






COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO DE UMA TOPOSEQUÊNCIA DE SOLOS FORMADOS DA ALTERAÇÃO DO ARENITO DA FORMAÇÃO ADAMANTINA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAPÓ, PARANÁ, BRASIL

Physical-hydric behavior of a toposequence of soils formed from the alteration of the sandstone of the Adamantina Formation in the Pirapó river basin, Parana, Brazil

Comportamiento físico-hídrico de una toposecuencia de suelos formados a partir de la alteración de las areniscas de la Formación Adamantina en la cuenca del río Pirapó, Paraná, Brasil

Marcos Cardoso Cruz dos Santos¹ 
Gustavo Henrique Andrade da Cruz² 
Hélio Silveira³ 

RESUMO

Avaliar o comportamento físico-hídrico do solo é de suma importância para o direcionamento de práticas conservacionistas, principalmente quando realizadas em solos naturalmente vulneráveis a processos erosivos, associados às formações areníticas, e com intensas práticas de manejo. Assim, este trabalho teve como objetivo verificar a variação vertical e lateral dos atributos físicos e hídrico dos solos ao longo de uma toposequência na cabeceira de drenagem denominada Água Suíça, localizada no município de Munhoz de Mello-PR, e a sua relação com os fenômenos erosivos. Para a realização do estudo, foram analisados os principais horizontes dos solos encontrados ao longo da vertente, com a coleta de amostras para a determinação de parâmetros físicos (estabilidade de agregados, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total) e hídrico (condutividade hidráulica saturada). Os resultados indicaram que o manejo, acompanhado das características naturais dos solos, possibilitaram que em profundidade houvesse maior adensamento do solo, levando, por consequência, à diminuição da porosidade e da condutividade hidráulica saturada. Esse comportamento permitiu que a permeabilidade em superfície fosse maior, encontrando uma barreira em profundidade e viabilizando formação de fluxos laterais suspensos no topo dos horizontes menos permeáveis, principalmente nas coberturas argissólicas da média-alta vertente e planossólicas, aumentando a suscetibilidade de processos erosivos dos horizontes superficiais e promovendo o carregamento e deposição de partículas de solo da montante para a jusante da vertente.

Palavras-chave: Cabeceira de drenagem; solos; processos erosivos.

ABSTRACT

Evaluating the physical-hydric behavior of the soil is of paramount importance for directing conservationist practices, especially when carried out in soils that are naturally vulnerable to erosion processes, associated with sandstone formations, and with intense management practices. Thus, this work aimed to verify the vertical and lateral variation of the physical and hydric attributes of the soils along a toposequence in the drainage head called Água Suíza, located in the municipality of Munhoz de Mello-PR, and its relationship

¹ Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) **E-mail:** carrinhomarcos@gmail.com

² Mestrando no Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM). **E-mail:** gusttavohnq@gmail.com

³ Doutor em Geociências e Meio Ambiente. Professor Doutor do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM). **E-mail:** hesilveira70@hotmail.com

with the phenomena erosive. To carry out the study, the main soil horizons found along the slope were analyzed, with the collection of samples for the determination of physical parameters (stability of aggregates, soil density, macroporosity, microporosity and total porosity) and hydric (conductivity saturated hydraulic). The results indicated that the management, accompanied by the natural characteristics of the soils, made it possible for the soil to become denser at depth, leading, consequently, to a decrease in porosity and saturated hydraulic conductivity. This behavior allowed the surface permeability to be greater, finding a barrier in depth and enabling the formation of suspended lateral flows at the top of the less permeable horizons, mainly in the argisolic coverage of the medium-upper slope and in the planosol, increasing the horizons' susceptibility to erosion processes surfaces and promoting the loading and deposition of soil particles from upstream to downstream of the slope.

Keywords: Drainage head; soils; erosive processes.

RESUMEN

Evaluar el comportamiento físico-hídrico del suelo es de suma importancia para encaminar las prácticas conservacionistas, especialmente cuando se realizan en suelos naturalmente vulnerables a procesos erosivos, asociados a formaciones areniscas y con intensas prácticas de manejo. Así, este trabajo tuvo como objetivo verificar la variación vertical y lateral de los atributos físicos e hídricos de los suelos a lo largo de una topossecuencia en la cabecera de drenaje denominada Água Suiza, ubicada en el municipio de Munhoz de Mello-PR, y su relación con los fenómenos erosivos. Para llevar a cabo el estudio se analizaron los principales horizontes del suelo que se encuentran a lo largo del talud, con la toma de muestras para la determinación de parámetros físicos (estabilidad de agregados, densidad del suelo, macroporosidad, microporosidad y porosidad total) e hídricos (conductividad hidráulica saturada). Los resultados indicaron que el manejo, acompañado de las características naturales de los suelos, permitió que los suelos se hicieran más densos en profundidad, provocando, en consecuencia, una disminución de la porosidad y de la conductividad hidráulica saturada. Este comportamiento permitió que la permeabilidad superficial fuera mayor, encontrando una barrera en profundidad y posibilitando la formación de flujos laterales suspendidos en la parte superior de los horizontes menos permeables, principalmente en la cobertura argisólica del talud medio-superior y en el planosol, aumentando la susceptibilidad de los horizontes a los procesos de erosión de las superficies y la promoción de la carga y deposición de partículas de suelo desde aguas arriba hasta aguas abajo del talud.

Palabras-clave: Cabeza de drenaje; suelos; procesos erosivos.

INTRODUÇÃO

Os solos da região Norte e Noroeste do estado Paraná vêm sendo utilizados intensamente para práticas agrícolas, principalmente após a retirada do café, no início da década de 1960 (CUNHA; NÓBREGA; CASTRO, 2008). Se por um lado a utilização das terras permitiu a promoção do desenvolvimento socioeconômico, por outro, essas atividades causaram danos ambientais sem que, de fato, fossem imediatamente percebidos.

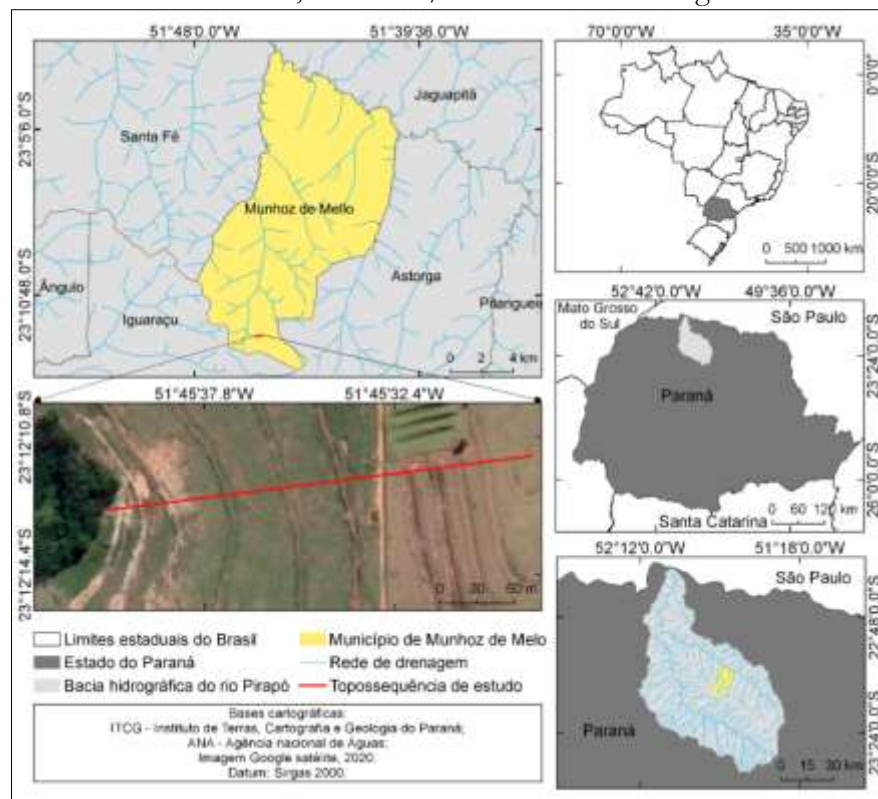
Tais circunstâncias, resultantes principalmente do revolvimento do solo por máquinas agrícolas, levam a mudanças na qualidade física e dinâmica hídrica dos solos. As práticas de manejo atuam na diminuição da estabilidade dos agregados, no aumento da densidade do solo, na diminuição da macroporosidade em relação a microporosidade, tendo como consequência a

diminuição da infiltração de água nos solos (BORGES; KIEHL; SOUZA, 1999; LEPSCH, 2010; PEZARICO et al., 2013; RAMOS et al., 2010; REINERT; REICHERT, 2006; SILVA, 1980).

