

## PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS DE UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA SOB PROCESSO DE DEGRADAÇÃO

Carla Deisiane de Oliveira Costa<sup>1</sup>

Marlene Cristina Alves<sup>2</sup>

Antônio de Pádua Sousa<sup>3</sup>

Hélio Ricardo Silva<sup>2</sup>

### RESUMO

A degradação do solo em uma bacia hidrográfica traz como consequência a erosão. Por isso, as práticas de manejo adotadas são de grande importância para a conservação do solo e da água. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar o estado de degradação das propriedades físicas nos diferentes usos e manejos dos solos da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria-MS. Os solos mais representativos da sub-bacia são o Latossolo Vermelho e o Argissolo Vermelho. As análises foram realizadas em amostras de dez locais da sub-bacia: três áreas com pastagens, sendo duas no Argissolo e uma no Latossolo, três áreas com eucalipto aos 5 anos e quatro áreas com eucalipto aos 6 meses recém-transplantado, todos no Latossolo. A sub-bacia Dois Córregos apresenta relevo plano em toda sua extensão. Os solos são estáveis em água, pois apresentaram altos valores de diâmetro médio ponderado (DMP) em todos os usos e manejos. Os solos possuem baixa capacidade de armazenamento de água, porém boa permeabilidade, devido à textura arenosa. As boas condições de estabilidade de agregados e permeabilidade são importantes, devido ao estado de degradação dos solos desta sub-bacia, apresentando baixos valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total, e altos valores de densidade do solo, sendo estes acima dos valores adequados para o bom desenvolvimento das plantas. O processo de degradação pode ser identificado na sub-bacia Dois Córregos pelas más condições das propriedades físicas dos solos para uso agrícola devido ao mal uso e manejo do solo.

**Palavras-chave:** Física Do Solo; Degradação do Solo; Sub-bacia Dois Córregos.

### ABSTRACT

**Soil physical properties of a sub-basin river in degradation process.** Soil degradation in a river basin brings as consequence the erosion, therefore management practices adopted are great importance for soil and water conservation. This study aimed to evaluate the state of degradation the physical properties in different soil use and management of the sub-basin river Dois Córregos. The most representative soils are Red Oxisol and Red Ultisol. The analysis were realized in samples of ten spots in the river sub-basin: three areas with pastures, being two in Argisol and one in Oxisol, three areas with eucalyptus five years and four areas with eucalyptus six months newly transplanted, all in Oxisol. The sub-basin river Dois Córregos presents flat relief in all its extension. The soils are stable in water, as they presented high values of mean weight diameter (MWD) in all uses and management. Soils have low water storage capacity, but good permeability due to the sandy texture. The good conditions of aggregation and permeability are important due to the degree of degradation of the soils of this sub-basin river, with low values of macroporosity, microporosity

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Água e Solo, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS, Brasil. E-mail para correspondência: carladeisiane@hotmail.com

<sup>2</sup> Depto. de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Depto. de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

and total porosity, and high values of soil density, being these above the suitable values for good development of the plants. The degradation process can be identified in the Dois Córregos sub-basin by poor soil physical properties for agricultural use, due to the misuse and soil management.

**Keywords:** Soil Physical; Soil Degradation; Sub-basin River Dois Córregos.

## INTRODUÇÃO

O manejo inadequado dos solos traz como consequências, de acordo com Moro (2011), a alteração de suas propriedades, como a redução do teor de matéria orgânica, a maior suscetibilidade à formação do selamento superficial, a compactação subsuperficial e a diminuição da fertilidade do solo. Estas condições reduzem o movimento de água no solo, ao mesmo tempo que favorecem a formação do escoamento superficial. A combinação da pouca resistência do solo, aliado a um grande volume escoado superficialmente, favorece o processo de desagregação e de transferência dos sedimentos para os cursos de água.

A erosão hídrica tem sido a principal causa da redução da capacidade produtiva dos solos, e, além disso, como efeito indireto, causa o assoreamento e a contaminação dos cursos de água devido à erosão, transporte e deposição de sedimentos (Costa et al., 2015).

O uso intensivo do solo deixa-o mais suscetível a processos erosivos, de acordo com Costa et al. (2016). As perdas de solo em bacias hidrográficas têm como principal causa a sua degradação devido a seu manejo inadequado. Nesse sentido, os principais contribuintes para esse processo são as práticas agrícolas intensivas, a falta de manejo em áreas cultivadas com pastagens e o desmatamento.

Dentre as propriedades do solo que sofrem tais modificações, estão as propriedades físicas. Os diferentes usos e manejos do solo proporcionam modificações nas suas propriedades, consequentemente alterando a sua permeabilidade e capacidade de armazenamento de água. Assim, essas alterações são as principais causas do escoamento superficial e processos erosivos.

A porosidade do solo é uma das propriedades passíveis as tais modificações. Ainda, é uma das principais propriedades físicas que devem ser analisadas em estudos diagnósticos de suscetibilidade à erosão, por exercer grande influência em outros fenômenos físicos, como a infiltração, condutividade hidráulica e capacidade de armazenamento de água no solo. De acordo com Stefanoski et al. (2013), as práticas de manejo do solo exercem influência em sua estrutura, no tamanho e na quantidade de poros, afetando diretamente a sua permeabilidade e capacidade de armazenamento de água.

A estabilidade de agregados é outra propriedade física do solo que deve ser conhecida em estudos diagnósticos de suscetibilidade à erosão, pois solos com maior percentagem de agregados estáveis em água podem ser considerados mais resistentes aos processos de erosão e de perdas de solos (Costa, 2013).

Também é importante conhecer as condições de permeabilidade dos solos. De acordo com Costa (2013), o conhecimento da infiltração e da condutividade hidráulica do solo saturado é fundamental para a solução de problemas relativos à conservação do solo e da água, além do controle da erosão e de perdas de solos. Assim, é de grande importância para o manejo o entendimento de ambos os processos e de suas relações com as propriedades do solo.

O conhecimento da capacidade de armazenamento de água no solo também é de suma importân-

cia. Figueiredo et al. (2008) observaram em áreas com degradação de solos a diminuição na capacidade de armazenamento de água, devido à compactação, e a consequente redução do espaço poroso desse solo. Além disso, de acordo com Costa (2013), a capacidade de armazenamento de água no solo depende de outros atributos físicos, como distribuição e tamanho dos poros, fatores diretamente relacionados aos processos de escoamento superficial e erosão.

A sub-bacia Dois Córregos, localizada no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, apresenta problemas ambientais, como erosão do solo, assoreamento dos cursos de água e escassez de vegetação nativa. A área onde se encontram as nascentes do Rio Dois Córregos apresentam processos erosivos em estágio avançado, que levaram à formação de uma voçoroca e alguns leitos secos, consequência do manejo inadequado das áreas cultivadas com pastagens.

