

Avaliação da estabilidade de agregados e a vulnerabilidade à erosão ao longo de uma vertente no município de Araruna, região noroeste do Paraná-Brasil

Evaluation of aggregates stability and vulnerability to erosion along a shed in the municipality of Araruna, northwest region of Paraná-Brazil

Fabiana Barros Medeiros

Mestranda em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá
faby.geo@hotmail.com

Francieli Sant'ana Marcatto

Doutoranda em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá
fran_marcatto@hotmail.com

Hélio Silveira

Professor Doutor da Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia
hesilveira70@hotmail.com

Maria Teresa de Nóbrega

Professora Doutora da Universidade Estadual de Maringá
Programa de Pós-Graduação em Geografia
mtnobrega@uol.com.br

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo estudar a vulnerabilidade à erosão dos solos da zona de contato do arenito da Formação Caiuá com o basalto da Formação Serra Geral, no município de Araruna, Mesorregião Noroeste Paranaense, dando enfoque ao papel da estabilidade da estrutura atual dos solos, considerando-se as alterações produzidas pelas formas de uso e ocupação da área. A análise realizada também considerou as variações das características morfológicas dos solos em perfil e ao longo da litossequência (sistema pedológico), assim como os seus reflexos na geração de setores mais ou menos suscetíveis à erosão na vertente. Para o levantamento dos solos ao longo da vertente foram utilizados os procedimentos propostos pela Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e a coleta de amostras para a determinação da granulometria e estabilidade de agregados. Os resultados indicaram a ação dos fluxos de água laterais e verticais, atuando na transformação dos horizontes dos solos ao longo da vertente e uma variação da estabilidade estrutural associada as características morfológicas dos solos e ao tipo de uso e manejo empregado. Os Argissolos apresentaram agregados pequenos e um gradiente textural entre o horizonte superficial e subsuperficial, conferindo-lhe forte suscetibilidade a erosão. O Nitossolo não apresentou grande diferenciação no tamanho dos agregados, exceto no horizonte Bw, onde a redução no tamanho dos agregados se associou a mudança morfológica da estrutura do solo.

Palavras-chave: análise estrutural da cobertura pedológica, estabilidade estrutural, suscetibilidade à erosão, sistemas pedológicos.

Abstract

This research aims to study the vulnerability to soil erosion of the contact zone of the sandstone Formation Caiuá with basalt of the Serra Geral Formation, in the municipality of Araruna, Paraná Northwest Region, giving focus to the role of the stability of the current structure of soils, considering the changes produced by the forms of use and occupation of the area. The analysis also considered variations of morphological characteristics of soils in profile and along the lithosactivity (pedological system), as well as your reflexes in the generation of sectors more or less susceptible to erosion in the shed. For the survey of the soils along the strand, the procedures proposed by the Structural Analysis of the Pedological Coverage and the collection of samples for the determination of the granulometry and stability of aggregates were used. The results indicated the action of the lateral and vertical water flows, acting on the transformation of the soil horizons along the slope and a variation of the structural stability associated with the morphological characteristics of the soils and the type of use and management used. The Argisols presented small aggregates and a textural gradient between the surface and subsurface horizon, giving it a strong susceptibility to erosion. The Nitossolo did not show great differentiation in the size of the aggregates, except in the Bw horizon, where the reduction in the size of the aggregates was associated to the morphological change of the soil structure.

Keywords: structural analysis of the soil cover, stability of aggregates, susceptibility to erosion, pedological systems.

1. INTRODUÇÃO

O contexto histórico do processo de colonização do noroeste paranaense se caracterizou por sistemas agrícolas imediatistas através de exploração cíclica e migratória em decorrência da ação de estímulos econômicos e políticos. O desmatamento teve início na década de 1930, com o ciclo da madeira, e a intensificação do uso do solo nessa região ocorreu a partir da década de 1950, com as lavouras cafeeiras. Após as geadas de 1969 e 1975, os cafezais foram erradicados e substituídos pelos ciclos de cereais (BIGARELLA; MAZUCHOWSKI, 1985).

A crise do café estimulou o cultivo de lavouras mecanizadas, principalmente as de soja, milho e trigo, que ocuparam as áreas de solos formados pela alteração do basalto e as zonas de contato arenito-basalto. Para os solos de arenito, inicialmente tem-se as lavouras de algodão, que foram substituídas pelas pastagens plantadas, para a criação de gado de corte (SERRA, 2010). A partir de 1990, a paisagem passa por novas modificações e têm-se a inserção das lavouras de cana-de-açúcar que passam a disputar espaço com as pastagens e culturas mecanizadas, principalmente nas áreas com solos de textura média e arenosa, oriundos da alteração das rochas da Formação Caiuá (SERRA et al., 2012).

A retirada da floresta e a exploração do solo sem a aplicação de práticas conservacionistas se converteu em degradação ambiental e no desenvolvimento acelerado e disseminado de processos

erosivos, sobretudo onde a cobertura pedológica é de textura média e arenosa, apresentando elevada fragilidade natural à erosão. Atualmente, são citadas por Colozzi Filho et al. (2015) como as principais causas de degradação do solo e a ocorrência de processos erosivos no Estado do Paraná a baixa cobertura do solo por resíduos culturais; a ineficiência de práticas de controle do escoamento hídrico superficial; o cultivo no sentido da vertente; a falta de planejamento e manutenção de estradas rurais e a exploração do solo sem considerar a sua capacidade de uso.

