

# ESCOAMENTO SUPERFICIAL E PERDAS DE SOLOS POR EROSÃO HÍDRICA EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA SOBRE O ARENITO CAIUÁ NO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ

*Superficial outflow and soil losses due to erosion in “Cidade Gaúcha”, Paraná State’s*

**José Edézio Cunha\***  
**Maria Teresa de Nóbrega\*\***  
**Selma Simões de Castro\*\*\***  
**Maria de Fátima Guimarães\*\*\*\***

**\*Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE**

**Professor Adjunto**

R. Pernambuco, 1777 – Centro – Mal. Cândido Rondon, Paraná, Brasil – CEP: 85960-000 – Fone: (45) 3284-7878  
edeziocunha@hotmail.com

**\*\*Universidade Estadual de Maringá - UEM**

**Programa de Pós-Graduação em Geografia**

Av. Colombo, 5790 – Jardim Universitário – Maringá, Paraná, Brasil – CEP: 87020-900 – Fone: (44) 3011-4040  
mntnobrega@uol.com.br

**\*\*\*Universidade Federal de Goiás - UFG**

**Professor titular do Instituto de Estudos Sócio-ambientais**

Avenida Esperança, s/n – Campus II, Samambaia – Goiânia, Goiás, Brasil – CEP: 74001-970 – Fone: (62) 3521-1184  
selma@iesa.ufg.br

**\*\*\*\*Universidade Estadual de Londrina - UEL**

**Professor Associado C do Departamento de Agronomia**

Rod. Celso Garcia Cid km 379 – Campus Universitário – 86051-990- Cx. Postal: 6001  
mfguimaraes@uel.br

## RESUMO

O conhecimento do comportamento hídrico nas coberturas pedológicas é importante para os estudos de prevenção e contenção dos processos erosivos. Visando contribuir com esta discussão, o presente trabalho foi realizado em uma vertente constituída por sistema pedológico Latossolo Vermelho eutrófico - Argissolo Vermelho eutrófico, oriundos do arenito Caiuá, no município de Cidade Gaúcha, Noroeste do Estado do Paraná. O objetivo deste trabalho foi a mensuração da infiltração, do escoamento superficial e das perdas de solos por erosão, através de chuva simulada. Após abordagem morfológica detalhada do sistema pedológico, realizaram-se ensaios de chuva simulada na superfície da cobertura latossólica, no topo da vertente (3% declividade), e sobre o Argissolo, na baixa vertente (9% de declividade). No início da chuva, quando os solos estavam secos, a água precipitada foi totalmente infiltrada, ou seja, não ocorrendo escoamento superficial, mas a partir de um determinado tempo de chuva a taxa de infiltração foi reduzida, dando origem ao escoamento superficial. O escoamento superficial se iniciou mais cedo e foi mais volumoso sobre o Latossolo, mas as perdas de solo foram superiores no Argissolo. Características morfológicas e físicas do horizonte superficial, além da declividade e posição na vertente, influenciaram esses resultados.

**Palavras chave:** Fluxos hídricos. Sedimentos. Infiltração de água. Latossolo. Argissolo.

## ABSTRACT

The knowledge about hydrous behavior at the pedological surfaces is important to the studies on prevention and containment of erosive processes. In order to contribute to that discussion, the current work was done in a slope constituted by pedological system “Latosolo Vermelho eutrófico e Argissolo Vermelho eutrófico”, originated from the Caiuá sandstone, located at the Maringá State University’s experimental farm, Cidade Gaúcha municipality, Northwest of Paraná State. The aim of this work is the measurement of the soil infiltration, surface runoff, soil loss by erosion under simulated rain. After detailed morphologic approach of the pedological system, simulations of rain were made in the surface of the latosolic covering, in the slope’s top (3% declination), and the Argisol, at the low slope (9% of declination). In the beginning of the rain, when the soils were dry, the precipitated water was totally infiltrated, it means, not having occurred superficial outflow, but after a specific time of rain, the soil rate reduced, creating the runoff in surface. Runoff began earlier and was more voluminous on the Latosol, but soil losses were higher in Argisol. Morphological and physical characteristics of the surface horizon, beyond the slope and position on the slope, influenced these results.

**Keywords:** Water flows. Sediments. Water infiltrations. Oxisol. Argisol.

## 1 INTRODUÇÃO

A exploração agrícola e pecuária dos solos da região Noroeste do Estado do Paraná provocou, desde o seu início, problemas erosivos, muitos de dimensões catastróficas. Bigarella e Mazuchowski (1985) apontam a fragilidade dos solos oriundos do arenito Caiuá, principalmente após o desmatamento, aliada ao emprego de tecnologias não conservacionistas como os grandes responsáveis pelo desencadeamento e evolução dos processos erosivos e, ainda, pela perda da produtividade agrícola da região.

Derpsch et al. (1990) também associam ao sistema de preparo e cultivo convencional a parte da responsabilidade pelas condições que favoreceram o desencadeamento dos processos erosivos na região. Segundo os autores, o uso de grade pesada até meados de 1985 e da prática de escarificação no período seguinte, provocou a destruição das estruturas dos solos, o aumento do escoamento superficial, a diminuição da matéria orgânica e o empobrecimento de argila nos horizontes superficiais.

O conhecimento e controle da erosão são, deste modo, essenciais para o manejo e conservação adequados dos solos.

Para a compreensão dos fatores responsáveis pela origem e evolução da erosão hídrica é importante que se conheça o comportamento da água na cobertura pedológica, já que este apresenta relações e mecanismos complexos, que envolvem tanto as propriedades físicas da água e dos fenômenos de interface água/partícula sólida e água/fase gasosa, responsáveis pela circulação e retenção de água, como as propriedades físicas e mecânicas dos solos que controlam os movimentos e a distribuição, e, portanto, o seu comportamento no interior do solo e ao longo da vertente (CUNHA et al., 2008).

Cabe destacar que além de infiltrômetros, tensiômetros e outros ensaios possíveis de quantificar o caminho da água no solo, os simuladores de chuva (infiltrômetros por aspersão) têm sido utilizados, com significativo destaque, nos estudos voltados ao conhecimento da circulação hídrica “*in situ*” superficial como mostrou Mondardo e Vieira (1975) no “Primeiro Encontro de Pesquisas com Simuladores de Chuva para Medidas de Erosão”, realizado pela Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e Iapar - Instituto Agrônomo do Paraná, na cidade de Londrina, Paraná. Nesse evento, além de difundir o uso do equipamento, os trabalhos apresentados proporcionaram uma infinidade de recomendações que serviram para melhorar ainda mais a sua utilização, como por exemplo: escolha do modelo mais adequado; calibração com a mesma metodologia; observação da temperatura e da velocidade e direção do vento; teste do fator K para as regiões sem padrão definido; preparo do solo morro abaixo para a determinação do fator K; escolha adequada do tamanho da parcela, da declividade padrão e da calha coletora.

