



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Akiyoshi Sanches Suzuki, Luis Eduardo; Rodrigues de Lima, Cláudia Liane; Reinert, Dalvan José;  
Reichert, José Miguel; Nailto Pillon, Clênio  
ESTRUTURA E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM UM ARGISOL SOB PASTAGEM CULTIVADA,  
FLORESTA NATIVA E POVOAMENTO DE EUCALIPTO NO RIO GRANDE DO SUL  
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 38, núm. 1, 2014, pp. 94-106  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180230053009>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# **ESTRUTURA E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM UM ARGISSOLO SOB PASTAGEM CULTIVADA, FLORESTA NATIVA E POVOAMENTO DE EUCALIPTO NO RIO GRANDE DO SUL<sup>(1)</sup>**

**Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki<sup>(2)</sup>, Cláudia Liane Rodrigues de Lima<sup>(3)</sup>, Dalvan José Reinert<sup>(4)</sup>, José Miguel Reichert<sup>(4)</sup> & Clênio Nailto Pillon<sup>(5)</sup>**

## **RESUMO**

Práticas pouco adequadas de manejo têm ocasionado a compactação e a degradação da estrutura do solo. Identificar atributos que melhor representem essas alterações são relevantes na recuperação e na indicação de práticas para evitar danos na estrutura do solo. Objetivou-se avaliar o impacto de diferentes usos em atributos estruturais e hídricos de um Argissolo Vermelho. O estudo foi realizado no município de Butiá, na região fisiográfica da Serra do Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, em um Argissolo Vermelho distrófico. As áreas analisadas corresponderam a: floresta antropizada constituída por espécies arbóreas e arbustivas (Floresta); pastagem com cinco anos de idade, com braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha*) consorciada com pensacola (*Paspalum lourai*) e trevo (*Trifolium sp.*) (Pastagem); povoamento de *Eucalyptus saligna* com 20 anos de idade (Eucalipto 20); e plantio clonal de *Eucalyptus saligna* conduzido em segunda rotação, com 4,5 anos de idade (Eucalipto 4,5). Avaliaram-se nessas áreas a textura, a condutividade hidráulica, a porosidade, a densidade, o diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), a curva de retenção de água, a distribuição do tamanho de poros e o parâmetro S, obtendo-se as seguintes conclusões: até a camada de 0,10 m na Pastagem, e 0,40 m no Eucalipto 4,5, os agregados foram formados pela ação da textura e matéria orgânica e pelo efeito compressivo, decorrente do

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Recebido para publicação em 4 de abril de 2011 e aprovado em 25 de setembro de 2013.

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, UFPel. Rua Gomes Carneiro, 01, Campus Porto. CEP 96010-610 Pelotas (RS). E-mail: dusuzuki@gmail.com

<sup>(3)</sup> Professora, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Campus Universitário, s/n. CEP 96010-900 Capão do Leão (RS). E-mail: cirlima@yahoo.com.br

<sup>(4)</sup> Professor, Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima, 1000. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: dalvan@smail.ufsm.br, reichert@smail.ufsm.br

<sup>(5)</sup> Pesquisador, Embrapa Clima Temperado. Rodovia BR 392, Km 78. Caixa Postal 403. CEP 96001-970 Pelotas (RS). E-mail: pillon@cpact.embrapa.br

**pisoteio dos bovinos e da colheita do eucalipto.** Conforme a profundidade aumentou, ocorreu redução do DMP de agregados, em razão da diminuição da matéria orgânica, e aumento do cascalho, especialmente para as áreas de Pastagem e Eucalipto 4,5, e ao menor efeito da compressão do solo. A textura e a matéria orgânica evidenciaram influência na agregação do solo e, mesmo em pequena proporção, o cascalho reduziu o DMP de agregados, pois sua baixa reatividade e seu maior diâmetro dificultaram a formação de agregados estáveis. Em relação aos atributos hídricos do solo, as áreas de Floresta e a Pastagem apresentaram maior disponibilidade de água, enquanto o maior parâmetro S está relacionado ao maior armazenamento de água.

**Termos de indexação:** estabilidade de agregados, água disponível, compressão do solo, colheita florestal.

**SUMMARY: STRUCTURE AND WATER STORAGE IN AN ALFISOL UNDER CULTIVATED PASTURE, NATIVE FOREST AND EUCALYPTUS IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL**

*Unsuitable management practices have led to soil compaction and degradation of soil structure. Identifying properties that better represent these alterations are important for recovery of soil structure and for recommendation of practices to avoid damage to soil structure. The aim of this study was evaluate the effect of different soil uses on the structure and water properties of an Alfisol. The study was carried out in an Alfisol in the municipality of Butia in the “Serra do Sudeste” physiographic region of the state of Rio Grande do Sul. The areas analyzed were anthropic forest consisting of species of trees and bushes (Forest); 5-year-old pasture, consisting of Brachiaria brizantha associated with Paspalum lourai and Trifolium sp. (Pasture); 20-year-old Eucalyptus saligna plantation (Eucalyptus 20); and 4.5-year-old, second rotation Eucalyptus saligna plantation (Eucalyptus 4.5). The following factors were evaluated in these areas: soil texture, water conductivity, soil porosity, bulk density, mean weight-diameter of aggregates (MWD), water retention curve, pore size distribution and S parameter. The following conclusions were drawn: up to 0.10 m depth in Pasture and 0.40 m depth in Eucalyptus 4.5, the aggregates are formed by the action of the texture and organic matter, and by the compressive effect from cows (in Pasture) and eucalyptus harvesting (in Eucalyptus 4.5), respectively. As depth increases, the MWD of aggregates decreases because of the reduction in organic matter and the increase in gravel and, especially in the Pasture and Eucalyptus 4.5 areas, because of the lesser effect of soil compression. Soil texture (sand, silt and clay) and organic matter have a significant influence on soil aggregation and, even in a small amount, gravel decreases the DMP of the aggregates because its low reactivity and greater diameter hinder the formation of stable aggregates. For soil water parameters, the forest and pasture areas have greater water availability, while a greater S parameter is related to greater water storage.*

*Index terms: aggregate stability, available water, soil compression, forest harvesting.*

## INTRODUÇÃO

A qualidade do solo tem sido estudada tendo a planta como resposta aos indicadores de qualidade, principalmente em áreas agrícolas. Quando se consideram áreas florestais, a resposta das plantas aos indicadores não é tão simples. Diferentemente das culturas anuais, as árvores apresentam um ciclo mais longo, estando sujeitas às variações climáticas e de ação antrópica durante vários anos.

Diferentes usos do solo e seus impactos no meio ambiente têm sido o grande desafio de estudos no meio científico. Identificar os melhores parâmetros para detectar tais impactos e quantificá-los não é tarefa

fácil, pois o ambiente é dinâmico e está em constante modificação, tanto pela ação humana quanto natural.

As modificações da estrutura do solo pelos diferentes sistemas de manejo como no plantio direto (Genro Junior et al., 2004), no plantio convencional (Alves & Suzuki, 2004), na pastagem (Lanzanova, 2005) e na silvicultura (Fernandes & Souza, 2003) têm sido amplamente estudadas, especialmente em áreas agrícolas, mas, comparativamente em áreas sob silvicultura, as informações ainda são incipientes.