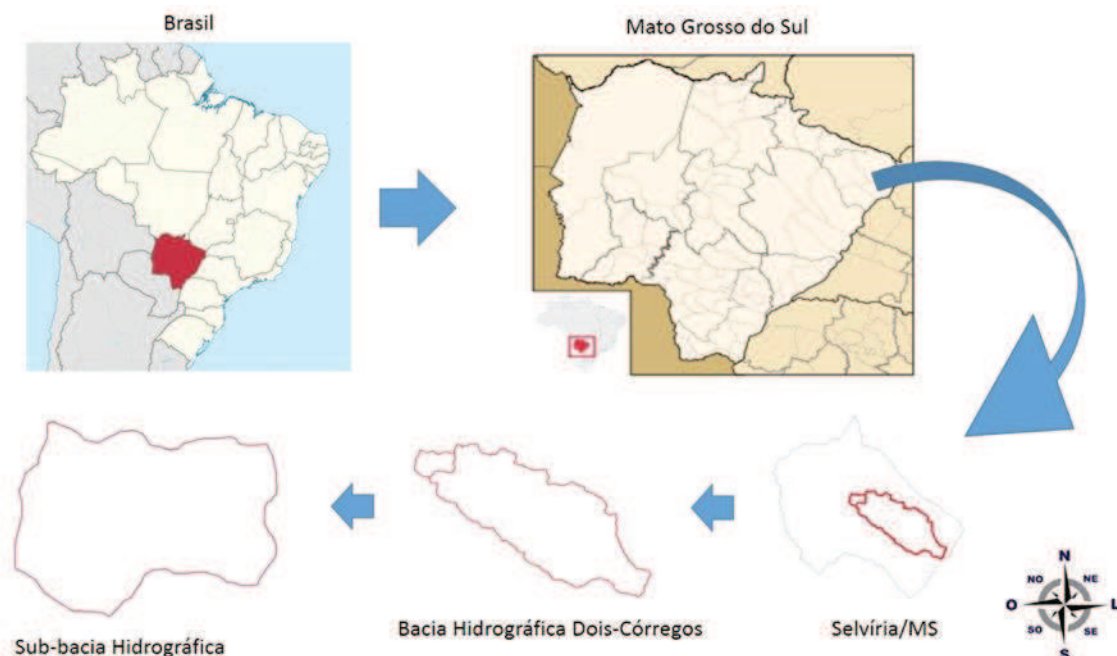
Diante disso, este trabalho teve por objetivo avaliar as condições de degradação do solo mediante o estudo das suas propriedades físicas nos diferentes usos e manejos dos solos da sub-bacia Dois Córregos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo – Sub-bacia Dois Córregos, Selvíria-MS

A sub-bacia Dois Córregos está localizada no município de Selvíria no Estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1). Possui 2.636 ha de área e situa-se entre as coordenadas geográficas 20°12'26,41”S, 51°43'15,18”W e 20°16'28,32”S, 51°49'26,3”W, e altitude média de 335 m.

**Figura 1.** Localização da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.



A classificação climática da região, de acordo com Köppen, é Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As médias climáticas anuais são: 24,5°C de temperatura,

1.232 mm de precipitação pluvial, 64,8% de umidade relativa do ar (Hernandez et al., 1995) e a vegetação original da região é de Cerrado.

Esta região apresenta degradação ambiental, observada pelo assoreamento dos cursos de água e escassez de vegetação nativa, além dos processos erosivos e degradação dos solos. Esse processo de degradação dos solos levou à formação de uma voçoroca, com 50 m de profundidade em alguns pontos e assoreamento dos canais de drenagem, possuindo vários leitos secos. Além disso, apresenta outra voçoroca em formação em área degradada com cultivo de pastagens (Figura 2). O processo de assoreamento na foz da sub-bacia também foi observado.

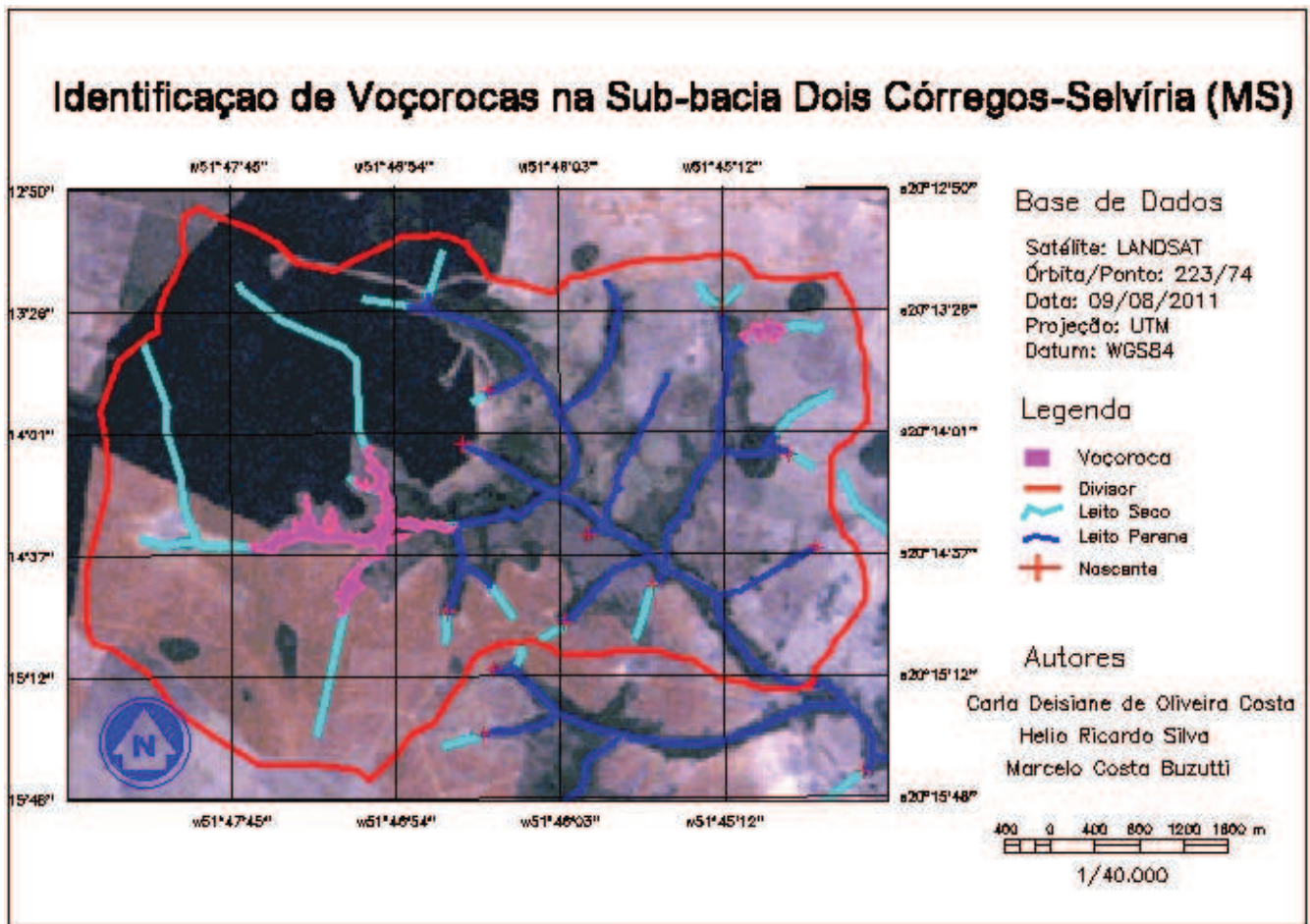


Figura 2. Identificação de Voçorocas na sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

Com relação às classes de uso e ocupação dos solos, a sub-bacia Dois Córregos é ocupada em 50% pela silvicultura do eucalipto, e o restante com áreas de pastagens e vegetação nativa. Os solos de maior ocorrência da sub-bacia, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), são o Latossolo Vermelho distrófico e o Argissolo Vermelho distrófico (Figura 3).