Considerando essas recomendações significativas, Roth et al. (1983) aplicaram chuvas de 60mm/h em mini-parcelas de 50 x 50cm para estudar o processo de infiltração e do escoamento superficial em diferentes sistemas de uso e manejo do solo. Nesse estudo, foi detectado que o efeito da rotação de culturas sob preparo convencional dificultou o processo de infiltração, enquanto que no plantio direto esse processo foi facilitado.

Com esses mesmos objetivos, Bertol et al. (1987) aplicaram chuvas de 64mm/h em três segmentos consecutivos de trinta minutos de duração com intervalos de 20 minutos, onde se determinou que a erosão hídrica ocorre em qualquer método de preparo do solo, o que a diferencia é a intensidade do processo, ou seja, a ausência de cobertura acelera os efeitos, enquanto que a sua presença os retarda.

Nesta perspectiva, ainda merecem destaque os estudos realizados por Morais et al. (1988a, b), Reichert e Cabeda (1992), Reichert et al. (1992), Veiga et al. (1993), Braida e Cassol (1996), Schafer et al. (2001a) e Schafer et al. (2001b), com o objetivo de determinar os índices de erosividade e de perdas de solo. Esses estudos evidenciaram que as características físicas da chuva, o efeito do salpico de partículas e o selamento superficial são os principais condicionantes do processo de infiltração e, conseqüentemente, responsáveis pela erosão laminar.

Grande parte dos estudos realizados aplicou esta técnica para a investigação da influência dos diversos sistemas de preparo do solo e manejo de determinadas culturas nas perdas por erosão como, por exemplo, Oliveira et al. (2001) em relação ao cultivo da mandioca. Lima e Andrade (2001), a empregaram para a determinação da erodibilidade em entressulcos e para a sua correlação com os atributos dos solos com B textural e B latossólico do Sul de Minas Gerais. Esses estudos, assim como os realizados por Schafer et al. (2001a, b), entre outros, constataram, que as medidas de perda de solos, a taxa de desagregação e o diâmetro mediano do sedimento transportado foram afetados pelo preparo e consolidação do solo, principalmente no sistema convencional.

Vale mencionar, ainda, os trabalhos realizados no Rio Grande do Sul por Gilles et al. (2009) e Volk e Cogo (2009), os de Alves Sobrinho et al. (2003), Panachuki et al. (2006, 2011) desenvolvidos no Mato Grosso do Sul, que destacam a importância do uso dos simuladores de chuva nos estudos de erosão hídrica e no planejamento e aplicação dos sistemas de uso e manejo.

Diante do exposto, visando contribuir com o conhecimento da suscetibilidade à erosão da cobertura pedológica ao longo das vertentes na região Noroeste do Paraná, realizaram-se ensaios com chuva simulada em uma topossequência de solos localizada no município de Cidade Gaúcha, Noroeste do Estado do Paraná. Essa topossequência é recoberta por um sistema pedológico constituído por Latossolo Vermelho eutrófico – Argissolo Vermelho eutrófico, que ocorre de forma generalizada na região.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A topossequência de solos denominada “Campus do Arenito” localiza-se na fazenda Campus do Arenito, de propriedade da Universidade Estadual de Maringá, arredores do município de Cidade Gaúcha, região noroeste do Estado do Paraná, entre as coordenadas 52°23' – 53°00'W e 23°19' – 23°25'S. O levantamento e estudo detalhado dessa topossequência foi realizado por Cunha (2002), segundo a metodologia preconizada por Boulet et al. (1982).

O município de Cidade Gaúcha encontra-se localizado em uma área de espigão, pertencente a um interflúvio de importância regional, delimitado pelos rios Ivaí e Piquiri. As altitudes variam de 200 a 400 metros, do fundo do vale até o topo do espigão, onde se encontra o sítio urbano de Cidade Gaúcha. Abrange uma área de 376 km<sup>2</sup> e encontra-se circundado pelos córregos Ipiranga e Palmital, afluentes do rio Itaóca ou Pacu que segue seu curso em direção ao rio Ivaí, ao norte do município.

Como a maioria das encostas do município, a vertente estudada apresenta um comprimento de rampa longo (860m), forma regular e convexa. É caracterizada por declividades inferiores a 3%

na alta vertente, passando para declividades entre 6% e 9% no setor de média-alta e, entre 9% e 12% na baixa vertente (Figura 1).

**Figura 1** – Aspecto geral das vertentes na área e localização da topossequência



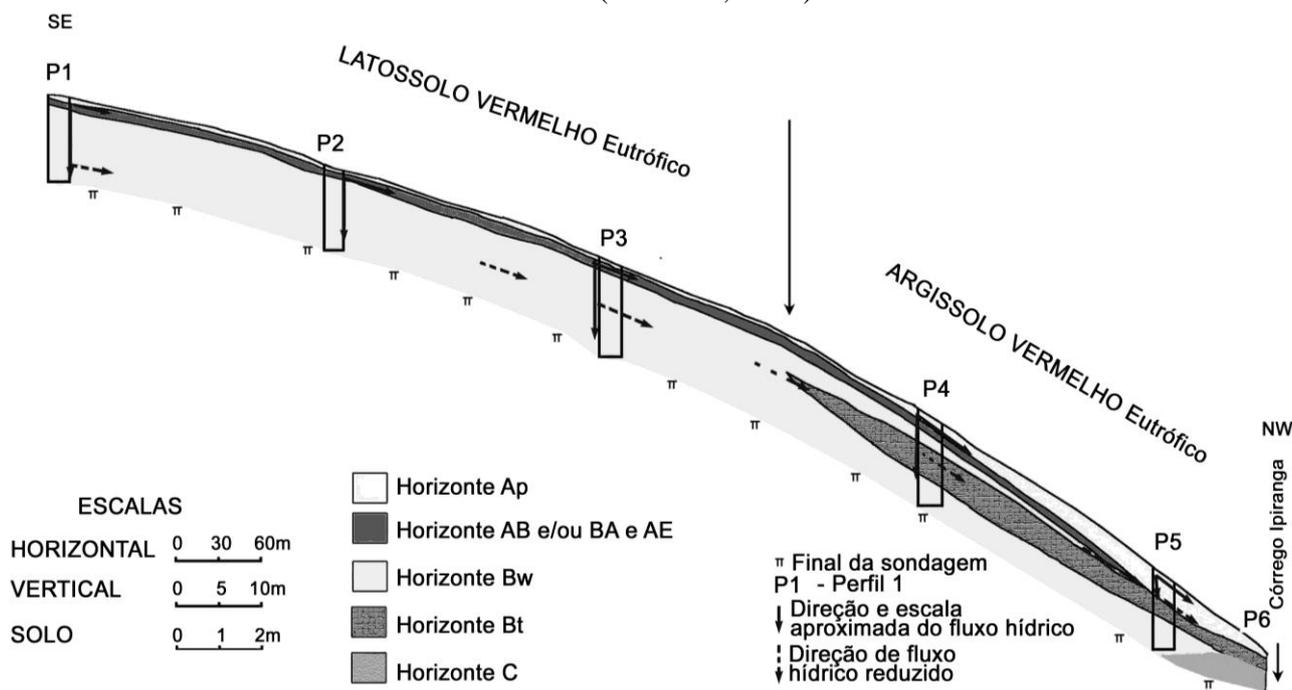
A ocupação dos solos, ao longo da vertente, é variada. O setor de alta vertente é utilizado por culturas temporárias, tais como o sorgo e o milho, seguido (no sentido de jusante) pelo cultivo de frutíferas variadas. O setor de média vertente é utilizado para o cultivo de milho e o de baixa vertente para o de cana-de-açúcar, particularmente nos últimos quinze anos (anteriormente era ocupado por pastagem).

