida indireta de umidade no campo é utilizada com freqüência a técnica de tensiometria. O princípio de funcionamento do tensiômetro é muito semelhante ao do funil de Haines, sendo a principal diferença que no caso do tensiômetro, leva-se a placa porosa para junto da amostra de solo, uma vez que o objetivo principal do tensiômetro, ao contrário do funil, não é a determinação da curva de retenção, e sim a medida do potencial mátrico no local de interesse. O

importante nesse caso é que na ocasião da instalação o solo esteja o mais próximo possível da saturação, permitindo um bom contato entre a cápsula e o solo para que através dos poros da parede da cápsula a solução do tensiômetro entre em contato hidráulico e se equilibre com a solução do solo (LIBARDI, 2005).

Assim sendo, a utilização de tensiômetros é bastante interessante, já que por meio das medidas de potencial em que a água encontra-se retida pode-se chegar à valores de umidade do solo utilizando a curva de retenção de água, fornecendo um bom detalhamento sobre a umidade no solo, até um máximo de tensão de aproximadamente 0,85 atmosfera (LIBARDI, 2005).

Dos diversos métodos capazes de medir o estágio energético da água no solo, sob condições de campo, os tensiômetros têm sido um dos mais utilizados, por ser de determinação e leitura rápidas, preciso, simples e barato. Com os tensiômetros convencionais, de uso mais comum, utiliza-se o mercúrio metálico como manômetro e isto tem se apresentado como um problema do instrumento, uma vez que, associado ao uso do mercúrio, têm-se danos à saúde de quem o manuseia, risco de poluição ambiental e dificuldade de manutenção. Segundo ASSIS JÚNIOR (1995), tendo em vista estes problemas, faz-se necessário a avaliação de outros instrumentos, tais como leitura direta pela câmara de ar.

MORAIS (2000) testou, em condições de campo, o transdutor de pressão (tensímetro digital de punção) acoplado ao tensiômetro de câmara de ar, comparando com o manômetro de mercúrio, e verificou que os tipos de medidor registraram potenciais significativamente diferentes em valores de tensão. Porém, como ferramenta para a interpretação do efeito do calcário, extremamente dependente da umidade do solo, o transdutor de pressão digital serve aos propósitos estabelecidos.

3 OBJETIVOS

Avaliar o efeito de doses de calcário e forma de aplicação de corretivo sobre propriedades fisico-hídricas do solo na implantação sistema plantio direto.

4 HIPÓTESES DE TRABALHO

Para a realização do presente estudo ficaram definidas as seguintes hipóteses:

(i) Há diferenças nas propriedades físico-hídricas do solo provocadas pela forma e quantidade de calcário aplicado;

(ii) A aplicação de quatro vezes a dose recomendada de calcário, incorporada ou em superfície, provoca prejuízos à estruturação do solo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área experimental

Foram escolhidas duas áreas para a implantação do ensaio. No município de Palmital, SP, o ensaio foi instalado em novembro de 2005 em uma área antes ocupada por um reflorestamento que foi removido para o plantio de soja em cultivo convencional no verão de 2005/2006, em um solo classificado como Latossolo Vermelho férrico de acordo com EMBRAPA (1999) (BOGNOLA et al., 2003).

Em Mococa, SP, a área escolhida, classificada como um Nitossolo Vermelho (TORRADO & LEPSCH, 1993; EMBRAPA, 1999), vinha sendo ocupada por pastagens e o ensaio foi implantado em março de 2006 como parte de um programa de recuperação de pastagens com a utilização do plantio direto. Os dados referentes à caracterização química são apresentados na tabela 1.

Com base nos valores apresentados na tabela 1 foi realizado o cálculo da necessidade de calcário para elevar a saturação por bases a 60%, conforme a tabela 2.

Tabela 1: Características químicas dos solos das áreas experimentais localizadas nos municípios paulistas de Palmital e Mococa.

Identificação	Camada	PH $CaCl_2$	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	S.B.	CTC	V
	m	-	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	---------- $mmol_c$ dm^{-3} ----------						%
Palmital-SP	0-0,2	5,0	37	11	1,2	13	10	38	24,2	62,3	39,0
	0,2-0,4	4,8	25	19	0,7	6	4	38	10,7	48,8	22,0
Mococa-SP	0-0,2	4,8	33	7	1,8	18	10	38	29,8	67,8	44,0
	0,2-0,4	4,7	27	3	1,0	13	6	34	20,0	54,0	37,0

Tabela 2: Doses de calcário utilizadas nos experimentos.

Identificação	Calcário (t ha^{-1})	
	Palmital-SP	Mococa-SP
Zero (Controle)	0,0	0,0
Dose Recomendada *	1,3	1,1
4 x a Dose Recomendada	5,2	4,4

*Dose calculada para elevar a saturação por bases a 60%.

Para a correção da acidez foi utilizado calcário dolomítico de PRNT de 91 e 95% para o Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho respectivamente (Tabela 3). A aplicação do corretivo foi realizada manualmente para maior uniformidade e a incorporação foi feita com grade a 0,20 m de profundidade. Durante toda a condução do ensaio as operações de cultivo foram realizadas com os implementos usualmente empregados por produtores rurais.

Tabela 3: Principais características dos calcários utilizados nos experimentos instalados nos municípios paulistas de Palmital e Mococa.

Características dos calcários	Palmital-SP	Mococa-SP
CaO + MgO (%)	52	50
CaO (%)	39	36
MgO (%)	13	14
PN (%)[1]	102	98
RE (%)[2]	89	97
(Peneiras ABNT 10, 20 e 50)	(100 %, 93 %, 80 %)	(100 %, 98 %, 94 %)
PRNT (%)[3]	91	95

[1] PN – poder de neutralização do corretivo, expresso em porcentagem equivalente de carbonato de cálcio puro; [2] RE – taxa de reatividade do corretivo, definida em função do grau de moagem ou tamanho das partículas; e [3] PRNT – poder relativo de neutralização total, calculado em função dos valores de PN e RE: PRNT (%) = (PN x RE) / 100.

5.2 Delineamento Experimental

Os ensaios foram implantados segundo o delineamento em parcelas subdivididas em blocos casualizados com dois sistemas de aplicação de calcário (em superfície e incorporado), cinco doses de calcário (zero, dose recomendada, duas, três e quatro vezes a dose recomendada) em seis blocos. Para a avaliação das propriedades físico-hídricas foram escolhidas três doses (zero, dose recomendada e quatro vezes a dose recomendada) em quatro blocos, definindo-se três profundidades de amostragem (0,05, 0,15 e 0,30 m).

As parcelas têm a dimensão de dez metros de comprimento (no sentido do declive) e quinze metros de largura.

Assim sendo, o ensaio ficou constituído de 4 blocos, 2 formas de aplicação (parcelas) e 3 doses de calcário (sub-parcelas).

Como se trata de um experimento de longa duração, em que extensas amostragens nesta etapa inicial trariam prejuízos às amostragens futuras, optou-se por não realizar repetições de amostras dentro das parcelas.

5.3 Avaliações das Propriedades Físico-Hídricas do Solo

A definição das profundidades de amostragem do solo foi feita segundo a profundidade de incorporação de calcário e da máxima profundidade atingida pela frente de alcalinização do solo. O calcário foi incorporado a 0,20 m e segundo MELLO et al. (2003) a frente de alcalinização pode atingir profundidades de 0,10 m.

Assim, foram definidas as profundidades de 0,05 m (que avalia a aplicação superficial e incorporada na camada de 0 a 0,10 m), 0,15 m (em que é possível avaliar os efeitos do calcário incorporado na camada de 0,10 a 0,20 m) e a profundidade de 0,30 m (avaliando a frente de alcalinização do calcário incorporado na camada de 0,20 a 0,40 m).

A primeira amostragem foi feita no canto inferior esquerdo da parcela e a segunda amostragem no canto inferior direito, sempre na entrelinha. A sistematização das amostragem teve o objetivo de evitar a influência de locais amostrados em futuras avaliações.

As avaliações de estabilidade de agregados e condutividade elétrica foram feitas em duas épocas de amostragem (primeira e segunda coleta, às 24 e 48 semanas após a instalação do ensaio), a granulometria foi analisada apenas para a primeira coleta, a retenção e a condutividade na segunda coleta. No ensaio de Mococa a umidade do solo foi monitorada indiretamente com a utilização de tensiômetros por um período de um mês no primeiro trimestre de 2007.

5.3.1 Curva de retenção da água no solo

Para a análise da curva de retenção de água no solo foi retirada uma amostra indeformada, coletada em anel de 100 cm^3, em cada uma das parcelas, nas profundidades de 0,05, 0,15 e 0,30 m, num total de 72 amostras por época de amostragem. A amostra retirada foi utilizada na obtenção da curva de retenção, sendo submetida às pressões de 0,5, 1, 3, 5, 6 KPa (na mesa de tensão) e 10, 30, 50, 100 e 1500 KPa (câmara de pressão de Richards). Este procedimento exige cautela no manuseio das amostras, a fim de que não seja perdido material e não ocorra a desestruturação da amostra.

O ajuste da curva de retenção foi feito segundo o modelo de VAN GENUCHTEN (1980) utilizando o software SWRC (DOURADO NETO et al., 1998), versão 3.00, conforme a equação abaixo:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha \times (-\phi_m))^n\right]^m} \quad (1)$$

em que m, n e α são parâmetros de ajuste da equação, ϕ_m é o potencial mátrico, θ é a umidade em função da tensão (módulo do potencial mátrico), θr é a umidade residual e θs é a umidade de saturação.

A curva de retenção da água no solo também fornece informações importantes sobre a distribuição dos poros do solo. À semelhança de KLEIN & LIBARDI (2002), considerou-se três classes de poros (Tabela 3).

Tabela 4: Intervalos de Pressão, em KPa, utilizados na classificação de porosidade do solo.

Classe	Intervalo de Pressão (KPa) [(1)]
Macroporos	>-6
Mesoporos	-6 a -1500
Criptoporos	<-1500

[(1)]KLEIN & LIBARDI (2002)

A macroporosidade representa o volume ocupado pelos canais de fluxo de água, a mesoporosidade a água disponível e a criptoporosidade a água retida fortemente à matriz do solo e indisponível para as plantas. O volume de água disponível para as plantas é uma informação que pode ajudar a diferenciar os sistemas analisados.

5.3.2 Condutividade hidráulica

Para avaliar a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) foi realizada a montagem de um permeâmetro de carga constante de laboratório (Figura 1.a e 1.b).

Este é um aparelho adequado para medição de K_0 preferencialmente superior a 2,10 mm s^{-1} constituindo-se no próprio experimento de Darcy. Neste experimento uma amostra indeformada de solo é submetida a uma coluna de água constante, provocando passagem de água na amostra saturada e sob uma pressão constante (LIBARDI, 2005).

Quando a condição de regime estacionário é atingida, a equação de Darcy - Buckingham é aplicada, sendo V_A o volume de água que passou pela amostra no tempo t, A a área da secção transversal da amostra, L o comprimento da amostra e h o potencial de pressão no topo da amostra.

$$K_0 = \frac{V_A \times L}{A \times t \times (h + L)} \quad (2)$$

Para tal avaliação foram utilizadas as mesmas amostras indeformadas utilizadas para a obtenção da curva de retenção, antes destas serem colocadas na mesa de tensão para o início da curva. Portanto foram 72 amostras (6 tratamentos com 4 repetições e três profundidades) em cada uma das áreas avaliadas.

É importante que as amostras indeformadas de solo não apresentem rachaduras na borda do anel, deformações do anel ou indícios de compactação (Figura 1.c) para as leituras no permeâmetro de carga constante de laboratório e por este motivo a avaliação da condutividade hidráulica do solo saturado precede a curva característica do solo. Outro ponto importante a ser considerado é o sentido de coleta da amostra, já que o fluxo de água deve ser aplicado no mesmo sentido em que ocorre no campo, mantendo sempre a porção inferior do anel protegida com uma tela, evitando o destorroamento.

Os materiais utilizados no equipamento e para a realização das leituras são: bureta de mariotte; suporte para bureta; proveta graduada; funil e suporte para o funil; mangueiras de silicone ou látex; anel de carga (anel adicional) com mesmo diâmetro interno da amostra de solo e com orifício para abastecimento de água; fita veda rosca; fita tipo “silver tape” ou outra que empeça a saída de água da junção amostra + anel de carga; tela para apoio da mostra; cronômetro; piceta; béquer para abastecimento da bureta.

O procedimento de análise consiste de 5 etapas: acoplar o cilindro de carga à amostra de solo; conectar o conjunto cilindro de carga + amostra ao aparelho; início da leitura; leitura e cálculo da condutividade hidráulica saturada.

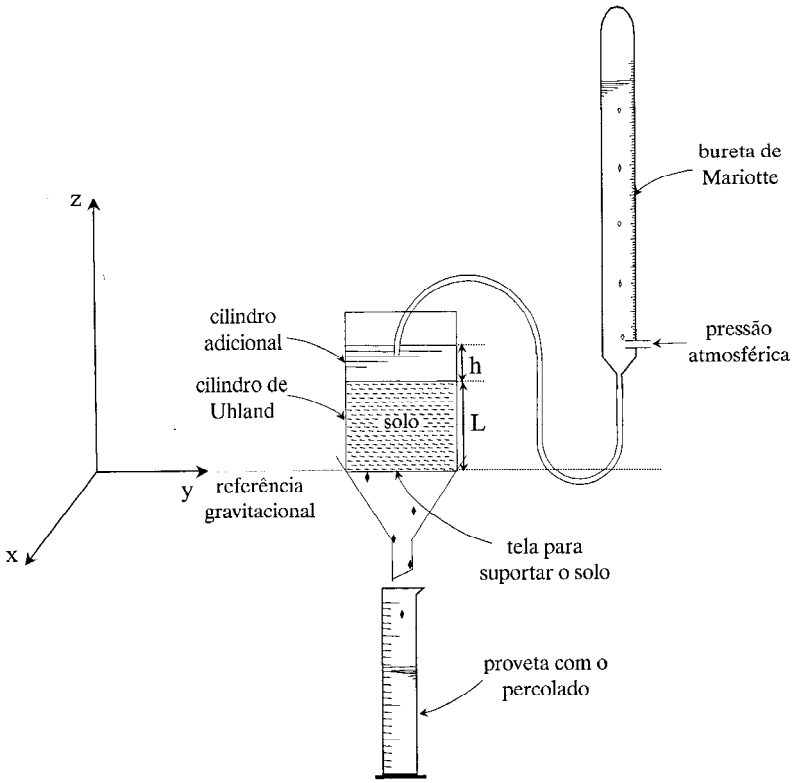
Na primeira etapa (acoplar o cilindro de carga à amostra de solo) o cilindro deve ser acoplado de forma que não haja vazamento de água na junção. Para isso utiliza-se fita veda-rosca e em seguida a fita “silver tape”, fixando o cilindro de carga e vedando vazamentos. Na segunda (conectar o conjunto cilindro de carga + amostra ao aparelho), o conjunto deve ser apoiado sobre um funil de vidro, sempre utilizando uma tela de proteção. A saída de água da bureta de Mariotte (a mais baixa) deve ser ligada ao cilindro de carga por meio de uma mangueira flexível. No caso do esquema acima, a bureta de Mariotte não apresenta uma entrada superior para abastecimento, porém este fato não tem influência na análise, além disso, não há a necessidade de

utilização de uma bureta graduada, uma vez que as medições de volume são realizadas na proveta que armazena o percolado. Utilizou-se proveta de 100 ml, graduada a cada 1 ml.