Nesse sentido, os tipos de uso do solo e as técnicas de manejo aplicadas durante o cultivo reflete na qualidade do solo, sobretudo na formação e estabilização dos agregados. Entre os efeitos dos sistemas de manejo sobre os agregados do solo, destaca-se a quantidade de matéria orgânica fornecida pelas culturas, considerando o seu papel preponderante na formação e estabilização de agregados e o papel da mobilização do solo durante o cultivo, que fraciona e desarranja os agregados e aumenta a velocidade de oxidação da matéria orgânica, tornando-os menores e menos estáveis (KOCHHANN et al., 2000).

Além de alterar a estabilidade estrutural dos solos, o manejo inadequado promove a compactação, aumentando a sua resistência e reduzindo o volume de poros, principalmente os macroporos. Quando compactado, o solo tem a sua capacidade de campo alterada e a infiltração, condutividade hidráulica e aeração reduzidas, conseqüentemente, facilita-se o escoamento hídrico superficial e a formação de processos erosivos (REICHERT et al., 2007).

Em relação ao manejo, Camargo (1983) menciona a necessidade de buscar alternativas que minimizem os efeitos da compactação do solo. Para a conservação da qualidade do solo é necessário que seja levado em consideração o estudo prévio do tipo de solo, as espécies cultivadas, os tipos de máquinas, a economia das operações, tipo de agricultura, clima, entre outros.

Por outro lado, de acordo com vários autores, entre eles Bigarella e Mazuchowski (1985), Silveira (2001) e Souza e Gasparetto (2010), deve-se considerar as condições ambientais das regiões tropicais, que contribuem de modo expressivo para a degradação dos horizontes pedológicos, favorecendo a desagregação causada pela ação direta das chuvas, capaz de produzir modificações na constituição do solo em face do impacto das gotas de água que, somado à declividade da vertente, responde a maior ou menor infiltração da água das chuvas, controlando o volume e a velocidade do escoamento hídrico superficial e, conseqüentemente, o desencadeamento e evolução dos processos erosivos.

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo estudar a vulnerabilidade à erosão dos solos da zona de contato do arenito da Formação Caiuá com o basalto da Formação Serra Geral, no município de Araruna, Mesorregião Noroeste Paranaense, dando enfoque ao papel da estabilidade da estrutura atual dos solos, considerando-se as alterações produzidas pelas formas de uso e

ocupação da área. A análise realizada também considerou as variações das características morfológicas dos solos em perfil e ao longo da litossequência (sistema pedológico), assim como os seus reflexos na geração de setores mais ou menos suscetíveis à erosão na vertente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Araruna possui área de 493,2 km² e localiza-se na região Noroeste do estado do Paraná, entre os paralelos de 23°55'22,93" a 23°54'57,07" de latitude Sul e os meridianos de 52°30'54,21" e 52°31'17,05" de longitude Oeste (Figura 1). Está assentado em uma zona de contato geológico onde os arenitos da Formação Caiuá, que datam no Cretáceo, aparecem sobrepostos aos basaltos da Formação Serra Geral, resultantes de derrames vulcânicos ocorridos durante o Jurássico, se estendendo até o Cretáceo (MELFI et al., 1988). Os arenitos aparecem nos topos e altas vertentes das colinas, enquanto os basaltos ocorrem nos fundos de vales e setores médios das encostas.