O Latossolo Vermelho textura média ocorre desde o topo até a média vertente, quando dá lugar ao Argissolo Vermelho textura média que se estende daí até ao sopé.

O levantamento da topossequência (Figura 2) revelou que esse sistema pedológico é constituído por quatro horizontes diagnósticos (Ap, Bw, Bt e C), além do horizonte de transição AB e/ou BA presente na cobertura latossólica e que se transforma em AE no segmento constituído pelos Argissolos. Os horizontes superficiais e de transição, relativamente estreitos desde o topo até a média vertente, se espessam significativamente em direção à jusante. Exibem textura predominantemente arenosa e areia-franca, enquanto os horizontes Bw e Bt são caracteristicamente de textura franco-argilo-arenosa.

Na Tabela 1 são apresentadas as características morfológicas da cobertura pedológica ao longo dessa topossequência e na Tabela 2 os seus atributos físicos, conforme Cunha (2002) e Cunha et al. (2008).

**Figura 2** – Toposequencia de solos Campus do Arenito de Cidade Gaúcha, região Noroeste do Estado do Paraná. P1, P2, P3: Latossolo Vermelho eutrófico; P4, P5, P6: Argissolo Vermelho eutrófico (CUNHA, 2002).



**Tabela 1** – Características morfológicas dos horizontes do sistema pedológico Campus do Arenito, Cidade Gaúcha-PR (CUNHA, 2002)

| CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS |                                 |  |  |   |   |                  |
|------------------------------|---------------------------------|--|--|---|---|------------------|
| HORIZONTE                    | COR                             | TEXTURA                                | ESTRUTURA  | POROSIDADE                              | CONSISTÊNCIA  | TRANSIÇÃO        |
| Ap                           | 5YR 4/4<br>5YR 3/3<br>7,5YR 4/4 | Areia                                  | granular, pequena e fraca  | pequenos com pedotúbulos                | seca = macia<br>úmida = solta<br>não plástica e não pegajosa                  | clara e ondulada |
| AB/BA                        | 5YR 3/3<br>2,5YR 3/6            | areia franca a franco-arenosa          | blocos poliédricos de 2 a 5cm de diâmetro de fraca a moderada resistência      | muito pequenos com canais               | seca = macia<br>úmida = solta<br>não plástica e não pegajosa                  | Gradual plana    |
| AE                           | 5YR 4/4<br>7,5YR 4/4            | Areia                                  | granular, pequena e fraca  | pequenos canais e pedotúbulos           | Seca = macia<br>úmida = solta<br>não plástica e não pegajosa                  | clara e ondulada |
| Bw <sub>1</sub>              | 2,5YR 3/4                       | areia-franca a franco-argilo-arenosa   | blocos angulares de 1 a 3cm de diâmetro de fraca resistência                   | pequenos canais e pedotúbulos           | seca = macia<br>úmida = solta<br>plástica e ligeiramente pegajosa             | clara e ondulada |
| Bw <sub>2</sub>              | 2,5YR 3/6                       | areia-franca a franco-argilo-arenosa   | blocos angulares de 3 a 5cm de diâmetro de moderada resistência                | pequenos canais e pedotúbulos           | seca = macia<br>úmida = solta<br>plástica e ligeiramente pegajosa             | clara e ondulada |
| Bw <sub>3</sub>              | 2,5YR 3/6                       | franco-arenosa                         | blocos angulares de 3 a 5cm de diâmetro de moderada resistência                | pequenos canais e pedotúbulos           | seca = macia<br>úmida = solta<br>plástica e ligeiramente pegajosa             | clara e ondulada |
| Bt <sub>1</sub>              | 2,5YR 3/6<br>2,5YR 3/4          | franco-arenosa a franco-argilo-arenosa | blocos angulares e subangulares de até 5cm de diâmetro de moderada resistência | muito pequenos com canais e pedotúbulos | seca = ligeiramente dura<br>úmida = firme<br>ligeiramente plástica e pegajosa | clara e ondulada |
| Bt <sub>2</sub>              | 2,5YR 3/6<br>2,5YR 3/4          | franco-argilo-arenosa                  | blocos angulares e subangulares de até 5cm de diâmetro de forte resistência    | muito pequenos com canais e pedotúbulos | seca = ligeiramente dura<br>úmida = firme<br>ligeiramente plástica e pegajosa | clara e ondulada |
| Bt <sub>3</sub>              | 2,5YR 3/6<br>2,5YR 3/4          | franco-argilo-arenosa                  | blocos angulares e subangulares de até 5cm de diâmetro de moderada resistência | muito pequenos com canais e pedotúbulos | seca = ligeiramente dura<br>úmida = firme<br>ligeiramente plástica e pegajosa | clara e ondulada |

|   |           |              |   |                  |   |
|---|-----------|--------------|---|------------------|---|
| C | 2,5YR 3/6 | areia franca | blocos angulares e subangulares de até 3cm de diâmetro de fraca resistência | e muito pequenos | seca = macia úmida = solta ligeiramente plástica e não pegajosa |
|---|-----------|--------------|---|------------------|---|