A compactação do solo e a diminuição da infiltração ocasiona no aumento de erosões hídricas, tanto concentradas quanto difusas (CAMPOS et al., 1995), sendo os principais problemas causados pela degradação do solo no Brasil relacionados a esses dois processos erosivos oriundos da atuação da água na superfície do solo (SOUZA, 2010). Diante disso, é comum que as erosões provocadas em solos cultivados possam causar o arrastamento de sedimentos, fertilizantes e agroquímicos vertente abaixo, tendo como principal efeito a poluição dos cursos d'água, a diminuição da vazão dos leitos dos rios e o aumento dos riscos de cheias (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010). Os sedimentos, nutrientes e matéria orgânica fora de seu local de origem implicam na redução da água e da sua qualidade através do assoreamento e da eutrofização desses corpos hídricos, diminuindo sua capacidade na geração de energia hidroelétrica, na sua qualidade e na quantidade de vida aquática (MARIOTTI et al., 2013).

A preocupação com a degradação das nascentes tem sido ainda maior nas regiões que apresentam solos de textura média e arenosa, como observado na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR (Figura 1).

Figura 1 - Localização geográfica da toposequência de vertente em estudo em relação ao município de Munhoz de Mello-PR, no médio/curso da bacia hidrográfica do rio Pirapó



Fonte: organização dos autores (2020).

Diante disso, entender o comportamento físico e hídrico dos solos subsidia a tomada de decisões sobre as melhores técnicas para o cultivo do solo, visando a diminuição dos efeitos da erosão sobre os solos e sobre os cursos d'água. Nesse sentido, a condutividade hidráulica é um parâmetro fundamental para determinar o comportamento hídrico dos solos, indicando a capacidade da água se movimentar ao longo do perfil (ASSIS; LANÇAS, 2005; FIORI; CAMPOS; ALMEIDA, 2010).

Assim, o conhecimento da condutividade hidráulica auxilia na implantação de sistemas de irrigação, drenagem do solo, conservação do solo e da água, conservação da recarga dos aquíferos e no controle do deflúvio superficial, tornando-se de grande importância a avaliação do processo de infiltração e as suas relações com as propriedades dos solos (BEUTLER et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2013; SOUZA; ALVES, 2003).

A bacia hidrográfica do rio Pirapó é de extrema importância para o abastecimento das áreas rurais e urbanas, sendo responsável tanto pelo abastecimento residencial e industrial, quanto pela manutenção dos setores agropecuários e do turismo ecológico da região. Esse crescimento do uso do solo e da água é responsável pela degradação ambiental e poluição das redes de drenagem, devido à remoção da vegetação ripária e à impermeabilização do solo, acelerando a descarga de partículas poluentes nas redes de drenagens (KLEPKA, 2011).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo verificar a variação vertical e lateral dos atributos físicos e hídrico dos solos ao longo de uma toposequência na cabeceira de drenagem denominada Água Suíça, localizada no município de Munhoz de Mello-PR, e a sua relação com os fenômenos erosivos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A toposequência em estudo está inserida na cabeceira de drenagem de um canal de primeira ordem de ramificação do Córrego Água Suíça, localizada no município Munhoz de Mello-PR. O córrego deságua no ribeirão Interventor, afluente do rio Bandeirantes, com exutório no rio Pirapó. A referida vertente em estudo possui 348 m de comprimento e se localiza entre as coordenadas geográficas de 23°12'11.24" e 23°12'12.73" de latitude Sul e 51°45'28.64" e 51°45'40.77" de longitude oeste, sendo atualmente utilizada como pastagem. Apresenta perfil com forma convexa na alta, retilínea na média vertente e se transforma em suavemente côncava na baixa vertente (Figura 1).

Em relação à geologia, a área de estudos se situa sobre os arenitos da Formação Adamantina, pertencente ao Grupo Bauru, com estratificação cruzada plano-paralela e depósito de planície fluvial (MINEROPAR, 2001). Essa formação dá origem principalmente à Latossolos Vermelhos de textura média no topo dos interflúvios e Argissolos Vermelhos de textura média que se estendem da média até a baixa vertente (EMBRAPA, 2008).

Utilizando-se o método de Köppen (1918), para Terassi e Silveira (2013) a área de estudo possui tipologia climática como sendo Ama (tropical com inverno seco), onde apresenta maior incidência pluviométrica nos meses de verão e diminuição nos meses de inverno. Em relação ao comportamento das temperaturas, os meses mais frios apresentam temperaturas médias de 18 °C e os meses mais quentes apresentam valores acima de 22 °C. Em relação à cobertura vegetal original, Roderjan et al. (2002) classificam a área como pertencente à Floresta Estacional Semidecidual, onde a flora, em estações desfavoráveis, perde entre 20% e 50% das suas folhas. Foram consultados dados pré-existentes do trabalho desenvolvido por Ferreira (2018, no prelo) na mesma cabeceira de drenagem, tais como o de levantamento topográfico e dos volumes de solos. A autora utilizou a metodologia da Análise Bidimensional da Cobertura Pedológica, proposta por Boulet, Humbel e Lucas (1982a, 1982b), para realizar o levantamento do sistema pedológico. Essa análise permitiu reconhecer e representar as organizações e as transições dos horizontes pedológicos ao longo da vertente. Dessa forma, os resultados obtidos por Ferreira (2018, no prelo) indicaram que a organização dos volumes dá origem a um sistema pedológico formado por Latossolo – Argissolo – Planossolo, de montante para a jusante.

Para a coleta de amostras, foram abertas quatro trincheiras (TR I, TR II, TR III e TR IV) dispostas em pontos estratégicos, levando em consideração a classe de solo, a declividade e a morfologia da vertente. Após a abertura das trincheiras, procedeu-se à descrição morfológica dos perfis, seguindo os procedimentos de Lemos e Santos (1996), bem como às coletadas de amostras deformadas para análise granulométrica, e amostras indeformadas para obtenção da estabilidade de agregados, microporosidade, macroporosidade e densidade do solo, seguindo a metodologia analítica proposta pela Embrapa (2017). Ainda, em campo, determinou-se a condutividade hidráulica saturada dos horizontes pedológicos com o auxílio do Permeâmetro de Guelph, com a aplicação de carga hidráulica constante (ELRICK; REYNOLDS; TAN, 1989) (Figura 2).

Figura 2 - Permeâmetro de Guelph em operação no campo



Fonte: Os autores (2020).

A coleta das amostras deformadas para determinação granulométrica foi realizada em todos os horizontes de solos encontrados ao longo da vertente, utilizando-se posteriormente o método da pipeta proposto pela Embrapa (2017) para a determinação do tamanho das partículas em laboratório.

Para determinação granulométrica foi utilizada as seguintes equações:

$$\text{Argila} = [\text{Argila (g)} - \text{dispersante (g)}] \times 500$$

$$\text{Silte} = 500 - [\text{Argila (g)} + \text{Areia}]$$

$$\text{Areia} = \text{Areia(g)} \times 5$$

Para a estabilidade de agregados foi utilizado o método via seca, no qual foram pesadas 100 g da amostra indeformada, e passadas em uma peneira com malha de 8 mm. Seguidamente, as amostras foram transferidas para o agitador magnético contendo peneiras de 20 cm de diâmetro, e malha de 4 – 2 – 1 – 0,5 – 0,25 mm, respectivamente, submetidas a 10 minutos de agitação com uma frequência de 9 Hz (hertz). Logo após, foram remanejados os agregados retidos em cada peneira para vasilhas previamente enumeradas e taradas, sendo levadas à estufa (105 °C) durante 12 horas. Posteriormente a esse procedimento, as vasilhas foram pesadas.