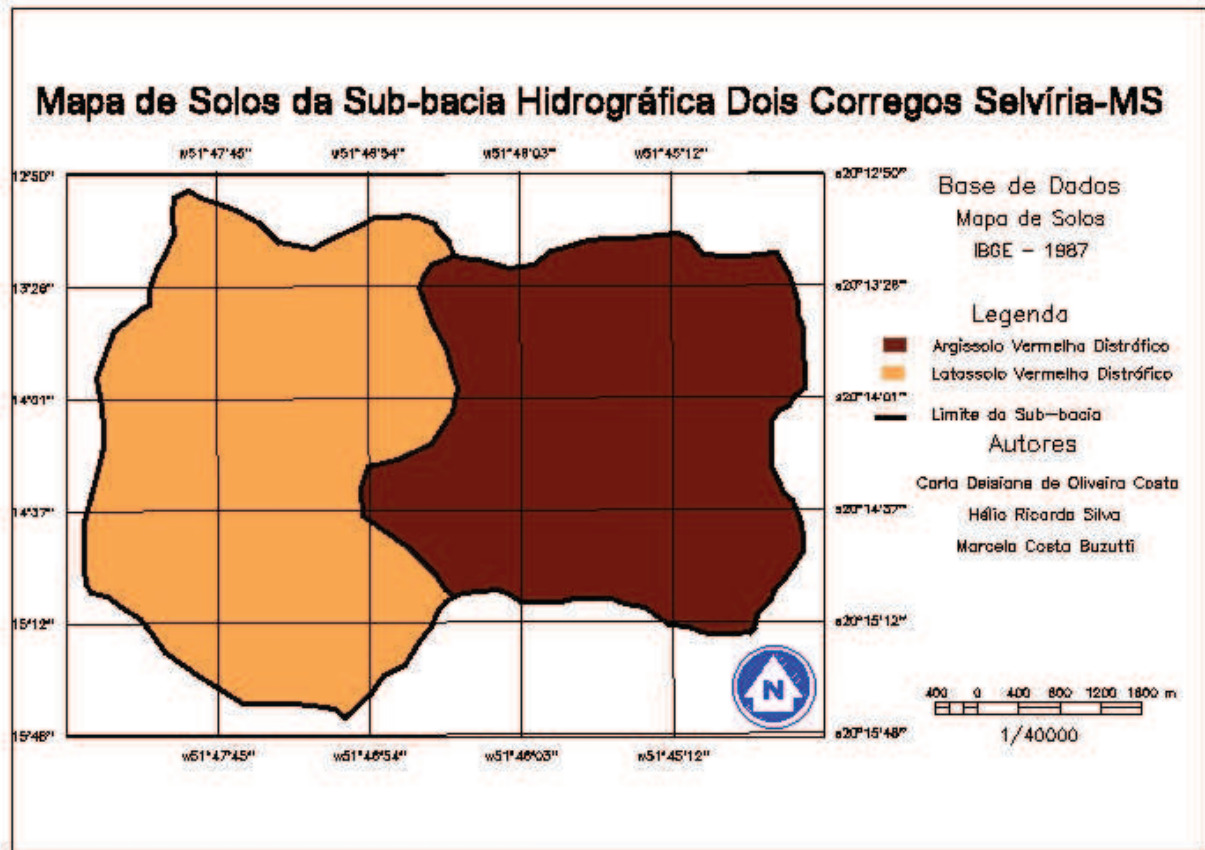


Figura 3. Mapa de Solos da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

### Procedimentos de Coleta e Análise de Dados

As coletas de solos e a avaliação da infiltração e da condutividade hidráulica do solo saturado foram realizadas em dez locais na sub-bacia, sendo oito localizados no Latossolo Vermelho distrófico e dois no Argissolo Vermelho distrófico, as quais foram feitas aleatoriamente, dentro de diferentes formas de uso e ocupação dos solos. Para cada uso e ocupação do solo determinado, foram realizadas as coletas em cinco pontos, nas camadas de 0 a 0,10 e de 0,10 a 0,20 m, e as avaliações de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado.

Os usos amostrados foram: três locais com pastagens ( $P_1, P_2, P_3$ ), sendo as pastagens ( $P_1$ ) e ( $P_3$ ) no Argissolo e a pastagem ( $P_2$ ) no Latossolo; três locais com eucalipto de 5 anos ( $E_1, E_2, E_3$ ); e quatro locais com eucalipto aos 6 meses recém-transplantado ( $EN_1, EN_2, EN_3, EN_4$ ), todos localizados no Latossolo. A descrição do uso e da ocupação dos solos encontra-se na tabela 1.

Tabela 1. Descrição do uso e ocupação dos solos.

Uso e ocupação do solo	Características
Pastagem	Área com braquiária ( <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf) plantada há mais de 30 anos, em estado de degradação.
Eucalipto	Área com eucalipto ( <i>Eucalyptus citriodora</i> ) com 5 anos; Área com eucalipto ( <i>Eucalyptus citriodora</i> ) aos 6 meses, recém transplantado.

A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta, segundo a metodologia descrita pela Embrapa (1997), com amostras deformadas, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de malha, submetidas a dispersão e sedimentação das partículas. O método empregado para a determinação da porosidade total

e densidade do solo foi o do “anel volumétrico”, para a microporosidade o da “mesa de tensão”, e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Embrapa, 1997).

Para a determinação do armazenamento de água no solo, as amostras foram colocadas na Câmara de Richards também segundo metodologia da Embrapa (1997). As amostras foram submetidas às tensões de - 0,01 e -1,5 MPa, obtendo-se assim o teor de água no solo, para posterior cálculo da capacidade de água disponível no solo:

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot z \quad (1)$$

Em que:

CAD = Capacidade de água disponível no solo, mm;

$\theta_{cc}$  = Teor de água no solo com base em volume na capacidade de campo (- 0,01 MPa);

$\theta_{pmp}$  = Teor de água no solo com base em volume no ponto de murcha permanente (-1,5 MPa);

z = Camada onde foi coletada a amostra, mm.

O método empregado para a determinação da estabilidade de agregados em água foi o descrito por Angers e Mehuys (2000), sendo os resultados representados pelo diâmetro médio ponderado (DMP).