A exploração florestal, segundo Martins et al. (1998), é um termo utilizado para definir um conjunto de operações, que se inicia com a abertura de acesso à floresta e o transporte das árvores para as unidades

de processamento. Tais operações podem interferir em vários componentes do ecossistema, acarretando alterações da estrutura do solo, erosão e prejuízos à vegetação, o que modifica o meio físico em diferentes escalas de intensidade.

A mecanização mal conduzida tem sido a responsável pela deterioração das condições físicas do solo, pelo exagerado número de operações e pelo tráfego excessivo sem controle das condições adequadas do solo (Beltrame & Taylor, 1980), quando a carga aplicada é superior à capacidade de suporte dele (Veiga et al., 2007). A mecanização tem sido responsável pela deterioração do solo não apenas na agricultura, mas em áreas florestais também, pelo aumento do uso de máquinas maiores e mais pesadas e tráfego em condições de solo com elevada umidade.

Tem-se verificado, portanto, uma degradação da qualidade do solo, causada pelas práticas inadequadas de manejo. Larson & Pierce (1994) afirmam que a qualidade do solo é uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas, que fornece os meios para a produção vegetal e a animal, regula o fluxo de água e atua como um filtro ambiental na attenuação e degradação de componentes ambientalmente danosos ou perigosos. A qualidade do solo, do ponto de vista físico, está associada ao solo que: permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, aos córregos e à subsuperfície; responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e as raízes de plantas; e possibilita o crescimento das raízes (Reichert et al., 2003).

Em áreas florestais, onde as plantas apresentam um ciclo mais longo em relação às culturas anuais, é importante o apontamento de indicadores relacionados ao ambiente, mas que demonstrem relação com o crescimento e desenvolvimento de plantas, no estudo da degradação da qualidade do solo. Acredita-se que muitos dos indicadores e resultados obtidos em áreas agrícolas, que evidenciam relações com a planta, o meio ambiente e a qualidade do solo, auxiliam e servem como embasamento para os estudos em áreas florestais.

Dante desse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os atributos estruturais e hídricos de um Argissolo Vermelho distrófico do sul do Brasil e os impactos de diferentes usos (pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto) nesses atributos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição das áreas de estudo

A área de estudo está localizada no município de Butiá, situado na região fisiográfica da Serra do Sudeste (Escudo Rio-Grandense) do Estado do Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas

de 30° 06' 06" de latitude Sul e 51° 52' 18" de longitude Oeste.

Pelo sistema de Köppen, o clima da região é do tipo "Cfa", clima subtropical, úmido, sem estiagem. A temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C e a do menos quente é de 3 a 18 °C.

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico (Santos et al., 2006) Tb A moderado, textura média/argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado e ondulado e substrato granito, com teor de argila e areia variando, respectivamente, entre 325 e 595 g kg<sup>-1</sup> e 277 e 475 g kg<sup>-1</sup>, de acordo com a camada de solo e uso.

Os usos e suas características foram as seguintes:

- a) Floresta: floresta antropizada constituída por espécies arbóreas e arbustivas com altura de aproximadamente 4 m, utilizada como abrigo pelos bovinos;
- b) Pastagem: pastagem com cinco anos de idade, constituída de braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha*) consorciada com pensacola (*Paspalum lourai*) e trevo (*Trifolium* sp.). A pastagem foi instalada em uma área de 1.200 ha<sup>-1</sup>, sob preparo convencional em 2001. Antes do plantio da pastagem, a área foi constituída por floresta natural e em seguida foi utilizada com pastagem e soja.
- c) Eucalipto 20: povoamento de *Eucalyptus saligna* com 20 anos de idade, sendo realizado o preparo convencional do solo para implantação do povoamento em 1986. Antes do plantio do eucalipto, a área foi constituída por pastagem.
- d) Eucalipto 4,5: plantio clonal de *E. saligna* conduzido em 2<sup>a</sup> rotação, com 4,5 anos de idade. O plantio original ocorreu em 1993, com preparo do solo em faixa e escarificador de três hastas. A colheita do eucalipto no primeiro corte, aos 8,5 anos de idade, foi feita manualmente com motosserra, e a extração da madeira foi realizada com Forwarder Valmet 890 com capacidade de carga de 18 Mg, sem queima do resíduo vegetal. O tráfego para colheita do eucalipto no primeiro corte foi aleatório, com número de passadas podendo chegar a 16. O segundo plantio foi feito nas entrelinhas em 2002. Antes do plantio original ocorrido em 1993, utilizou-se a área com soja e pastagem.

### Coleta de amostras

Os pontos de coleta nas áreas sob Floresta, Pastagem e Eucalipto 20 estavam em uma altitude de aproximadamente 126 m, enquanto a área de Eucalipto 4,5 em uma altitude de aproximadamente 140 m. Na Floresta, as coletas foram realizadas em uma área de difícil acesso aos animais por causa da arquitetura das espécies arbóreas e arbustivas; contudo, em razão da possibilidade de os bovinos conseguirem ter acesso a esse ponto de coleta nos períodos mais secos, essa área foi denominada de floresta antropizada. No Eucalipto 4,5, as coletas foram feitas na entrelinha da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> rotação, entre quatro árvores.

No mês de setembro do ano de 2006, realizaram-se as coletas de amostras com estrutura alterada e preservada, onde foram abertas três trincheiras em cada uso para coleta nas seguintes camadas: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; e 0,60-1,00 m.

A coleta de amostras com estrutura alterada foi realizada nas três trincheiras dentro de cada área, para avaliação da granulometria e do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo. No laboratório, para cada trincheira foram feitas duas repetições, totalizando seis repetições para cada tratamento e camada de solo.

Amostras com estrutura alterada também foram utilizadas para determinação dos teores de matéria orgânica do solo, os quais se encontram detalhados e apresentados em Antunes (2007). Os teores de matéria orgânica foram utilizados para a correlação com o DMP de agregados do solo.

Para as amostras com estrutura preservada, coletaram-se em cada trincheira duas amostras por camada de solo, totalizando seis repetições por camada. As amostras foram coletadas no centro da camada em cilindros com 5,0 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro, para determinar a condutividade hidráulica, porosidade e densidade. Esses atributos foram utilizados para a correlação com o DMP de agregados do solo.

Também foram coletadas amostras com estrutura preservada em cilindros de 2,5 cm de altura e 6,1 cm de diâmetro, nas seguintes camadas: 0,025-0,05; 0,10-0,125; e 0,20-0,225 m, para definir a curva de retenção de água, o cálculo da água disponível, o parâmetro S e a distribuição do tamanho de poros. Foram coletadas duas amostras por camada de solo, em três trincheiras por área, totalizando seis repetições.

### Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Embrapa, 2011), utilizando amostras de solo com estrutura alterada. Realizou-se a dispersão das amostras de solo com agitador horizontal com 120 rpm, durante 4 h, utilizando vidros de 100 mL contendo 20 g de solo, 10 mL de NaOH 6% (dispersante químico), 50 mL de água destilada e duas esferas de níquel com peso de 3,04 g, diâmetro de 1,71 cm e densidade de 1,11 g cm<sup>-3</sup> (Suzuki et al., 2004).