O cálculo do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) foi determinado pela equação sugerida por Youker e Macguinness (1956):

$$DMPa = (Cmm \times P)$$

Onde Cmm corresponde ao centro das classes de tamanho dos agregados em milímetros e P é a proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao peso total da amostra.

Para determinar a microporosidade, a macroporosidade, a porosidade total e a densidade do solo, foram coletadas três anéis volumétricos com volume conhecido (143 cm³) em cada horizonte de solo. Posterior à coleta de campo, e antecedente à análise, as amostras foram submetidas a saturação por água.

Para o cálculo da macroporosidade obteve-se o peso da amostra saturada (a). Em seguida, as amostras foram transferidas para a mesa de tensão, submetendo-as a uma tensão conhecida 0,006 Mpa (60 cm), equivalente a 60 cm, para que a água dos poros fosse drenada por meio da sucção provocada pelo vácuo da mesa. Após 24 horas submetendo-as a mesa de tensão, ou até cessar a drenagem, as amostras foram retiradas da mesa e pesadas, apresentando o peso da amostra pós mesa de tensão (b).

O cálculo da macroporosidade foi obtido pela equação:

$$Ma\% = (a-b/d) \times 100$$

Onde, Ma%= macroporosidade em porcentagem; a= peso da amostra saturada; b= peso da amostra após ser submetida à tensão; d= volume do cilindro.

Posteriormente a determinação do peso pós mesa de tensão, as amostras foram transferidas para a estufa em uma temperatura de 105 °C por 24 horas. Após ao tempo determinado, as amostras foram pesadas depois de esfriarem no dessecador, alcançando assim, o peso da amostra seca (c).

O cálculo da microporosidade foi obtido pela equação:

$$Mi\% = (b-c/d) \times 100$$

Onde, Mi%= microporosidade em porcentagem; b= peso da amostra depois de ser submetida à tensão; c = peso da amostra seca a 105 °C; d= volume do cilindro;

Assim, com os respectivos pesos determinados, foi possível verificar a porosidade total e a densidade do solo de cada amostra.

O percentual de porosidade total de cada horizonte pedológico foi obtido através da soma dos percentuais de microporosidade e de macroporosidade.

Já para a determinação da densidade do solo, utilizou-se o peso da amostra seca pós estufa das mesmas amostras coletadas para a determinação da microporsidade, da macroporosidade e da porosidade total.

O cálculo da densidade do solo foi obtido pela divisão da massa seca pelo volume do anel:

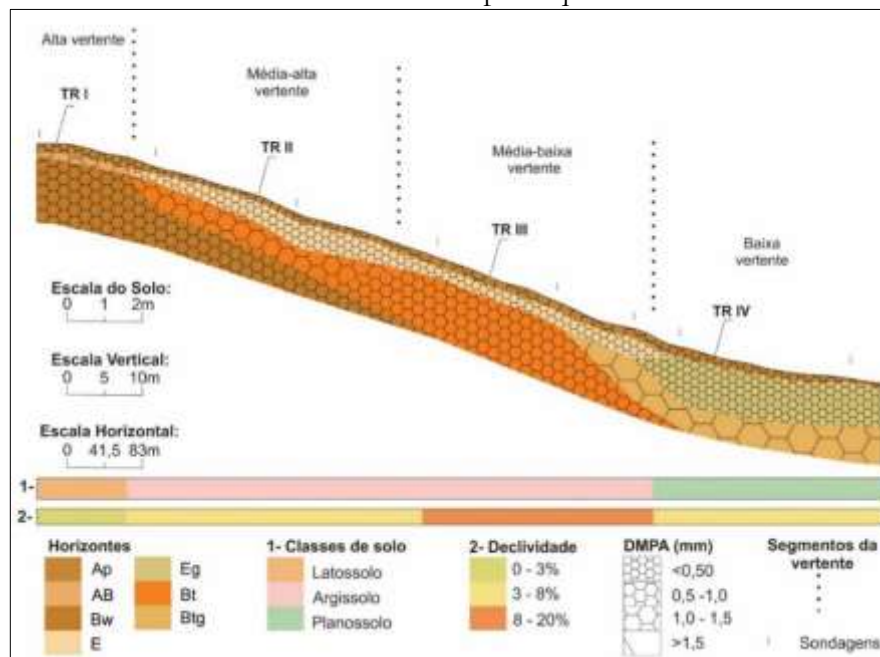
$$D_s = a/v$$

Onde D_s = Densidade do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^3$); a = peso da amostra seca; v = volume do anel volumétrico (cm^3).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A vertente em estudo possui 330 metros de extensão e se caracteriza por possuir um sistema pedológico formado por Latossolo - Argissolo – Planossolo, do topo para a baixa vertente. Através de sua morfopedologia, a topossequência foi dividida em quatro segmentos: alta vertente, com morfologia convexa e reduzida declividade (0 – 3%), sendo constituída por Latossolo Vermelho com seqüência vertical dos horizontes Ap, AB e Bw; média-alta vertente, identificada por apresentar morfologia retilínea e declividade entre 3 e 8%. Nesse setor, encontra-se o Argissolo Vermelho com seqüência de horizontes Ap, E, Bt e Bw; média-baixa vertente, também retilínea e representada pelo aumento da declividade (8 a 20%) e o surgimento de um Argissolo Vermelho com horizonte Bt mais espesso, cuja seqüência é Ap, E e Bt; e a baixa vertente, na qual a morfologia é côncava e a declividade varia entre 3 e 8%, aparecendo um Planossolo Háptico com seqüência de horizontes Ap, Eg e Btg (Figura 3).

Figura 3 - Variação vertical e lateral dos horizontes e dos solos, dos segmentos de vertente, do DMPa e da declividade na topossequência de estudo



Fonte: adaptado de Ferreira (2018).

O horizonte Ap se distribui por toda a toposequência, associado ao Latossolo na alta vertente, Argissolo entre a alta e a baixa vertente e ao Planossolo na baixa vertente. Na alta vertente, o referido horizonte (Ap) possui 28 cm de espessura, passando a 20 cm entre a alta e a média vertente, se tornando novamente mais espesso no sopé, onde se observou espessura média de 28 cm. A variação da espessura desse horizonte se associa a declividade da vertente e a sua morfologia, cujos segmentos da média vertente, no setor retilíneo e de maior declividade (7,9%), o referido horizonte (Ap) se apresentou menos espesso, sugerindo sua decapitação parcial devido à atuação do escoamento hídrico superficial (Tabela 1).

Bertolani e Vieira (2001), ao analisarem um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto no município de Vera Cruz (SP), constataram que esse solo apresenta muitos problemas físicos, principalmente por estar localizado em relevos ondulados a fortemente ondulados. Além disso, os autores apontam que a variação na espessura do horizonte A é um indicativo de erosão, onde, quanto menor for a sua espessura, mais rápida será a saturação, podendo ocasionar na formação de escoamento superficial sobretudo em relevos mais inclinados.

Na cobertura latossólica, o horizonte Ap apresenta cor vermelho amarelado (5 YR 4/6), com estrutura fraca e pequena, variando entre granular e grão simples. Na cobertura argissólica da média-alta vertente e na cobertura planossólica, esse horizonte passa a ter cor vermelho acinzentado (2,5 YR 4/2) e cinzento-avermelhado (5 YR 5/2), respectivamente, com ausência de estrutura em ambos os setores, apresentando aspecto maciço que se desfaz em grão simples. Por outro lado, na cobertura argissólica, na média-baixa vertente, esse horizonte apresenta cor vermelho amarelado (5 YR 4/6), estrutura composta por agregados granulares e grãos simples, sendo de grau fraco e tamanho pequeno (Tabela 1).