**Tabela 2 – Atributos físicos dos perfis de solos nos pontos onde foram realizados os testes com a chuva simulada (CUNHA, 2002)**

| Horizonte Prof. (cm)                           | Prof. coleta (cm) | Argila (%) | Silte Fino (%) | Silte Grosso (%) | Areia M.Fina (%) | Areia Fina (%) | Areia Média (%) | Areia Grossa (%) | Argila Disp. (%) | Grau Floc. (%) | Dens. Solo Mg m <sup>-3</sup> |
|--|-------------------|------------|----------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|-------------------------------|
| <b>Perfil 1 – Latossolo Vermelho eutrófico</b> |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Ap   | 3                 | 5          | 4              | 3                | 11               | 51             | 13              | 13               | 2.85             | 57             | 1,34                          |
| 0-25   | 15                | 8          | 3              | 3                | 15               | 52             | 10              | 9                | 4.45             | 56             | 1,35                          |
| BA – 25-50                                     | 35                | 13         | 3              | 4                | 14               | 47             | 10              | 9                | 7.75             | 60             | 1,38                          |
| Bw <sub>1</sub>                                | 70                | 18         | 1              | 4                | 10               | 47             | 11              | 9                | 0.2              | 2              | 1,21                          |
| 50-142   | 120               | 17.1       | 1.9            | 5                | 11               | 46             | 10              | 9                | 0.5              | 3              | 1,22                          |
| Bw <sub>2</sub>                                | 150               | 17.6       | 3.2            | 2                | 13               | 49             | 9               | 7.2              | 0.5              | 3              | 1,16                          |
| 142-200+                                       | 200               | 19.1       | 0.7            | 5.4              | 16               | 45             | 7.4             | 6.4              | 0.1              | 1              | 1,03                          |
| <b>Perfil 2 - Latossolo Vermelho eutrófico</b> |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Ap   | 5                 | 3.3        | 5.6            | 3                | 15               | 67             | 4.7             | 1.4              | 2.75             | 84             | 1,35                          |
| 0-23   | 10                | 7.1        | 1              | 4.5              | 14               | 66             | 4.2             | 3.2              | 4.4              | 62             | 1,35                          |
| AB – 23-40                                     | 30                | 13         | 1              | 5.9              | 13               | 62             | 3.8             | 1.3              | 5.55             | 43             | 1,30                          |
| BA – 40-63                                     | 50                | 16.5       | 2              | 4.4              | 13               | 56.9           | 3.5             | 3.7              | 14.5             | 88             | 1,17                          |
| Bw <sub>1</sub>                                | 75                | 20.1       | 2.3            | 3                | 14               | 56             | 3.6             | 1                | 5.2              | 26             | 1,20                          |
| 63-147   | 105               | 21.6       | 1.5            | 5.5              | 13               | 52             | 5.3             | 1.2              | 4.2              | 20             | 1,21                          |
|  | 135               | 24.4       | 0.3            | 5                | 12               | 56             | 1.5             | 0.8              | 6.95             | 29             | 1,17                          |
| Bw <sub>2</sub>                                | 200               | 19.3       | 2.6            | 3.1              | 13               | 56             | 3.4             | 2.6              | 3.85             | 20             | 1,21                          |
| 147-200+                                       |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| <b>Perfil 3 - Latossolo Vermelho eutrófico</b> |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Ap   | 5                 | 5.5        | 4.6            | 2.6              | 15               | 68.6           | 3.3             | 0.4              | 5.4              | 99             | 1,24                          |
| 0-12   | 8                 | 9.4        | 2.7            | 2.2              | 15               | 70             | 0.6             | 0.1              | 2.95             | 32             | 1,30                          |
| AB – 12-40                                     | 25                | 10         | 1.1            | 2                | 13               | 69             | 3.9             | 1                | 6.4              | 64             | 1,33                          |
| BA – 40-67                                     | 55                | 17.4       | 2.1            | 1.9              | 12               | 62.9           | 3.1             | 0.6              | 6.2              | 36             | 1,26                          |
| Bw <sub>1</sub>                                | 90                | 14.5       | 1.2            | 4.5              | 14               | 57             | 7.5             | 1.3              | 2.05             | 38             | 1,20                          |
| 67-110   |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Bw <sub>2</sub>                                | 125               | 22.5       | 1.5            | 3.3              | 10               | 57             | 4.2             | 1.5              | 7.15             | 32             | 1,14                          |
| 110-160  | 140               | 23.1       | 1.1            | 4.7              | 9.3              | 56.8           | 3.6             | 1.4              | 0.4              | 2              | 1,21                          |
| Bw <sub>3</sub>                                | 200               | 18.3       | 1.2            | 6                | 10.6             | 59             | 3.5             | 1.4              | 0.35             | 2              | 1,20                          |
| 160-200+                                       |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| <b>Perfil 4 - Argissolo Vermelho eutrófico</b> |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Ap   | 5                 | 3.9        | 1.8            | 2.4              | 17.4             | 68.5           | 5               | 1                | 0.15             | 4              | 1,07                          |
| 0-25   | 15                | 3          | 2.2            | 3.7              | 15.9             | 68.6           | 5.3             | 1.3              | 0.45             | 15             | 1,10                          |
| A/E  | 35                | 7.9        | 1.7            | 3.8              | 15.5             | 64.4           | 6.0             | 0.7              | 2.5              | 32             | 1,25                          |
| 25-45  |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Bt <sub>1</sub>                                | 70                | 18.3       | 2              | 3.6              | 11.6             | 57.3           | 6.4             | 0.8              | 6.7              | 37             | 1,36                          |
| 45-95  |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Bt <sub>2</sub>                                | 115               | 13         | 1.9            | 4                | 13.3             | 61.7           | 5.9             | 1.2              | 0.25             | 2              | 1,37                          |
| 95-130   |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Bt <sub>3</sub>                                | 160               | 24.2       | 2.7            | 3                | 12.7             | 54             | 3.1             | 0.3              | 0.15             | 1              | 1,34                          |
| 130-180  |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Bw   | 200               | 23         | 3.8            | 2.9              | 14.7             | 52             | 3.5             | 0.1              | 0.14             | 1              | 1,30                          |
| 180-200+                                       |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| <b>Perfil 5 – Argissolo Vermelho eutrófico</b> |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Ap   | 5                 | 5.1        | 3.4            | 2.2              | 15.6             | 59.7           | 11.9            | 2.1              | 0.2              | 4              | 1,08                          |
| 0-23   | 12                | 3.4        | 3.6            | 3.3              | 19.7             | 57.6           | 11              | 1.5              | 0.35             | 11             | 1,11                          |
| AE   | 40                | 4.1        | 3.8            | 2.5              | 22.8             | 54.2           | 10.9            | 1.7              | 0.2              | 5              | 1,26                          |
| 23-90  | 75                | 7.6        | 1.1            | 2.9              | 27.6             | 51             | 8.8             | 1                | 1.7              | 23             | 1,29                          |
| Bt   | 100               | 25.7       | 1.8            | 4.9              | 16.2             | 41.5           | 8.4             | 1.5              | 5.75             | 23             | 1,37                          |
| 90-160   | 140               | 32.4       | 2.6            | 4.5              | 16.8             | 35.9           | 7.4             | 0.4              | 5.2              | 17             | 1,32                          |
| Bw   | 200               | 23.1       | 0.4            | 5.2              | 23.9             | 39.4           | 7.8             | 0.2              | 0.2              | 1              | 1,30                          |
| 160-200+                                       |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| <b>Perfil 6 - Argissolo Vermelho eutrófico</b> |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |
| Ap – 0-3                                       | 3                 | 3.9        | 0.7            | 0.8              | 18.3             | 68.6           | 6.6             | 1.1              | 0.45             | 12             | 1,08                          |
| A/E – 3-28                                     | 12                | 1.6        | 4.3            | 3.5              | 13.9             | 68.2           | 8               | 0.5              | 0.1              | 7              | 1,12                          |
| Bt <sub>1</sub> – 28-57                        | 40                | 22.1       | 4.2            | 6                | 15.1             | 47.1           | 5.1             | 0.4              | 4.8              | 22             | 1,32                          |
| Bt <sub>2</sub>                                | 75                | 21         | 0.7            | 9.2              | 14.6             | 48.5           | 5.5             | 0.5              | 4.75             | 23             | 1,36                          |
| 57-140   | 115               | 22.1       | 0.8            | 9.5              | 17.5             | 46.1           | 3.8             | 0.2              | 2.25             | 11             | 1,37                          |
| C  | 160               | 11.5       | 7.2            | 0.3              | 7.1              | 63.2           | 10.5            | 0.2              | 1.65             | 15             | 1,20                          |
| 140-160+                                       |                   |            |                |                  |                  |                |                 |                  |                  |                |                               |