Para a determinação da infiltração de água e da condutividade hidráulica do solo saturado na superfície do solo, foi utilizado o mini infiltrômetro de disco, sendo o processo de infiltração descrito por um modelo proposto por Zhang (1997):

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (2)$$

Onde:

t – Tempo, s;

$C_1$  e  $C_2$  – Parâmetros relacionados à condutividade hidráulica  $K(h_0)$  do solo,  $\text{cm s}^{-1}$ , e à sorvidade  $S(h_0)$ ,  $\text{cm s}^{-0,5}$ , respectivamente;

I – Infiltração acumulada, cm.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada a partir de dados de infiltração acumulada, utilizando-se a relação dada por:

$$k = \frac{C_1}{A} \quad (3)$$

Onde:

$C_1$  – Constante obtida no gráfico de infiltração acumulada;

A – É um valor relacionado a um parâmetro de Van Genuchten (1980), para determinado tipo de solo e de sucção utilizada no infiltrômetro de disco durante o processo de infiltração.

Nas profundidades de 0,10 e 0,20 m, foi utilizado o permeâmetro de Guelph. Mediu-se a taxa constante de infiltração e calculou-se a condutividade hidráulica do solo saturado segundo Reynolds e Elrick (1985). Após realizar as medições, os dados foram analisados segundo modelos matemáticos propostos por Vieira (1988):

$$Q = \frac{2\delta H^2}{C} + \delta a^2 \cdot k_s + \frac{2\delta H}{C} + \sigma_m \quad (4)$$

Onde:

Q – É o fluxo constante,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

H – É a carga hidráulica utilizada, cm;

C – É o fator de geometria,  $\text{cm cm}^{-1}$ ;

a – É o raio do orifício onde as medições foram feitas, cm;

$K_{fs}$  – É a condutividade hidráulica do solo saturado,  $\text{cm s}^{-1}$ ;

$\Psi_m$  – É o potencial matricial do fluxo,  $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ .

Os resultados foram submetidos à análise conjunta e teste estatístico de Tukey para as comparações de médias. Devido à variabilidade espacial decorrente dos diferentes usos e manejos do solo, a análise foi realizada para cada classe de solo. Para diminuir a amplitude das variâncias e do coeficiente de variação, foi realizada transformação raiz quadrada de algumas propriedades físicas, como macroporosidade, CAD, infiltração e condutividade hidráulica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades físicas são influenciadas pelo uso e manejo do solo. Dentre estas propriedades, tem-se: a porosidade total que engloba a macroporosidade e microporosidade, inversamente proporcional à densidade do solo; a permeabilidade relacionada à taxa de infiltração e à condutividade hidráulica do solo; a capacidade de armazenamento de água do solo; e a estabilidade de agregados que confere a resistência do solo aos agentes erosivos. Cita-se também a textura, que exerce grande influência em outras propriedades como porosidade, permeabilidade e capacidade de água disponível. Na tabela 2, está a distribuição de tamanho de partículas dos solos da sub-bacia Dois Córregos.

A textura foi classificada de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Santos et al., 2013). Os solos da sub-bacia Dois Córregos são de textura arenosa: as classes texturais na camada de 0,0 a 0,10 m estão enquadradas na classe areia; na camada de 0,10 a 0,20 m, estão classificadas entre areia franca para as áreas com eucalipto ( $E_2$ ) e ( $EN_2$ ); e a pastagem ( $P_1$ ) e as outras áreas são classificadas como arenosa. Na camada de 0,8 a 1,0 m, estão classificadas entre areia para as áreas com os eucaliptos ( $E_1$ ) e ( $EN_4$ ), e areia franca para os demais usos no Latossolo. As áreas com as pastagens ( $P_1$ ) e ( $P_3$ ) estão classificadas como franco-arenosa confirmando que elas estão no Argissolo.

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de Mato Grosso do Sul (IBGE), na área de estudo constam o Latossolo e o Argissolo, em que metade da área da sub-bacia está com Argissolo, porém, pelos resultados de distribuições de tamanho de partículas verificados, somente as áreas com as pastagens ( $P_1$ ) e ( $P_3$ ) estão no Argissolo. Essa discrepância ocorre devido ao efeito de escala, uma vez que, em estudos detalhados, como coletas em bacias hidrográficas, podem-se encontrar diferenças com o Mapa de Solos, uma vez que este apresenta escala maior.

**Tabela 2.** Distribuição de tamanho de partículas dos solos estudados. Classificação textural da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Santos et al., 2013). Latossolo: P<sub>2</sub> = Pastagem, E<sub>1</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>2</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>3</sub> = Eucalipto aos 5 anos, EN<sub>1</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>2</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>3</sub> = Eucalipto aos 6 meses e EN<sub>4</sub> = Eucalipto aos 6 meses. Argissolo: P<sub>1</sub> = Pastagem e P<sub>3</sub> = Pastagem.

<b>Ponto de coleta</b>	<b>Argila</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Classes texturais</b>
<b>(g kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>Camada 0,0 a 0,10 m</b>				
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>2</sub>	61	899	40	Areia
E <sub>1</sub>	60	905	35	Areia
E <sub>2</sub>	78	874	48	Areia
E <sub>3</sub>	68	899	33	Areia
EN <sub>1</sub>	84	883	33	Areia
EN <sub>2</sub>	78	877	45	Areia
EN <sub>3</sub>	79	875	46	Areia
EN <sub>4</sub>	67	886	47	Areia
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>1</sub>	77	876	47	Areia
P <sub>3</sub>	61	898	41	Areia
<b>Camada 0,10 a 0,20 m</b>				
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>2</sub>	72	882	46	Areia
E <sub>1</sub>	66	899	35	Areia
E <sub>2</sub>	97	857	46	Areia franca
E <sub>3</sub>	88	874	38	Areia
EN <sub>1</sub>	95	864	41	Areia
EN <sub>2</sub>	102	846	52	Areia franca
EN <sub>3</sub>	85	872	43	Areia
EN <sub>4</sub>	81	873	46	Areia
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>1</sub>	98	855	47	Areia franca
P <sub>3</sub>	70	890	40	Areia
<b>Camada 0,80 a 1,0 m</b>				
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>2</sub>	106	853	41	Areia franca
E <sub>1</sub>	85	875	40	Areia
E <sub>2</sub>	129	817	54	Areia franca
E <sub>3</sub>	124	826	50	Areia franca
EN <sub>1</sub>	122	824	54	Areia franca
EN <sub>2</sub>	139	805	56	Areia franca
EN <sub>3</sub>	131	819	50	Areia franca
EN <sub>4</sub>	99	855	46	Areia
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>1</sub>	170	770	60	Franco-arenosa
P <sub>3</sub>	159	769	72	Franco-arenosa

As propriedades físicas do solo, macroporosidade e microporosidade, foram influenciadas pelo uso e manejo do solo. Já a porosidade total e a densidade do solo não foram influenciadas (tabela 3).



**Tabela 3.** Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, e densidade do solo. Latossolo: P<sub>2</sub> = Pastagem, E<sub>1</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>2</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>3</sub> = Eucalipto aos 5 anos, EN<sub>1</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>2</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>3</sub> = Eucalipto aos 6 meses e EN<sub>4</sub> = Eucalipto aos 6 meses. Argissolo: P<sub>1</sub> = Pastagem e P<sub>3</sub> = Pastagem.