Tabela 1 - Cor, composição granulométrica, classificação textural, diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) e descrição morfológica para o Latossolo (LV), os Argissolos (PV) e Planossolo (SX) da toposequência em estudo

Horiz./ Prof. (cm)	Cor	Granulometria g Kg ⁻¹			DMPa (mm)	Textura	Estrutura
		Areia	Silte	Argila			
Trincheira I – Latossolo Vermelho (Alta vertente)							
Ap (0-28)	5YR 4/6	856,6	58,8	84,6	0,43	Arenosa-média	Fraco, Pequeno, Granular /grão simples
AB (28-65)	2,5YR 4/6	739,4	57,0	203,6	1,34	Média-argilosa	Forte, Médio, Blocos angulares/subangulares
Bw (65-200+)	2,5YR 3/6	724,2	41,9	233,9	0,93	Média-argilosa	Moderado, Médio, Blocos angulares/subangulares
Trincheira II – Argissolo Vermelho (Média-alta vertente)							
Ap (0-20)	2,5YR 4/2	892,8	42,9	64,3	0,41	Muito arenosa	Grão simples e maciço
E	5YR	904,4	42,0	53,6	0,32	Muito arenosa	Grão simples e maciço

(20-60)	5/3						
Bt (60-162)	2,5YR 3/4	744,8	44,1	211,1	1,32	Média-argilosa	Moderado/fraco, Médio, Blocos angulares /subangulares
Bw (162-200+)	2,5YR 3/6	768,6	40,5	190,9	0,66	Média-arenosa	Moderado, Pequeno/médio, Blocos angulares/ subangulares
Trincheira III – Argissolo Vermelho (Média-baixa vertente)							
Ap (0-21)	5YR 4/6	866,3	55,8	77,9	0,60	Arenosa-média	Fraco, Pequeno, Granular/grão simples
E (21-53)	2,5YR 4/4	871	31,1	97,9	0,45	Arenosa-média	Grão simples/maciço
Bt (53-200+)	2,5YR 3/6	797,9	33,6	168,5	0,51	Média-arenosa	Moderado, Pequeno/médio, Blocos angulares e subangulares
Trincheira IV – Planossolo Háptico (Baixa vertente)							
Ap (0-28)	5YR 5/2	939,9	22,7	37,4	0,31	Muito arenosa	Grão simples e maciço
Eg (28-138)	5YR 5/4	897,4	65,5	37,1	0,26	Muito arenosa	Grão simples e maciço
Btg (138-200+)	5YR 6/8	719,8	40,1	240,1	1,51	Média-argilosa	Forte, Grande, Blocos angulares/subangulares e prismáticos

Fonte: Os autores (2020).

Quanto à variação textural, observa-se que em direção a baixa vertente o horizonte Ap apresentou aumento da fração areia, passando de 856,6 g Kg⁻¹ na cobertura latossólica da alta vertente para 939,9 g Kg⁻¹, na cobertura planossólica localizada na baixa vertente, tendo assim, textura variando entre as classes arenosa-média a muito arenosa (Tabela 1).

O aumento da fração areia em direção à jusante, implicou numa diminuição da fração argila, com valores que variaram entre 84,6 g Kg⁻¹ para o Ap da cobertura latossólica e 37,4 g Kg⁻¹ para o mesmo horizonte localizado no sopé, associado à cobertura planossólica, onde houve uma translocação da fração argila para o horizonte mais profundo (Btg). Em contrapartida, os valores de argila nos Argissolos foram intermediários, variando de 64,3 a 77,9 g Kg⁻¹ para o Argissolo da média-alta e média-baixa vertente, respectivamente (Tabela 1).

O horizonte Ap, ao longo de toda a vertente, apresenta agregados pequenos, com DMPa que variaram entre 0,60 e 0,31 mm. Os menores agregados coincidiram com os valores inferiores de argila, principalmente na cobertura planossólica em que a textura foi muito arenosa (DMPa de 0,316mm), e houve translocação da fração argila verticalmente, demonstrando a importância da argila na agregação do solo (Tabela 1). Silva et al. (2014) apontam que a argila tem um papel fundamental na formação e estabilização dos agregados, sendo que, quanto maior o teor de argila, maior e mais estáveis serão os agregados.

A presença de horizontes superficiais arenosos e com agregados pequenos, somados a declividade da vertente (8,7%), favorece a atuação erosiva da água da chuva, que separa os

agregados e arrasta as partículas de solo em direção à jusante, favorecendo o surgimento de erosões. Isso ocorre principalmente na área da baixa vertente, na qual possui menor teor de argila ($37,4 \text{ g Kg}^{-1}$), ausência de estrutura e, conseqüentemente, agregados menores e menos estáveis (Tabela 1), aumentando a probabilidade do surgimento de erosões neste setor da vertente e o carregamento de partículas para os cursos d'água.

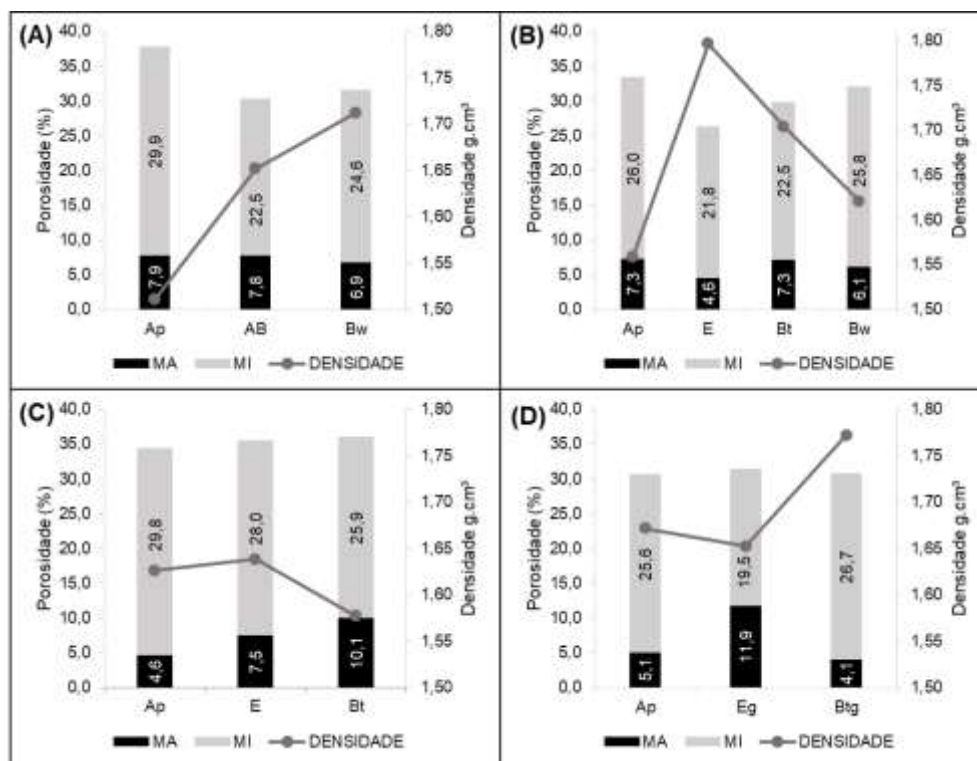
Medeiros et al. (2018), ao analisarem a estabilidade de agregados e a sua relação com a vulnerabilidade à erosão ao longo de uma toposequência no município de Araruna/PR, composta por Argissolo de textura média e por Nitossolo de textura argilosa, averiguaram que no horizonte superficial (Ap) do Argissolo sob pastagem, onde havia menor teor de argila ($240,0 \text{ g Kg}^{-1}$), os agregados eram mais instáveis ($0,27 \text{ mm}$). Desse modo, nos horizontes mais arenosos e com agregados de menor tamanho, os solos tornavam-se de elevada suscetibilidade erosiva.