Para dar início à leitura (terceira etapa) o cilindro de carga deve estar preenchido com água até a altura desejada, o que define a carga hidráulica aplicada. Para isso, abre-se a entrada de abastecimento permitindo a entrada de ar na bureta e a saída de água, abastecendo o cilindro de carga. É interessante que, durante esse procedimento, seja realizada também a recarga da bureta com o auxílio de um béquer. Outro ponto a ser observado é que a entrada de ar da bureta deve estar fechada durante o abastecimento.

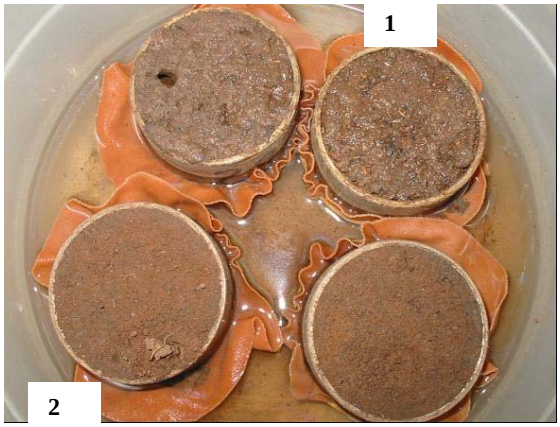
Estando abastecidos a bureta e o anel de carga, inicia-se a leitura (quarta etapa) abrindo a entrada de ar e a saída de água. A entrada de ar define a altura da coluna no cilindro de carga, portanto deve-se observar se o equilíbrio acontece na altura desejada, regulando a posição da entrada de ar.

Como o objetivo do aparelho é a medição da condutividade hidráulica na condição saturada (de valor constante para uma determinada amostra) devem ser realizadas leituras dos tempos de passagem de água pela amostra. Recomenda-se a tomada de tempo a 15 ml até que a vazão se torne constante. Porém esse volume de medição pode variar de acordo com as propriedades da amostra, sendo aumentado caso a vazão seja muito grande ou diminuindo, já que em alguns casos são necessárias várias horas para a passagem de 15 ml de água.



a

b



c

Figura 1: Permeâmetro de Carga Constante de laboratório montado para avaliação da condutividade hidráulica saturada do solo. **a.** Esquema, Fonte: LIBARDI, 2005; **b.** Equipamento montado no laboratório de Física do Solo, IAC; **c.** amostras indeformadas apresentando: 1. destruição da amostra próximo à borda do anel, 2. compactação na borda do anel.

Em alguns casos a vazão é tão elevada que se torna necessário o auxílio de uma piceta para manter o nível da água no cilindro de carga. Esse é o caso em que o volume de água em que se realiza a leitura do tempo deve ser aumentado.

Um dos pontos mais importantes é não finalizar as leituras enquanto o tempo não é constante, pois só assim é possível ter a certeza de que a condutividade hidráulica do solo saturado está sendo efetivamente medida.

Os dados de condutividade hidráulica saturada têm reconhecidamente distribuição log-normal como a mais apropriada (WARRICK, 1983) sendo, portanto, utilizada tal transformação para a análise estatística.

5.4.3 Estabilidade de agregados

A análise da estabilidade de agregados via úmida foi realizada segundo o método descrito por KEMPER & CHEPIL (1965), com peneiramento lento em água.

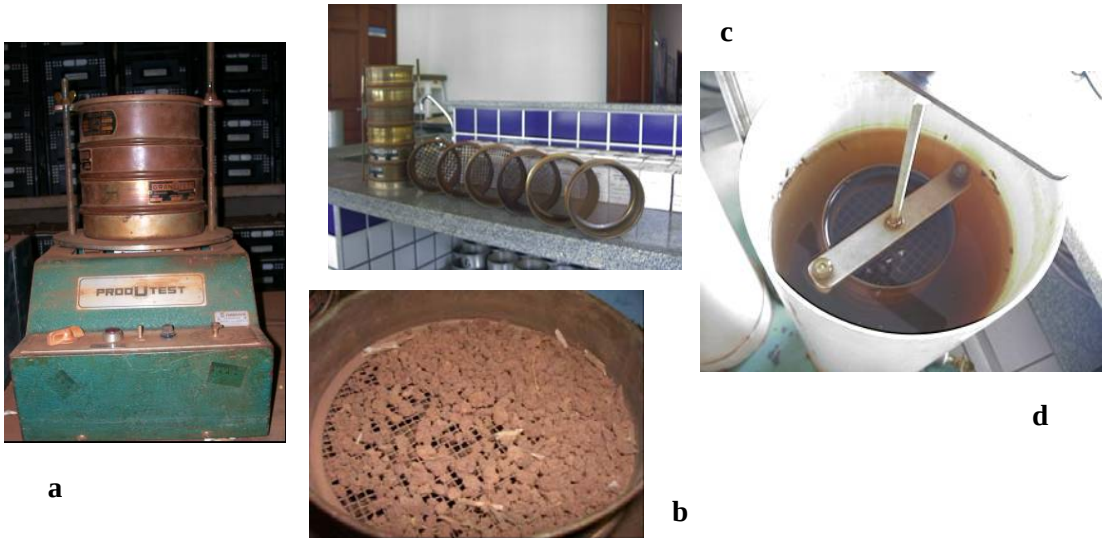


Figura 2: Equipamentos utilizados para a avaliação da estabilidade de agregados: **a.** agitador utilizado no peneiramento seco; **b.** peneira de quatro milímetros utilizada para separação da fração analisada; **c.** conjunto de peneiras utilizado na agitação lenta em água; **d.** agitador lento em água.

Para a realização da análise foram retiradas duas amostras deformadas com o auxílio de uma pá reta, nas profundidades de 0,05 e 0,15 m. Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos para transporte, seguindo-se a secagem e peneiramento seco, sendo possível separar as frações maior que 9,52 mm, entre 4 e 9,52 mm, entre 2 e 4 mm e menor que 2mm (terra fina seca ao ar – TFSA). A

agitação lenta em água é realizada com a fração entre 4 e 9,52 mm em um jogo de peneiras de 7,93, 6,35, 4,00, 2,00, 1,00 e 0,50 mm (Figura 2), calculando-se o diâmetro médio ponderado conforme a equação 3:

$$DMP = \sum_{i=1}^{n} (x_i \times w_i) \quad (3)$$

em que x_i é o diâmetro médio da classe em milímetros, w_i é a proporção da classe em relação ao total, n é o número de classes e i é a classe de agregado.

5.3.4 Tensiometria

Para a obtenção do comportamento da umidade ao longo do tempo foram instalados tensiômetros (Figura 3) no Nitossolo Vermelho nas profundidades de 0,05, 0,15 e 0,30 m e realizadas leituras com um tensímetro, que fornece diretamente uma leitura em potencial, sendo que através da equação de Van Genuchten ajustada para cada ponto foi obtida a umidade correspondente no momento da amostragem. Uma limitação da utilização dos tensiômetros é permitir leituras sem a influência da formação de bolhas de ar até a pressão de vácuo de uma atmosfera (equivalente a 100 KPa).

Figura 3: Tensiômetros instalados no ensaio sobre um Nitossolo Vermelho, município de Mococa, SP.

Como durante o período avaliado não houve leituras superiores a 100 KPa foi realizado o cálculo da umidade por meio dos parâmetros obtidos com a curva de retenção e para o dado médio de umidade dos 23 dias em que foi realizada a leitura

foi calculada a armazenagem de água no solo utilizando o método do trapézio (LIBARDI, 2005).

As amostragens foram realizadas de 28.02.2007 a 04.04.2007 com leituras diárias. Para o cálculo da armazenagem foram utilizadas as leituras do período, sendo que não foram obtidos valores superiores aos limites de leitura (100 Kpa).

5.3.5 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Física do Solo da Seção de Conservação do Solo do Centro Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, segundo CAMARGO et al. (1986). Nesta avaliação é feita uma solução de terra fina seca ao ar, solução dispersante e água que é agitada e, baseado na lei de Stokes, as frações areia, silte e argila são determinadas.

5.3.6 Argila dispersa em água

A avaliação da argila dispersa em água foi realizada no Laboratório de Física do Solo da Seção de Conservação do Solo, do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, segundo CAMARGO et al. (1986), permitindo avaliar o grau de floculação natural da argila. O método de análise é semelhante à avaliação da granulometria, porém sem a adição de agente dispersante.

5.3.7 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, segundo CAMARGO et al. (1986). As leituras foram realizadas no sobrenadante de uma solução 2:1 em base de massa de água e solo utilizando um medidor portátil.

5.3.8 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo a penetração foi medida utilizando um penetrômetro de impacto e os valores de resistência a cada 0,05 m foram calculados por meio do programa RPNT baseado em STOLF (1991). O programa RPNT foi desenvolvido na Seção de Conservação do Solo do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e

Recursos Ambientais do Instituto Agronômico em Campinas. As leituras foram realizadas até a profundidade de 0,35 m.

5.4 Análise de Dados

A análise estatística foi realizada no programa SISVAR (FERREIRA, 2000) por meio dos testes F e *t* a 10% de significância. Para a análise dos dados segundo o modelo blocos casualizados em parcelas subdivididas o sistema de aplicação do calcário (incorporada ou superficial) foi considerado como parcela e as doses (zero, dose recomendada e quatro vezes a dose recomendada) como sub-parcelas. Dessa forma foi possível identificar se (i) há diferenças nas propriedades físico-hídricas provocadas pelo sistema de manejo e se (ii) a aplicação de quatro vezes a dose recomendada de calcário, incorporada ou em superfície, pode provocar impacto negativo no solo.

Para quantificação indireta de umidade utilizando tensímetro digital de punção, foram calculadas as umidades referentes à cada uma das leituras utilizando-se os parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) ajustada aos dados de retenção de água calculados para cada uma das parcelas e profundidades avaliadas. Seqüencialmente foram realizados o cálculo da armazenagem e variação da armazenagem no tempo para a camada de 0 a 0,30 m como forma de demonstrar as variações na disponibilidade de água para as culturas.

Para a ilustração das curvas de retenção e da resistência do solo à penetração foi considerada apenas a interação entre os dois sistemas de aplicação, com aplicação incorporada e superficial, e as três doses de calcário.

6 RESULTADOS

Os valores de produtividade das culturas no ensaio foram determinados pelo pesquisador Dr. Cristiano Alberto de Andrade [(1)] do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico (comunicação pessoal), conforme apresentados na Tabela 5.

(1) Comunicação pessoal.

Tabela 5: Dados médios de produtividade das culturas nos ensaios localizados sobre um Latossolo Vermelho férrico e um Nitossolo Vermelho.

Produtividade Média (Mg ha^{-1})					
Tratamento	Latossolo Vermelho férrico				Nitossolo Vermelho
	Soja 2005/06	Trigo 2006	Soja 2006/07	Trigo 2007	Soja 2006/07
INC0[(1)]	1,1396	0,2196	2,4426	1,2042	1,3577
INC1[(1)]	1,2313	0,2643	2,6949	1,3003	1,8552
INC4[(1)]	1,2575	0,2804	2,7421	1,1007	2,2623
SUP0[(1)]	1,1067	0,1674	2,3514	1,0235	2,0285
SUP1[(1)]	1,1604	0,2193	2,7824	0,9903	2,4367
SUP4[(1)]	1,0625	0,2010	2,9301	0,8993	2,9072
Médias	1,1597	0,2253	2,6573	1,0864	2,1413

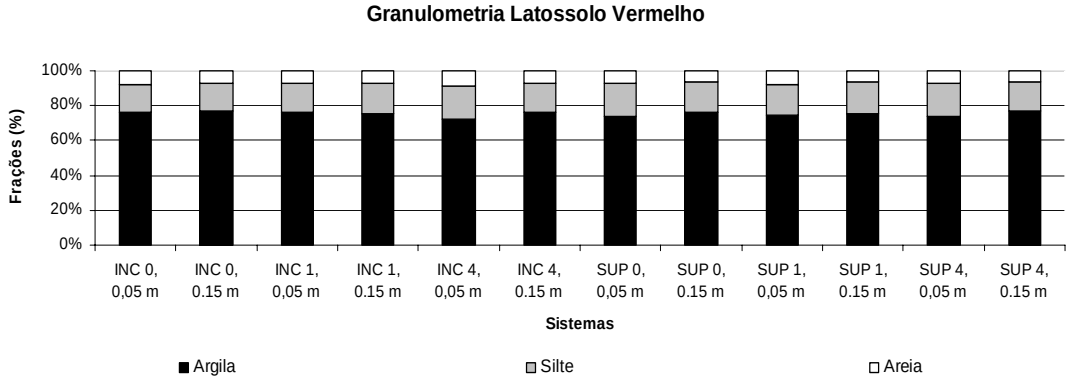
[(1)] INC como incorporação do calcário, SUP como aplicação superficial, 0 como a dose zero ou controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.