Ponto de coleta	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Densidade do solo
	----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) -----			(kg dm <sup>-3</sup> )
<b>Camada 0,0 a 0,10 m</b>				
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>2</sub>	0,10 AB*	0,24 B	0,33 A	1,61 A
E <sub>1</sub>	0,13 AB*	0,24 B	0,37 A	1,59 A
E <sub>2</sub>	0,11 AB*	0,25 AB	0,36 A	1,58 A
E <sub>3</sub>	0,15 A*	0,24 B	0,39 A	1,58 A
EN <sub>1</sub>	0,12 AB*	0,25 AB	0,38 A	1,55 A
EN <sub>2</sub>	0,07 B*	0,28 A	0,35 A	1,62 A
EN <sub>3</sub>	0,08 AB*	0,27 AB	0,35 A	1,58 A
EN <sub>4</sub>	0,09 AB*	0,27 AB	0,36 A	1,53 A
CV (%)	16,30	7,51	7,60	4,04
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>1</sub>	0,07 A*	0,28 A	0,35 A	1,58 A
P <sub>3</sub>	0,15 A*	0,22 B	0,37 A	1,50 A
CV (%)	37,92	12,55	19,99	8,48
<b>Camada 0,10 a 0,20 m</b>				
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>2</sub>	0,14 A*	0,21 C	0,35 A	1,55 A
E <sub>1</sub>	0,12 A*	0,23 BC	0,36 A	1,61 A
E <sub>2</sub>	0,10 A*	0,27 AB	0,36 A	1,59 A
E <sub>3</sub>	0,14 A*	0,26 BC	0,39 A	1,57 A
EN <sub>1</sub>	0,10 A*	0,26 BC	0,36 A	1,60 A
EN <sub>2</sub>	0,07 A*	0,30 A	0,37 A	1,58 A
EN <sub>3</sub>	0,09 A*	0,26 B	0,35 A	1,60 A
EN <sub>4</sub>	0,11 A*	0,26 B	0,37 A	1,55 A
CV (%)	20,55	8,30	7,31	2,90
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>1</sub>	0,08 A*	0,26 A	0,35 A	1,57 A
P <sub>3</sub>	0,11 A*	0,24 A	0,36 A	1,61 A
CV (%)	18,02	6,00	8,21	2,73

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey p<0,05. \*As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

A macroporosidade apresentou valores próximos em todos os usos nos dois solos, havendo diferença estatística somente para o Latossolo na camada de 0,0 a 0,10 m. As áreas que apresentaram maior macroporosidade foram aquelas com maiores teores de areia. Assim, pode-se observar a influência da textura na macroporosidade dos solos.

De acordo com Dedecek e Gava (2005), os solos arenosos possuem elevada macroporosidade, sua compactação tem que ser extremamente alta para haver redução drástica dessa propriedade. De acordo com Souza e Alves (2003), valores inferiores a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> são críticos para o crescimento e o desenvolvi-

mento radicular das plantas, contribuindo para o aumento da erosão hídrica, devido à vulnerabilidade do solo ao impacto das gotas de chuva.

Portanto, os valores de macroporosidade que estão abaixo do valor crítico para o bom desenvolvimento das plantas são os das áreas cultivadas com os eucaliptos ( $EN_2$ ), ( $EN_3$ ) e ( $EN_4$ ) no Latossolo, na camada de 0,0 a 0,10 m, e para a camada de 0,10 a 0,20 m, as áreas com os eucaliptos ( $EN_2$ ) e ( $EN_3$ ). No Argissolo, a pastagem ( $P_1$ ) também apresentou para as duas camadas baixos valores de macroporosidade, abaixo do valor crítico.

Essas áreas com eucaliptos que apresentaram valores de macroporosidade abaixo de 10%, correspondem àquelas recém transplantadas e que anteriormente estavam com o solo exposto. De acordo com Volk (2002), solos desprovidos de cobertura ficam expostos à ação do impacto das gotas de chuva, podendo causar o selamento e adensamento de sua superfície, propiciando, assim, a redução da macroporosidade. Além disso, essas áreas haviam sido utilizadas com pastagens degradadas há 30 anos.

Para a microporosidade, de acordo com Lima et al. (2007), os valores ideais variam entre 0,25 e 0,33  $m^3 m^{-3}$ . Devido os solos da sub-bacia Dois Córregos serem arenosos, os valores de microporosidade estão dentro da faixa recomendada ou pouco abaixo, ficando entre 0,21 e 0,30  $m^3 m^{-3}$ . A microporosidade é altamente influenciada pela textura do solo, os solos argilosos apresentam maior proporção de microporos, o que explica a baixa microporosidade dos solos da sub-bacia estudada, devido a sua textura arenosa.

Com relação à porosidade total, os valores foram próximos nas duas classes de solos. Além disso, observa-se que todos os usos estão abaixo das condições ideais de 0,50  $m^3 m^{-3}$ . De acordo com Ferreira et al. (2010), as alterações causadas na porosidade do solo, ou seja, a diminuição dessa propriedade devido ao uso e manejo do solo inadequado, além de modificar as taxas de trocas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas.

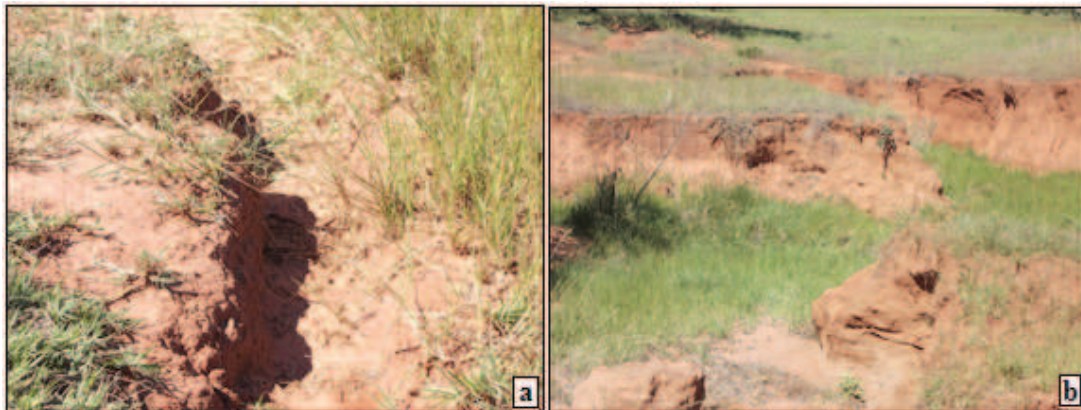
Quanto à densidade do solo, de acordo com Reinert e Reichert (2006), valores associados ao estado de compactação com alta probabilidade de afetar o desenvolvimento das plantas situam-se em torno de 1,65  $kg dm^{-3}$  para solos arenosos. Assim, as áreas cultivadas com a pastagem ( $P_2$ ) e o eucalipto ( $EN_2$ ) no Latossolo na camada de 0,0 a 0,10 m, o eucalipto ( $E_1$ ) no Latossolo e a pastagem ( $P_3$ ) no Argissolo na camada de 0,10 a 0,20 m merecem atenção quanto ao manejo, pois estão próximas desse limite restritivo ao desenvolvimento das plantas.