A densidade do solo no horizonte Ap variou entre $1,53$ e $1,68 \text{ g.cm}^3$ ao longo da toposequência, sendo que o menor valor foi registrado na alta vertente, associado a cobertura latossólica e o maior valor na baixa vertente, na cobertura planossólica (Figura 4).

Foi observado também, uma correlação entre os dados de densidade do solo e porosidade total, uma vez que no horizonte mais adensado superficialmente obteve-se menor volume total de poros ($30,7\%$), concordando com os resultados obtidos por Marcatto e Silveira (2019), em que os autores constataram um aumento expressivo da densidade do solo, acompanhado da diminuição da porosidade total à 20 cm de profundidade no cultivo de pastagem sob Latossolo e Argissolo.

Os valores de densidade do solo obtidos pelos autores foram de $1,74$ e $1,81 \text{ g.cm}^3$, enquanto os de porosidade total foram de $33,07$ e $30,23\%$ para o Latossolo Vermelho e para o Argissolo Vermelho, respectivamente.

Figura 4 - Densidade do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^3$) e porosidade (%) para o Latossolo (A), Argissolo da alta-média vertente (B), Argissolo da média-baixa vertente (C) e do Planossolo (D) da topossequência em estudo



Fonte: Os autores (2020).

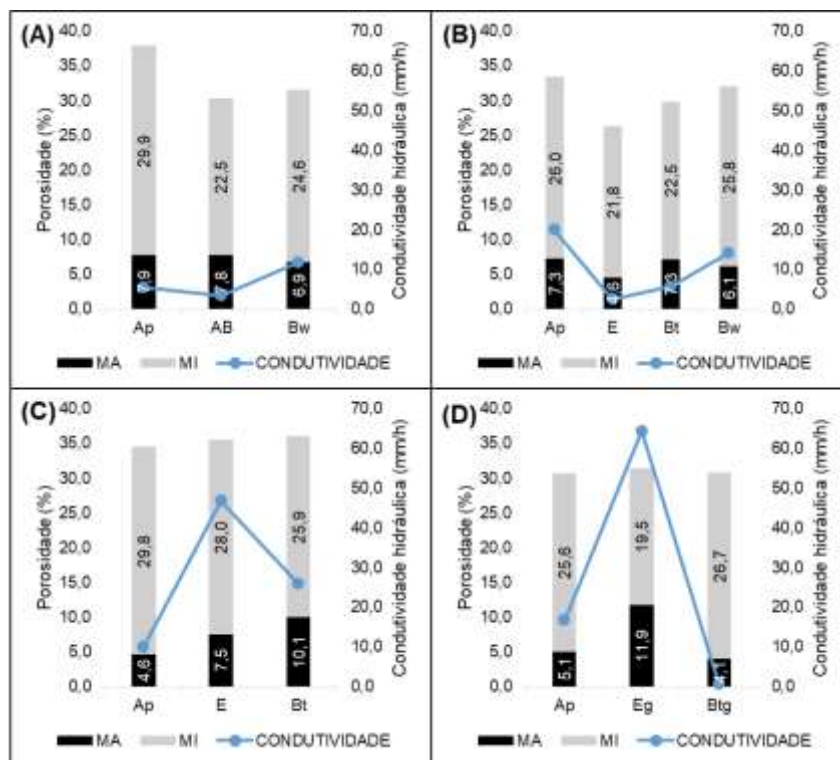
Em relação à macroporosidade, os valores variaram entre 4,6 e 7,9% ao longo da vertente, sendo o menor valor obtido na cobertura argissólica da média-baixa vertente e o maior na cobertura latossólica do topo (Figura 4 A e D). Apesar do horizonte com menor volume de macroporos (PV média-baixa vertente) não ter coincidido com aquele de maior densidade do solo (SX baixa vertente), notou-se que houve correlação entre os dados, pois os dois horizontes que apresentaram densidades mais elevadas (superiores a $1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$) também possuem menor quantidade de macroporos. Tais resultados se explicam pela mudança textural, onde o maior teor de fração areia ($939,9 \text{ g Kg}^{-1}$) pode ter influenciado na maior incidência de macroporos. Nesse sentido, Moraes (2012) destaca o papel da textura na permeabilidade do solo, afirmando que a Kfs aumenta, quanto maior for o tamanho das partículas do solo, considerando que será maior a área de vazios entre as partículas.

Já os dados hídricos dos solos geralmente se relacionam com os dados físicos, sobretudo com a macroporosidade e a densidade do solo. Entretanto, não se observou esse tipo de correlação nos resultados adquiridos no horizonte superficial, pois o menor valor de Kfs ocorreu no Latossolo ($5,5 \text{ mm/h}$), o qual atingiu menor densidade, maior porosidade total e macroporosidade.

No Planossolo a situação foi inversa, com densidade do solo mais elevada e volume de macroporos e porosidade total menores. Contudo, esse horizonte apresentou permeabilidade igual a 16,7 mm/h, sendo o segundo maior valor de Kfs na toposequência (Figura 5). Mesmo que não apresente correlação entre os dados físicos e hídricos, em superfície os valores de Kfs ainda se mostra muito reduzidos, proporcionando a concentração de fluxos superficiais e a translocação de sedimentos em direção a jusante.

Apesar da ausência de correlação dos dados físicos e hídricos em superfície, observa-se que foram nos horizontes mais argilosos que se obteve menor permeabilidade, possivelmente associada ao maior volume de microporos. Em solos mais argilosos há maior ocorrência de poros pequenos, que são responsáveis pela retenção e armazenamento de água, enquanto os macroporos, presentes principalmente em solos com textura mais arenosa, são responsáveis pela quantidade de água infiltrada e conduzida pelo solo (REINERT; REICHERT, 2006). Assim, no Ap do Latossolo e do Argissolo da média-baixa vertente, onde o teor de argila foi mais elevado, indicando textura arenosa média, a Kfs foi inferior a 10 mm/h.

Figura 5 - Porosidade (%) e condutividade hidráulica saturada (mm/h) para o Latossolo (A), Argissolo da média-alta vertente (B), Argissolo da média-baixa vertente (C) e do Planossolo (D) da toposequência em estudo



Fonte: Os autores (2020).

Sotoposto ao horizonte Ap, na alta vertente, forma-se um horizonte AB associado à cobertura latossólica, com 37 cm de espessura (28-65 cm de profundidade). Esse horizonte apresenta cor vermelha (2,5 YR 4/6), com estrutura de grau forte, tamanho médio, composta por blocos angulares e subangulares. Ele é mais argiloso do que o horizonte subjacente, obtendo-se 203,6 g Kg⁻¹ de argila, caracterizando-o como textura média-argilosa (Tabela 1).

Esse comportamento textural favoreceu a formação de um horizonte mais adensado (comparado ao superficial), cuja densidade do solo foi de 1,64 g.cm³. Isso também foi observado no trabalho desenvolvido por Marcatto e Silveira (2019), que ao analisarem Latossolos e Argissolos de textura média sob pastagem, cana-de-açúcar e floresta nativa, constataram elevados valores de densidade do solo na camada subsuperficial de um Latossolo sob pastagem, onde obtiveram densidade entre 1,74 e 1,67 g.cm³ nas profundidades de 20 e 40 cm, respectivamente. Esse comportamento físico se deu, provavelmente, pelo manejo de implementos agrícolas utilizados no passado sobre a cobertura pedológica cultivada com pastagem.

O aumento da densidade e dos teores de argila podem ter contribuído para o tamanho médio dos agregados, que foi de 1,34 mm neste horizonte, sugerindo a presença de agregados maiores pela contribuição da argila ou pela aproximação das partículas dos solos devido à compactação. Além disso, o adensamento subsuperficial foi notado pela redução da porosidade total, que chegou a 30,3% (Figura 4 A).