### Diâmetro médio ponderado de agregados (DMP)

Agregados de tamanho menor que 8 mm foram selecionados para determinação do DMP de agregados estáveis em água, conforme Kemper & Chepil (1965) modificado. Para essa determinação, os agregados foram agitados em um aparelho de oscilação vertical (Yoder, 1936), com peneiras de malha de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50; e 0,25 mm.

O DMP foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{DMP} = \frac{\sum_{i=1}^n (mAGR_i \times c_i)}{\sum_{i=1}^n mtAGR_i}$$

em que DMP = diâmetro médio ponderado do tamanho de agregados (mm); mAGR<sub>i</sub> = massa de agregados, em g, na classe i (excluído o material inerte); c<sub>i</sub> = valor médio do diâmetro da classe i de agregados (mm); e mtAGR<sub>i</sub> = massa total de agregados, em g (excluído o material inerte).

### Condutividade hidráulica do solo saturado, porosidade e densidade

As amostras com estrutura preservada foram saturadas por capilaridade para quantificadar a condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório ( $K_{\theta S}$ ), utilizando-se um permeámetro de carga constante (Libardi, 2005). Em seguida, essas foram encaminhadas à mesa de tensão a 6 kPa para determinar a macroporosidade (Mac), onde permaneceram por aproximadamente dois dias e, em seguida, levadas à estufa por mais dois dias para definir a microporosidade (Mic), porosidade total (PT) (Embrapa, 2011) e densidade do solo (DS) (Blake & Hartge, 1986). Esses atributos foram utilizados para a correlação com o DMP de agregados do solo, e os valores médios desses atributos foram apresentados por Suzuki et al. (2012), os quais foram sintetizados, neste trabalho, os valores médios do perfil do solo, para as áreas de Floresta (Mac: 0,089 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Mic: 0,351 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; PT: 0,439 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; DS: 1,33 Mg m<sup>-3</sup>; e  $K_{\theta S}$ : 4,41 mm h<sup>-1</sup>); Pastagem (Mac: 0,054 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Mic: 0,356 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; PT: 0,410 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; DS: 1,38 Mg m<sup>-3</sup>; e  $K_{\theta S}$ : 0,11 mm h<sup>-1</sup>); Eucalipto 20 (Mac: 0,131 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Mic: 0,309 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; PT: 0,439 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; DS: 1,32 Mg m<sup>-3</sup>; e  $K_{\theta S}$ : 35,83 mm h<sup>-1</sup>) e Eucalipto 4,5 (Mac: 0,070 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Mic: 0,319 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; PT: 0,389 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; DS: 1,48 Mg m<sup>-3</sup>; e  $K_{\theta S}$ : 5,02 mm h<sup>-1</sup>).

### Curva de retenção de água no solo

As amostras com estrutura preservada foram saturadas por capilaridade e pesadas. A umidade nas tensões de 1, 6 e 10 kPa foram obtidas na mesa de tensão, enquanto as tensões de 33 e 100 kPa, em câmaras de pressão de Richards (Klute, 1986). A umidade volumétrica das amostras foi obtida pela relação entre a quantidade de água retida em uma determinada tensão e o volume do cilindro de coleta.

O conteúdo de água nas tensões de 500, 1.000 e 1.500 kPa foi obtido em um psicrômetro de ponto de orvalho ("dew point potentiometer") (Decagon..., 2000), utilizando amostras com estrutura alterada. Obteve-se a umidade volumétrica, multiplicando-se a umidade gravimétrica pela densidade do solo.

Para ajuste da curva característica de água no solo, utilizou-se o modelo de van Genuchten (1980) pelo programa computacional SWRC (*Soil Water Retention Curve*) (Dourado-Neto et al., 2001), de acordo com a equação:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha\Psi)^n]^m}$$

em que  $\theta$  = umidade volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ );  $\theta_r$  = umidade residual ( $m^3 m^{-3}$ );  $\theta_s$  = umidade de saturação ( $m^3 m^{-3}$ );  $\Psi$  = potencial matricial (kPa); e  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$  = parâmetros de ajuste da curva de retenção de água.

### Água disponível

O cálculo da água disponível foi feito pela umidade volumétrica entre a capacidade de campo (tensão = 10 kPa) e o ponto de murcha permanente (tensão = 1.500 kPa).

### Parâmetro S

Pela curva de retenção de água, obteve-se o parâmetro S (Dexter, 2004). Como se utilizou o parâmetro  $m$  como dependente ( $m = 1 - 1/n$ ) (Mualem, 1976), o parâmetro S foi obtido pela equação:

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \left( \frac{2n-1}{n-1} \right)^{\frac{1}{n}-2}$$

em que  $S$  = parâmetro "S";  $\theta_r$  = umidade residual ( $m^3 m^{-3}$ );  $\theta_s$  = umidade de saturação ( $m^3 m^{-3}$ ); e  $n$  = parâmetro de ajuste da curva de retenção de água.

Como o parâmetro S é sempre negativo, é utilizado o módulo nos resultados, como sugerido por Dexter (2004).

### Distribuição do tamanho de poros do solo

Por meio das amostras com estrutura preservada utilizadas para a avaliação da curva de retenção de água, calculou-se a distribuição do tamanho de poros do solo, usando as curvas características de água estimada pelo modelo de van Genuchten (1980) pelo programa computacional SWRC (*Soil Water Retention Curve*) (Dourado-Neto et al., 2001).

A porcentagem de poros com diâmetro superior ao calculado para cada tensão foi obtida pela equação (Ribeiro et al., 2007):

$$\%V = 100 * \left[ 1 - \frac{(PT - UV)}{PT} \right]$$

em que  $V$  = porcentagem de poros do solo com diâmetro superior ao calculado para cada tensão;  $PT$  = porosidade total do solo (%); e  $UV$  = umidade volumétrica correspondente à tensão utilizada para o cálculo do diâmetro dos poros (%).

### Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância seguindo o delineamento inteiramente casualizado, sendo analisados usos e camadas de solo. Os graus de liberdade dos usos foram desdobrados em contrastes dentro de cada camada de solo, e os graus de liberdade das camadas de solo foram desdobradas

em contrastes dentro de cada uso. Consideraram-se os usos e as camadas diferentes quando significativos a 1 e 5 % pelo teste F. Realizou-se também a análise de correlação de Pearson entre os atributos avaliados. A análise estatística dos dados foi realizada pelo programa estatístico SAS (1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, estão caracterizadas granulometricamente as áreas em estudo. De modo geral, houve incremento no teor de argila e cascalho e redução do teor de areia, de acordo com aumento da profundidade. A variação da textura nas diferentes áreas pode estar associada à variabilidade natural, associada ao relevo, ou até mesmo aos possíveis processos erosivos ocorridos ao longo dos anos.

Ao longo do perfil do solo, com aumento da profundidade, houve redução do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados (Quadro 1) e, de modo geral, não houve diferenças entre os usos, apenas em algumas camadas específicas de solo (Quadro 2). Diferenças ocorreram quando contrastadas as camadas de solo em cada uso (Quadro 3).