A comparação dos dados resultou em três conjuntos de análise: a comparação entre os sistemas de aplicação de calcário, entre as doses e a comparação das interações de sistema de aplicação e dose. Para melhor entendimento dos resultados estes foram separados segundo o solo sobre o qual foi instalado o ensaio.

A descrição dos resultados foi realizada em duas etapas distintas. Em primeiro lugar foram avaliadas as informações pertinentes aos atributos físicos avaliados (condutividade elétrica, diâmetro médio ponderado, grau de floculação e densidade) e em seguida os parâmetros hídricos (curva de retenção, condutividade hidráulica do solo saturado e porosidade).

6.1 Latossolo Vermelho férrico

A análise granulométrica realizada indicou que em todas as amostras a classificação textural segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Embrapa, 1999) é muito argilosa, havendo pouca variação entre os pontos e entre os sistemas de cultivo, com teores médios de argila, silte e areia de 77, 19 e 8% para 0,05 m de profundidade e 79, 18 e 7% para 0,15 m de profundidade (Figura 5).



INC como preparo convencional e SUP como plantio direto; doses 0 como controle, 1 como a recomendada e 4 como 4 vezes a recomendada

Figura 5: Distribuição das frações argila, silte e areia nos sistemas avaliados para as profundidades 0,05 e 0,15 m.

6.1.1 Parâmetros físicos

Não houve efeito dos tratamentos no valor da condutividade elétrica (CE) do solo na primeira amostragem. Na segunda coleta de amostras, 48 semanas após a aplicação do corretivo, a condutividade elétrica a 0,05 m nas parcelas com incorporação foi maior quando não foi aplicado o calcário. Nas parcelas sem incorporação os valores da CE foram mais elevado quando houve aplicação da dose recomendada de calcário, indicando que o corretivo ainda estaria reagindo com o solo nessa época. Não houve efeito da dose máxima de calcário (Tabela 6).

Houve influência do preparo de solo no grau de floculação da primeira e segunda amostragens na camada 0-0,5 m, com maior grau de floculação quando houve incorporação do calcário. Nas duas profundidades e épocas avaliadas não houve influência das doses de calcário no grau de floculação da argila do solo (Tabela 6).

a

b

c

Figura 4: Ensaio localizado sobre um Latossolo vermelho férrico, sendo: (a) panorama geral da área e detalhamento da coleta de amostras (b) indeformadas e (c) deformadas.

Não houve diferença significativa do diâmetro médio ponderado nas duas épocas de amostragem em função dos tratamentos e, portanto, não houve impacto negativo da aplicação superficial ou incorporada de quatro vezes a dose de calcário recomendada. Esse efeito negativo estaria relacionado com o rompimento de agregados maiores pelo preparo do solo e pela adição de doses mais elevadas de calcário, liberando argila dispersa em água e agregados menores, que resultaria em menor valor do DMP. Ainda que o grau de floculação a 0,5 m tenha sido maior no sistema com incorporação, isso não se refletiu no valor do DMP (Tabela 6).

Os valores de densidade são baixos e coerentes com a elevada porosidade. Houve efeito de doses a 0,15 m com a aplicação incorporada sendo que os menores valores foram encontrados na dose máxima de corretivo e efeito de preparo na aplicação de quatro vezes a dose recomendada, com maior valor de densidade quando não houve revolvimento do solo (Tabela 7). Embora haja variação nos dados de densidade nenhum valor encontrado é limitante ao crescimento das culturas (TORMENA et al., 2007)

A tabela 8 apresenta os dados da resistência do solo à penetração. O preparo de solo exerceu influência sobre a resistência do solo à penetração: no sistema com incorporação os valores da resistência foram menores. Na profundidade 0,05 m os valores foram significativamente maiores na aplicação sem incorporação de calcário. Na profundidade de 0,15 m não houve diferença estatística entre os sistemas e entre as doses. Na profundidade 0,30 m, maior resistência do solo à penetração foi encontrada na situação em que não houve revolvimento do solo. A 0,15 m os valores de resistência foram elevados também no sistema com incorporação. Considerando-se o histórico da área, é possível a presença de um "pé de grade" na área desenvolvido antes da implantação do ensaio, que não teria sido completamente destruído pela operação de incorporação do calcário.

Tabela 6: Médias de condutividade elétrica, grau de floculação e diâmetro médio ponderado em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em duas profundidades, em solo Latossolo Vermelho férrico, de Palmital-SP.

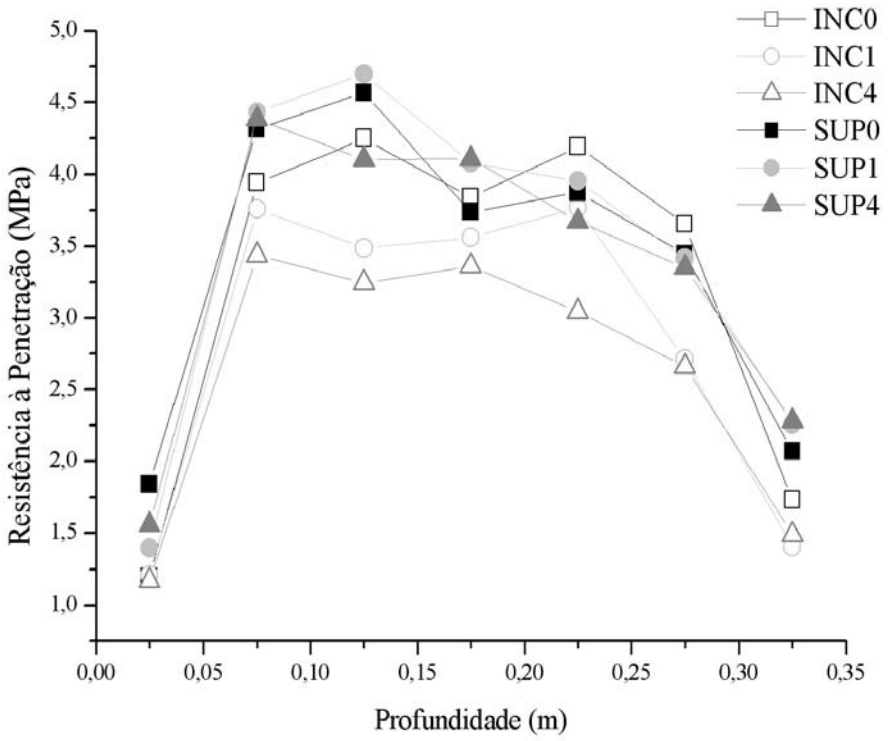
	Condutividade elétrica (□S cm^{-1})			Grau de Floculação (%)			Diâmetro médio ponderado (mm)		
				Sistema de Aplicação					
Doses	Incorpo-rado	Super-ficial	Média	Incorpo-rado	Super-ficial	Média	Incorpo-rado	Super-ficial	Média
				Primeira amostragem					
				0,05m					
0	107,1	89,9	98,8	38,4	37,1	37,8	3,525	3,912	3,719
1	85,9	103,3	94,6	46,7	30,9	38,7	3,78	4,295	4,038
4	168,4	120,5	144,4	40,0	37,2	38,6	4,192	3,725	3,959
Média	120,4	104,6	112,5	41,7 a	35,1 b	38,4	3,832	3,977	3,905
	CV1% =72,23; CV2%=43,13			CV1% =8,46; CV2%=21,92			CV1% =20,72; CV2%=14,65		
				0,15m					
0	92,0	88,9	90,5	36,9	36,1	36,5	2,298	3,013	2,655
1	143,30	129,4	136,4	38,4	34,8	36,6	3,45	2,758	3,104
4	93,2	103,1	98,1	37,9	40,0	38,9	3,765	2,473	3,119
Média	109,5	107,1	108,3	37,7	37,0	37,3	3,171	2,748	3,959
	CV1% =27,50; CV2%=39,82			CV1% =13,24; CV2%=21,44			CV1% =17,11; CV2%=31,10		
				Segunda amostragem					
				0,05m					
0	364,2 A	325,5 B	344,9 A	74,7	43,2	59,0	3,428	3,503	3,465
1	242,5B b	411,2A a	326,93 A	55,0	37,9	45,5	3,33	3,25	3,29
4	232,7 B	292,0 B	262,4B	53,2	37,9	45,5	4,113	4,143	4,127
Média	279,8	342,9	311,0	60,9a	39,7 b	50,3	3,623	3,632	3,628
	CV1% =29,60; CV2%=19,14			CV1% =28,03; CV2%=44,40			CV1% =11,68; CV2%=27,18		
				0,15m					
0	277,8	250,0	263,9	55,7	54,2	55,0	2,83	2,788	2,809
1	282,7	314,9	298,8	57,9	52,9	55,4	2,778	2,68	2,729
4	225,7	236,2	231,0	56,1	68,36	62,3	3,585	2,508	3,046
Média	262,1	267,0	264,6	56,6	58,5	57,5	3,064	2,658	2,861
	CV1% =17,55; CV2%=29,76			CV1% =29,31; CV2%=43,25			CV1% =28,96; CV2%=35,87		

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

Tabela 7: Médias de densidade do solo em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Latossolo Vermelho férrico, de Palmital-SP.

Densidade ($Mg\ m^{-3}$)						
	Sistema de Aplicação					
Doses	Incorporado		Superficial		Média	
		Segunda amostragem				
		0,05m				
0	1,118		1,043		1,080	
1	1,088		0,948		1,018	
4	1,065		1,068		1,066	
Média	1,090		1,019		1,055	
	CV1% =10,08; CV2%=6,54					
		0,15m				
0	1,013	A	1,003		1,008	
1	0,995	A	0,948		0,971	
4	0,878	B b	0,998	a	0,938	
Média	0,962		0,983		0,972	
	CV1% =19,29; CV2%=6,91					
		0,30 m				
0	0,980		0,935		0,958	AB
1	0,990		1,060		1,025	A
4	0,875		0,935		0,905	B
Média	0,948		0,977		0,963	
	CV1% =18,23; CV2%=9,23					

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.



[(1)]INC como incorporação, SUP como aplicação superficial, 0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada
[(2)]Profundidades médias das classes: 0,05 a 0,10 m, 0,10 a 0,15 m, 0,15 a 0,20 m, 0,20 a 0,25 m, 0,25 a 0,30 m, 0,30 a 0,35 m.

Figura 6: Média da resistência à penetração, em Megapascal, para as interações de sistema de aplicação e dose avaliadas no ensaio localizado no Latossolo Vermelho férrico.

Tabela 8: Média de resistência do solo à penetração em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Latossolo Vermelho férrico, de Palmital-SP.

Resistência a penetração (MPa)					
	Sistema de Aplicação				
Doses	Incorporado		Superficial		Média
		Segunda amostragem			
		0,05m			
0	2,569		3,075		2,822
1	2,486		2,915		2,701
4	2,308		2,968		2,638
Média	2,454	b	2,986	a	2,720
		CV1% =21,05; CV2%=30,15			
		0,15m			
0	4,046		4,153		4,099
1	3,525		4,390		3,958
4	3,304		4,109		3,706
Média	3,625		4,217		3,921
		CV1% =6,41; CV2%=13,98			
		0,30 m			
0	2,695		2,758		2,726
1	2,059		2,836		2,448
4	2,075		2,816		2,446
Média	2,276	b	2,803	a	2,540
		CV1% =4,15; CV2%=12,44			

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

6.1.2 Parâmetros hídricos

A condutividade hidráulica do solo saturado varia na última profundidade em que foram coletadas a amostras indeformadas, 0,30 m, com um aumento da condutividade na aplicação incorporada de quatro vezes a dose recomendada (Tabela 9).

A porosidade do solo também varia com a dose e sistema de aplicação do calcário. A 0,05 m as doses influenciam a porosidade com maior valor para a dose máxima. Na segunda profundidade, 0,15 m, menor porosidade é encontrada para a aplicação de quatro vezes a dose recomendada, porém sem alteração significativa em cada preparo separadamente. Na profundidade de 0,30 m o sistema de aplicação altera a porosidade com menores valores para quando há revolvimento do solo (Tabela 9).

A macroporosidade, que representa a proporção ocupada por os canais de fluxo, não varia em função de dose de calcário ou sistema de preparo (Tabela 10).

A mesoporosidade representa a água disponível para as plantas (intervalo entre –6 e –1500 Kpa) e é influenciada pelo preparo a 0,05 m, com maior valor para o sistema de aplicação incorporado sem relação com a dose. A 0,15 e 0,30 m há alteração causada pela dose, com máxima água disponível na aplicação da dose recomendada (Tabela 10).

É importante observar que uma menor criptoporosidade representa maior proporção de canais de fluxo e poros de armazenagem, sendo interessante ter menor proporção desta classe de poros associada à elevada porosidade. No Latossolo Vermelho eutroférrico estudado há influência do sistema de aplicação na profundidade de 0,05, com maior indisponibilidade de água com incorporação, especialmente na dose recomendada, além da influência de doses na aplicação superficial do calcário, havendo menor indisponibilidade para a aplicação da dose recomendada. Aos 0,30 m de profundidade há influência da dose na aplicação superficial, com maior valor de água indisponível para a planta na dose recomendada e maior volume de água disponível na aplicação de quatro vezes a dose recomendada (Tabela 10).

Tabela 9: Médias de condutividade hidráulica do solo saturado e porosidade em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Latossolo Vermelho férrico, de Palmital-SP.