Associado a isso, observou-se que a macroporosidade pouco variou, passando de 7,9% no Ap para 7,8 no AB. O adensamento apontado pela densidade e porosidade total refletiu no resultado de permeabilidade, que foi de 3,4 mm/h, demonstrando a reduzida capacidade de movimentação de água desse horizonte (Figuras 5 A e 4 A). Cunha, Nóbrega e Castro (2008) estudaram o comportamento hídrico de um sistema pedológico composto por Latossolo e Argissolo Vermelho no município de Cidade Gaúcha, PR. Os resultados indicaram maior dificuldade de infiltração na cobertura latossólica nos horizontes superiores (Ap e AB) na média e média-alta vertente, favorecendo o desenvolvimento de fluxos hídricos laterais acima destes horizontes.

Reichert, Reinert e Braidá (2003) apontam que os valores críticos de Ds em solos franco-argilosos variam de 1,4 a 1,5 g.cm³, enquanto para os franco-arenosos a arenosos alternam de 1,7 a 1,8 g.cm³. Dessa forma, constatou-se que o horizonte AB da cobertura latossólica, com textura média-argilosa, apresenta valor crítico de densidade do solo, interferindo no comportamento hídrico e, conseqüentemente na incidência e surgimento de processos erosivos no horizonte subjacente Ap.

Lateralmente, o horizonte AB desaparece na média-alta vertente e dá lugar a um horizonte E, associado à cobertura argissólica entre a alta e a baixa vertente, e a cobertura planossólica no sopé. Em ambos os solos ocorre logo abaixo de um horizonte Ap, entretanto, na baixa vertente, a presença do aquífero suspenso cria um ambiente de redução e oxidação, formando mosqueamentos, o que lhe confere características gleis, denominado de Eg (Figura 3).

O horizonte E, quando associado à cobertura argissólica que ocorre na média-alta e na média-baixa vertente, possui cor bruno avermelhada, com matiz 2,5 YR 4/4. A estrutura é ausente em ambos os setores da vertente, com aspecto maciço que se desfaz em grãos simples, apesar de na média-alta vertente os sinais de compactação serem visíveis. Além disso, o horizonte E apresenta elevados percentuais de areia em sua composição granulométrica, com 904,4 e 871 g Kg⁻¹, nos setores de média-alta e média baixa vertente, respectivamente. A variação textural fez com que eles fossem classificados como muito arenoso no setor da média-alta vertente e arenoso-médio na média-baixa vertente (Tabela 1).

Já os valores de Ds variaram entre 1,59 e 1,81 g.cm³, sendo que ele é mais adensado na média-alta vertente. O valor de densidade obtido no horizonte E do Argissolo mais próximo ao topo foi o mais elevado entre todos os horizontes ao longo desta topossequência. Esse adensamento fez com que houvesse a diminuição da porosidade no horizonte E nesse setor da vertente, principalmente da porosidade total (26,3%) e da macroporosidade (4,6%) se comparado ao mesmo horizonte na média-baixa vertente, que apresentou porosidade total de 35,5% e macroporosidade de 7,5% (Figura 4 B e C).

Tal impedimento associa-se à elevada compactação promovida pelo uso de implementos agrícolas utilizados em anos anteriores, quando a área era cultivada com lavouras temporárias. Segundo Machado (2003), o uso de implementos agrícolas, como o arado, faz com que a camada mais superficial tenha melhor aeração e as mais profundas fiquem cada vez mais compactadas, dificultando a percolação da água nesses horizontes.

Apesar do adensamento do horizonte E da média-alta vertente, esse fator não influenciou no tamanho dos agregados, que se correlacionou de forma mais evidente com os teores de argila. No horizonte E mais arenoso, localizado na média-alta vertente, o DMPa foi menor (0,32 mm), enquanto o incremento de argila na média-baixa vertente possibilitou o aumento do DMPa nesse mesmo horizonte, que apresentou agregados médios de 0,45 mm (Tabela 1).

O comportamento físico teve grande influência na permeabilidade do horizonte E, em que se verificou que na média-alta vertente, devido a maior densidade do solo e menor macroporosidade e porosidade total, a Kfs foi reduzida, com valor igual a 2,5 mm/h, ao mesmo

tempo que no horizonte E da média-baixa vertente a Kfs foi de 30,4 mm/h, associado às condições físicas mais favoráveis para a circulação hídrica (Figuras 5 B e C).

Dessa forma, ao comparar a condutividade hidráulica do horizonte E no Argissolo localizado na média alta-vertente com o horizonte sobrejacente (Ap), nota-se que houve uma redução de 8 vezes na capacidade de movimentação da água no solo, passando de 20,0 mm/h no horizonte Ap para 2,5 mm/h no horizonte E. Desse modo, a água se movimenta mais rapidamente no horizonte superficial e encontra dificuldade de movimentação no horizonte inferior, tendo como consequência o aumento da probabilidade do surgimento de erosões no horizonte superficial (Figura 5 B).

Dessa forma, a elevada compactação do horizonte E na média-alta vertente, em cobertura argissólica, torna o seu comportamento hídrico semelhante ao do Bt, mesmo o horizonte E tendo maior quantidade da fração areia, que em ocasiões naturais, deveria possuir maior porosidade e consequentemente melhor capacidade de conduzir a água. Resultados semelhantes foram encontrados por Marcatto (2020) em Argissolos localizados na bacia hidrográfica do Pirapó-PR.

No caso do Bt, tal impedimento associa-se ao aumento no percentual de argila, ao passo que no horizonte E analisado neste estudo, correlaciona-se à elevada compactação promovida pelo uso de implementos agrícolas utilizados em anos anteriores, quando a área era cultivada com lavouras temporárias.

Na baixa vertente, o horizonte E se transforma lateralmente em Eg, associado à cobertura planossólica. Devido a sua localização no sopé da vertente, em uma declividade média de 5,7%, a perda gradual de partículas finas (argila) é marcada, acompanhada da característica glei (g), que está relacionada a má circulação da água, tendo por consequência uma cor acinzentada e ocasionada pela redução e oxidação do ferro.

É comum encontrar horizontes com características gleis no sopé das vertentes, esse mesmo comportamento foi observado por Juhász et al. (2006) ao analisarem a dinâmica físico-hídrica de uma topossequência no município de Assis/SP sob o arenito da formação Adamantina, grupo Bauru. Esses autores observaram que praticamente ao longo de toda a topossequência predominaram os Latossolos, com exceção do sopé da vertente, onde foi encontrado um Gleissolo com a presença dos horizontes Eg e Bg, que devido a sua localização na vertente dificulta a percolação da água, tornando-os mal drenados.

O horizonte Eg possui 110 cm de espessura (28-138 cm de profundidade), cor bruno avermelhado (5 YR 5/4) e ausência de estrutura, apresenta aspecto maciço que se desfaz em grão simples. A elevada concentração de areia (897,4 g Kg⁻¹) na sua composição granulométrica possibilita classificá-lo como de textura muito arenosa. A densidade do solo é de 1,66 g.cm³, o que

favoreceu o aumento da macroporosidade, que foi de 11,9%, sendo a maior obtida ao longo da topossequência (Figura 4 D). A textura arenosa contribuiu para a ocorrência do menor índice de DMPa, com 0,26 mm (Tabela 1). Em virtude do que foi mencionado, os atributos físicos interferiram no comportamento hídrico deste horizonte, onde a Kfs obtida foi a maior entre todos os horizontes estudados (64,3 mm/h). Com isso, constata-se a importância da macroporosidade na capacidade de movimentação da água no solo, na qual o seu aumento resultou em um horizonte mais permeável (Figura 5 D) (REINERT; REICHERT, 2006).

Em profundidade, desde a média-alta vertente até o sopé, os horizontes E e Eg desaparecem e dão lugar ao horizonte Bt, caracterizado pelo acúmulo de material fino. Esse horizonte aparece associado à cobertura argissólica e no sopé se transforma em Btg quando associado à cobertura planossólica, devido às condições de hidromorfia (Figura 3).