Contrastes significativos entre os usos ocorreram entre Floresta vs Pastagem, na camada de 0,60-1,00 m; Floresta vs Eucalipto 20, nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,60-1,00 m; Pastagem vs Eucalipto 20 e Eucalipto 4,5 vs Eucalipto 20, na camada de 0,20-0,40 m (Quadro 2). As diferenças entre os usos na camada de 0,60-1,00 m podem estar relacionadas às características intrínsecas do solo, como sua textura e quantidade de cascalho, enquanto nas camadas superiores as diferenças podem estar associadas às características intrínsecas e aos usos do solo, como profundidade de compactação, características do sistema radicular e sua profundidade de atuação. O maior DMP do Eucalipto 20 em relação aos demais usos pode estar associado à maior profundidade de atuação do sistema radicular do eucalipto, que se encontra na área há 20 anos, contribuindo para melhor estrutura do solo em profundidade.

Realizou-se análise de correlação entre os atributos físicos e a matéria orgânica do solo com o DMP (Quadro 4), pois, de acordo com Reichert et al. (2007), para evitar conclusões ou interpretações errôneas é importante que se avalie não apenas um atributo físico do solo, como a estabilidade de agregados, mas um conjunto de atributos que possam auxiliar no diagnóstico do solo. Um exemplo disso foi o trabalho de Carpenedo & Mielniczuk (1990), que verificaram, no sistema de semeadura direta, aumento do DMP dos agregados estáveis em água na camada de 0,00-0,10 m; porém, a avaliação da estrutura interna dos agregados evidenciou que eles foram formados por forças de compressão e não por ação biológica das raízes e dos microrganismos.

**Quadro 1.** Valores médios de cascalho, areia total, areia grossa, areia fina, silte, argila e de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados para os usos e camadas em estudo no Argissolo Vermelho distrófico

Camada	Cascalho	Areia			Silte	Argila	DMP
		Total	Grossa	Fina			
m				g kg <sup>-1</sup>			mm
0,00-0,05	8	407	245	162	191	402	3,2
0,05-0,10	12	385	210	175	193	422	3,2
0,10-0,20	12	379	213	166	187	434	2,1
0,20-0,40	23	345	198	147	179	476	1,9
0,40-0,60	48	293	171	122	165	542	1,7
0,60-1,00	47	277	167	110	144	579	0,9
				Floresta			
0,00-0,05	38	362	206	156	193	445	3,0
0,05-0,10	21	355	200	155	199	446	2,7
0,10-0,20	36	334	193	141	185	481	2,7
0,20-0,40	41	301	175	126	165	534	2,0
0,40-0,60	75	300	186	114	137	563	1,3
0,60-1,00	68	282	167	115	130	588	1,4
				Pastagem			
0,00-0,05	30	374	212	162	161	465	3,0
0,05-0,10	40	371	213	158	161	468	3,2
0,10-0,20	75	385	220	165	157	458	3,3
0,20-0,40	274	353	206	147	156	491	2,9
0,40-0,60	110	302	185	117	134	564	1,5
0,60-1,00	97	285	176	109	120	595	1,3
				Eucalipto 20			
0,00-0,05	14	475	272	203	200	325	3,3
0,05-0,10	14	460	265	195	194	346	3,2
0,10-0,20	19	426	240	186	192	382	2,5
0,20-0,40	55	376	226	150	162	462	1,7
0,40-0,60	47	314	188	126	151	535	1,3
0,60-1,00	37	288	171	117	141	571	1,0
				Eucalípto 4,5			
0,00-0,05	14	475	272	203	200	325	3,3
0,05-0,10	14	460	265	195	194	346	3,2
0,10-0,20	19	426	240	186	192	382	2,5
0,20-0,40	55	376	226	150	162	462	1,7
0,40-0,60	47	314	188	126	151	535	1,3
0,60-1,00	37	288	171	117	141	571	1,0

Cascalho: partículas de diâmetro entre 20 e 2 mm; areia total: partículas de diâmetro entre 2 e 0,05 mm; areia grossa: partículas de diâmetro entre 2 e 0,2 mm; areia fina: partículas de diâmetro entre 0,2 e 0,05 mm; silte: partículas de diâmetro entre 0,05 e 0,002 mm; e argila: partículas de diâmetro menor que 0,002 mm.

**Quadro 2.** Contrastos médios e suas significâncias para o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados nos usos e nas camadas do Argissolo Vermelho distrófico

Constraste	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m	0,40-0,60 m	0,60-1,00 m
Floresta vs Pastagem	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,57 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>**</sup>
Floresta vs Eucalipto 20	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>**</sup>	0,99 <sup>**</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>**</sup>
Floresta vs Eucalipto 4,5	0,07 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
Pastagem vs Eucalipto 20	0,01 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>**</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
Pastagem vs Eucalipto 4,5	0,33 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>
Eucalipto 20 vs Eucalipto 4,5	-0,32 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>**</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
CV (%)	12,98	18,12	23,42	24,08	38,60	28,44

CV: coeficiente de variação. ns: não significativo; e \*\*: significativo a 1 % pelo teste F.

**Quadro 3. Contrastos médios e suas significâncias para o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados nas camadas de solo dos usos no Argissolo Vermelho distrófico**

<b>Contraste</b>	<b>Uso</b>			
	<b>Floresta</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Eucalipto 20</b>	<b>Eucalipto 4,5</b>
0,00-0,05 vs 0,05-0,10	0,01 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>
0,00-0,05 vs 0,10-0,20	-1,13 <sup>**</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	-0,75 <sup>**</sup>
0,00-0,05 vs 0,20-0,40	-1,32 <sup>**</sup>	-0,94 <sup>**</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	-1,55 <sup>**</sup>
0,00-0,05 vs 0,40-0,60	-1,51 <sup>**</sup>	-1,66 <sup>**</sup>	-1,51 <sup>**</sup>	-1,96 <sup>**</sup>
0,00-0,05 vs 0,60-1,00	-2,31 <sup>**</sup>	-1,60 <sup>**</sup>	-1,63 <sup>**</sup>	-2,33 <sup>**</sup>
0,05-0,10 vs 0,10-0,20	-1,14 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,63 <sup>**</sup>
0,05-0,10 vs 0,20-0,40	-1,33 <sup>**</sup>	-0,64 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	-1,43 <sup>**</sup>
0,05-0,10 vs 0,40-0,60	-1,52 <sup>**</sup>	-1,36 <sup>**</sup>	-1,72 <sup>**</sup>	-1,85 <sup>**</sup>
0,05-0,10 vs 0,60-1,00	-2,33 <sup>**</sup>	-1,30 <sup>**</sup>	-1,85 <sup>**</sup>	-2,22 <sup>**</sup>
0,10-0,20 vs 0,20-0,40	0,19 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>**</sup>
0,10-0,20 vs 0,40-0,60	0,38 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>**</sup>	1,79 <sup>**</sup>	1,21 <sup>**</sup>
0,10-0,20 vs 0,60-1,00	0,19 <sup>**</sup>	1,32 <sup>**</sup>	1,92 <sup>**</sup>	1,59 <sup>**</sup>
0,20-0,40 vs 0,40-0,60	0,19 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>*</sup>	1,43 <sup>**</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
0,20-0,40 vs 0,60-1,00	0,99 <sup>**</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>**</sup>	0,79 <sup>**</sup>
0,20-0,40 vs 0,60-1,00	0,80 <sup>**</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
CV (%)	19,80	26,90	23,64	17,67

CV: coeficiente de variação. ns: não significativo; \* e \*\*: significativo a 5 e 1% pelo teste F.