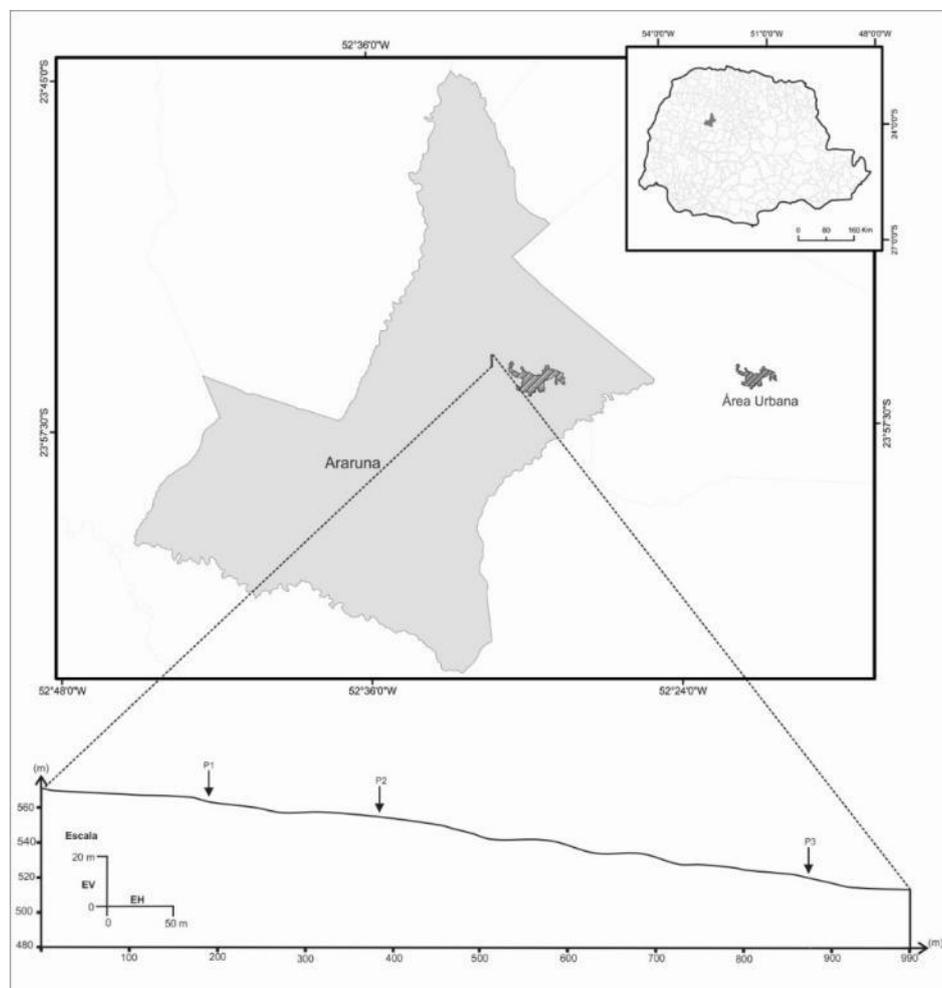


Figura 1 - Mapa de localização do Município de Araruna e da topossequência - PR.

Em termos geomorfológicos, o município situa-se no Terceiro Planalto Paranaense, em zona de contato entre as sub-unidades morfoesculturais do Planalto de Umuarama, dominante, esculpido nos arenitos e do Planalto de Campo Mourão, sustentado predominantemente pelas rochas vulcânicas. O relevo se caracteriza por altitudes que variam entre 240m e 660m e declividades entre 3 e 8%, tendo como formas características colinas de topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V” (MINEROPAR, 2006).

A cobertura vegetal original era constituída pela Floresta Ombrófila Mista que se estendia pelos topos, enquanto a Floresta Estacional Semidecidual avançava pelos fundos de vale (RODERJAN et.al., 2002) criando uma paisagem interdigitada entre as duas formações florestais. Essa vegetação original foi devastada para dar lugar às atividades econômicas agropecuárias restando, atualmente, pequenas manchas esparsas.

O clima da região de Araruna, segundo a classificação de Koppen é do tipo Cfa, clima subtropical úmido com verões quentes e chuvosos, geadas pouco frequentes durante o inverno, sem estação seca definida. A temperatura média anual varia entre 21°C e 22°C, com precipitação média em torno de 1.600mm à 1.800mm e umidade relativa do ar que oscila entre 75 a 80% (IAPAR, 2000).

Essa pesquisa foi realizada ao longo de um trecho de estrada de acesso à área urbana de Araruna, aproveitando-se a exposição de barrancos, que se estendem desde o topo até a base da vertente, configurando uma litossequência característica da zona de contato geológico arenito/basalto na região (Figura 1).

A vertente estudada é, morfologicamente, convexo-retilínea com uma fraca concavidade na base. É característica desse setor do contato arenito-basalto, constituído por colinas médias com médio entalhamento dos vales. A vertente apresenta 990 metros de extensão e 57 metros de desnível topográfico, com sistema pedológico composto pelo Argissolo Vermelho abrupto que foi encontrado, desde o topo até a baixa vertente, passando lateralmente para o Nitossolo Vermelho.

As mudanças na litologia e na cobertura pedológica são acompanhadas por uma alteração da dinâmica do uso do solo ao longo da vertente, que são influenciadas pela textura dos solos, sua suscetibilidade à erosão, fertilidade natural e a declividade da vertente. No topo da vertente, a cobertura pedológica formada por Argissolos de textura média é cultivada com o café e a lavoura de feijão nas entrelinhas. Em direção à média vertente, ainda sobre os Argissolos Vermelhos de textura média, há um aumento da declividade que é acompanhado por uma mudança no uso do solo, com a introdução das pastagens e a criação de gado de corte. Na média-baixa vertente, o Argissolo transiciona para o Nitossolo Vermelho de textura argilosa, que possui menor suscetibilidade a

erosão e maior fertilidade natural, o que favorece o cultivo das culturas de grãos, como a soja, o milho e o trigo sob o sistema de plantio direto.

Em relação aos procedimentos metodológicos adotados para a realização da pesquisa, para o levantamento topográfico e pedológico do transecto, com a identificação das transições verticais e laterais dos horizontes dos solos, aplicou-se de forma parcial as técnicas da Análise bidimensional da cobertura pedológica, proposta por Boulet et al. (1982). Devido à exposição dos perfis de solos na beira da estrada (barrancos) que se estendiam desde o topo até a base da vertente, às sondagens a trado e as trincheiras não foram necessárias, sendo realizadas as observações, demarcação das transições laterais e verticais da cobertura pedológica e as coletas de amostras diretamente sobre os barrancos expostos.