A comparação dos dados apresentados na Tabela 2 para os perfis 1 (Latossolo) e 5 (Argissolo) onde foram realizados os ensaios com chuva simulada, mostra diferenças significativas entre eles. No Perfil 1, os horizontes Ap e BA, juntos, têm 50 cm de espessura, aparecendo logo abaixo o Bw. O teor de argila aumenta gradualmente do Ap para o Bw. Os dados mostram, ainda, que os horizontes superiores (Ap e AB) apresentam valores de densidade do solo mais altos que os horizontes inferiores (Bw), o que evidencia um adensamento maior no topo do perfil. No Perfil 5 (Argissolo), até 90 cm de profundidade, horizontes Ap e AE, a textura é essencialmente arenosa (teores de argila inferiores a 10%). No horizonte Bt, sotoposto, os teores de argila são superiores a 25%, gerando o forte contraste textural, característico dessa classe de solo. A densidade do solo acompanha essa variação: é mais baixa nos horizontes Ap e AE e mais alta no topo do Bt, onde alcança 1,37, valor semelhante aos observados nos horizontes superiores do Perfil 1 (Tabela 2).

As medidas de velocidade de infiltração, de escoamento superficial e de perdas de solos por erosão foram obtidas com o emprego de um infiltrômetro por aspersão (simulador de chuvas) do tipo Swanson, detalhadamente descrito em Roth et al. (1983).

O ensaio com chuva simulada foi realizado em dois pontos distintos da topossequência: o primeiro no topo (3% de declividade), no setor dominado pelo Latossolo Vermelho, no ponto correspondente ao Perfil 1 (Figura 2); o segundo na baixa vertente (9% de declividade), sobre o Argissolo Vermelho, no ponto correspondente ao Perfil 5 (Figura 2). Nas duas situações o solo encontrava-se sem cobertura vegetal.

Como os dados das chuvas obtidos pelo pluviógrafo instalado na área indicaram que, ao longo do seu período de registro (5 anos), os episódios chuvosos raramente ultrapassaram a intensidade de 30mm/h. Assim, para se testar o comportamento da infiltração, do escoamento e perda de solo nos diferentes setores da vertente, sob as condições pluviométricas extremas mais comuns à área, optou-se por aplicar chuva com intensidade de 30mm/h. A simulação foi realizada em mini-parcelas com dimensões de 0,5 m X 0,5 m, e introduzidas a 5cm de profundidade no solo, adotando-se os procedimentos e técnicas descritos em Roth et al. (1983) e Derpsch et al. (1991).

Logo após o início do escoamento superficial o material foi recolhido (calha coletora com bico acoplado) de 1 em 1 minuto nos primeiros 5 minutos e de 3 em 3 minutos até o final de 30 minutos e, mais espaçadamente até o total de 60 minutos. As medidas e coletas de material e água prosseguiram, neste estudo, até completar duas horas de simulação.

O material coletado nesses intervalos foi vertido em proveta para a quantificação do volume escoado e, em seguida, armazenado em baldes para a quantificação das perdas de solo. A determinação da perda de solo foi obtida pela recolha do material erodido no início do escoamento e depois, a cada 30 minutos de tempo de simulação, no volume depositado nos baldes.

A taxa de infiltração foi determinada pela diferença entre o volume de água aplicado (chuva simulada) e o volume de água escoado nos intervalos de tempo medidos, aplicando-se a equação (POTT, 2001):

$$VIB = P - \left[ \frac{60 \times \left( \frac{E}{1000} \right)}{A} \right] \quad \text{onde:}$$

$VIB$  = Velocidade de infiltração básica,  $\text{mm h}^{-1}$

$P$  = Precipitação do infiltrômetro de aspersão,  $\text{mm h}^{-1}$

$E$  = Escoamento superficial,  $\text{ml min}^{-1}$

$A$  = Área da parcela.