**Quadro 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados e algumas propriedades físicas e matéria orgânica do Argissolo Vermelho distrófico**

<b>Variável correlacionada com o DMP</b>	<b>Uso</b>			
	<b>Floresta</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Eucalipto 20</b>	<b>Eucalipto 4,5</b>
Macroporosidade	0,46 <sup>**</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
Microporosidade	0,35 <sup>*</sup>	0,57 <sup>**</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,57 <sup>**</sup>
Porosidade total	0,63 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>
Densidade do solo	-0,47 <sup>**</sup>	0,35 <sup>*</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>**</sup>
Condutividade	0,31 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
Cascalho	-0,62 <sup>**</sup>	-0,55 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>**</sup>
Areia total	0,78 <sup>**</sup>	0,50 <sup>**</sup>	0,56 <sup>**</sup>	0,89 <sup>**</sup>
Areia grossa	0,67 <sup>**</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>*</sup>	0,89 <sup>**</sup>
Areia fina	0,77 <sup>**</sup>	0,67 <sup>**</sup>	0,62 <sup>**</sup>	0,84 <sup>**</sup>
Silte	0,79 <sup>**</sup>	0,76 <sup>**</sup>	0,65 <sup>**</sup>	0,83 <sup>**</sup>
Argila	-0,81 <sup>**</sup>	-0,67 <sup>**</sup>	-0,64 <sup>**</sup>	-0,89 <sup>**</sup>
Matéria orgânica	0,79 <sup>**</sup>	0,69 <sup>**</sup>	0,56 <sup>**</sup>	0,70 <sup>**</sup>

ns: não significativo; \* e \*\*: significativo a 5 e 1% pelo teste F.

A redução do DMP em profundidade pode estar associada à redução da matéria orgânica e ao menor efeito da compressão do solo pelo pisoteio animal (Pastagem) e tráfego de máquinas (Eucalipto 4,5), nas camadas mais inferiores.

A textura e a matéria orgânica do solo apresentaram maior correlação com o DMP do que os atributos relacionados à estrutura do solo, como porosidade e densidade (Quadro 4). Vários trabalhos têm apresentado relação da matéria orgânica com

estabilidade de agregados (Alderfer & Merkle, 1941; Tisdall & Oades, 1982). Mesmo em pequena proporção (Quadro 1), o cascalho apresentou grande influência no DMP (Quadro 4). O aumento do teor de cascalho reduz o DMP, pois, por ser uma fração de baixa reatividade e de grande diâmetro, sua presença pode dificultar a formação de agregados estáveis.

De modo geral, solos argilosos apresentam maior DMP em relação a solos arenosos, contradizendo a correlação negativa entre DMP e teor de argila obtida

neste trabalho (Quadro 4). Essa aparente contradição pode estar associada ao fato de os maiores teores de argila terem ocorrido nas camadas mais profundas do solo, onde há menor teor de matéria orgânica e menor compressão dos agregados por ação das máquinas e animais, além do maior teor de cascalho.

Botelho (2005) verificou a presença de hematita e goethita em um Argissolo coletado na região do Escudo Cristalino do Rio Grande do Sul, com material de origem granito. É possível que ocorra a presença desses óxidos no solo em estudo, e esses argilominerais estejam contribuindo para a agregação do solo, tanto pelas associações organo-minerais quanto apenas ligações minerais.

Na Floresta, o DMP não diferiu na camada superior a 0,10 m, que diferenciou das camadas inferiores (Quadro 3). Essa maior agregação na camada superficial pode estar associada à melhor estrutura do solo (porosidade e densidade) e principalmente à textura e matéria orgânica (Quadro 4).

Na Pastagem, além da textura e matéria orgânica (Quadro 4), a compressão do solo pelo pisoteio animal pode ter contribuído para aumentar o DMP na camada superior a 0,10 m (Quadro 1). Lanzanova (2005) observou que o denso sistema radicular das gramíneas foi mais pronunciado do que o pisoteio bovino contínuo nos valores do diâmetro médio geométrico de agregados em uma área de campo nativo em um Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico típico ( $249 \text{ g kg}^{-1}$  de areia,  $407 \text{ g kg}^{-1}$  de silte e  $344 \text{ g kg}^{-1}$  de argila).

O tamanho dos agregados e sua estabilidade apresentam forte influência nos fluxos de ar e água no solo. Além disso, de acordo com Kemper & Chepil (1965), a distribuição do tamanho de agregados do solo é importante, porque o tamanho dos agregados determina a suscetibilidade ao movimento (erosão) pelo vento e água, bem como as dimensões do espaço poroso de solos cultivados.

No Eucalipto 20, os valores de DMP das camadas superiores a 0,40 m não diferiram estatisticamente entre si, e distinguiram das inferiores, além de apresentarem valores superiores aos demais usos nas camadas superiores a 0,40 m (Quadro 1). A maior agregação do solo esteve associada à textura e matéria orgânica, sem relação com a porosidade e densidade do solo (Quadro 4), talvez associado ao fato de esse uso apresentar o solo solto, pouco estruturado e consequente porosidade elevada e baixa densidade, conforme constatado por Suzuki et al. (2012) nessa mesma área.

No Eucalipto 4,5, o DMP na camada de 0,00-0,10 m não diferiu estatisticamente e apresentou valores superiores às demais camadas (Quadro 1). Essa semelhança esteve associada à textura e matéria orgânica (Quadro 4), além do efeito compressivo causado pela colheita do eucalipto na 1<sup>a</sup> rotação, que pode ter influenciado na agregação do solo até a camada de 0,40 m. As camadas inferiores a 0,40 m

evidenciaram DMP semelhantes, sendo influenciados apenas pela textura do solo. O efeito compressivo do tráfego de máquinas tem importância no diâmetro médio dos agregados. Quando os agregados são formados por aproximação de partículas provocada pela ação compressiva de máquinas e implementos agrícolas, sem a ocorrência do processo de estabilização, as ligações existentes entre as partículas são mais facilmente desfeitas (Silva & Mielniczuk, 1997).

Por meio da avaliação do DMP e sua correlação com algumas variáveis físicas, a intensidade e a profundidade de alteração da estrutura do solo parecem ter variado com os diferentes usos, fato que pode estar associado às especificações das máquinas e seus rodados, às condições dele, ao número de vezes em que foi trafegado e ao seu histórico de pressões, além do seu manejo.

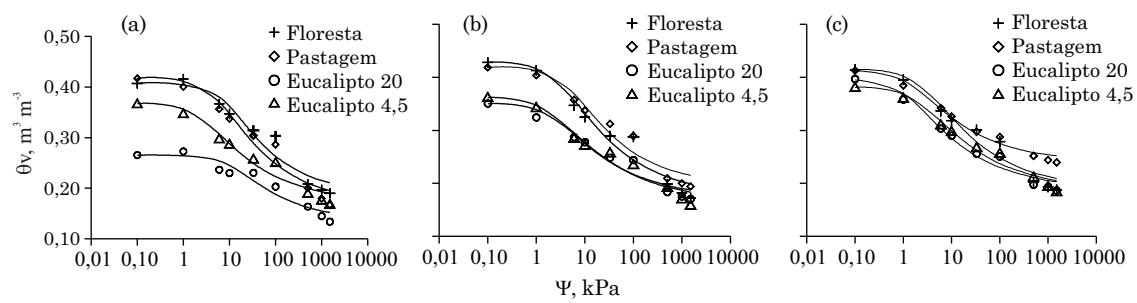
No Eucalipto 4,5, havia  $12 \text{ t ha}^{-1}$  de serapilheira no momento das coletas de solo. Embora a presença de palha na superfície do solo possa dissipar a energia da compactação pelo tráfego de máquinas (Braida et al., 2006), em áreas florestais é possível que a profundidade de distribuição das pressões no solo seja maior do que em áreas agrícolas ou de pecuária em razão do maior peso de máquinas, do tráfego intenso durante a colheita e da possibilidade de uma maior umidade do solo em razão do sombreamento causado pela espécie florestal.