De acordo com Ferreira et al. (2010), a maior densidade do solo nas áreas do cerrado é decorrente do efeito do pisoteio do gado e do uso de máquinas agrícolas. Martins et al. (2002) observaram que as camadas compactadas nos povoamentos de eucaliptos possivelmente ocorreram na ocasião do preparo do solo em áreas onde foram implantados. Esses povoamentos florestais não são capazes de recuperar a condição natural do solo. Essas camadas compactadas influenciam negativamente no crescimento do sistema radicular das plantas, na absorção de nutrientes pelo impedimento do fluxo de água no solo, além de reduzir a disponibilidade de água, ou seja, menor armazenamento.

A área cultivada com a pastagem ( $P_3$ ), na camada de 0,0 a 0,10 m, apresentou bons resultados quanto à densidade do solo, macroporosidade e porosidade total. No entanto, essa área apresenta compactação subsuperficial, pois a densidade do solo está próxima ao valor de compactação na camada de 0,10 a 0,20 m.

Pires et al. (2006) também observaram em sistema de pastagem plantada, maiores valores de densidade do solo na camada 0,10 a 0,20 m. As condições físicas de subsuperfície também são importantes, pois influenciam o movimento de água e gases no seu interior e, conseqüentemente, o escoamento superficial, crescimento inicial das raízes e desenvolvimento posterior das plantas (Volk et al., 2004).

A área cultivada com a pastagem ( $P_1$ ) apresentou baixos valores de macroporosidade com  $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , porosidade total com  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , e densidade do solo de  $1,58 \text{ kg dm}^{-3}$ , apresentando restrições ao desenvolvimento das plantas sob estas condições. Para essa área, durante as coletas de campo, também foi verificado que, além do grau de degradação da pastagem, ela apresenta erosão em sulcos em diversos pontos em estágio avançado (Figura 4).



**Figura 4.** Área cultivada com pastagem ( $P_1$ ): a) pastagem degradada, b) erosão em sulcos.

Endres et al. (2006) também observaram processos erosivos intensos de erosão em sulcos em áreas de pastagem, com presença mais marcante nas pastagens cultivadas. Os autores afirmam que as pastagens são unidades vegetais que melhoram as condições estruturais do solo e diminuem o processo erosivo pelo aumento da superfície rugosa. Entretanto, esses benefícios somente são observados quando essa cultura é conduzida adequadamente.

Com relação à capacidade de armazenamento de água nos solos da sub-bacia Dois Córregos, observam-se baixos valores devido à sua baixa microporosidade, reflexo de sua textura arenosa (Tabela 4).

De acordo com Barbieri et al. (2017), solos com baixa retenção de água são aqueles que possuem menos de 5% de água disponível, e solos com média retenção de água, aqueles de 5 a 15% de água disponível. Dentre os fatores que afetam o armazenamento de água no solo, a textura e a estrutura são os principais. Outro fator que pode ter ocasionado o baixo armazenamento de água nos solos da sub-bacia Dois Córregos é a baixa porosidade total observada em todos os usos.

Quanto à estabilidade dos agregados, para o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água, os valores estão próximos para todos os usos nas duas classes de solos. Os solos da sub-bacia Dois Córregos são estáveis em água, pois para todos os usos foram observados valores de DMP maiores que 4 mm (Tabela 5). No geral, Kato et al. (2010) também observaram o mesmo, estudando um Latossolo sob diferentes coberturas. Os autores observaram alta estabilidade dos agregados nas áreas de pastagem e eucalipto, verificando valores próximos entre os dois usos.

**Tabela 4.** Capacidade de armazenamento de água do solo. Latossolo: P<sub>2</sub> = Pastagem, E<sub>1</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>2</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>3</sub> = Eucalipto aos 5 anos, EN<sub>1</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>2</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>3</sub> = Eucalipto aos 6 meses e EN<sub>4</sub> = Eucalipto aos 6 meses. Argissolo: P<sub>1</sub> = Pastagem e P<sub>3</sub> = Pastagem.

Ponto de coleta	Capacidade de armazenamento de água no solo (mm)	
	0,0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>		
P <sub>2</sub>	8,95 A	7,62 A*
E <sub>1</sub>	6,73 AB	7,50 A*
E <sub>2</sub>	8,74 A	7,06 A*
E <sub>3</sub>	5,73 AB	6,48 A*
EN <sub>1</sub>	4,85 B	5,02 A*
EN <sub>2</sub>	5,52 AB	5,13 A*
EN <sub>3</sub>	4,81 B	4,86 A*
EN <sub>4</sub>	6,98 AB	6,90 A*
CV (%)	27,24	17,03
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>		
P <sub>1</sub>	10,57 A	10,83 A*
P <sub>3</sub>	7,95 B	8,32 A*
CV (%)	13,69	19,75

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey  $p < 0,05$ . \* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

**Tabela 5.** Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água. Latossolo: P<sub>2</sub> = Pastagem, E<sub>1</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>2</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>3</sub> = Eucalipto aos 5 anos, EN<sub>1</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>2</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>3</sub> = Eucalipto aos 6 meses e EN<sub>4</sub> = Eucalipto aos 6 meses. Argissolo: P<sub>1</sub> = Pastagem e P<sub>3</sub> = Pastagem.

Ponto de coleta	Diâmetro médio ponderado (mm)	
	0,0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>		
P <sub>2</sub>	4,73 A	4,78 A
E <sub>1</sub>	4,53 A	4,38 AB
E <sub>2</sub>	4,47 A	4,28 B
E <sub>3</sub>	4,42 A	4,34 AB
EN <sub>1</sub>	4,65 A	4,48 AB
EN <sub>2</sub>	4,60 A	4,39 AB
EN <sub>3</sub>	4,48 A	4,63 AB
EN <sub>4</sub>	4,62 A	4,69 AB
CV (%)	3,92	5,27
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>		
P <sub>1</sub>	4,69 A	4,77 A
P <sub>3</sub>	4,48 A	4,38 B
CV (%)	3,90	4,14

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey  $p < 0,05$ .

Geralmente, as gramíneas atuam na agregação do solo principalmente pela renovação periódica do sistema radicular e pela uniformidade de distribuição dos exsudados no solo, que estimulam a atividade

microbiana, cujos produtos atuam na formação e estabilização dos agregados (Silva e Mielniczuk, 1997).

No caso do eucalipto, de acordo com Kato et al. (2010), o que favorece a formação de agregados estáveis é a contribuição da serapilheira. Isso ocorre porque, nas florestas de eucaliptos, uma grande quantidade de material orgânico não decomposto fica sobre a superfície do solo, sendo posteriormente decomposto e fornecido ao solo.

Os valores de taxa constante de infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado na superfície do solo estão apresentados na tabela 6. Com relação à infiltração acumulada, na figura 5 estão apresentados os gráficos da infiltração média acumulada para a superfície do solo.

**Tabela 6.** Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, na superfície do solo. Latossolo: P<sub>2</sub> = Pastagem, E<sub>1</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>2</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>3</sub> = Eucalipto aos 5 anos, EN<sub>1</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>2</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>3</sub> = Eucalipto aos 6 meses e EN<sub>4</sub> = Eucalipto aos 6 meses. Argissolo: P<sub>1</sub> = Pastagem e P<sub>3</sub> = Pastagem.