Condutividade hidráulica do solo saturado - K_0 (mm h^{-1})				Porosidade (m^3 m^{-3})			
			Sistema de Aplicação				
Doses	Incorporado	Superficial	Média	Doses	Incorporado	Superficial	Média
		0,05m				0,05m	
0	265	600	432	0	0,668	0,65	0,659 B
1	531	1129	830	1	0,664	0,635	0,65 B
4	542	596	569	4	0,694	0,679	0,687 A
Média	446	775	610	Média	0,676	0,655	0,661
	CV1% =59,31; CV2%=58,216,54				CV1% =7,77; CV2%=4,54		
		0,15m				0,15m	
0	1031	787	909	0	0,641	0,648	0,644 AB
1	1080	930	1005	1	0,659	0,671	0,665 A
4	1687	1252	1470	4	0,622	0,64	0,631 B
Média	1266	990	1128	Média	0,64	0,653	0,647
	CV1% =19,29; CV2%=6,91				CV1% =5,40; CV2%=5,26		
		0,30 m				0,30 m	
0	1311	1309	1310 AB	0	0,596	0,648	0,622
1	1370	624	971 B	1	0,630	0,624	0,627
4	2442	1302	1872 A	4	0,610	0,643	0,626
Média	1690	1078	1384	Média	0,612 b	0,638 a	0,625
	CV1% =114,05; CV2%=54,99				CV1% =1,90; CV2%=4,85		

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

Tabela 10: Médias de macroporosidade, mesoporosidade e criptoporosidade do solo em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Latossolo Vermelho férrico, de Palmital-SP.

	Macroporosidade			Mesoporosidade (m^3 m^{-3})			Criptoporosidade		
	Sistema de Aplicação								
Doses	Incorpo-rado	Super-ficial	Média	Incorpo-rado	Super-ficial	Média	Incorpo-rado	Super-ficial	Média
				0,05m					
0	0,200	0,21	0,205	0,139	0,134	0,137	0,33	0,306 A	0,318
1	0,196	0,238	0,214	0,147	0,136	0,141	0,321 a	0,267 B b	0,294
4	0,234	0,213	0,224	0,153	0,15	0,151	0,306	0,317 A	0,311
Média	0,210	0,219	0,214	0,147 a	0,14 b	0,143	0,319 a	0,297 b	0,308
	CV1% =31,92; CV2%=14,32			CV1% =4,69; CV2%=10,99			CV1% =7,47; CV2%=7,02		
				0,15m					
0	0,235	0,235	0,235	0,109	0,105	0,107 B	0,296	0,309	0,302
1	0,247	0,265	0,256	0,122	0,117	0,120 A	0,290	0,289	0,289
4	0,250	0,241	0,246	0,105	0,105	0,105 B	0,266	0,294	0,280
Média	0,244	0,247	0,245	0,112	0,109	0,111	0,284	0,297	0,291
	CV1% =16,50; CV2%=10,55			CV1% =33,82; CV2%=11,77			CV1% =16,81; CV2%=8,83		
				0,30 m					
0	0,223	0,266	0,244	0,091	0,098	0,095 B	0,282	0,284	0,283 AB
1	0,229	0,205	0,217	0,110	0,110	0,110 A	0,291	0,309	0,300 A
4	0,249	0,256	0,252	0,102	0,114	0,108 A	0,253	0,273	0,266 B
Média	0,234	0,242	0,238	0,101	0,107	0,104	0,277	0,289	0,283
	CV1% =19,34; CV2%=13,68			CV1% =22,17; CV2%=12,35			CV1% =21,54; CV2%=9,08		

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

Além da distribuição da porosidade do solo na análise da curva de retenção da água no solo (Figuras 7, 8 e 9) pode-se observar que há pouca variação no comportamento das curvas entre os sistemas de cultivo. Na profundidade de 0,05 m os menores valores de retenção foram encontrados para a aplicação superficial da dose recomendada, confirmando a menor porosidade (Tabela 9) embora os valores de condutividade hidráulica do solo saturado tenham sido os mais elevados nesse sistema. Porém valores elevados de condutividade hidráulica não significam necessariamente a presença de maior proporção de poros, podendo existir apenas a presença de poros maiores (geralmente bioporos) na amostra que se constituem de caminhos preferenciais de passagem de água.

Nas profundidades 0,15 e 0,30 m os menores valores de umidade na curva de retenção (Figuras 8 e 9 respectivamente) foram encontrados para a incorporação de quatro vezes a dose recomendada de calcário, sistema no qual foi encontrado o maior valor de K_0 (Tabela 9).

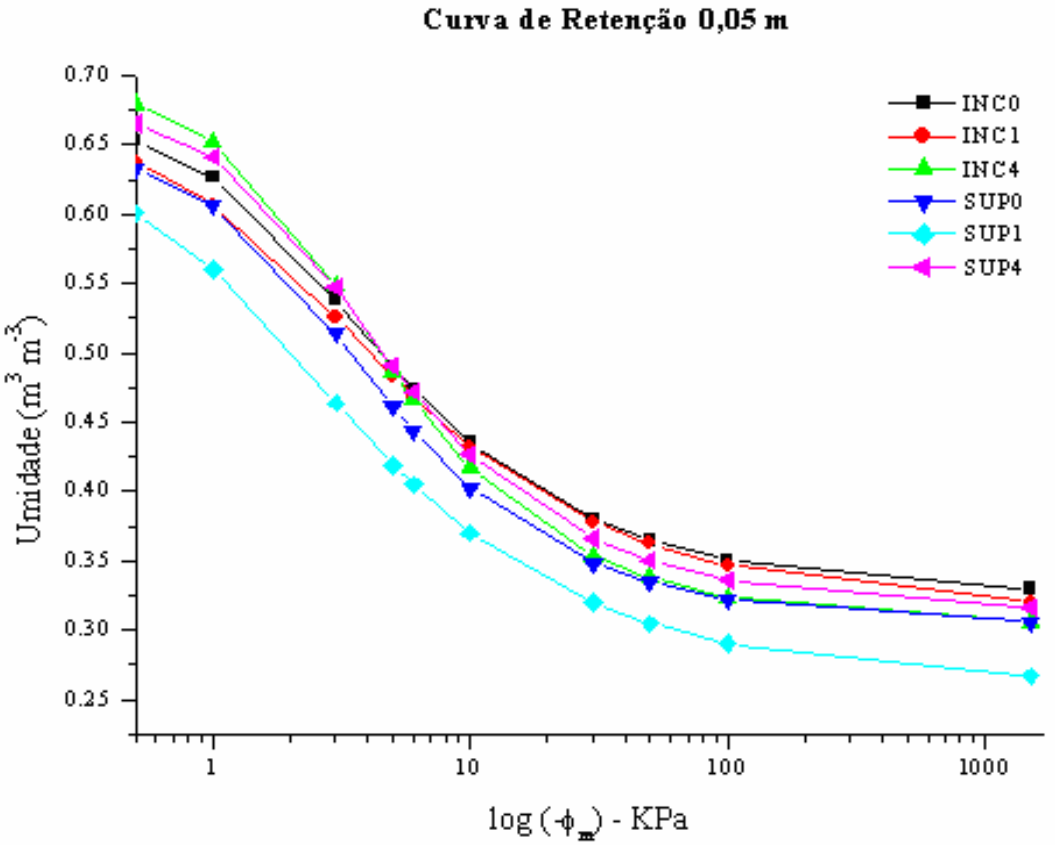


Figura 7: Curvas de retenção ajustadas por meio do modelo de Van Genuchten referentes às amostras indeformadas coletadas no município de Palmital, SP, na profundidade de 0,05 m. O eixo das abcissas representa o logaritmo do módulo do potencila matricial, em quilopascais, o eixo das ordenadas a umidade em $m^3\ m^{-3}$.

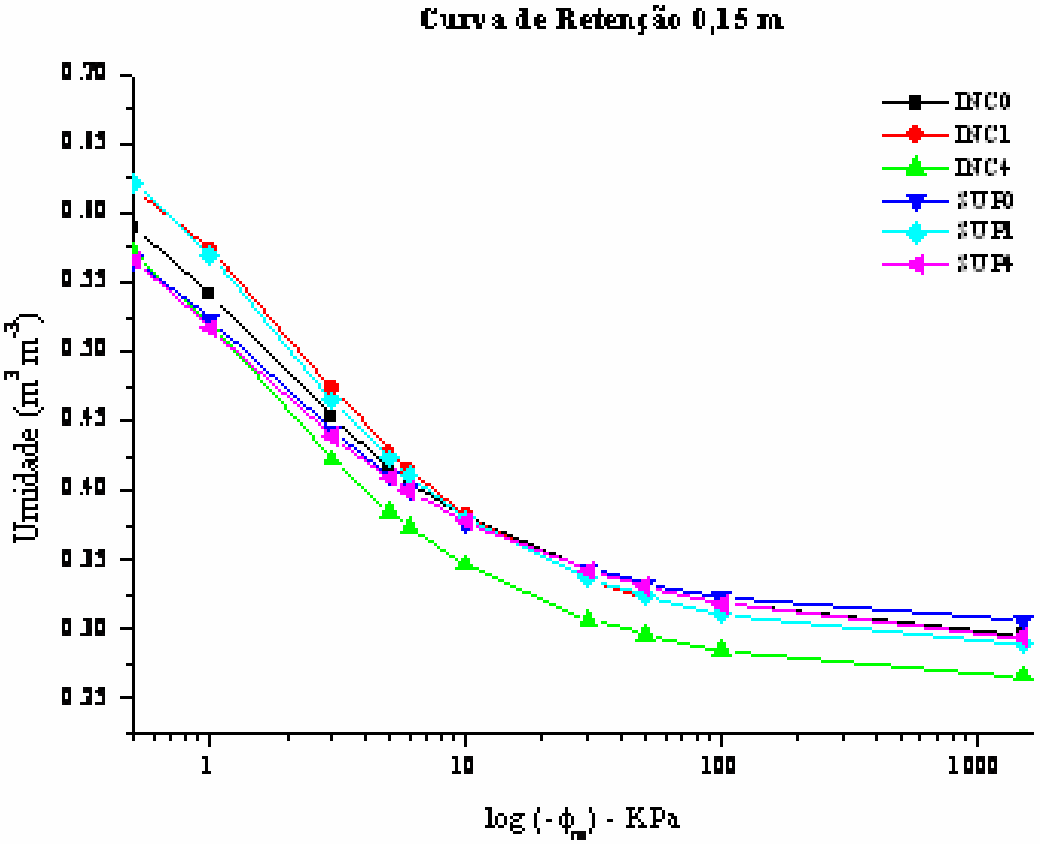


Figura 8: Curvas de retenção ajustadas por meio do modelo de Van Genuchtes referentes às amostras indeformadas coletadas no município de Palmital, SP, na profundidade de 0,15 m. O eixo das abcissas representa o logaritmo do módulo do potencila matricial, em quilopascais, o eixo das ordenadas a umidade em $m^3\ m^{-3}$.

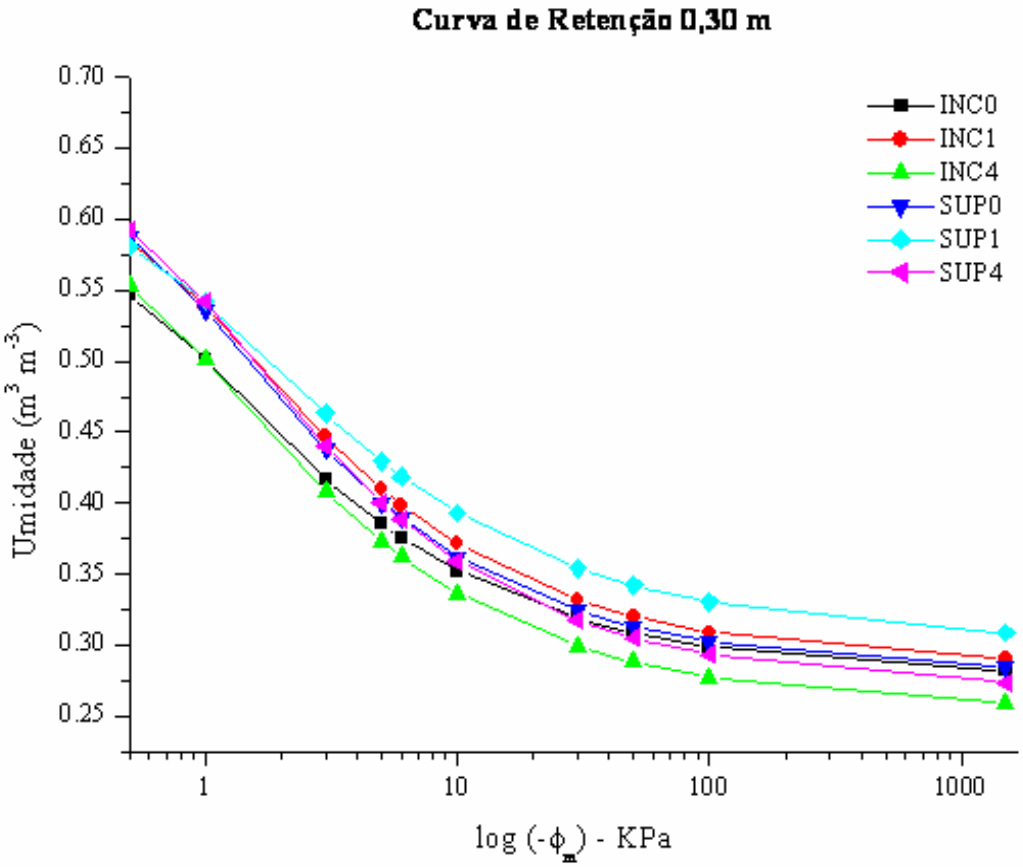


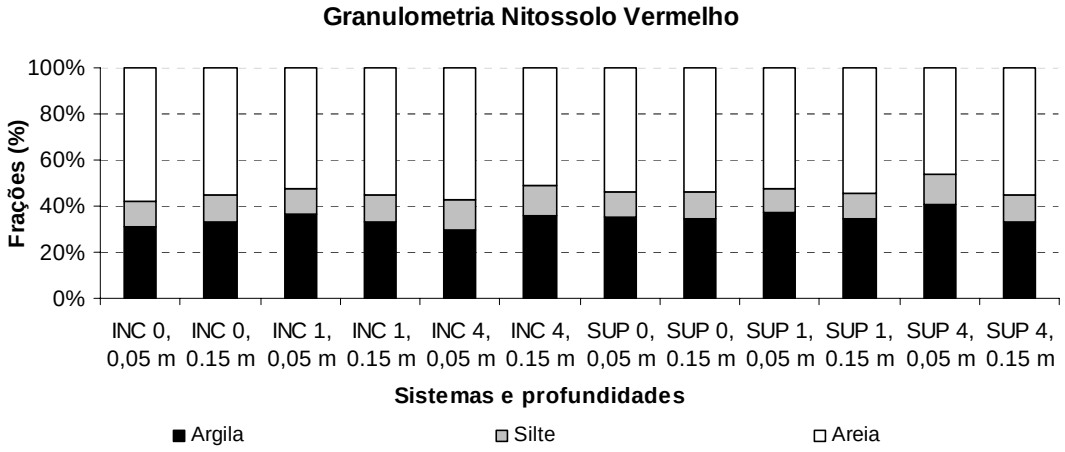
Figura 9: Curvas de retenção ajustadas por meio do modelo de Van Genuchten referentes às amostras indeformadas coletadas no município de Palmital, SP, na profundidade de 0,30 m. O eixo das abcissas representa o logaritmo do módulo do potencila matricial, em quilopascais, o eixo das ordenadas a umidade em $m^3\ m^{-3}$.