O horizonte Bt localizado na média-alta e média-baixa vertente apresentam cor brunovermelhado-escuro (2,5YR 3/4) e vermelho-escuro (2,5YR 3/4), respectivamente, e estrutura composta por blocos angulares e subangulares, de tamanho médio, sendo que o grau varia de fraco a moderado na média-alta vertente e moderado na média-baixa vertente.

Os valores de argila oscilaram entre 211,1 g Kg⁻¹ para o horizonte Bt da média-alta e 168,5 g Kg⁻¹ para o mesmo horizonte localizado na média-baixa vertente, sendo classificados como de textura média-argilosa no primeiro e média-arenosa no segundo (Tabela 1). A variação textural pode ter favorecido o maior adensamento no horizonte Bt da média-alta vertente, na qual se obteve Ds de 1,67 g.cm³, enquanto no Bt da média-baixa vertente atingiu-se 1,56 g.cm³.

O comportamento da densidade interferiu nos resultados de macroporosidade e porosidade total. No horizonte Bt da média-alta vertente, que obteve maior densidade, a porosidade total e a macroporosidade foi menor, com valor igual a 29,7 e 7,3 %, respectivamente. No horizonte Bt menos argiloso e adensado, localizado na média-baixa vertente, a macroporosidade foi de 10,6% e a porosidade total de 36% (Figuras 4 B e C).

Dessa forma, o aumento da fração argila e a diminuição da porosidade total do solo corroboraram com a densificação natural neste horizonte. Segundo Silva et al. (1999), o adensamento do horizonte Bt está ligado, possivelmente, com a translocação de partículas do A para B, acarretando assim no acúmulo de agentes cimentantes em profundidade, além do decréscimo da macroporosidade e o aumento da microporosidade.

Assim, a variação textural, além de interferir na porosidade e na densidade do solo, influenciou no DMPa, pois a presença de maior teor de argila no Bt localizado à montante auxiliou na formação de agregados com 1,32 mm d

e diâmetro, ao mesmo tempo em que no Bt da média-baixa vertente alcançou-se DMPa de 0,51 mm (Tabela 1).

A variação dos atributos físicos dos solos nesse horizonte fez com que o comportamento hídrico representado pela Kfs no Bt da média-alta vertente fosse quatro vezes menor ($K_{fs}=5,6$ mm/h) se comparado ao Bt da média-baixa vertente, com Kfs de 25,9 mm/h (Figuras 5 A e C). Castro (1989), ao estudar sistemas de transformação de solos com horizonte B textural no Planalto Ocidental Paulista em Marília, verificou que devido às características físicas do horizonte Bt e a dificuldade da água em percolar, ocorre no topo desse horizonte o fenômeno de hidromorfia, sinalizada pela presença de mosqueamento.

Nessa vertente, o ambiente redutor ocasionou no aparecimento de mosqueamentos, o que possibilitou a formação do horizonte Btg, caracterizando o surgimento da cobertura planossólica. O horizonte Btg possui cor amarelo avermelhado (5 YR 6/8), estrutura forte, grande, composta por blocos angulares, subangulares e prismáticos.

Nesse horizonte foi obtido a maior concentração da fração argila encontrado ao longo da topossequência ($240,1$ g Kg^{-1}), caracterizando-o como de textura média-argilosa. Esse comportamento textural auxiliou, possivelmente, na ocorrência de um adensamento natural do Btg ($D_s=1,78$ g. cm^3), semelhantemente ao que foi observado no Bt do Argissolo localizado na média-alta vertente. Os solos que apresentam horizontes diagnósticos Bt, caracterizados pela dispersão da argila dos horizontes superficiais para os horizontes mais profundos, estão sujeitos ao adensamento natural, levando a mudanças de suas características físicas devido ao manejo agrícola em superfície e modificações naturais em profundidade (HICKMANN et al., 2012).

O aumento no teor da fração argila, juntamente com o adensamento do horizonte Btg, auxiliou na formação do maior DMPa da topossequência, que chegou a 1,51 mm, observando-se que os maiores valores de fração argila e de densidade do solo coincidiram com a ocorrência de agregados maiores na área de estudo. Também implicou em reduzida macroporosidade (4,1%) e em porosidade total igual a 30,8%, corroborando com uma redução significativa da capacidade de movimentação da água no solo, com Kfs de 0,6 mm/h (Figura 5 D).

Tendo em vista os aspectos relacionados ao comportamento hídrico do Planossolo, verifica-se que a água se movimenta rapidamente nos horizontes superficiais, onde a Kfs foi de 16,7 mm/h no Ap e 64,3 mm/h no Eg, e encontra um impedimento no horizonte Btg, cuja Kfs chega a 0,6 mm/h (Figura 5 D). O elevado valor de água conduzida no horizonte Eg e o baixíssimo no Btg infere para formação de um fluxo hídrico suspenso no topo do Btg, e devido a sua posição na baixa vertente, esse solo acaba recebendo os fluxos hídricos laterais advindos de montante, provocando arenização e hidromorfização, com a perda de argila e óxidos de ferro e,

principalmente, facilitando a formação dos processos erosivos, como foi observado em campo (Figura 6).

Figura 6 - Presença de feições erosivas na baixa vertente da área de estudo



Fonte: Os autores (2020).

Para Castro (2005), a porção jusante das vertentes favorece ainda mais a instalação do fenômeno erosivo, associado a piping em zonas de fraqueza, dada a alimentação rápida do lençol. Nesse caso, o nível freático raso pode ser facilmente interceptado por fluxos superficiais relacionados ou não a ravinas, facilitando a sua descompressão e liberação, aumentando o gradiente hidráulico e favorecendo a remoção de partículas e o estabelecimento de fluxos rápidos, de alto poder erosivo.

O horizonte Bw ocupa desde a alta até a média-alta vertente, ocorrendo abaixo do horizonte AB na alta vertente associado ao Latossolo e abaixo do horizonte Bt na média-alta vertente, associado ao Argissolo, desaparecendo lateralmente em direção à jusante. O Bw de ambos os compartimentos apresentou cor vermelho escura (2,5YR 3/6), com estrutura variando de grau moderado e tamanho pequeno a médio na cobertura argissólica, e moderada e médio na cobertura latossólica, com blocos angulares e subangulares (Tabela 1).

Os valores de argila variaram entre 233,9 e 190,9 g Kg⁻¹ para o horizonte Bw da cobertura latossólica e argissólica na média-alta vertente, respectivamente, sendo classificados como de textura média-argilosa a média-arenosa, respectivamente. O DMPa variou entre 0,934 e 0,663 mm (Tabela 1) com o tamanho relacionado à composição granulométrica, com agregados maiores no topo, associados aos Latossolos e menores nos Argissolos em virtude da perda de argila.

O comportamento físico verificado no horizonte Bw demonstrou uma significativa semelhança, no qual o referido horizonte em ambos os segmentos, alta e média-alta vertente, apresentou densidade de $1,63 \text{ cm}^3$, além disso, demonstrou uma expressiva correlação entre a porosidade total, com valores que variaram entre 32,6 e 32,0% para o Bw da cobertura latossólica e para o Bw da cobertura argissólica, respectivamente (Figuras 3 A e B).

Já o comportamento hídrico deste horizonte teve relação com a composição granulométrica e a estrutura. Assim, no Bw da cobertura latossólica, onde se verificou o maior teor de argila ($233,9 \text{ g Kg}^{-1}$) e agregados maiores (0,93 mm), obteve-se Kfs de 11,9 mm/h enquanto no mesmo horizonte, em cobertura argissólica, o teor de argila foi menor ($190,9 \text{ g Kg}^{-1}$), bem como o tamanho médio dos agregados (0,66 mm), resultando numa Kfs de 14,2 mm/h (Figuras 4 A e B).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados possibilitaram verificar que o horizonte E do Argissolo localizado na média-alta vertente e no horizonte AB do Latossolo encontram-se alterados, com valores elevados de densidade do solo, acima dos limites considerados críticos para a circulação de água e desenvolvimento das plantas, bem como com valores reduzidos de macroporosidade e condutividade hidráulica saturada. Desse modo, devido à proximidade com a superfície, nota-se que esses horizontes possuem um histórico de compressão que criaram uma condição de adensamento em subsuperfície, uma vez que anteriormente ao cultivo da pastagem os solos eram ocupados com lavouras temporárias.