Ponto de coleta	Taxa constante de infiltração (cm h <sup>-1</sup> )	Condutividade hidráulica (cm h <sup>-1</sup> )
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>		
P <sub>2</sub>	70,39 A*	21,84 A*
E <sub>1</sub>	10,07 B*	6,72 B*
E <sub>2</sub>	11,56 B*	3,40 B*
E <sub>3</sub>	9,73 B*	3,32 B*
EN <sub>1</sub>	34,61 AB*	12,84 AB*
EN <sub>2</sub>	48,58 AB*	19,08 AB*
EN <sub>3</sub>	49,76 AB*	25,48 A*
EN <sub>4</sub>	45,82 AB*	23,24 A*
CV (%)	38,60	40,83
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>		
P <sub>1</sub>	18,21 A*	7,40 A*
P <sub>3</sub>	21,65 A*	10,72 A*
CV (%)	58,50	67,39

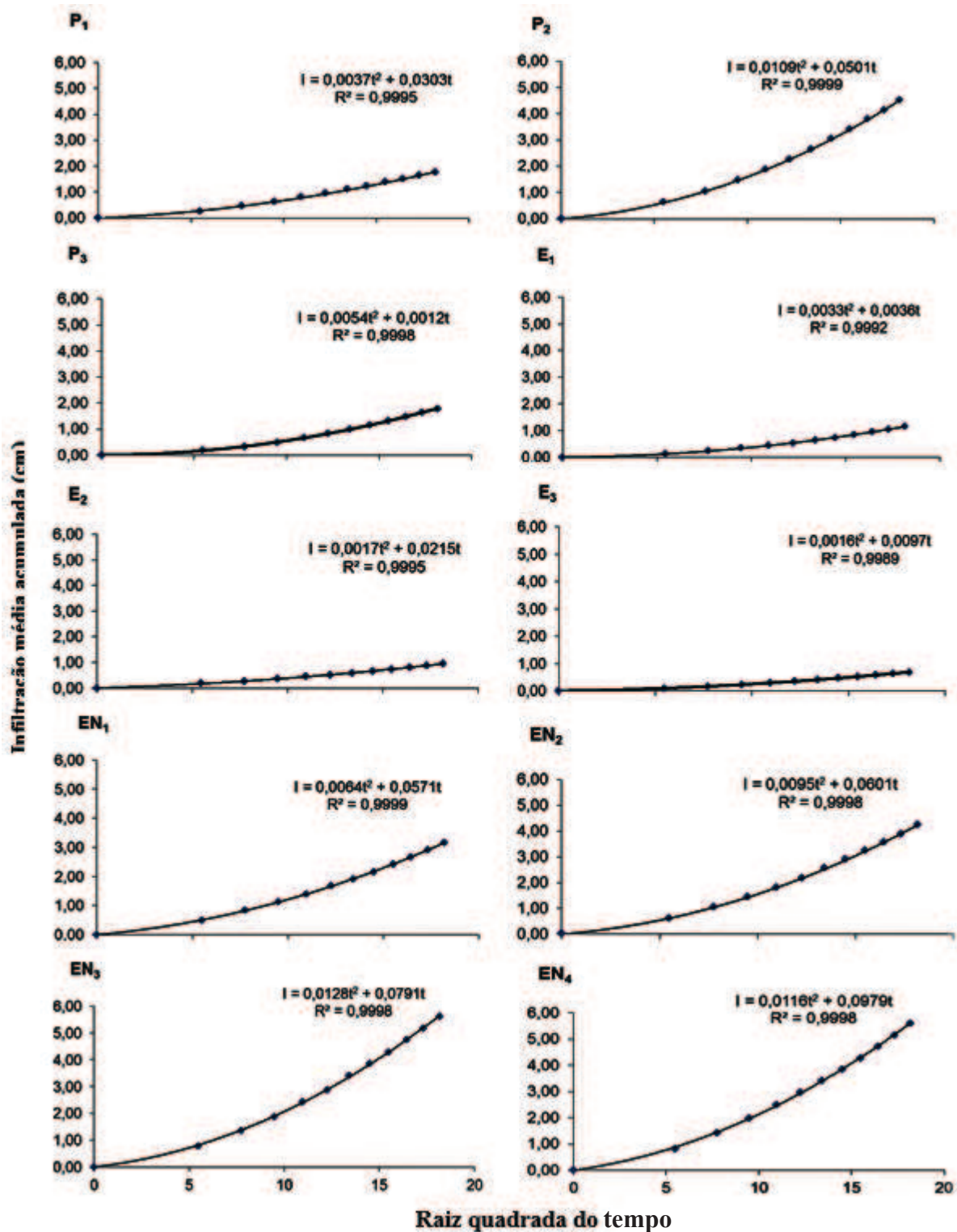
Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey p<0,05. \* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

A pastagem (P<sub>2</sub>) no Latossolo apresentou alta taxa de infiltração de água no solo, de 70,39 cm h<sup>-1</sup>, um dos maiores valores de condutividade hidráulica do solo saturado, de 21,84 cm h<sup>-1</sup> (Tabela 6) e infiltração acumulada, de aproximadamente 4,5 cm (Figura 5). Essa área apresentou o menor valor de porosidade total, de 0,33 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, e um dos maiores valores de densidade do solo, de 1,61 kg dm<sup>-3</sup> (Tabela 3).

Suzuki et al. (2012) também observaram esse fato, porém, para uma área cultivada com eucalipto, apresentou maior valor de condutividade hidráulica do solo saturado mesmo apresentando baixa macroporosidade e alta densidade do solo.

De acordo com Mesquita e Moraes (2004), isso ocorre devido à presença de um megaporo, que afetará pouco a macroporosidade, mas muito a condutividade hidráulica do solo saturado, pois promove maior continuidade dos poros, proporcionando maior permeabilidade. Além disso, observa-se que, apesar

de não ter havido diferença estatística entre os manejos, essa área apresentou o maior valor de DMP, de 4,73 mm, o que pode explicar essa melhor permeabilidade.



**Figura 5.** Infiltração média acumulada (cm) em função da raiz quadrada do tempo (s), para os solos da sub-bacia Dois Córregos, sendo os usos no Latossolo – pastagem (P<sub>2</sub>), eucaliptos aos 5 anos (E<sub>1</sub>), (E<sub>2</sub>), (E<sub>3</sub>) e eucaliptos aos 6 meses (EN<sub>1</sub>), (EN<sub>2</sub>), (EN<sub>3</sub>) e (EN<sub>4</sub>), e no Argissolo – as pastagens (P<sub>1</sub>) e (P<sub>3</sub>).

A pastagem (P<sub>1</sub>) apresentou baixo valor de condutividade hidráulica do solo, principalmente na camada de 0,10 a 0,20 (Tabela 6). E isso está relacionado ao espaço poroso desta área, que apresentou baixos

valores de macroporosidade e porosidade total, de 0,07 e 0,35 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 3), pois a condutividade hidráulica está diretamente relacionada aos processos dinâmicos nos vazios do solo.