Para a descrição morfológica e coleta de amostras em campo adotou-se os critérios estabelecidos pelo “Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo” (LEMOS; SANTOS, 1996). Foram realizadas análises físicas de granulometria, argila natural e estabilidade de agregados via seca, seguindo os métodos e procedimentos descritos no Manual de métodos e análise do solo (EMBRAPA, 2017). A coleta de amostras e análises foram realizadas em todos os horizontes dos solos descritos nas trincheiras, em triplicatas para a granulometria e argila dispersa em água. Para a estabilidade de agregados foram coletadas amostras indeformadas e procedidas cinco repetições para cada horizonte.

O cálculo do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPA) foi determinado pela equação $DMPA = (Cmm \times P)$, sugerida por Youker e Macguinness (1956), onde Cmm é o centro das classes de tamanho dos agregados e P é a proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao peso da amostra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A cobertura pedológica reconhecida ao longo da litossequência apresenta variações de cor, textura e estrutura, composta por Argissolo Vermelho abrupto de textura média oriundo da alteração dos arenitos da Formação Caiuá, que é dominante do topo até a média encosta e pelo Nitossolo Vermelho de textura argilosa, formado pela alteração dos basaltos da Formação Serra Geral, que ocupa o terço final da vertente (Figura 2).

Com base na morfologia da vertente e na distribuição dos solos e dos horizontes, a litossequência foi dividida em três setores: um a montante (setor I), com menor declividade (3 a 8%) e formado por Argissolo Vermelho abrupto, com sequência de horizontes Ap, E/A, E₁, Bt₁, E₂, Bt₂ e Bt/Bw; um setor na média vertente (setor II), composto também por Argissolo Vermelho

abrupto, onde há um aumento da declividade, predominando a classe de relevo ondulado (8 a 20%). Observa-se nesse setor uma transição para os horizontes Ap, E, Bt e Bt/Bw e; um terceiro setor (III), no segmento de média-baixa vertente que se estende até o sopé, onde verifica-se uma leve concavidade e a formação de Nitossolos Vermelhos de textura argilosa, com uma sequência de horizontes Ap, AB, B nítico e Bw.

O Argissolo Vermelho abrupto apresenta textura média no horizonte B e profundidade superior a 1,5m. Exibe variações morfológicas significativas à medida que se desce na vertente: do topo até a alta-média encosta mostra, intercalado no horizonte E, os restos de um horizonte Bt que diminui de espessura e desaparece integralmente a jusante após os primeiros 300m; ocorrência de uma transição significativa entre o horizonte A e E, compondo um E/A, mas que não aparece nos setores inferiores da vertente; o Bt tem espessura variável ao longo de toda a sua extensão, se apresenta relativamente mais espesso no setor de montante. Abaixo do Bt, até a média vertente (aproximadamente 650 m), ocorre um horizonte de transição Bt/Bw.

O Nitossolo Vermelho possui textura argilosa e profundidade superior a 2 metros. Não apresenta grande variação entre a média-baixa vertente, sendo composto por um horizonte Ap, seguido do AB, com espessura bem reduzida e a formação de um horizonte B nítico espesso, com agregados reluzentes. Abaixo dele, forma-se um horizonte Bw mais intemperizado e com agregados granulares (Figura 2).

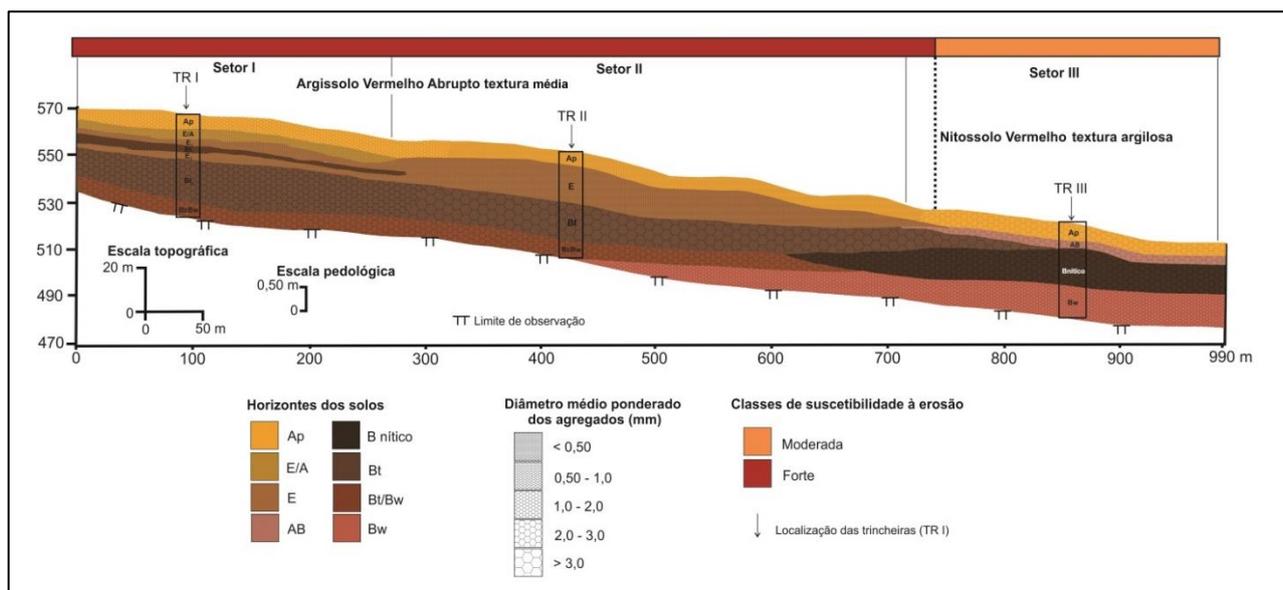


Figura 2 - Distribuição dos solos ao longo da litossequência Helce, Araruna-PR.