6.2 Nitossolo Vermelho

A classe textural, das profundidades de 0,05 e 0,15 m para o perfil de Nitossolo Vermelho localizado no município de Mococa é argilosa segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, Embrapa, 1999) (Figura 10), o que corresponde com a prévia caracterização da área realizada por TORRADO (1993) que classificou o solo como um Podzólico Vermelho escuro.

Os teores médios de argila, silte e areia foram de 34,9, 11,8 e 53,3% para a profundidade de 0,05 m e 34, 12 e 54,1% aos 0,15 m. Os teores praticamente não sofrem alteração em profundidade. Porém como a área vinha sendo ocupada por pastagem observou-se maior friabilidade na camada superficial em razão da elevada quantidade de raízes.

Como observa -se na figura 11, no período vegetativo havia áreas de menor desenvolvimento (geralmente correspondentes às parcelas sem aplicação de calcário).



INC como aplicação incorporada e SUP como aplicação superficial; doses 0 como controle, 1 como a recomendada e 4 como 4 vezes a recomendada

Figura 10: Distribuição das frações argila, silte e areia nos sistemas avaliados para as profundidades de 0,05 e 0,15 m em Mococa, SP.

a

b

c

Figura 11: Panorama geral do ensaio instalado sobre um Nitossolo Vermelho durante (a) o enchimento de grãos, (b) colheita e (c) visualização da cobertura do solo.

6.2.1 Parâmetros físicos

São considerados parâmetros físicos a condutividade elétrica, o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água, o grau de floculação da argila e a densidade do solo.

A condutividade elétrica é um importante atributo do solo em estudos envolvendo calcário, pois indica maior ou menor dissolução do corretivo. Nas duas coletas realizadas no Nitossolo Vermelho (Tabela 11 e 12), município de Mococa (SP), não há variação do atributo em relação à forma de aplicação do calcário e as doses aplicadas.

O grau de floculação das amostras coletadas 24 semanas após a aplicação do calcário (Tabela 11) também não apresentou variação entre sistemas de aplicação ou doses nas três profundidades de avaliação.

Na segunda coleta (Tabela 12) há influência das doses na floculação a 0,15 e 0,30 m. A 0,15 m há maior floculação para a dose recomendada enquanto que na profundidade de 0,30 m há maior grau de floculação para as doses 0 e 4 (Tabela 12). A presença de menor valor de grau de floculação em profundidade quando comparado às camadas superiores, como ocorre para a dose 1, é descrito por CASTRO (1989) como processo de erosão vertical, em que a argila dispersa de camadas superiores migra para camadas mais profundas, reduzindo o grau de floculação.

Não foi verificada diferença significativa dos diâmetros médios ponderados dos agregados estáveis em água na primeira coleta (Tabela 10). Na segunda coleta (Tabela 12) a 0,05 m houve influência das doses na aplicação incorporada (maior valor na dose 0) e superficial (maior valor na dose 4) e do sistema de cultivo na aplicação de quatro vezes a dose recomendada, sendo encontrado maior média na aplicação superficial. Assim, em superfície o maior valor de diâmetro médio ponderado foi encontrado na aplicação superficial da dose máxima.

A densidade do solo (Tabela 13) não varia entre os sistemas e doses nas três profundidades avaliadas.

A pequena magnitude das alterações provocadas pelos sistemas de manejo se deve em grande parte as condições originais na ocasião do ensaio, não se tratando de área com severos impedimentos químicos ou físicos.

Tabela 11: Médias de condutividade elétrica, grau de floculação e diâmetro médio ponderado do solo na primeira amostragem, em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Nitossolo Vermelho, de Mococa-SP.

	Condutividade elétrica (mS cm $^{-1}$)			Grau de Floculação (%)			Diâmetro médio ponderado (mm)		
				Sistema de Aplicação					
Doses	Incorporado	Superficial	Média	Incorporado	Superficial	Média	Incorporado	Superficial	Média
				Primeira amostragem					
				0,05m					
0	277	322	299,5	18,3	22,0	20,1	3,33	3,503	3,465
1	262,5	311,7	287,1	21,3	23,4	22,3	3,428	3,25	3,29
4	494,7	528,7	511,7	25,8	24,9	4	4,113	4,143	4,127
Média	344,7	387,5	366,1	21,8	23,4	22,6	3,623	3,632	3,628
	CV1% =88,58; CV2%=62,45			CV1% =32,84; CV2%=29,61			CV1% =11,68; CV2%=27,18		
				0,15m					
0	125,7	234,4	180,0	17,8	17,7	17,8	2,83	2,788	2,809
1	119,8	196,0	157,9	17,5	16,1	16,8	2,778	2,68	2,788
4	117,0	149,175	133,0	17,7	20,2	19	3,585	2,508	3,046
Média	120,9	193,2	157,0	17,7	18,0	14,9	3,064	2,658	2,861
	CV1% =74,41; CV2%=52,77			CV1% =29,81; CV2%=20,18			CV1% =28,96; CV2%=35,87		
				0,30m					
0	81,5	184,1	132,8	24,0	24,7	24,3	1,777	1,675	1,726
1	221	149,7	185,4	24,0	24,2	24,1	1,639	1,308	1,473
4	117,5	162,8	140,1	21,6	21,9	21,8	1,629	1,982	1,806
Média	140	165,57	152,8	23,2	23,6	4	1,682	1,655	1,668
	CV1% =88,32; CV2%=53,35			CV1% =20,82; CV2%=15,38			CV1% =20,85; CV2%=24,04		

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

Tabela 12: Médias de condutividade elétrica, grau de floculação e diâmetro médio ponderado do solo na segunda amostragem do solo, em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Nitossolo Vermelho, de Mococa-SP.

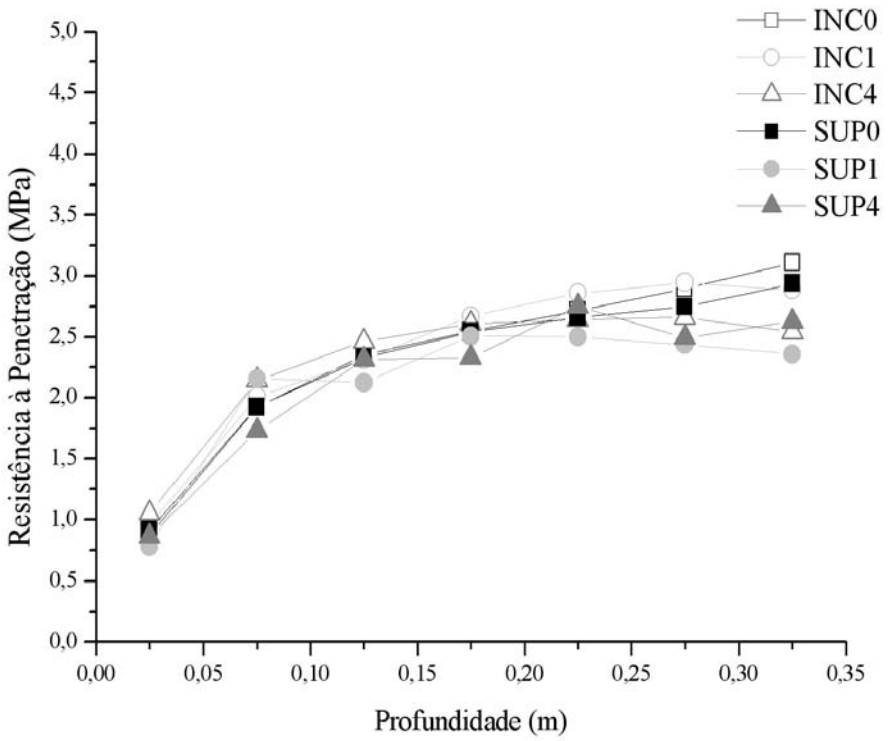
Condutividade elétrica (mS cm $^{-1}$)				Grau de Floculação (%)			Diâmetro médio ponderado (mm)		
				Sistema de Aplicação					
Doses	Incorporado	Superficial	Média	Incorporado	Superficial	Média	Incorporado	Superficial	Média
				Segunda amostragem					
				0,05m					
0	140,1	148,6	144,3	33,3	30,6	31,9	3,885 A	3,358 B	3,622 AB
1	123,8	131,6	127,7	25,0	37,0	31,0	3,108 B	3,184 B	3,146 B
4	108,4	168,5	138,4	34,8	35,6	35,2	2,911 B b	4,541 A a	3,726 AB
Média	124,1	149,6	136,8	31,0	34,4	32,7	3,301	3,694	3,498
	CV1% =52,11; CV2%=35,65			CV1% =62,31; CV2%=34,08			CV1% =10,22; CV2%=17,06		
				0,15m					
0	74,2	83,7	78,9	16,0	13,3	14,6 B	2,239	2,236	2,237
1	82,9	80,3	81,6	36,4	42,4	39,4 A	1,808	2,477	2,142
4	77,6	66,8	72,2	20,4	8,6	14,5 B	2,17	1,96	2,065
Média	78,2	76,9	77,6	24,3	21,4	22,8	2,072	2,224	2,148
	CV1% =31,05; CV2%=19,11			CV1% =52,64; CV2%=57,04			CV1% =8,91; CV2%=20,16		
				0,30m					
0	50,9	62,4	56,7	41,8	71,8	56,8 A	1,884	1,659	1,771
1	63,4	54,9	59,1	19,3	57,6	38,5 B	1,801	2,092	1,946
4	59,0	56,3	57,6	47,1	60,6	53,8 A	1,837	1,731	1,784
Média	57,8	57,9	57,8	36,1	63,3	49,7	1,84	1,827	1,834
	CV1% =47,07; CV2%=23,78			CV1% =94,58; CV2%=33,00			CV1% =13,81; CV2%=16,10		

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

Tabela 13: Médias de densidade do solo, em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Nitossolo Vermelho, de Mococa-SP.

Densidade ($Mg\ m^{-3}$)			
	Sistema de Aplicação		
Doses	Incorporado	Superficial	Média
	0,05m		
0	1,482	1,420	1,451
1	1,467	1,437	1,452
4	1,455	1,438	1,446
Média	1,468	1,432	1,450
	CV1% =11,93; CV2%=5,48		
	0,15m		
0	1,497	1,504	1,501
1	1,551	1,482	1,517
4	1,459	1,519	1,489
Média	1,502	1,502	1,502
	CV1% =5,24; CV2%=4,67		
	0,30 m		
0	1,285	1,351	1,318
1	1,335	1,321	1,328
4	1,393	1,344	1,369
Média	1,338	1,339	1,338
	CV1% =8,89; CV2%=5,66		

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.



(1)INC como incorporação, SUP como aplicação superficial, 0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada
(2)Profundidades médias das classes: 0,05 a 0,10 m, 0,10 a 0,15 m, 0,15 a 0,20 m, 0,20 a 0,25 m, 0,25 a 0,30 m, 0,30 a 0,35 m.

Figura 12: Média da resistência à penetração, em Megapascal, para as interações de sistema de aplicação e dose avaliadas.

Os dados de resistência à penetração (Figura 12) sofrem pouca variação entre as interações, com maior resistência a penetração entre as profundidades de 0,30 e 0,35 m. Com exceção da incorporação da dose recomendada, os demais tratamentos em que houve incorporação apresentaram maior resistência a penetração. As interações de aplicação superficial da dose recomendada e da dose máxima e a aplicação incorporada da dose máxima ficaram mais próximas ao valor de dois megapascais, embora superiores a partir da profundidade de 0,125 m.

A análise estatística dos dados mostra que na camada superficial há a influência de doses nos sistemas com e sem revolvimento, com aumento da resistência à penetração com a redução da dose de calcário aplicada. Há também a influência do preparo nas doses um e quatro, com maior resistência na aplicação superficial (Tabela 14).

Tabela 14: Média de resistência do solo à penetração, em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Nitossolo Vermelho, de Mococa-SP.

Resistência a penetração (MPa)								
	Sistema de Aplicação							
Doses	Incorporado			Superficial			Média	
				0,05m				
0	1,397	B		1,419	A		1,408	
1	1,481	AB	a	1,172	AB	b	1,327	
4	1,599	A	a	1,298	B	b	1,448	
Média	1,492			1,296			1,394	
				CV1% =12,88; CV2%=12,16				
				0,15m				
0	2,451			2,434			2,442	
1	2,492			2,316			2,404	
4	2,537			2,311			2,429	
Média	2,493			2,357			2,425	
				CV1% =27,33; CV2%=17,19				
				0,30 m				
0	3,001			2,842			2,922	A
1	2,915			2,400			2,658	B
4	2,601			2,561			2,581	B
Média	2,840			2,601			2,720	
				CV1% =5,26; CV2%=25,46				

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

Ainda na tabela 14, na profundidade de 0,30 m há o efeito geral de doses, com maior valor de resistência à penetração quando não é aplicado corretivo.

6.2.2 Parâmetros hídricos

A avaliação hídrica foi realizada por meio da condutividade hidráulica saturada do solo e do fracionamento da porosidade do solo utilizando dados da curva de retenção de água no solo.