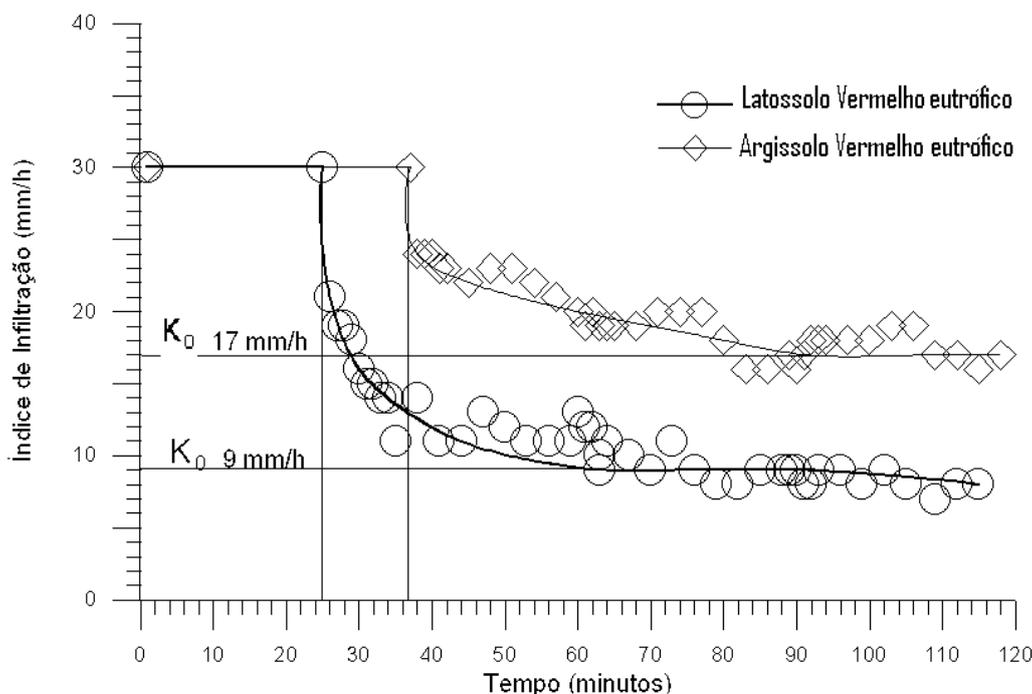
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante os ensaios de chuva simulada estão representados nas Figuras 3, 4 e 5.

A evolução da infiltração para o Latossolo Vermelho eutrófico e para o Argissolo Vermelho eutrófico, acompanhada pelo ensaio de chuva simulada (Figura 3), mostraram claramente o que foi destacado por Reichardt (1987), ou seja, que o processo de infiltração de água no solo é um processo desacelerado, ou melhor, é rápido no início, tornando-se lento com o passar do tempo.

No início da chuva, quando os solos estavam secos, ocorreu um período onde a quantidade de água precipitada foi totalmente infiltrada, sem ocorrência de escoamento superficial. A partir de um determinado tempo de duração da chuva, a velocidade de infiltração foi reduzida, dando início ao escoamento superficial. No Latossolo o escoamento começou após 25 minutos de simulação da chuva e, no Argissolo, somente depois de 37 minutos. A partir do início do escoamento a infiltração continuou a desacelerar, mas de modo mais lento até apresentar taxas constantes, quando ocorreu a estabilização do processo. O ponto de estabilização, que também ocorreu em tempos diferentes para os dois solos, corresponde à *infiltração básica*  $K_0$ , ou condutividade hidráulica do solo saturado. Nessa condição o potencial matricial do solo é nulo ( $= 0$ ) e o potencial total do solo é igual ao potencial gravitacional, como ressalta Reichardt (1987).

**Figura 3** – Evolução velocidade de infiltração da água no solo ao longo do tempo para o Latossolo Vermelho eutrófico e para o Argissolo Vermelho eutrófico, sob chuva simulada.



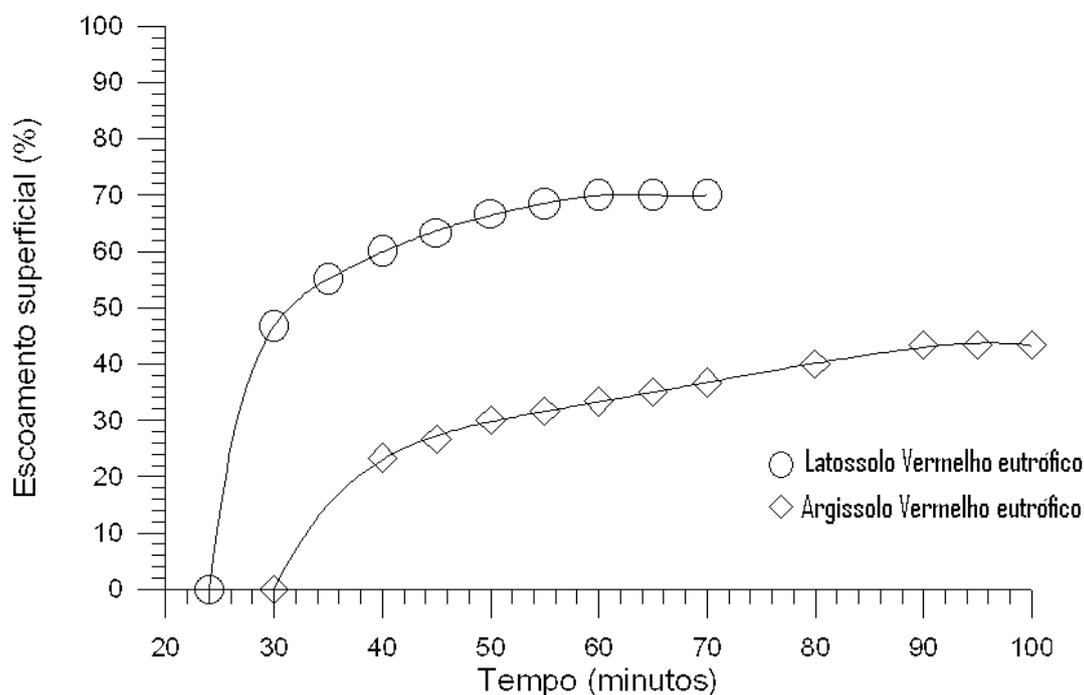
Na Figura 3, observa-se que o processo de infiltração também se estabilizou mais cedo para o Latossolo, depois de 60 minutos, quando atingiu  $K_0 = 9$  mm/h (infiltração básica), enquanto que para o Argissolo a estabilização só foi alcançada após 90 minutos, quando apresentou  $K_0 = 17$  mm/h.

Esses resultados indicaram que:

- a) a velocidade de infiltração no Latossolo foi menor do que aquela do Argissolo. A taxa de infiltração do Latossolo corresponde à apenas 47% da verificada no Argissolo, para a mesma intensidade de chuva, após a estabilização do processo;
- b) as curvas indicaram que a desaceleração da infiltração no Argissolo foi mais lenta e gradual do que no Latossolo. Assim, o Argissolo manteve o fluxo mais acelerado, em relação ao Latossolo, durante um tempo mais longo (cerca de 30 minutos a mais);

c) a formação e evolução do escoamento foi diferente nos dois pontos e solos estudados. No Latossolo o escoamento superficial que teve início após 25 minutos de chuva, já apresentava aos 30 minutos um escoamento que correspondia a 47% do volume precipitado, chegando a atingir 70%, após 60 minutos de duração da chuva (quando ocorreu a estabilização da infiltração), mantendo-se constante até o final do ensaio (Figura 4). No Argissolo, onde o escoamento apareceu após 37 minutos de chuva, correspondeu, após 40 minutos de simulação, a 23% da precipitação, aumentando de forma lenta e progressiva até estabilizar em 43%, após 90 minutos de chuva. O escoamento que se estabeleceu sobre o Argissolo, na baixa vertente, foi menos volumoso (correspondeu a menos da metade da chuva precipitada) do que aquele verificado no topo da topossequência, sobre o Latossolo.