A litossequência apresenta variações laterais e verticais, formando horizontes com características morfológicas muito distintas. O horizonte superficial Ap possui espessura média de 28 cm com características heterogêneas ao longo de toda a vertente, é de textura areia-franca e de

cor bruno a bruno-forte (7,5 YR 4/4 a 4/6) no setor a montante, passando para textura areia e coloração bruno-claro (7,5 YR 6/4) no médio setor. No setor a jusante observa-se um incremento de argila, resultado da alteração do basalto, tornando o horizonte superficial de textura argilosa e coloração vermelho-escura (2,5 YR 3/6). A variação textural resultou em tamanho de agregados distintos ao longo da vertente, com diâmetro médio ponderado (DMPA) de 1,27 mm no setor I, 0,27 mm no setor II e 2,69 mm no setor III. A redução significativa do tamanho dos agregados no médio setor (setor II), foi acompanhado de um valor muito reduzido de argila com 2,4% (Tabela 1), o menor percentual encontrado para os solos em estudo. Este reduzido conteúdo de argila demonstra a arenização do horizonte superficial, com a perda de materiais finos, tornando-o mais vulnerável a ação da água da chuva e a formação de processos erosivos.

Tabela 1 – Composição granulométrica, classificação textural, grau de floculação e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPA) dos solos da litossequência Helce, Araruna-PR.

Prof. (cm)	Horizonte	Cor	Granulometria (%)				Classificação textural	Grau de Floculação (%)	DMPA (mm)
			Areia	Silte	Argila				
ARGISSOLO VERMELHO abrupto textura média (TR I)									
0-28	Ap	7,5YR 4/4 a 4/6	86,3	6,8	6,9	Areia-franca	53,6	1,27	
28-43	E/A	7,5 YR 5/6	86,4	7,2	6,4	Areia-franca	59,4	0,67	
43-69	E ₁	7 YR 6/4	89,8	7,0	3,2	Areia	46,9	0,21	
69-78	Bt ₁	2,5YR 4/8	77,2	6,6	16,3	Franco-arenosa	50,3	1,30	
78-88	E ₂	7,5YR 7/4	90,0	6,9	3,2	Areia	53,1	0,32	
88-156	Bt ₂	2,5YR 4/4 a 4/6	58,1	5,8	36,2	Argiloarenosa	42,8	2,14	
ARGISSOLO VERMELHO abrupto textura média (TR II)									
0-29	Ap	7,5YR 6/4	89,6	8,0	2,4	Areia	50,0	0,27	
29-108	E	7,5YR 7/4	90,2	7,1	2,7	Areia	38,8	0,48	
108-188	Bt	10R 4/4	54,8	6,3	38,9	Argiloarenosa	36,5	3,45	
188-230	Bt/Bw	10R 4/4	60,8	7,1	32,1	Franco-argiloarenosa	75,7	2,68	
NITOSSOLO VERMELHO textura argilosa (TR III)									
0-27	AP	2,5 YR 3/6	28,1	19,9	52,0	Argila	30,2	2,69	
27-46	AB	2,5 YR 3/6	30,1	22,9	47,0	Argila	39,1	3,03	
46-127	Bnítico	10 R 4/4	22,7	18,6	58,6	Argila	99,2	3,03	
127-200	Bw	10 R 3/6	24,3	18,2	57,5	Argila	99,7	1,83	

Abaixo do horizonte Ap, apenas no setor a montante, observa-se o horizonte de transição E/A, com características mescladas entre o horizonte superficial (A) e o subsuperficial (E). Possui textura areia franca e cor bruno forte (7,5 YR 5/6), com estrutura maciça que se desfaz em grãos simples. Apesar de apresentar composição granulométrica semelhante ao horizonte superficial, os agregados foram menores (0,67mm) se comparado ao Ap (1,27 mm), indicando uma forte

susceptibilidade do solo à erosão (Tabela 1). Esse resultado pode estar associado à redução do conteúdo de matéria orgânica com o aumento da profundidade, considerando que a ação cimentante da matéria orgânica e maior atividade biológica atuam principalmente em superfície, como observado por Santos et al. (2010).

Sob o horizonte E/A, desenvolveu-se o horizonte E₁, com elevado percentual de areia (89,8%), estrutura formada por blocos maciços que se desfazem em grãos simples e diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA) de 0,21 mm, o menor valor obtido entre os horizontes em estudo (Tabela 1). Ainda no setor I, em direção ao médio setor (II), observa-se a formação de um horizonte E₂, subjacente ao horizonte Bt₁, que se encontra embutido nele. O E₂ apresenta características muito semelhantes ao E₁, com cor rosada (7,5YR 7/4), textura areia (90% de fração areia) e agregados maciços que se desfazem em grãos simples. O elevado percentual de areia e o reduzido conteúdo de argila refletiram em uma reduzida estabilidade de agregados, com DMPA inferior a 0,32 mm.