Quanto à condutividade hidráulica saturada (Tabela 15) não há variação entre formas de aplicação e doses de corretivo, indicando que as alterações encontradas nos demais atributos do solo não foram suficientes para alterar estatisticamente a facilidade de movimentação de água no perfil de solo. Porém os coeficientes de variação são elevados, chegando a 436,94% para os sistemas de aplicação na profundidade de 0,30 m e 405,60% para as doses também a 0,30 m. A presença de valores iguais a zero na profundidade de 0,30 m impediu que fosse feita a transformação log-normal dos dados, recomendada por WARRICK (1983) como a mais adequada.

A porosidade do solo (Tabela 15) varia entre as doses na profundidade de 0,05 m com menor valor de porosidade na aplicação de quatro vezes a dose recomendada. A 0,15 m há variação da porosidade entre as doses com menor valor médio na dose recomendada. De forma geral, os valores de porosidade encontram-se próximos aos 50%, valor reconhecido como adequado para o desenvolvimento das culturas.

A macroporosidade, que representa os canais de fluxo de água no solo, não varia entre os sistemas de aplicação e doses. A mesoporosidade, engloba a água disponível, entre -6 e -1500 KPa. Em superfície (0,05) há variação da mesoporosidade entre as doses quando há aplicação superficial e entre as formas de aplicação na dose recomendada, com maior volume de água disponível quando não houve revolvimento. Portanto o maior valor de água disponível para as plantas é encontrado na aplicação superficial da dose recomendada (Tabela 16).

Na profundidade de 0,15 m há a variação na mesoporosidade entre as formas de aplicação, sem relação com a dose, com maior valor quando não há o revolvimento do solo. A 0,30 m não há diferença significativa entre doses ou sistemas de aplicação (Tabela 16).

Tabela 15: Média de condutividade hidráulica do solo saturado e porosidade em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Nitossolo Vermelho, de Mococa-SP.

Condutividade hidráulica do solo saturado - K_0 ($mm\ h^{-1}$)				Porosidade ($m^3\ m^{-3}$)		
	Sistema de Aplicação					
Doses	Incorporado	Superficial	Média	Incorporado	Superficial	Média
			0,05m			
0	41	61	51	0,508	0,515	0,511 A
1	87	210	187	0,508	0,493	0,5 A
4	133	286	172	0,473	0,47	0,471 B
Média	87	186	136	0,496	0,493	0,494
	CV1% =183,03; CV2%=190,63			CV1% =12,16; CV2%=50,1		
			0,15m			
0	21	12	17	0,452	0,478	0,465 A
1	15	21	18	0,423	0,448	0,436 B
4	66	37	52	0,465	0,473	0,468 A
Média	34	23	29	0,447	0,466	0,456
	CV1% =141,58; CV2%=161,46			CV1% =6,50; CV2%=6,03		
			0,30 m			
0	0	199	99	0,492	0,444	0,468
1	12	3	7	0,47	0,481	0,476
4	22	1	12	0,49	0,464	0,477
Média	11	68	39	0,484	0,47	0,473
	CV1% =436,94; CV2%=405,60			CV1% =10,04; CV2%=7,06		

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

Tabela 16: Média de macroporosidade, mesoporosidade e criptoporosidade do solo, em função de sistemas de aplicação e doses de calcário, em três profundidades, em solo Nitossolo Vermelho, de Mococa-SP.

	Macroporosidade (m^3 $m^{-3)}$			Mesoporosidade (m^3 m^{-3})			Criptoporosidade (m^3 m^{-3})		
				Sistema de Aplicação					
Doses	Incorporado	Superficial	Média	Incorporado	Superficial	Média	Incorporado	Superficial	Média
	0,05m			0,05m			0,05m		
0	0,162	0,169	0,165	0,207	0,212 B	0,209	0,139	0,134	0,137
1	0,198	0,122	0,155	0,199 b	0,237 A a	0,218	0,121	0,134	0,128
4	0,135	0,12	0,127	0,218	0,207 B	0,213	0,12	0,143	0,131
Média	0,161	0,137	0,149	0,208	0,219	0,213	0,127	0,137	0,132
	CV1% =35,44; CV2%=22,94			CV1% =14,24; CV2%=8,28			CV1% =28,36; CV2%=12,11		
	0,15m			0,15m			0,15m		
0	0,108	0,11	0,109	0,189	0,198	0,193	0,156	0,17	0,163
1	0,091	0,1	0,095	0,186	0,197	0,191	0,145	0,152	0,149
4	0,122	0,115	0,119	0,19	0,19	0,19	0,153	0,167	0,16
Média	0,107	0,108	0,108	0,188 b	0,195 a	0,191	0,151	0,163	0,157
	CV1% =7,70; CV2%=18,67			CV1% =2,08; CV2%=6,26			CV1% =13,13; CV2%=10,10		
	0,30 m			0,30 m			0,30 m		
0	0,118	0,073	0,095	0,165	0,164	0,164	0,209	0,207	0,208
1	0,118	0,152	0,135	0,162	0,146	0,154	0,19	0,184	0,187
4	0,128	0,136	0,132	0,156	0,156	0,156	0,206	0,172	0,189
Média	0,121	0,12	0,121	0,161	0,155	0,158	0,201	0,188	0,195
	CV1% =41,11; CV2%=32,36			CV1% =16,33; CV2%=13,26			CV1% =15,32; CV2%=10,98		

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

A criptoporosidade (Tabela 16), identificando o volume da porosidade ocupado pela água não disponível, é um atributo de grande importância e que não apresenta variação em relação aos sistemas de aplicação de doses de calcário.

Os valores de armazenagem de água (Tabela 17) calculados por meio da regra do trapézio utilizando os dados de pressão fornecidos pelos tensiômetros mostram que há maiores valores de armazenamento de água quando não é realizado o revolvimento do solo.

As doses também exercem influência sobre o armazenamento de água, sendo que na dose recomendada são encontrados os menores valores de água disponível para as plantas.

As curvas de retenção da água no solo (Figuras 13, 14 e 15) mostraram que a 0,05 m não há alteração no comportamento da curva de retenção entre os tratamentos. Na profundidade de 0,15 m as curvas se afastam em tensões menores, sendo os menores valores de umidade no tratamento com incorporação da dose recomendada. Ao contrário, a 0,30 m há maior afastamento das curvas em tensões maiores, com menores valores de umidade para a o solo sem revolvimento e sem calcário e para a aplicação incorporada da dose recomendada de corretivo.

Tabela 17: Médias de armazenagem de água no solo para a camada de 0 a 0,35 m no período de 28.02.2007 a 04.04.2007 calculadas com a instalação de tensiômetros no Nitossolo Vermelho, município de Mococa, SP, em quatro dias.

Armazenagem de água no solo (m^3 m^{-3})						
	Sistema de Aplicação					
Doses	Incorporado		Superficial		Média	
0	0,167		0,211		0,189	A
1	0,148		0,161		0,155	B
4	0,182		0,184		0,183	A
Média	0,165	b	0,185	a	0,175	
CV1% =28,36; CV2%=12,11						

0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada.
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo Teste t a 10% de significância.
CV1% e CV2% como o coeficientes de variação do sistema de aplicação e doses, respectivamente.

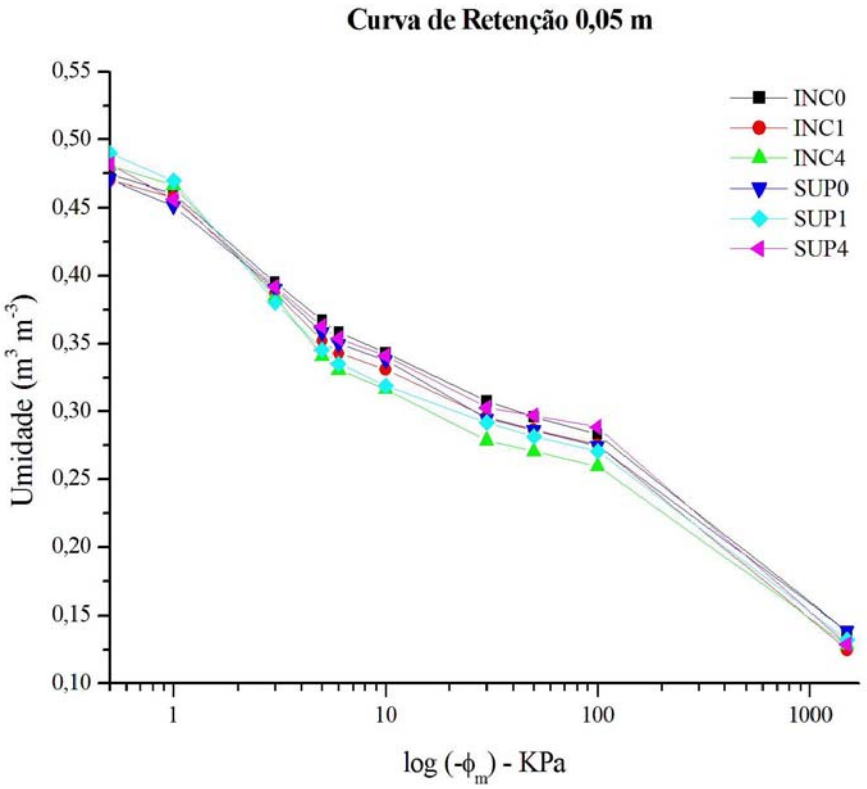


Figura 13: Curvas de retenção referentes às amostras indeformadas coletadas no município de Mococca, SP, na profundidade de 0,05 m. O eixo das abcissas representa o logaritmo do módulo do potencila matricial, em quilopascais, o eixo das ordenadas a umidade em $m^3\ m^{-3}$.

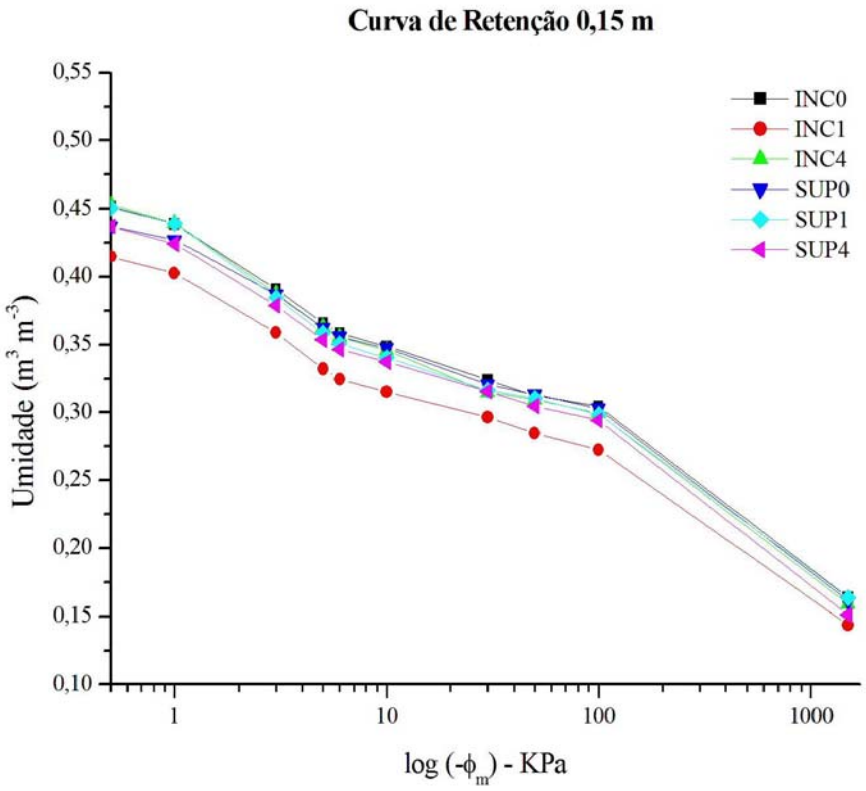


Figura 14: Curvas de retenção referentes às amostras indeformadas coletadas no município de Mococca, SP, na profundidade de 0,15 m. O eixo das abcissas representa o logaritmo do módulo do potencila matricial, em quilopascais, o eixo das ordenadas a umidade em $m^3\ m^{-3}$.

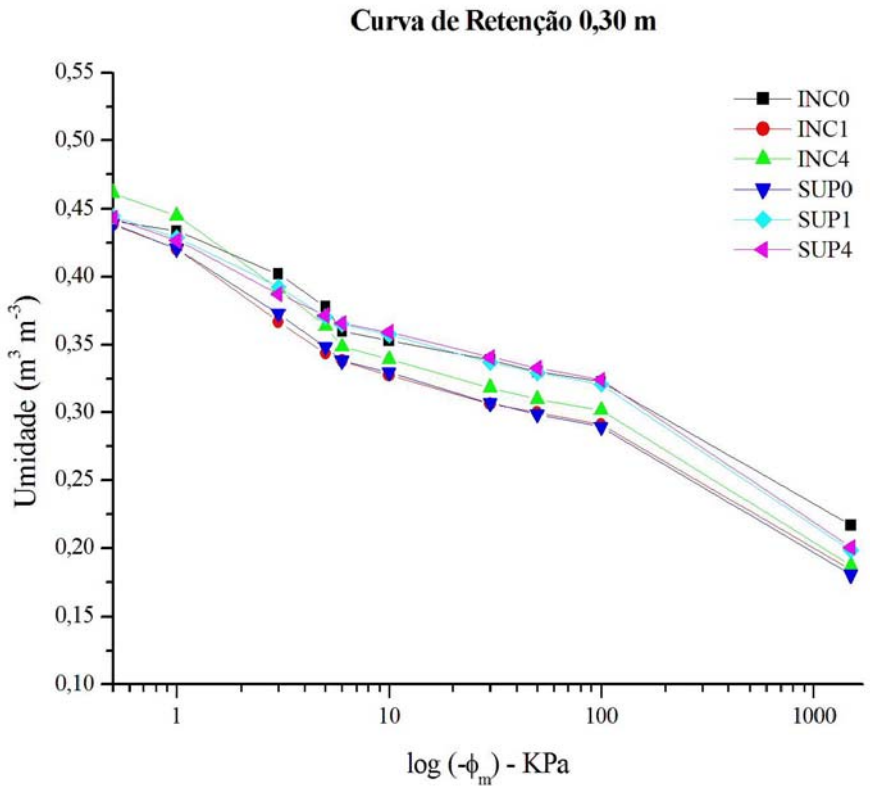


Figura 15: Curvas de retenção referentes às amostras indeformadas coletadas no município de Mococca, SP, na profundidade de 0,30 m. O eixo das abcissas representa o logaritmo do módulo do potencila matricial, em quilopascais, o eixo das ordenadas a umidade em $m^3\ m^{-3}$.