Nas maiores tensões e com aumento da profundidade, a amplitude de variação entre as curvas de retenção de água diminuiu (Figura 1), associada ao fato de que, para altos teores de água, a curva característica depende do arranjo e das dimensões dos poros, passando a ser uma função da densidade e porosidade do solo, enquanto para baixos teores de água, o potencial matricial depende mais da textura e mineralogia do solo.

Na camada de 0,025-0,050 m, as curvas de retenção de água do solo sob Floresta e Pastagem (Figura 1a) foram semelhantes (Quadro 5) e apresentaram maior disponibilidade de água (Quadro 6); nas tensões de 500 a 1.500 kPa, as curvas da Pastagem e Eucalipto 4,5 não apresentaram diferenças (Quadro 5). As áreas sob eucalipto evidenciaram menor disponibilidade de água (Quadro 6).

As áreas de Floresta e Pastagem demonstraram maior disponibilidade de água em relação às áreas sob Eucalipto, que apresentaram maior porcentagem de poros responsáveis pela drenagem ou poros muito pequenos responsáveis pela alta tensão de água no solo (Quadro 6).

No Eucalipto 20, a menor disponibilidade de água esteve relacionada à maior porcentagem de poros muito pequenos ( $< 0,0002 \text{ mm}$ ), responsáveis pela alta tensão de água no solo, enquanto no Eucalipto 4,5 essa menor disponibilidade de água esteve associada à maior porcentagem de poros muito grandes ( $> 0,009 \text{ mm}$ ), responsáveis pela drenagem de água no solo e poros



**Figura 1.** Valores observados (representados pelos símbolos) e estimados (representados pela linha cheia) da curva característica de retenção de água nas camadas de 0,025-0,050 (a), 0,100-0,125 (b) e 0,200-0,225 m (c) para o Argissolo Vermelho distrófico.

**Quadro 5.** Contrastos médios e suas significâncias para as umidades volumétricas estimadas nas tensões da curva característica de retenção de água no Argissolo Vermelho distrófico

Tensão	Floresta vs Pastagem	Floresta vs Eucalipto 20	Floresta vs Eucalipto 4,5	Pastagem vs Eucalipto 20	Pastagem vs Eucalipto 4,5	Eucalipto 20 vs Eucalipto 4,5	CV
	kPa	%					
0,025-0,05 m							
saturado	0,010 <sup>ns</sup>	-0,142 <sup>**</sup>	-0,040 <sup>*</sup>	-0,152 <sup>**</sup>	-0,050 <sup>**</sup>	-0,102 <sup>**</sup>	6,70
1	0,007 <sup>ns</sup>	-0,142 <sup>**</sup>	-0,049 <sup>**</sup>	-0,149 <sup>**</sup>	-0,056 <sup>**</sup>	-0,093 <sup>**</sup>	5,39
6	-0,010 <sup>ns</sup>	-0,132 <sup>**</sup>	-0,072 <sup>**</sup>	-0,122 <sup>**</sup>	-0,062 <sup>**</sup>	-0,060 <sup>**</sup>	4,03
10	-0,017 <sup>ns</sup>	-0,124 <sup>**</sup>	-0,075 <sup>**</sup>	-0,107 <sup>**</sup>	-0,058 <sup>**</sup>	-0,049 <sup>**</sup>	5,27
33	-0,027 <sup>ns</sup>	-0,010 <sup>**</sup>	-0,067 <sup>**</sup>	-0,071 <sup>**</sup>	-0,040 <sup>**</sup>	-0,031 <sup>*</sup>	8,93
100	-0,022 <sup>ns</sup>	-0,078 <sup>**</sup>	-0,046 <sup>**</sup>	-0,055 <sup>**</sup>	-0,024 <sup>*</sup>	-0,031 <sup>*</sup>	7,93
500	-0,012 <sup>ns</sup>	-0,064 <sup>**</sup>	-0,022 <sup>**</sup>	-0,053 <sup>**</sup>	-0,011 <sup>ns</sup>	-0,042 <sup>**</sup>	5,70
1000	-0,012 <sup>ns</sup>	-0,061 <sup>**</sup>	-0,020 <sup>**</sup>	-0,049 <sup>**</sup>	-0,007 <sup>ns</sup>	-0,042 <sup>**</sup>	6,06
1500	-0,013 <sup>ns</sup>	-0,060 <sup>**</sup>	-0,018 <sup>*</sup>	-0,047 <sup>**</sup>	-0,006 <sup>ns</sup>	-0,042 <sup>**</sup>	6,07
0,10-0,125 m							
saturado	-0,009 <sup>ns</sup>	-0,078 <sup>**</sup>	-0,065 <sup>**</sup>	-0,069 <sup>**</sup>	-0,056 <sup>*</sup>	-0,013 <sup>ns</sup>	8,34
1	-0,004 <sup>ns</sup>	-0,083 <sup>**</sup>	-0,070 <sup>**</sup>	-0,079 <sup>**</sup>	-0,066 <sup>**</sup>	-0,013 <sup>ns</sup>	8,02
6	0,011 <sup>ns</sup>	-0,064 <sup>**</sup>	-0,061 <sup>**</sup>	-0,075 <sup>**</sup>	-0,073 <sup>**</sup>	-0,003 <sup>ns</sup>	9,89
10	0,013 <sup>ns</sup>	-0,054 <sup>*</sup>	-0,055 <sup>*</sup>	-0,067 <sup>**</sup>	-0,068 <sup>**</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	10,23
33	0,014 <sup>ns</sup>	-0,036 <sup>*</sup>	-0,038 <sup>*</sup>	-0,050 <sup>**</sup>	-0,052 <sup>**</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	9,49
100	0,014 <sup>ns</sup>	-0,026 <sup>*</sup>	-0,028 <sup>*</sup>	-0,040 <sup>**</sup>	-0,042 <sup>**</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	8,30
500	0,016 <sup>ns</sup>	-0,016 <sup>ns</sup>	-0,019 <sup>ns</sup>	-0,032 <sup>**</sup>	-0,034 <sup>**</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	7,41
1000	0,016 <sup>ns</sup>	-0,014 <sup>ns</sup>	-0,017 <sup>ns</sup>	-0,030 <sup>**</sup>	-0,033 <sup>**</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	7,28
1500	0,017 <sup>ns</sup>	-0,012 <sup>ns</sup>	-0,016 <sup>ns</sup>	-0,029 <sup>**</sup>	-0,033 <sup>**</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	7,23
0,20-0,225 m							
saturado	-0,002 <sup>ns</sup>	-0,019 <sup>ns</sup>	-0,032 <sup>ns</sup>	-0,017 <sup>ns</sup>	-0,031 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	6,77
1	-0,008 <sup>ns</sup>	-0,031 <sup>ns</sup>	-0,033 <sup>ns</sup>	-0,023 <sup>ns</sup>	-0,025 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	7,31
6	-0,004 <sup>ns</sup>	-0,043 <sup>*</sup>	-0,030 <sup>ns</sup>	-0,039 <sup>*</sup>	-0,026 <sup>ns</sup>	-0,013 <sup>ns</sup>	9,47
10	0,002 <sup>ns</sup>	-0,041 <sup>*</sup>	-0,026 <sup>ns</sup>	-0,042 <sup>*</sup>	-0,028 <sup>ns</sup>	-0,014 <sup>ns</sup>	9,44
33	0,016 <sup>ns</sup>	-0,029 <sup>*</sup>	-0,017 <sup>ns</sup>	-0,044 <sup>**</sup>	-0,033 <sup>*</sup>	-0,012 <sup>ns</sup>	7,95
100	0,026 <sup>*</sup>	-0,019 <sup>ns</sup>	-0,011 <sup>ns</sup>	-0,045 <sup>**</sup>	-0,037 <sup>**</sup>	-0,008 <sup>ns</sup>	6,38
500	0,037 <sup>**</sup>	-0,010 <sup>ns</sup>	-0,006 <sup>ns</sup>	-0,046 <sup>**</sup>	-0,042 <sup>**</sup>	-0,004 <sup>ns</sup>	5,26
1000	0,040 <sup>**</sup>	-0,007 <sup>ns</sup>	-0,005 <sup>ns</sup>	-0,047 <sup>**</sup>	-0,044 <sup>**</sup>	-0,003 <sup>ns</sup>	4,97
1500	0,041 <sup>**</sup>	-0,006 <sup>ns</sup>	-0,005 <sup>ns</sup>	-0,048 <sup>**</sup>	-0,046 <sup>**</sup>	-0,002 <sup>ns</sup>	4,89