Em direção ao médio setor (380 m), os horizontes E₁ e E₂ do setor I transformam-se em um horizonte E com características mescladas entre os mesmos, apresentando uma variação de cor entre o bruno claro e o rosado, mantendo a textura areia e a estrutura maciça que se desfaz em grãos simples e com percentual de areia superior a 90%. O DMPA também permanece muito reduzido, com tamanho médio inferior a 0,48 mm.

A atuação de fluxos internos no horizonte E, com o transporte dos materiais mais finos para os horizontes subjacentes (Bt), resultou na arenização desse horizonte, com percentual de areia superior a 90% e percentual de argila inferior a 3,5%, tanto no setor I, quanto no II. Além disso, a transição abrupta entre o E e Bt favorece o acúmulo de água no topo do Bt e o aumento dos fluxos laterais subsuperficiais, já que a água infiltra com maior velocidade nos horizontes superiores (A e E), que apresentam maior volume de partículas grosseiras e reduz a velocidade e quantidade de água infiltrada no horizonte subsuperficial iluvial (Bt).

No setor de montante (setor I) ocorre um horizonte Bt₁ embutido ao horizonte E, encontrado entre as profundidades de 69 cm a 78 cm. A presença de um horizonte de acúmulo (Bt₁) entre horizontes E, pode indicar a degradação remontante do Bt, pela circulação vertical e lateral de água, com a perda de argila e óxidos para o horizonte Bt₂ (Figura 2). O horizonte Bt₁ apresenta cor vermelha (2,5YR 4/8), textura franco arenosa, estrutura fraca a moderada, formada por agregados angulares e subangulares de tamanho pequeno a médio e grânulos com DMPA de 1,3 mm. A maior estruturação do horizonte Bt₁, comparado ao horizonte sobrejacente (E₁) relaciona-se ao incremento no percentual de argila, que foi de 16,3% e ao provável acréscimo de óxidos de ferro.

Abaixo do horizonte E no setor a montante (setor I - TR I), na profundidade de 88 a 156 cm forma-se o horizonte Bt₂, com coloração bruno-avermelhada a vermelha e maior concentração de

argila (36,2%), o que lhe confere uma textura argiloarenosa. O incremento de argila favoreceu a formação de uma estrutura mais desenvolvida, com agregados pequenos a médios, em forma de blocos angulares e subangulares, de grau moderado e um DMPA de 2,14 mm. No setor II (TR II), o horizonte Bt apresenta características diferenciadas comparados ao mesmo horizonte no setor de montante. Ele é ligeiramente mais avermelhado, com coloração vermelho-acinzentada (10R 4/4), textura argiloarenosa e estrutura formada por blocos angulares a subangulares, de tamanho médio e grau moderado a forte. Há ainda, um maior acúmulo de argila, com teor de 38,9%, e consequentemente maior DMPA, com 3,45 mm (Tabela 1).

A atuação dos fluxos de água favoreceu o acúmulo de materiais finos, principalmente no horizonte Bt do Argissolo do setor II. Isso ocorreu devido o aumento da declividade da vertente, favorecendo a atuação dos fluxos laterais com transporte descendente dos constituintes do solo, acumulando-se no Bt deste setor. Além disso, o aumento do percentual de argila e do tamanho dos agregados pode associar-se a presença de solos formados pela alteração do basalto em direção ao baixo setor (setor III), tratando-se de uma zona de transição, podendo haver a contribuição do basalto no aumento do conteúdo de argila desses horizontes.

O reduzido percentual de argila presente nos horizontes superficiais dos Argissolos do topo e média vertente e o acúmulo no Bt indicam a ocorrência de processos de e-iluviação, com um indicativo de transporte descendente das partículas mais finas dos solos. Esses processos são controlados pela circulação hídrica e pela declividade da vertente, que influenciam na velocidade e tipo de infiltração de água, modificando a capacidade de transportar os constituintes dos solos. Nóbrega e Cunha (2011) destacam o papel fundamental da água na transformação da cobertura pedológica ao longo do perfil de solo e da vertente, onde a drenagem vertical favorece o espessamento do solo e a drenagem lateral envolve migrações de constituintes do solo, promovendo modificações na organização dos horizontes pedológicos.

No setor inferior (III) da vertente (710 m) forma-se um horizonte de transição com 19 cm de espessura. O horizonte AB possui coloração vermelho-escura (2,5YR 3/6) e textura argilosa, com estrutura formada por blocos angulares a subangulares, passando a granulares de tamanho médio e grau moderado. O DMPA foi de 3,03 mm, associado ao conteúdo de argila (47%) do solo (Tabela 1).

Ainda no setor III, subjacente ao AB, forma-se o B nítico. Este horizonte caracteriza-se pela coloração vermelha a vermelha-acinzentada, textura argilosa e estrutura formada por blocos angulares a subangulares passando a agregados prismáticos, com tamanho médio a grande e grau moderado. O percentual de argila é de 58,6%, com DMPA de 3,03 mm. Observa-se ainda, a

presença de cerosidade, que de acordo com Fasolo et al. (1988) e EMBRAPA (2009) é característico desta classe de solo.