7 DISCUSSÃO

Os dados obtidos nos dois ensaios permitiram concluir que não houve diferença de densidade como resultado do preparo de solo (Tabelas 8 e 21) e que o preparo não foi suficiente para reduzir a resistência à penetração do solo no Latossolo Vermelho férrico a 0,15 m (Tabela 9), contrario ao verificado por CORSINI & FERRAUDO (1999).

A condutividade elétrica varia apenas para a segunda coleta realizada no Latossolo Vermelho férrico (Tabela 5) na profundidade de 0,05 m. Quando há incorporação a maior condutividade elétrica é encontrada na dose zero. Uma explicação é o menor desenvolvimento das culturas nas parcelas em que não há aplicação de corretivo (soja 2006/07, Tabela 5). Com o menor desenvolvimento das culturas há menor consumo de nutrientes com maior saldo de sais solúveis que permanecem no solo, elevando a condutividade elétrica. Ainda na profundidade 0,05 m, na aplicação superficial a máxima condutividade elétrica é presente na dose um, com a dose zero equivalendo a dose quatro. A influência da forma de aplicação ocorre apenas na dose recomendada, com maior valor para a aplicação superficial, uma vez que o revolvimento do solo incorporou a dose aplicada até a profundidade de 0,20 m.

Quanto à porosidade, apenas a 0,30 m há diferença significativa como resultado do preparo de solo com a aplicação superficial a maiores valores no Latossolo Vermelho férrico (Tabela 11).

No Latossolo Vermelho férrico estudado há efeito das doses a 0,15 m de profundidade quando há o revolvimento do solo, com menor valor de densidade (Tabela 8) para a aplicação de quatro vezes a dose recomendada. Nessa dose também há o efeito do sistema de aplicação, com menor densidade no revolvimento. É importante ressaltar que o aumento de densidade, embora significativo, não atinge valores limitantes ao desenvolvimento das culturas. TORMENA et al. (1998) e KLEIN & LIBARDI (2000) concluíram que um aumento de densidade até cerca de 1,1 Mg m^{-3} melhora a armazenagem de água e a disponibilidade desta para as culturas em um Latossolo Roxo (atual Latossolo Vermelho férrico segundo EMBRAPA, 1999). Assim sendo, o aumento de densidade encontrado no Latossolo

Vermelho férrico (Tabela 8) pode ser encarado como um fator benéfico ao desenvolvimento das culturas.

Uma vez que os valores de densidade encontram-se adequados, conclui-se que os elevados valores de resistência à penetração no Latossolo Vermelho férrico (Tabela 9 e figura 6) são função da baixa umidade na ocasião da coleta dos dados. No Nitossolo Vermelho a umidade do solo estava próxima à capacidade de campo, o que não impediu a presença de valores superiores a 2 MPa a partir de 0,125 m de profundidade, com maiores valores quando foi realizada a operação de preparo do solo (Tabela 22).

No Nitossolo é encontrada diferença no diâmetro médio ponderado da segunda amostragem (Tabela 20) a 0,15 entre as doses na aplicação superficial, apresentando as doses 4 e 0 os maiores valores.

O grau de floculação da argila, que indica a porcentagem da fração coloidal capaz de flocular naturalmente no solo estando menos susceptível aos diversos processos de carreamento, sofreu influência do preparo na ocasião da primeira e segunda amostragens no Latossolo (Tabela 6) a 0,05 m de profundidade, com maior valor na incorporação. No Nitossolo não houve diferença significativa na primeira coleta.

No Nitossolo a 0,15 m a dose recomendada proporciona os maiores valores de floculação na segunda coleta (Tabela 18). Porém a 0,30 m na dose recomendada são encontrados os menores valores. O menor valor de grau de floculação em profundidade, como ocorre para a dose 1 é descrito por CASTRO (1989) como processo de erosão vertical, em que a argila dispersa de camadas superior migra para camadas mais profundas, reduzindo o grau de floculação.

A condutividade hidráulica saturada no Latossolo (Tabela 10) foi influenciada pelas doses a 0,30 m de profundidade com os maiores valores encontrados na aplicação de quatro vezes a dose recomendada. No Nitossolo Vermelho (Tabela 23) não foi encontrada diferença entre as doses ou formas de aplicação devido à a elevada variação dos dados (MESQUITA & MORAES, 2004) com a presença de valores extremos, especialmente quando não há incorporação.

A aplicação de calcário é essencial para o crescimento das culturas e a crescente utilização do plantio direto remete à questão da necessidade de incorporação do corretivo. Assim sendo, diversos são os estudos sobre as diferenças existentes entre a incorporação do calcário antes da implantação do SPD e sua

aplicação superficial, sobretudo do ponto de vista químico (AMARAL & ANGHINONI; 2001; CAIRE et al., 2000; COSTA et al., 2004; MELLO et al., 2003; PRADO, 2003). É sabido que embora a eficiência de correção seja menor, esta também ocorre com a aplicação superficial por meio de uma frente de alcalinização que pode chegar a 0,10 m (MELLO et al., 2003).

Um dos mecanismos que se afirma ser responsável pela correção da acidez em profundidade é a maior continuidade dos poros de maior calibre (CAIRES et al, 2000) permitindo o transporte de partículas em profundidade. Nos ensaios avaliados não há aumento da continuidade em superfície, o que seria identificado pelo aumento de macroporosidade (Tabelas 12 e 25) e condutividade hidráulica saturada (Tabelas 10 e 23).

Nas duas áreas avaliadas a condição química original do solo não era crítica, sendo necessária a aplicação de doses relativamente baixas de calcário (1,3 e 1,1 t ha^{-1} para o Latossolo e o Nitossolo e doses máximas de 5,2 e 4,4 t ha^{-1}, respectivamente, tabela 2). As condições iniciais do solo também exercem grande influência nos resultados, uma vez que no solo sem revolvimento havia condições de desenvolvimento das plantas.

No Nitossolo Vermelho as curvas de retenção de água no solo (Figuras 13, 14 e 15) confirmam o comportamento da armazenagem de água (Tabela 28), com menores valores de umidade para a aplicação incorporada da dose recomendada de calcário.

No Latossolo Vermelho férrico há maior volume de água disponível (mesoporosidade, tabela 13) na camada superficial quando há revolvimento. A 0,30 m há maior volume de água disponível e menor porção de criptoporosidade (Tabela 14) na dose máxima de corretivo, indicando melhor condição de desenvolvimento para a planta, especialmente na condição de aplicação superficial em que é encontrada a maior porosidade, embora haja maior resistência à penetração (Tabela 9).

No Nitossolo Vermelho a melhor condição de desenvolvimento é a aplicação superficial da dose recomendada, com maior porção de água disponível (Tabela 26) e maior porosidade (Tabela 24) nos dez primeiros centímetros (profundidade de 0,05 m). As variações neste solo são menos evidentes como conseqüência da condição inicial do solo (presença de pastagem estabilizada), fazendo com que as variações do solo sejam superiores às provocadas pelos tratamentos.

Quanto à hipótese de impactos negativos causados pela aplicação de quatro vezes a dose recomendada de calcário não foi encontrado efeito negativo da aplicação.

8 CONCLUSÕES

A forma de aplicação do calcário (em superfície vs. incorporado) e a adição de calcário não são fatores determinantes de alteração dos atributos físico-hídricos do solo nas condições do presente estudo.

Nos ensaios avaliados não há impacto negativo nos atributos físico-hídricos do solo na aplicação de quatro vezes a dose recomendada de calcário.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, J.A. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. 1983. 129p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ASSIS JÚNIOR, R.N. **Análise do desempenho do tensiômetro de câmara de ar na avaliação do potencial mátrico da água**. 1995. 85p. Tese (Doutorado) – Departamento de Ciência do Solo, ESALQ, Piracicaba.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Física de suelos.** México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1973. p.78-242.

BOGNOLA, I.A.; PRADO, H. do; MENK, J.R.F.; JOAQUIM, A.C.; LEPSCH, I.F. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Assis. II. Memorial Descritivo. Campinas: Instituto Agronômico, 2003. 54p. (Boletim Científico, nº. 8)

BOUMA, J. Measuring the conductivity of soil horizons with continuous macropores; **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.438-441, 1982.

BUCKINGHAM, E. Studies of movement of soil moisture. United States: **Department Agricultural Bureau**, 1907. (Soil Bulletin, nº. 38)

BURDINE, N.T. Relative permeability calculations from pore-size distribution data. **Petroleum Trans. Am. Inst. Mining Eng.**, v.198, p.71–77, 1953.

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

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas:, Instituto Agronômico, 1986. (Boletim técnico, nº 106)

CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, M.S.; COSTA, L.M. Comportamento físico-hídrico de um podzólico vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n.2, p.257-265, fev. 1999.

CASTRO, O.M. **Efeito de dois tipos de calcário em alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo**. 1989. 63p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; DE MARIA, I.C; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo; **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.293-297, 1986.

CERQUEIRA, R.R. **Agregação de um Latossolo Vermelho Escuro em vários períodos de tempo em função da incorporação de palhas e da acidificação e calagem**. 1984. 74p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CHILDS, E.C.; COLLINS GEORGE, N. The permeability of porous materials. **Proc. Roy. Soc.**, London, **Ser. A201**: 392–405, 1950.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria; v.34, n.1, p.281-284, 2004.

DARCY, H. **Les fontaines publique de la Ville de Dijon.** Paris: Victor Dalmont, 1856. p.592.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, n.3, p.703-709, 1999.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.505-517, 2004.

EL-SWAIFY, S.A.. Physical and mechanical properties of Oxisols. In: THENG, B.K.G. ed. **Soil with variable charge**. Lower Hutt, New Zeland: Society of Soil Science, 1980. p.303-314.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D.; MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.329-333, 1983.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. **In:** 45a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. Anais. São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

GARCIA, M.R.L.; DE MELLO, L.M.M.; CASSIOLATO, A.M.R. Variáveis microbiológicas e produção do feijoeiro sob diferentes manejos do solo e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.39; n.10, p. 1021-1026, 2004.

GROHMANN, F.; VERDADE, F.; MARQUES, J.Q.A. Perdas de elementos nutritivos pela erosão. II – Elementos minerais e carbono. **Bragantia**, Campinas, v.15, n.27, 1956.

HAINES, W.B. Studies in the physical properties of soil: V. The hysteresis effect in capillary properties and the models of moisture associated therewith. **Journal of Agricultural Science,** v. 20, p. 97–116, 1930.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ESMINGER, L.E.; CLARK, F.E. (Eds.) Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, p. 499-510. (Agronomy Series, 9), 1965.

KLEIN, V.; LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, 945-953p., 2002.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. **In:** BLACK, C.A. ed. Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, p. 635–662, 1986.

KUTÍLEK, M.; NIELSEN, D.R. **Soil Hydrology**. Germany: Catena Verlag, 1994. 370p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da Água no Solo**. São Paulo, Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335p.

MARSHALL, T.J. A relation between permeability and size distribution of pores. **Journal of Soil Science**, v.9, p.1–8, 1958.

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

MELO FILHO, J.F. **Variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade de um latossolo sob condições de campo.** 2002. 145p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MESQUITA, G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

MILLINGTON, R.J.; QUIRK, J.P. Permeability of porous solids. **Trans. Faraday Society**, v.57, p. 1200-1207, 1961.

MORAES, S.O. **Heterogeneidade hidráulica de uma Terra Roxa Estruturada**. 1991. 141p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MORAIS, N.B. **Avaliação de cápsulas de cerâmica e de instrumentos de medida de tensão usados em tensiômetros**. 2000. 27f. Monografia (Graduação em Agronomia) - ESAM, Mossoró.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research, v. 12, p.** 513 – 522, 1976.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.38, n.2, p.291-299, fev. 2003.

POTT, C.A. **Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do Estado de São Paulo**. 2001. 63p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agronômico, Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas.

POULOVASSILIS, A. The influence of the initial water content on the redistribution of soil water after infiltration. **Soil Science**, Baltimore, v.135, p.265 – 281, 1983.

PRADO, R.M. Efeito residual do calcário sob diferentes modos de incorporação antes da instalação do sistema plantio direto; **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campinas Grande, v.7, n. 3, p.478-482, 2003.

PRADO, R.M.; ROQUE, C.G. Uso alternativo da grade aradora superpesada na correção da acidez do solo em profundidade e na produção da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p.275-281, 2002.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e Calagem em Solos Tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.

RAWLS, W.J e PACHEPSKY, Y.A. Soil Consistence and Structure as predictors of water retention. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, p.1115–1126, 2002.

REEVE, M.J.; SMITH, P.D.; THOMASSON, A.J. – The effect of density on water retention properties of field soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.24, p.355–367, 1973.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera - Conceitos, processos e aplicações.** Barueri, Editora Manole, 2004. 478p.

RICHARDS, L.A. Pressure membrane apparatus – construction and use. **Agricultural Engineering**; v. 28; p. 451-454, 1947.

RICHARDS, L.A. A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, New Brunswick, v. 51; p. 377–386, 1941.

RICHARDS, L.A. Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science,** New Brunswick, v.68; p.95–112, 1949.

ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G.B. Análise de Fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico; **Revista Brasileira de ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 241-248, 1991.

ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B.; FREDE, H.G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v. 10, n.2; p. 163-166, 1986.

SHARMA, M.L.; UEHARA, G. Influence of soil strutucture on water relations in low humic latosols: J. Water retention. **Soil Science Society of America Proceedings,** Madison, 32: 765 – 770, 1968.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

TENGBERG, A.; STOCKING, M.; DECHEN, S.C.F. The impact of erosion on soil productivity – An experimental design applied in São Paulo State, Brazil; **Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography**, v.79, n.1-2, p.95-107, 1997.

TORMENA, C. A.;ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; da COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n. 2, p. 211-219, 2007.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. Scientia Agrícola, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998.