As alterações relacionadas ao manejo foram mais sensivelmente notadas no horizonte E associado ao Argissolo da média-alta vertente, que por possuir textura arenosa geralmente comporta-se como um meio altamente permeável. Assim, a aproximação das partículas desse horizonte por compressão mecânica provocada pelo manejo, resultou na redução da sua capacidade de conduzir água.

Observou-se que em profundidade, o aumento na concentração da fração argila pode ter ocasionado na densificação natural do horizonte de acúmulo de argila, sobretudo no Btg associado ao Planossolo e no Bt associado ao Argissolo da média-alta vertente. Nesses horizontes, apesar da presença de agregados grandes, a densificação ocasionou menor volume de macroporos e em reduzida condutividade hidráulica saturada. Dessa forma, as condições físicas e hídricas desses horizontes e dos sobrejacentes apontam para a movimentação mais rápida da água nos horizontes superficiais (Ap, E e Eg) e na redução da capacidade no Bt e Btg, possibilitando a formação de

fluxos laterais suspensos no topo dos horizontes menos permeáveis, aumentando a sua vulnerabilidade à ocorrência de processos erosivos.

Em relação ao tamanho dos agregados, o seu diâmetro apresentou relação direta com o conteúdo de argila do solo na maioria dos horizontes pedológicos. Nos horizontes superficiais e subsuperficiais (Ap, AB e E) mais arenosos, os agregados são menores que nos horizontes de acúmulo de argila.

Os atributos físicos e hídricos dos solos demonstram a sua suscetibilidade à erosão, evidenciadas nos trabalhos realizados em campo, onde é comum observar a presença de processos erosivos laminares e em sulcos. Isso ocorre principalmente na baixa vertente, na qual se localiza o Planossolo, que está sujeito a fluxos hídricos mais intensos advindos das posições mais altas da vertente.

Além disso, esse solo possui horizontes Ap e Eg mais arenosos e permeáveis, que contrastam com um horizonte mais argiloso e de reduzida permeabilidade em profundidade. Essas condições favorecem a rápida infiltração no horizonte mais arenoso e o impedimento em profundidade, potencializando os fluxos hídricos laterais suspensos no topo do horizonte Btg e a ocorrência de processos erosivos.

REFERÊNCIAS

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 515-522, 2005.

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 25, p. 987-995, 2001.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 167 – 177, 2001.

BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um Latossolo Amarelo Álico após cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v., 23, n. 4, p. 1019-1025, 1999.

BOULET, Re HUMBEL, F. -X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie: Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cahiers-ORSTOM**. Pédologie, Paris, v. 19, n. 4, p. 341-351, 1982b.

BOULET, R.; HUMBEL, F.-X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. II: Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cahiers-ORSTOM**. Pédologie, Paris, v. 19, n. 4, p. 323-339, 1982a.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, p. 121-126, 1995.

CASTRO, S. S. Erosão hídrica na alta bacia do Rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v. 7, p. 38-60, 2005.

CASTRO, S. S. **Sistemas de transformação pedológica em Marília-SP: B Latossólicos e B texturais**. 1989. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T.; CASTRO, S. S. Infiltração da água no solo no sistema pedológico Campus do Arenito, Cidade Gaúcha, Noroeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1837-1848, 2008.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, D. W.; TAN, K-A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. **Groundwater Monitoring & Remediation**, New Jersey, US, v. 9, n. 3, p. 184-193, Summer 1989.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos e Florestas, 2008.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017.

FERREIRA, T. A. **Estudo da cobertura pedológica em cabeceiras de drenagem do córrego Água Suíça, município de Munhoz de Mello-PR**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2018. Iniciação científica. No prelo.

FIORI, J. P. O.; CAMPOS, J. E. G.; ALMEIDA, L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do Estado de Goiás. **Geoscinc=Geociências**, Rio Claro, SP, v. 29, n. 2, p. 229-235, 2010.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, Raphael B. A.; ANDRADE, Camilo L.T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 128-136, 2012.

JUHÁSZ, C. E. P.; CURSI, P. R.; COOPER, M.; OLIVEIRA, T. C.; RODRIGUES, R. R. Dinâmica físico-hídrica de uma toposequência de solos sob savana florestada (cerradão) em Assis, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 401-412, 2006.

KLEPKA, V. Qualidade da água na Bacia do Rio Pirapó: uma análise das condições bióticas e abióticas. **Diálogos & Saberes**, Mandaguari, PR, v. 7, n. 1, p. 9-17, 2011.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitteilungen**, Gotta, DE, v. 64, p. 193-203, 1918.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. **Manual de método de trabalho de campo**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 36p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MACHADO, P. L. O. A. **Compactação do solo e crescimento de plantas: como identificar, evitar e remediar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.

MARCATTO, F. S. **Os principais sistemas pedológicos derivados das formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina na bacia hidrográfica do Pirapó-PR: os efeitos do uso e manejo do cultivo de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2020.

MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. Efeitos do uso e manejo no comportamento físico-hídrico da cobertura pedológica de textura média e arenosa da bacia hidrográfica do Rio Pirapó-PR. *In*: MARCATTO, F. S.; OLIVEIRA, T. P. de; GARBIN, E. P.; ENDLICH, A. M. **Construindo o saber geográfico: 20 anos do PGE-UEM**. Maringá: PGE Editora, 2019. p. 174 – 190.

MARIOTI, J.; BERTOL, I.; RAMOS, J. C.; WERNER, R. S.; PADILHA, J.; BANDEIRA, D. H. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções do pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 1361-1371, 2013.

MEDEIROS, F. B.; MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, Hélio; NÓBREGA, Maria Teresa de. Avaliação da estabilidade de agregados e a vulnerabilidade à erosão ao longo de uma vertente no município de Araruna, região noroeste do Paraná-Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, MG, v. 28, n. 55, p. 845-862, 2018.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001. 125 p. CD-ROM.

MORAIS, F. de. Infiltração – uma variável geomorfológica. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, MG, v. 22, n. 38, p. 73-87, 2012.

OLIVEIRA, P. R. de; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; ROSSETI, K. V.; FERRAUDO, A. S.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. S.; BÁRBARO JUNIOR, L. S. Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 604-612, 2013.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O.. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, PT, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

RAMOS, F. T.; MONARI, Y. C.; NUNES, M. C. M.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal mato-grossense. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 112-120, 2010.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, RS, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, RS: Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18p.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências & Ambiente: Fitogeografia da América**. Santa Maria, RS, v. 24, n. 1, p. 75-92, jan/jun. 2002.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SILVA, A. S.; SILVA, I. de F. da; BANDEIRA, L. B., DIAS, B. de O.; SILVA NETO, L. de F. da. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, I. de F. da. **Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um Latossolo**. 1980. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1980.

SILVA, M. S. L.; KLAMT, E.; RODRIGUES, J. J. V.; CAVALCANTI, A. C. Origem do adensamento em solos do tabuleiro sertanejo do Estado de Pernambuco: Morfologia e física. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 27., 1999, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília: CNPS, 1999. CD-ROM.

SOUZA, V. de. **Estimativa de perdas de solo por erosão laminar na bacia do córrego Pinhalzinha II com suporte de Geoprocessamento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, PR, Maringá, 2010.

SOUZA, Z. M. S.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H. Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Formação**, Presidente Prudente, SP, v. 1, n. 20, p. 111-128. 2013.

YOUKER, R. E.; MCGUINNESS, J. L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregates analysis of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 83, p. 291-294, jan. / jun. 1956.

Recebido em: 14 de outubro de 2022
Aceito em: 27 de março de 2023