Abaixo do Bt₂ e Bt, no primeiro e segundo setor forma-se um horizonte Bt/Bw, com coloração vermelho-acinzentado e textura franco-argiloarenosa. Este horizonte assemelha-se muito ao sobrejacente (Bt₂ e Bt), principalmente no setor de montante, apresentando estrutura formada por blocos angulares a subangulares, com tamanho pequeno a médio e grau fraco a moderado. Entretanto, quando comparado ao horizonte sobrejacente no setor médio, observa-se que os agregados são menos nítidos, apresentando menor DMPA (2,68 mm), menor percentual de argila (32,1%) e estrutura menos desenvolvida.

No setor inferior da vertente, sob o B nítico, ocorre o Bw de intensa alteração pedológica, devido ao processo avançado de intemperismo. O horizonte caracteriza-se por uma cor vermelho-escura (10R 3/6) e uma textura argilosa, com agregados granulares, de tamanho pequeno e grau forte. Nesse horizonte observa-se percentual de argila de 57,5%, com DMPA de 1,83mm.

Os resultados de granulometria nos Argissolos demonstraram um aumento progressivo de argila em profundidade, com um gradiente textural entre os horizontes A/E e Bt, resultado do processo de translocação das partículas mais finas dos solos para os horizontes inferiores. A relação textural B/A indicou valores superiores a 5 no setor de montante e superior a 16 no médio setor, o que caracteriza um contraste textural muito forte (Tabela 1).

A fração argila variou entre 2,4% e 38,9%, com os maiores valores no horizonte de acúmulo Bt e no horizonte de transição Bt/Bw. A fração areia apresentou uma variação entre 54,8% e 90,2%, com os maiores percentuais no horizonte E (Figuras 3A e 3B).

Para o Nitossolo o percentual de argila ficou entre 47% e 58,6%, com valores superiores nos horizontes B nítico e Bw. O conteúdo de areia apresentou relação inversa, com menores valores nesses horizontes, variando entre 22,7% e 30,1% (Figura 3C).

A estabilidade de agregados, representada pelo diâmetro médio ponderado dos agregados, apresentou relação direta com o percentual de argila, onde a redução do conteúdo de argila do solo resultou em agregados menores e menos estáveis, conforme pode-se observar nas figuras 3A, 3B e 3C. Entretanto, além da relação com essa variável, a estabilidade dos agregados relaciona-se ao tipo de uso e ao manejo empregado no solo, que promove maior ou menor mobilização e fornece quantidades variáveis de matéria orgânica (CAMPOS et al., 1995).

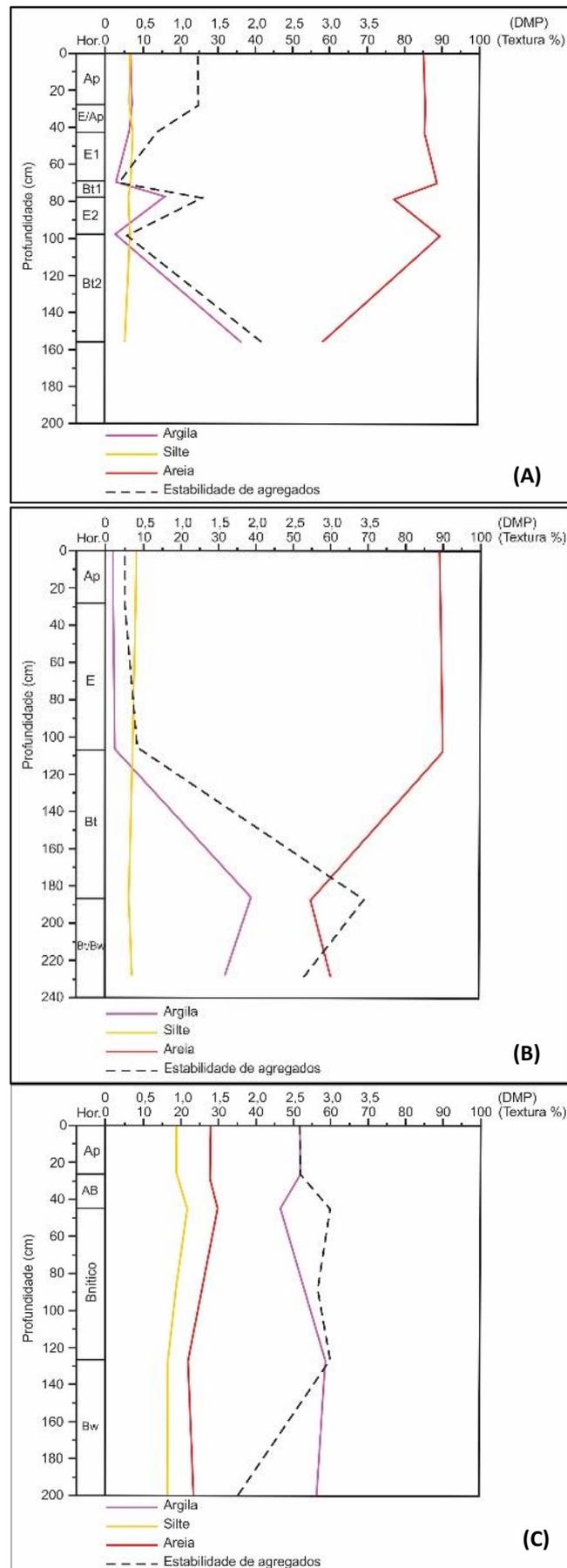


Figura 3 – Composição granulométrica e DMPA dos horizontes dos Argissolos Vermelhos abruptos das trincheiras I (A) e II (B) e do Nitossolo Vermelho da trincheira III (C).