**Figura 4** – Evolução do escoamento superficial ao longo do tempo para o Latossolo Vermelho eutrófico e para o Argissolo Vermelho eutrófico, sob chuva simulada



Os resultados refletiram as condições de porosidade e condutividade hidráulicas decorrentes da organização vertical dos perfis de solos, verificadas por Cunha et al. (2008). De acordo com os autores, o perfil do Latossolo no topo da vertente (perfil 1), apresentou nos horizontes A e BA, taxas de condutividade hidráulica mais baixas do que aquelas dos horizontes subjacentes.

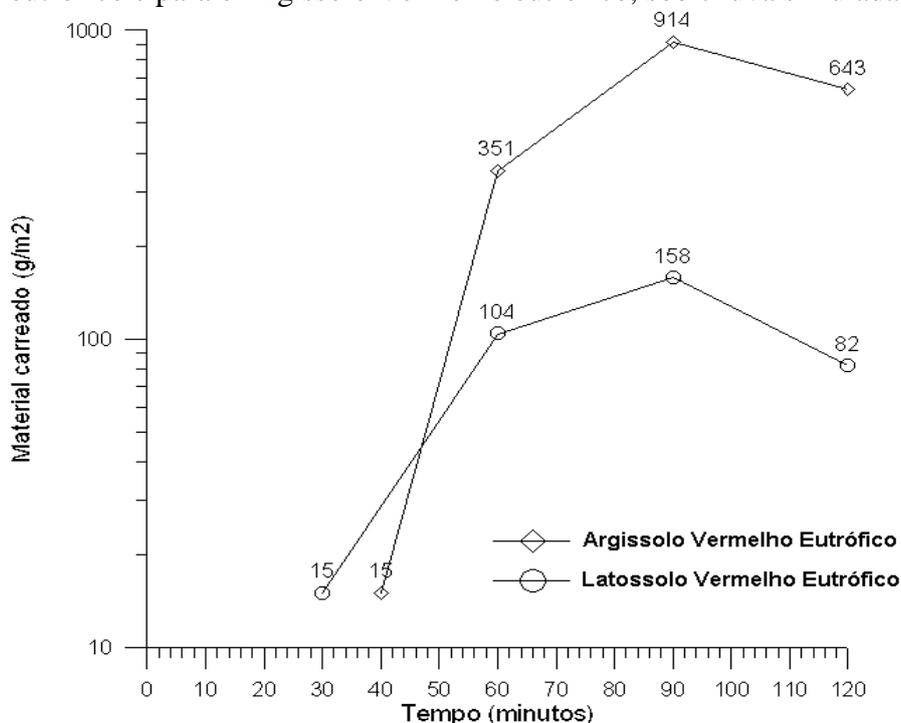
As medidas realizadas por Cunha (2002) nessa topossequência com o emprego de tensiômetros já evidenciavam o papel que esses horizontes desempenham na redução da circulação da água, fazendo com que ela fique retida nos horizontes superiores por mais tempo para depois, lentamente, migrar para os horizontes inferiores. Esses fatos explicam o retardamento que ocorreu na infiltração nos horizontes superficiais, resultando na formação mais cedo e volumosa do escoamento superficial sobre o Latossolo. Como na área de topo as declividades são menores, os fluxos hídricos laterais que se estabeleceram, tanto em superfície quanto em subsuperfície, tenderam a ser mais lento, o que também contribuiu para o estabelecimento das taxas mais baixas de infiltração.

No Argissolo, como demonstrou Cunha (2002), a condutividade hidráulica é significativamente reduzida no horizonte Bt. Tal fato indica que o retardamento do fluxo hídrico, para esse solo, ocorreu a maior profundidade (a cerca de 90 cm), no topo do horizonte Bt, o que

permitiu a infiltração mais rápida e de um volume maior de água nos horizontes superficiais (Ap e AE) do que aquele observado no Latossolo. Dessa maneira, o excedente hídrico que formou o escoamento em superfície apareceu mais tardiamente e com volume reduzido em relação àquele sobre o Latossolo. Por sua vez, a redução da infiltração no topo do horizonte Bt, sugere a formação de fluxos subsuperficiais que, dada a posição em que aparecem na vertente (no setor de maior declividade), são mais rápidos, favorecendo a manutenção de taxas de infiltração mais altas do que aquelas existentes no topo da vertente.

Com o desencadeamento do escoamento superficial, começou a erosão do solo. O gráfico da Figura 5 apresenta os totais de sedimentos carregados no início do escoamento e, subsequentemente, os totais erodidos a cada intervalo de 30 minutos de duração da chuva (60, 90 e 120 minutos). A comparação das perdas de solos evidencia que, apesar do escoamento no Latossolo se iniciar mais cedo e ser mais volumoso, ele é menos agressivo, em termos erosivos, do que aquele sobre o Argissolo.

**Figura 5** – Perdas de solo por erosão superficial ao longo do tempo para o Latossolo Vermelho eutrófico e para o Argissolo Vermelho eutrófico, sob chuva simulada



As quantidades de sedimentos erodidos e carregados no início do escoamento foram semelhantes para os dois solos (cerca de  $15 \text{ g/m}^2$ ), mas após 60 minutos de chuva simulada o montante carregado no Argissolo foi substancialmente maior. As taxas de perda de solo continuaram crescentes até 90 minutos de duração da chuva. Entretanto, para o Argissolo essas taxas aumentaram de forma mais rápida e acentuada do que para o Latossolo. No Argissolo foram retirados  $351 \text{ g/m}^2$  após decorridos 20 minutos de escoamento; ao final dos 30 minutos seguintes, o montante carregado correspondeu a  $914 \text{ g/m}^2$ , isto é, 2,6 vezes mais do que o erodido na etapa anterior. Já no Latossolo, a perda foi de  $104 \text{ g/m}^2$  na primeira meia hora de escoamento; no período seguinte (após mais 30 minutos de escoamento), também ocorreu um aumento na taxa de sedimentos retirados ( $158 \text{ g/m}^2$ ), o que significou um acréscimo de 52% (1,5 vezes) em relação à perda anterior.