CV: coeficiente de variação. ns: não significativo; \* e \*\*: significativo a 5 e 1% pelo teste F.

muito pequenos, em detrimento dos poros responsáveis pela retenção e disponibilidade de água às plantas (Figura 2a). De modo geral, quanto maior for a inclinação da curva de distribuição de poros do solo, maior tende a ser a diversidade do tamanho dos poros. Os criptoporos são aqueles poros em que a água pode permanecer retida com energia muito alta, sendo, portanto, indisponível às plantas (Klein, 1998). É a água que o solo retém quando o seu potencial matricial se encontra abaixo do ponto de murcha permanente ( $< 1500 \text{ kPa}$ ), armazenada nos poros com diâmetro inferior a 0,0002 mm. Já os bioporos correspondem às cavidades do solo, originadas pela presença de minhocas, cupins e outros organismos do solo e pelo desenvolvimento de raízes no interior do solo; quando o solo é saturado, esses grandes poros dominam o transporte de água no solo.

Na camada de 0,10-0,125 m, as curvas da Floresta e Pastagem (Figura 1b) foram novamente semelhantes (Quadro 5) e apresentaram maior disponibilidade de água (Quadro 6); as curvas das áreas sob Eucalipto também foram semelhantes entre si (Figura 1b) e tiveram menor disponibilidade de água (Quadro 6). Se a pressão aplicada à superfície do solo for superior à sua capacidade de suporte, ela é transmitida tridimensionalmente, causando compressão e rearranjando as partículas do solo em arranjos mais densos que alteram a pressão de água nos poros. Quando a rede de poros do solo não é rígida, modificações localizadas no potencial de água criam

gradientes localizados que alteram a distribuição de água no perfil. Durante essa redistribuição, os poros de aeração (poros maiores) são comprimidos em poros menores que se tornam preenchidos com solução do solo (Horn et al., 2004). As áreas de Eucalipto apresentaram menor porcentagem de poros responsáveis pela disponibilidade de água em relação à Floresta e Pastagem (Figura 2b), o que justifica a menor disponibilidade de água nesses usos.

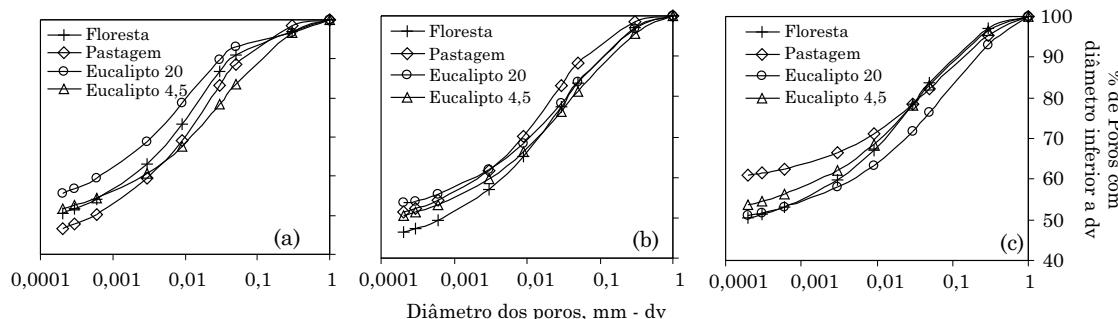
Semelhanças entre as curvas da Floresta e do Eucalipto 4,5 e do Eucalipto 20 e Eucalipto 4,5 (Quadro 5) foram observadas na camada de 0,20-0,225 m (Figura 1c). Nessa camada, a amplitude de variação das curvas de retenção de água diminuiu (Figura 1c), bem como a disponibilidade de água, imprimindo menor diferença entre os usos (Quadro 6). Nessa camada, a Pastagem apresentou menor diversidade de tamanho de poros, predominando aqueles de diâmetro menor que 0,0002 mm (Figura 2c). Pérez Gomar (2005) verificou que o pisoteio bovino (20 e 40 animais  $\text{ha}^{-1}$ ) em um Vertissolo aumentou a densidade e reduziu a porosidade total, refletindo em maiores conteúdos de água nas tensões de 33 e 100 kPa, evidenciando o efeito benéfico da compactação. No caso do Eucalipto 20, talvez uma pequena compactação favorecesse o armazenamento de água; no entanto, uma compactação excessiva comprometeria tanto a estrutura do solo quanto seu armazenamento de água.

Neste estudo, verificou-se que a amplitude de variação das curvas diminuiu com aumento das tensões, embora ainda tenham ocorrido diferenças entre os usos nas maiores tensões, podendo esse efeito estar associado às pequenas diferenças de textura entre as áreas.

O parâmetro S tem sido utilizado como indicativo da qualidade do solo (Dexter, 2004). Em todas as camadas avaliadas, a Floresta apresentou maior parâmetro S, seguida da Pastagem (Quadro 7), diferindo do Eucalipto 20 (Quadro 8). O maior parâmetro S foi relacionado ao maior armazenamento de água no solo (Figura 1). Nenhum contraste significativo foi verificado na camada de 0,20-0,225 (Quadro 8), podendo estar relacionado à menor

**Quadro 6. Valores médios de água disponível estimada para os diferentes usos no Argissolo Vermelho distrófico**

Camada	Uso			
	Floresta	Pastagem	Eucalipto 20	Eucalipto 4,5
$\text{m} \quad \text{m}^3 \text{m}^{-3}$				
0,025-0,050	0,151	0,152	0,093	0,098
0,100-0,125	0,133	0,131	0,087	0,094
0,200-0,225	0,116	0,072	0,082	0,094



**Figura 2. Distribuição estimada do diâmetro de poros (dv) nas camadas de 0,025-0,050 (a), 0,100-0,125 (b) e 0,200-0,225 m (c) para o Argissolo Vermelho distrófico.**

amplitude de variação das curvas de retenção de água dos diferentes usos (Figura 1).