Observa-se que as áreas cultivadas com eucalipto aos seis meses de plantio apresentaram altos valores de taxa constante de infiltração, condutividade hidráulica do solo (Tabela 6) e infiltração acumulada (Figura 5), apesar dos baixos valores de macroporosidade e porosidade total (Tabela 3), em relação a outras áreas cultivadas com eucalipto. Isso ocorreu devido ao efeito do preparo do solo, que havia sido realizado recentemente. De acordo com Volk et al. (2004), o preparo convencional do solo, na condição de recém efetuado, induz a maior rugosidade superficial e, com isso, a maior capacidade de infiltração, resultando em retardamento do escoamento superficial.

Baixos valores de taxa constante de infiltração, condutividade hidráulica do solo e infiltração acumulada foram observados para as áreas cultivadas com eucalipto de 5 anos, sendo o eucalipto (E<sub>3</sub>) a área mais preocupante (Tabela 6). As áreas cultivadas com eucalipto de 5 anos foram cultivadas anteriormente com pastagens. Esse manejo associado às características do solo proporciona maiores condições para que ocorram processos erosivos, sendo a causa da formação da voçoroca presente neste local e do assoreamento dos canais, e alguns leitos secos presentes na área.

**Tabela 7.** Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m. Latossolo: P<sub>2</sub> = Pastagem, E<sub>1</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>2</sub> = Eucalipto aos 5 anos, E<sub>3</sub> = Eucalipto aos 5 anos, EN<sub>1</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>2</sub> = Eucalipto aos 6 meses, EN<sub>3</sub> = Eucalipto aos 6 meses e EN<sub>4</sub> = Eucalipto aos 6 meses. Argissolo: P<sub>1</sub> = Pastagem e P<sub>3</sub> = Pastagem.

Ponto de coleta	Taxa constante de infiltração (cm h <sup>-1</sup> )		Condutividade hidráulica (cm h <sup>-1</sup> )	
	0,10 m	0,20 m	0,10 m	0,20 m
<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>2</sub>	0,81 A*	1,06 AB*	0,74 A*	0,70 A*
E <sub>1</sub>	1,06 A*	2,13 A*	0,82 A*	0,32 A*
E <sub>2</sub>	0,72 A*	1,00 B*	0,50 A*	0,74 A*
E <sub>3</sub>	0,85 A*	1,46 AB*	0,48 A*	0,72 A*
EN <sub>1</sub>	0,83 A*	1,08 AB*	0,35 A*	2,02 A*
EN <sub>2</sub>	0,54 A*	0,85 B*	0,14 A*	0,71 A*
EN <sub>3</sub>	0,68 A*	0,82 B*	0,94 A*	1,47 A*
EN <sub>4</sub>	0,98 A*	1,31 AB*	2,10 A*	1,15 A*
CV (%)	21,34	21,08	68,22	61,32
<b>Argissolo Vermelho distrófico</b>				
P <sub>1</sub>	0,22 B*	0,23 B*	0,51 A*	0,12 B*
P <sub>3</sub>	1,02 A*	1,13 A*	0,85 A*	0,85 A*
CV (%)	38,75	33,79	61,51	39,97

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey p<0,05. \* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Com relação às profundidades de 0,10 e 0,20 m, os valores para a taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado estão na tabela 7.

A área cultivada com a pastagem (P<sub>1</sub>) apresentou menor permeabilidade na superfície e nas pro-

fundidades de 0,10 e 0,20 m em relação à pastagem ( $P_3$ ) (Tabelas 6 e 7) no Argissolo. Ainda, está entre os menores valores de permeabilidade em relação aos demais usos no Latossolo. Isso é preocupante, pois essa área, como comentado, apresenta erosão em estágio avançado, devido às condições de suas propriedades físicas.

Os solos estudados são estáveis em água, pois apresentaram altos valores de diâmetro médio ponderado (DMP) para todos os usos e manejos. Os solos possuem baixa capacidade de armazenamento de água, porém boa permeabilidade, devido à textura arenosa.

As boas condições de estabilidade de agregados e permeabilidade são importantes, devido ao estado de conservação dos solos desta sub-bacia, apresentado baixos valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total, e altos valores de densidade do solo, sendo estes abaixo dos valores mínimos adequados para o bom desenvolvimento das plantas.

### CONCLUSÕES

As áreas estudadas na sub-bacia Dois Córregos apresentam más condições das propriedades físicas dos solos para uso agrícola.

### REFERÊNCIAS

- ANGERS, D. A.; MEHUY, G. R. 2000. Aggregate stability to water. In: M. R. Carter (Ed.). **Soil sampling and methods of analysis**. Florida: Lewis Publishers, p. 529-539.
- BARBIERI, J. D. et al. 2017. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo para a microrregião da BAP (MT). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 8:21-28.
- COSTA, C. D. O. et al. 2016. Produção e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica com solos suscetíveis à erosão. **Irriga**, 21:284-299.
- COSTA, C. D. O. et al. 2015. Estimativa das perdas de solo e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental. **Revista de Ciências Ambientais**, 9:67-86.
- COSTA, C. D. O. 2013. **Perdas de solo e deposição de sedimentos em duas sub-bacias hidrográficas no entorno da usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP**. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, 151p.
- DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. 2005. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, 29:383-390.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212p.
- ENDRES, P. F. et al. 2006. Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no Município de Franca - SP. **Engenharia Agrícola**, 26:200-207.
- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. 2010. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina**, 31:913-932.
- FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. 2008. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, 24:24-30.
- HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. 1995. **Software HIDRISA e o balanço hídrico**



**co de Ilha Solteira.** Ilha Solteira: UNESP/FE/IS – Área de Hidráulica e Irrigação, 45p. (Série Irrigação, 01).

KATO, E. et al. 2010. Propriedades físicas e carbono orgânico de um Latossolo Vermelho Amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, **26**:732-738.

LIMA, C. G. R. et al. 2007. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **31**:1233-1244.

MARTINS, S. G. et al. 2002. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, **8**:32-41.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. 2004. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, **34**:963-969.

MORO, M. 2011. **Avaliação do modelo LISEM na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Engenharia/ Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 123p.

PIRES, L. S. et al. 2006. Erosão hídrica pós plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **41**:687-695.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. 1985. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the  $\alpha$ -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, **140**:292-302.

SANTOS, R. D. et al. 2013. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 100p.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. 1997. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **21**:113-117.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. 2003. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **7**:18-23.

STEFANOSKI, D. C. et al. 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **17**:1301-1309.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. 2012. Condição estrutural de um Argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamentos com eucalipto. **Ciência Florestal**, **22**:833-843.

VAN GENUCHTEN, M. T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, **44**:892-898.

VIEIRA, S. R. 1988. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. In: P. J. Wieranga; D. Bachelet (Org.). **Of flow and transport models for the unsaturated zone.** Las Cruces: New Mexico State University, p. 471-483.

VOLK, L.B.S. 2002. **Erosão hídrica relacionada a condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 79p.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. 2004. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **28**:763-774.

ZHANG, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, **61**:1024-1030.