Aos 120 minutos do ensaio (nos 30 minutos finais do experimento) as taxas de perda de solo entraram em declínio e, com redução mais acentuada para o Latossolo. A quantidade de sedimentos aí carregados foi menor ( $82 \text{ g/m}^2$ ) do que aquela verificada nos primeiros 30 minutos de

escoamento. No Argissolo, apesar da diminuição, as taxas continuaram ainda mais elevadas (643 g/m<sup>2</sup>) do que as registradas na sua primeira fase.

Ao final do experimento, as perdas totais no Argissolo somaram 1922 g/m<sup>2</sup>, enquanto que no Latossolo corresponderam a 359 g/m<sup>2</sup>. Esse comportamento face à erosão pode ser explicado pela diferença de velocidade dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais que se estabeleceram. As maiores taxas de perdas de solo estão associadas aos fluxos hídricos mais rápidos, condicionados pela maior declividade no segmento dominado pelos Argissolos (9%). Além disso, no Argissolo, os teores de argila são, até cerca de 50 cm de profundidade, inferiores a 5%. O material de solo se comporta como areia, já que essa quantidade de argila é insuficiente para produzir coesão entre os grãos, favorecendo a sua desagregação e remoção. Essas circunstâncias geram, portanto, uma maior suscetibilidade a erosão para o Argissolo e para o segmento de vertente onde ele domina.

Os resultados dos ensaios de chuva simulada mostraram a mesma tendência verificada no estudo realizado por Nóbrega et al. (2000), em parcelas experimentais (25 m<sup>2</sup>) localizadas nesta mesma vertente: uma sobre o Latossolo, próximo ao Perfil 1, e outra sobre o Argissolo, junto ao Perfil 5. Ao longo de um ano (de agosto/1999 a julho/2000) foram registradas perdas de 74,1 ton/ha para o Latossolo e de 112,7 ton/ha para o Argissolo. É interessante observar, também, que nas parcelas de erosão, em várias ocasiões, ocorreram escoamentos superficiais mais volumosos sobre o Latossolo do que sobre o Argissolo, mas sempre com perdas de solo por erosão maiores para o Argissolo (NÓBREGA et al., 2000).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios de chuva simulada permitiram observar a variação do comportamento hídrico sobre o sistema pedológico Latossolo Vermelho – Argissolo Vermelho, textura média, que recobre frequentemente as vertentes longas e convexas na região Noroeste do Paraná.

Os resultados mostraram que os tipos de solo e a sua posição na vertente interferem na resposta aos processos desencadeados por chuvas de igual intensidade e duração. Os ensaios revelaram uma variação no comportamento em termos de velocidade de infiltração, tempo para a formação do escoamento superficial e no seu volume, assim como nas taxas e ritmo das perdas de solo por erosão em função do tempo de duração da chuva.

Na cobertura latossólica, dada as condições locais, com a presença de horizontes mais adensados em superfície, o escoamento superficial se estabeleceu temporalmente mais cedo do que aquele sobre a cobertura argissólica e foi, também, mais volumoso. Entretanto, em termos de suscetibilidade à erosão, deduzida através das perdas de solo, a cobertura argissólica se mostrou mais vulnerável. Esse fato é justificado pela velocidade maior do fluxo hídrico superficial (em função da maior declividade nesse setor da vertente) e pela atuação conjunta com um fluxo hídrico subsuperficial, em material muito empobrecido em argila.

#### REFERÊNCIAS

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de direto e convencional. **R. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 191-196, 2003.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 11, p. 187-192, 1987.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Curitiba. ABGE - ADEA. 1985. 332 p.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et pédologie I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cah ORSTOM. **ser. Pédol**, v. XIX, n. 4, p. 309-322, 1982.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Erodibilidade em sulcos e entressulcos de um Podzólico Vermelho-amarelo franco arenoso. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 20, p. 127-134, 1996.

CUNHA, J. E. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no município de Cidade Gaúcha-PR**. São Paulo. 2002. 175 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - FFLCH-USP, São Paulo, 2002.

CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T.; CASTRO, S. S. Infiltração de água no solo no sistema pedológico Campus do Arenito, Cidade Gaúcha, Noroeste do Estado do Paraná. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1837-1848, 2008.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Londrina. IAPAR. 1990. 272 p.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Comparação entre diferentes métodos de preparo do solo. In: DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. (Ed.) **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Schborn: GTZ/Londrina: IAPAR, 1991. p.71-116.

EMBRAPA - **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília. Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Serviço de Produção de Informação. 1999. 412p.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1427-1440, 2009.

LIMA, P. M. P. & ANDRADE, H. Erodibilidade entressulcos e atributos de solos com B textural e B latossólico do Sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 463-474, 2001.

MONDARDO, A. & VIEIRA, M. J. I **Encontro sobre pesquisa de erosão com simuladores de chuva**. EMBRAPA-IAPAR. Londrina. 1975. 126 p.

MORAIS, L. F. B.; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Índices de erodibilidade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 12, p. 281-284, 1988a.

MORAIS, L. F. B.; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Relações entre características físicas da chuva e perdas de solo no Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 12, p. 285-288, 1988b.

NÓBREGA, M. T.; GÔNGORA, I. B.; AZEVEDO, L. C.; CUNHA, J. E. A influência do tipo de solo no escoamento superficial ao longo de uma vertente na região noroeste do Paraná. III Simpósio Nacional de Geomorfologia. Campinas. **Anais...** v. 1, p. 160. 2000.

OLIVEIRA, J. O. A. P.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TORMENA, C. A.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; MUNIZ, A. S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca. **R. Bras. Ci Solo**, v. 25, p. 443-450, 2001.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D.F; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Sci. Agron**, v. 28, p. 129-137, 2006.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

POTT, C. A. **Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do estado de São Paulo.** Campinas, 2001. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2001.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** Editora Manole Ltda. São Paulo. 1987. 188 p.

REICHERT, J. M.; CABEDA, M. S. V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 16, p. 389-396, 1992.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 16, p. 289-298, 1992.

ROTH, C. H.; MEYER, B.; FREDE, H. G. Método para determinar o efeito de diferentes fatores a infiltrabilidade usando-se um simulador de chuva e tensiômetros. XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Curitiba. **Anais...** 1983.

SCHAFER, M. J.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; REINERT, D. J. Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 419-430, 2001a.

SCHAFER, M. J.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; CASSOL, E. A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **R. Bras. Ci Solo**, v. 25, p. 431-441, 2001b.

VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V.; REICHERT, J. M. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 17, p. 121-128, 1993.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, n. 5, p. 1459-1471, 2009.

**Data de submissão:** 06.02.2014

**Data de aceite:** 29.06.2016

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.