Dexter (2004) sugeriu que valores de S superiores a 0,035 representam solos com boa qualidade física, os entre 0,020 e 0,035 são de qualidade física ruim e os menores que 0,020 são de qualidade física muito ruim. Considerando essas faixas, todos os usos teriam boa qualidade física. No entanto, esse fato não foi observado pelo DMP e pelas curvas de retenção de água. As faixas sugeridas por Dexter (2004) podem não ser adequadas para essas condições.

## CONCLUSÕES

1. O diâmetro médio ponderado de agregados apresenta poucas diferenças entre os usos do solo, tendo maior influência da profundidade do solo.

2. O aumento da profundidade do solo faz com que haja redução do diâmetro médio ponderado de agregados em razão da diminuição da matéria orgânica, do aumento do cascalho e do menor efeito da compressão do solo pelo pisoteio animal na área de Pastagem e do tráfego de máquinas na área de Eucalipto com 4,5 anos de idade.

3. A textura e a matéria orgânica apresentam maior correlação com o diâmetro médio ponderado de agregados em relação à estrutura do solo (porosidade e densidade).

**Quadro 7. Valores médios do parâmetro S para os usos e as camadas no Argissolo Vermelho distrófico**

Camada	Uso			
	Floresta	Pastagem	Eucalipto 20	Eucalipto 4,5
m				
0,025-0,050	0,055	0,046	0,035	0,038
0,100-0,125	0,049	0,047	0,036	0,036
0,200-0,225	0,045	0,038	0,040	0,037

4. A camada superficial do solo, nas áreas de Floresta e Pastagem, evidencia maior disponibilidade de água em relação às áreas sob Eucalipto, que apresentam maior porcentagem de poros responsáveis pela drenagem ou poros muito pequenos responsáveis pela alta tensão de água no solo.

5. O parâmetro S é pouco sensível para detectar as diferenças entre os usos, sendo necessário definir faixas mais adequadas para as condições avaliadas.

## AGRADECIMENTOS

Aos técnicos e bolsistas da Embrapa Clima Temperado de Pelotas, RS, pelo auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório; e à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de estudo durante o doutoramento do primeiro autor.

## LITERATURA CITADA

- ALDERFER, R.B. & MERKLE, F.G. Structural and permeability of native forest soils compared with cultivated areas of the same soil type. *Soil Sci. Proc.*, 6:98-103, 1941.
- ALVES, M.C. & SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. *Acta Sci.*, 26:27-34, 2004.
- ANTUNES, L.O. Estoque e labilidade da matéria orgânica em um Argissolo sob sistemas de produção de eucalipto. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas. 2007. 82p. (Dissertação de Mestrado)
- BELTRAME, L.F.S. & TAYLOR, J.C. Causas e efeitos da compactação do solo. *Lav. Arroz.*, 32:59-62, 1980.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1986. p.363-375.
- BOTELHO, M.R. Avaliação da cor e comportamento espectral de algumas classes de solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. 2005. 103p. (Dissertação de Mestrado)

**Quadro 8. Contrastess médios e suas significâncias para o parâmetro S no Argissolo Vermelho distrófico**

Camada	Floresta	Floresta	Floresta	Pastagem	Pastagem	Eucalipto 20	CV
	vs Pastagem	vs Eucalipto 20	vs Eucalipto 4,5	vs Eucalipto 20	vs Eucalipto 4,5	vs Eucalipto 4,5	
m							
0,025-0,050	-0,009ns	-0,020*	0,000ns	-0,011ns	0,009ns	-0,020*	27,78
0,100-0,125	-0,003ns	-0,015**	0,000ns	-0,012*	0,003ns	-0,015**	13,22
0,200-0,225	-0,007ns	-0,004ns	0,000ns	0,002ns	0,007ns	-0,004ns	19,57

CV: coeficiente de variação. ns: não significativo; \* e \*\*: significativo a 5 e 1 % pelo teste F.

- BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:605-614, 2006.
- CARPENEDO, V. & MILENICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolo Roxo, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:99-105, 1990.
- DECAGON DEVICES. Operator's manual version 1.3 WP4 dewpointmeter. New York, Decagon Devices, 2000. 70p.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120:201-214, 2004.
- DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. & LOPES, P.P. Soil water retention curve. version 3. Piracicaba, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230p. (Documentos/Embrapa Solos, 132)
- FERNANDES, H.C. & SOUZA, A.P. Compactação de um Latossolo Vermelho causada pelo tráfego do "Forwarder". *R. Árvore*, 27:279-284, 2003.
- GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:477-484, 2004.
- HORN, R.; VOSSBRINK, J. & BECKER, S. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil Till. Res.*, 79:207-219, 2004.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. Madison, Wisconsin, America Society of America, 1965. p.499-510.
- KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, 1998. 150p. (Tese de Doutorado)
- KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1986. p.635-660.
- LANZANOVA, M.E. Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 125p. (Dissertação de Mestrado)
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p.37-51. (SSSA Special Publication, 35)
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2005. 335p.
- MARTINS, S.S.; COUTO, L.; TORMENA, C.A. & MACHADO, C.C. Impactos da exploração madeireira em florestas nativas sobre alguns atributos físicos do solo. *R. Árvore*, 22:69-76, 1998.
- MUALEM, Y. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction and formulas. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: Part 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1976. p.799-823. (Monograph, 9)
- PÉREZ GOMAR, E. Qualidade física de um Vertissolo e produção forrageira em campo nativo melhorado, com irrigação e pastoreio. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 85p. (Tese de Doutorado)
- REICHERT, J.M.; REINERT, J.M. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ci. Amb.*, 27:29-48, 2003.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. & REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. & REICHERT, J.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5. p.49-134.
- RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F. & SAMPAIO, F.M.T. Propriedades física do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. *Ci. Agrotec.*, 31:1167-1175, 2007.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F. & CUNHA, T.J.F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SAS Institute Inc. SAS/STAT user's guide. version 4. Cary, 1999.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:313-319, 1997.
- SUZUKI, L.E.A.S.; LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & PILION, C.N. Condição estrutural de um Argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamento com eucalipto. *Ci. Flor.*, 22:833-843, 2012.
- SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; KAISER, D.R.; KUNZ, M.; PELLEGRINI, A.; REICHERT, J.M. & ALBUQUERQUE, J.A. Teor de argila de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal, tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., Santa Maria, 2004. Anais... Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CD-ROM
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:892-898, 1980.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M.  
Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from  
southern Brazil, as affected by long-term tillage systems.  
Soil Till. Res., 92:104-113, 2007.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils  
and a study of the physical nature of erosion losses. J.  
Am. Soc. Agron., 28:337-351, 1936.