TORRADO, P. V.; LEPSCH, I. F. Morfogênese dos solos de uma toposseqüência com transição B latossólico/B textural sobre migmatitos em Mococa (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.1, p.109-119, 1993.

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsatured soils; **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.892-897, 1980.

VERDADE, F.; GROHMANN, F.; MARQUES, J.Q.A. Perdas de elementos nutritivos pela erosão. I – nitrogênio e suas relações com as quantidades existentes no solo e na água de chuva; **Bragantia,** Campinas, v.15, n.10, p.99-106, 1956.

WARRICK, A.W. Interrelationships of irrigation uiformity terms. Journal of Irrigation and drainage engineering, v.109, n.3, p.317-332, 1983.

ANEXOS

Anexo 1: Parâmetros de ajuste da curva de retenção da água no solo no Latossolo Vermelho férrico, município de Palmital, SP.

(continua)

Bloco	Preparo do solo	Dose De corretivo	PROF[(2)]	Alpha [(2)]	m[(2)]	n[(2)]	θ[(2)] r	θ s[(2)]
3	SUP	0	5	1.1227	0.3329	1.499	0.253	0.583
3	SUP	0	15	2.4529	0.2945	1.4175	0.32	0.627
3	SUP	0	30	2.9145	0.31	1.4493	0.31	0.671
3	SUP	1	5	0.5442	0.3711	1.5902	0.243	0.581
3	SUP	1	15	1.3976	0.3078	1.4446	0.321	0.687
3	SUP	1	30	1.6552	0.2852	1.399	0.341	0.633
3	SUP	4	5	0.5678	0.4211	1.7273	0.27	0.674
3	SUP	4	15	2.2466	0.3005	1.4296	0.266	0.614
3	SUP	4	30	1.3778	0.3539	1.5478	0.252	0.613
3	INC	0	5	0.7875	0.3955	1.6542	0.322	0.663
3	INC	0	15	1.2436	0.304	1.4368	0.275	0.668
3	INC	0	30	1.1572	0.3734	1.5959	0.217	0.573
3	INC	1	5	1.2519	0.322	1.4749	0.27	0.679
3	INC	1	15	0.5773	0.4277	1.7472	0.262	0.685
3	INC	1	30	1.5224	0.3556	1.5518	0.254	0.663
3	INC	4	5	0.5389	0.4209	1.7269	0.258	0.704
3	INC	4	15	0.795	0.3519	1.543	0.247	0.66
3	INC	4	30	1.8654	0.3327	1.4987	0.231	0.601
4	SUP	0	5	0.3504	0.4522	1.8254	0.336	0.681
4	SUP	0	15	0.6954	0.3967	1.6575	0.277	0.693
4	SUP	0	30	1.3303	0.3201	1.4707	0.27	0.624
4	SUP	1	5	0.6548	0.3775	1.6064	0.253	0.654
4	SUP	1	15	1.1317	0.3517	1.5426	0.225	0.63
4	SUP	1	30	1.7951	0.3208	1.4723	0.243	0.632
4	SUP	4	5	0.4376	0.3778	1.5968	0.346	0.717
4	SUP	4	15	1.9805	0.2837	1.396	0.271	0.655
4	SUP	4	30	1.6021	0.3316	1.4962	0.267	0.695
4	INC	0	5	0.3996	0.4165	1.7138	0.315	0.68
4	INC	0	15	1.5862	0.339	1.513	0.268	0.669
4	INC	0	30	1.9767	0.3034	1.4355	0.294	0.629
4	INC	1	5	0.3809	0.3308	1.4943	0.333	0.665
4	INC	1	15	1.1062	0.312	1.4534	0.297	0.655
4	INC	1	30	0.7058	0.3551	1.5506	0.272	0.619
4	INC	4	5	0.391	0.3951	1.6533	0.318	0.668
4	INC	4	15	1.5139	0.3242	1.4797	0.24	0.609
4	INC	4	30	1.1282	0.3555	1.5515	0.263	0.662

[(1)]SUP como a aplicação superficial, INC como a incorporação do calcário, 0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada

[(2)] Prof como a profundidade, m, n e α são parâmetros de ajuste da equação, θr é a umidade residual e θs é a umidade de saturação

Anexo 1: Parâmetros de ajuste da curva de retenção da água no solo no Latossolo Vermelho férrico, município de Palmital, SP.

(continuação)

Bloco	Preparo do solo	Dose De corretivo	PROF[(2)]	Alpha [(2)]	m[(2)]	n[(2)]	θ[(2)] r	θ s[(2)]
5	SUP	0	0.05	0.641	0.416	1.711	0.265	0.603
5	SUP	0	0.15	2.170	0.311	1.451	0.305	0.608
5	SUP	0	0.30	1.501	0.373	1.595	0.271	0.629
5	SUP	1	0.05	1.109	0.347	1.530	0.248	0.595
5	SUP	1	0.15	1.585	0.346	1.529	0.290	0.646
5	SUP	1	0.30	0.579	0.417	1.716	0.321	0.618
5	SUP	4	0.05	0.356	0.521	2.086	0.320	0.665
5	SUP	4	0.15	2.788	0.302	1.433	0.336	0.684
5	SUP	4	0.30	1.427	0.363	1.570	0.271	0.606
5	INC	0	0.05	0.543	0.426	1.741	0.286	0.658
5	INC	0	0.15	1.449	0.358	1.558	0.261	0.608
5	INC	0	0.30	1.248	0.391	1.643	0.245	0.598
5	INC	1	0.05	1.024	0.388	1.635	0.279	0.640
5	INC	1	0.15	1.722	0.341	1.517	0.256	0.635
5	INC	1	0.30	1.505	0.387	1.536	0.275	0.616
5	INC	4	0.05	0.730	0.426	1.742	0.277	0.696
5	INC	4	0.15	1.721	0.407	1.687	0.272	0.591
5	INC	4	0.30	1.452	0.380	1.613	0.243	0.559
6	SUP	0	0.05	0.414	0.486	1.944	0.357	0.732
6	SUP	0	0.15	1.389	0.373	1.594	0.306	0.662
6	SUP	0	0.30	0.899	0.418	1.718	0.262	0.668
6	SUP	1	0.05	1.416	0.355	1.550	0.298	0.712
6	SUP	1	0.15	0.992	0.403	1.675	0.292	0.722
6	SUP	1	0.30	1.422	0.312	1.454	0.296	0.611
6	SUP	4	0.05	0.638	0.372	1.592	0.314	0.659
6	SUP	4	0.15	2.002	0.310	1.449	0.257	0.608
6	SUP	4	0.30	0.749	0.400	1.666	0.284	0.657
6	INC	0	0.05	0.566	0.342	1.519	0.378	0.674
6	INC	0	0.15	1.413	0.336	1.506	0.347	0.618
6	INC	0	0.30	1.618	0.320	1.471	0.348	0.582
6	INC	1	0.05	0.346	0.434	1.767	0.369	0.671
6	INC	1	0.15	1.082	0.379	1.610	0.318	0.658
6	INC	1	0.30	1.164	0.362	1.567	0.340	0.624
6	INC	4	0.05	0.331	0.515	2.061	0.360	0.709
6	INC	4	0.15	1.311	0.390	1.640	0.284	0.627
6	INC	4	0.30	1.583	0.342	1.519	0.277	0.618

[(1)]SUP como a aplicação superficial, INC como a incorporação do calcário, 0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada

[(2)] Prof como a profundidade, m, n e α são parâmetros de ajuste da equação, θr é a umidade residual e θs é a umidade de saturação

Anexo 2: Parâmetros de ajuste da curva de retenção da água no solo no Nitossolo Vermelho, município de Mococa, SP.

(continua)

Bloco	Preparo do solo	Dose De corretivo	PROF[(2)]	Alpha [(2)]	m[(2)]	n[(2)]	θ[(2)] r	θ s[(2)]
2	0	INC	0.05	1.333	0.133	1.154	0.000	0.498
2	0	INC	0.15	1.139	0.099	1.110	0.000	0.471
2	0	INC	0.30	0.980	0.067	1.072	0.000	0.412
2	1	INC	0.05	0.867	0.134	1.155	0.000	0.473
2	1	INC	0.15	0.819	0.098	1.108	0.000	0.413
2	1	INC	0.30	1.650	0.083	1.091	0.000	0.473
2	4	INC	0.05	0.685	0.128	1.147	0.000	0.487
2	4	INC	0.15	1.174	0.100	1.111	0.000	0.474
2	4	INC	0.30	4.341	0.097	1.108	0.000	0.475
2	0	SUP	0.05	1.122	0.135	1.155	0.000	0.491
2	0	SUP	0.15	0.975	0.099	1.109	0.000	0.471
2	0	SUP	0.30	1.729	0.075	1.081	0.000	0.464
2	1	SUP	0.05	1.623	0.151	1.178	0.014	0.502
2	1	SUP	0.15	1.139	0.096	1.106	0.000	0.464
2	1	SUP	0.30	0.324	0.084	1.092	0.000	0.410
2	4	SUP	0.05	2.749	0.121	1.138	0.000	0.568
2	4	SUP	0.15	1.082	0.964	1.107	0.000	0.456
2	4	SUP	0.30	0.319	0.093	1.103	0.000	0.459
3	0	INC	0.05	0.691	0.142	0.166	0.000	0.470
3	0	INC	0.15	1.424	0.108	1.120	0.000	0.467
3	0	INC	0.30	1.198	0.205	1.258	0.171	0.543
3	1	INC	0.05	1.211	0.147	1.172	0.000	0.475
3	1	INC	0.15	0.818	0.115	1.129	0.000	0.416
3	1	INC	0.30	9.219	0.085	1.093	0.000	0.484
3	4	INC	0.05	0.841	0.147	1.172	0.000	0.467
3	4	INC	0.15	1.111	0.095	1.105	0.000	0.449
3	4	INC	0.30	2.743	0.088	1.097	0.000	0.532
3	0	SUP	0.05	2.622	0.092	1.102	0.000	0.498
3	0	SUP	0.15	0.855	0.096	1.106	0.000	0.463
3	0	SUP	0.30	1.437	0.201	1.252	0.065	0.436
3	1	SUP	0.05	1.835	0.177	1.216	0.056	0.575
3	1	SUP	0.15	1.091	0.114	1.128	0.000	0.480
3	1	SUP	0.30	0.721	0.097	1.108	0.000	0.478
3	4	SUP	0.05	1.089	0.116	1.131	0.000	0.514
3	4	SUP	0.15	0.772	0.107	1.120	0.000	0.423
3	4	SUP	0.30	1.287	0.078	1.084	0.000	0.415

[(1)]SUP como a aplicação superficial, INC como a incorporação do calcário, 0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada

[(2)] Prof como a profundidade, m, n e a são parâmetros de ajuste da equação, θr é a umidade residual e θs é a umidade de saturação

Anexo 2: Parâmetros de ajuste da curva de retenção da água no solo no Nitossolo Vermelho, município de Mococa, SP.

(continuação)

Bloco	Preparo do solo	Dose De corretivo	PROF[(2)]	Alpha [(2)]	m[(2)]	n[(2)]	θ[(2)] r	θ s[(2)]
4	0	INC	0.05	0.881	0.124	1.414	0.000	0.510
4	0	INC	0.15	1.080	0.065	1.105	0.000	0.487
4	0	INC	0.30	0.033	0.127	1.145	0.000	0.394
4	1	INC	0.05	0.717	0.115	1.130	0.000	0.514
4	1	INC	0.15	0.953	0.103	1.115	0.000	0.458
4	1	INC	0.30	10.941	0.117	1.133	0.056	0.521
4	4	INC	0.05	1.198	0.128	1.147	0.000	0.466
4	4	INC	0.15	1.423	0.127	1.146	0.000	0.534
4	4	INC	0.30	1.640	0.101	1.112	0.000	0.449
4	0	SUP	0.05	0.864	0.134	1.154	0.000	0.494
4	0	SUP	0.15	0.700	0.111	1.124	0.000	0.396
4	0	SUP	0.30	4.200	0.084	1.092	0.000	0.482
4	1	SUP	0.05	1.039	0.151	0.177	0.000	0.504
4	1	SUP	0.15	1.293	0.116	1.132	0.000	0.456
4	1	SUP	0.30	1.687	0.084	1.092	0.000	0.462
4	4	SUP	0.05	0.838	0.125	1.142	0.000	0.457
4	4	SUP	0.15	1.528	0.106	1.118	0.000	0.493
4	4	SUP	0.30	2.277	0.077	1.083	0.000	0.473
5	0	INC	0.05	1.569	0.106	1.119	0.000	0.491
5	0	INC	0.15	0.802	0.115	1.130	0.000	0.447
5	0	INC	0.30	4.545	0.083	1.090	0.000	0.513
5	1	INC	0.05	1.275	0.137	0.154	0.000	0.474
5	1	INC	0.15	1.537	0.121	1.137	0.000	0.429
5	1	INC	0.30	1.857	0.102	1.114	0.000	0.482
5	4	INC	0.05	1.666	0.188	1.231	0.023	0.561
5	4	INC	0.15	0.558	0.112	1.126	0.000	0.417
5	4	INC	0.30	1.661	0.096	1.107	0.000	0.502
5	0	SUP	0.05	0.991	0.148	1.173	0.000	0.476
5	0	SUP	0.15	0.697	0.114	1.129	0.000	0.474
5	0	SUP	0.30	1.780	0.087	1.095	0.000	0.490
5	1	SUP	0.05	0.381	0.125	1.142	0.000	0.443
5	1	SUP	0.15	2.079	0.087	1.096	0.000	0.476
5	1	SUP	0.30	3.553	0.088	1.097	0.000	0.497
5	4	SUP	0.05	0.685	0.154	1.182	0.000	0.456
5	4	SUP	0.15	0.694	0.120	0.136	0.000	0.437
5	4	SUP	0.30	4.015	0.091	1.100	0.000	0.516

[(1)]SUP como a aplicação superficial, INC como a incorporação do calcário, 0 como a dose controle, 1 como a dose recomendada e 4 como quatro vezes a dose recomendada

[(2)] Prof como a profundidade, m, n e a são parâmetros de ajuste da equação, θr é a umidade residual e θs é a umidade de saturação