A trincheira (I), descrita no topo da vertente, indicou agregados com DMPA de 1,27 mm no horizonte superficial (Ap), com a redução significativa nos horizontes subjacentes E/A, E₁ e E₂ (0,67 mm, 0,21 mm e 0,32 mm). Os maiores valores de DMPA ocorreram no Bt₁ e Bt₂, justificados pelo conteúdo de argila do solo, com agregados superiores a 1,3 mm. Deve-se observar neste perfil a influência do cultivo e do manejo empregado sobre o tamanho dos agregados, considerando que o percentual de argila entre o horizonte Ap e E apresentou pouca diferenciação, mas o tamanho dos agregados foi superior no horizonte Ap, onde houve uma contribuição mais significativa da matéria orgânica como material agregante. Este setor da vertente encontra-se sob o cultivo do café, com o cultivo de feijão nas entrelinhas. O consórcio entre as duas culturas somado a aplicação frequente de adubos orgânicos na produção do café pode ter promovido o aumento da quantidade de carbono orgânico do solo, fornecendo melhores condições para a formação de agregados estáveis nesse sistema de cultivo. Além disso, a cobertura do solo pelas folhas do café e da cultura do feijão nas entrelinhas minimiza os efeitos da ação da água da chuva sobre o solo.

A eficiência da cobertura superficial dos solos por resíduos culturais na minimização dos efeitos da ação erosiva da água da chuva foram relatados por diversos autores, como Schick et al. (2000), Albuquerque et al. (2002), Cassol e Lima (2003), Leite et al. (2004), Amaral et al. (2008) e Panachuki et al. (2011).

Na trincheira aberta na média vertente (setor II) observou-se que o DMPA dos horizontes A e E foram muito reduzidos, com agregados de 0,27mm e 0,48 mm, respectivamente. O conteúdo de argila nesses horizontes foram os menores em todos os solos e horizontes analisados, com 2,4% e 2,7% de argila, o que justifica a menor agregação. Este setor da vertente tem como uso a pastagem, e apesar dos inúmeros efeitos benéficos das raízes das gramíneas no aumento da agregação do solo, os valores reduzidos de argila, o manejo inadequado com número excessivo de animais por hectare e o aumento da declividade da vertente, tornou os agregados muito reduzidos em superfície. Além disso, existe uma relação muito significativa entre a matéria orgânica e a argila, considerando que a argila possui uma maior superfície específica o que possibilita um incremento na capacidade de absorção e proteção do húmus, aumentando o teor de carbono orgânico do solo e conseqüentemente, fornecendo melhores condições para a formação de agregados estáveis (GROHMANN, 1972; LEPSCH et al., 1982). Em solos com reduzido conteúdo de argila, a matéria orgânica é decomposta com maior velocidade, reduzindo o fornecimento de compostos orgânicos aos agregados do solo.

Para os horizontes Bt e Bt/Bw, o aumento expressivo do percentual de argila resultou em agregados grandes, com DMPA de 3,45 mm e 2,68 mm, respectivamente (Figura 3B).

Na trincheira localizada na média-baixa vertente (setor III), o horizonte superficial (Ap) apresentou agregados com diâmetro médio de 2,69 mm. Nos horizontes subsequentes (AB e B nítico) houve um aumento no tamanho dos agregados, com DMPA de 3,03 nas duas profundidades. Para o horizonte Bw observou-se uma redução significativa do DMPA, com 1,83 mm (Figura 3C), provavelmente devido às características da estrutura, forte, muito pequena e granular (do tipo pó de café). Nesse horizonte, apesar do conteúdo elevado de argila e da ausência de interferência dos sistemas de manejo, a redução no tamanho dos agregados associa-se a sua mudança morfológica, que passa de subangulares, angulares e prismáticos do horizonte B nítico, para granulares no Bw (Tabela 1).

A mudança textural dos solos ao longo da vertente foi acompanhada de uma mudança no uso e manejo do solo, assim, os Nitossolos localizados na média-baixa vertente são cultivados com soja/milho/trigo, utilizando como sistema de manejo o plantio direto. O uso da terra nesse setor da vertente não alterou significativamente o tamanho dos agregados no horizonte superficial, demonstrando a importância do emprego de sistemas de manejo que reduzem a mobilização do solo e mantêm uma cobertura permanente da superfície com resíduos culturais.

Ao longo da vertente foram atribuídas duas classes de suscetibilidade à erosão, conforme os critérios estabelecidos pela EMBRAPA (1988), sendo a classe forte para os Argissolos dos setores de alta e média vertente e a classe moderada para o Nitossolo na baixa vertente. As definições das classes de suscetibilidade à erosão estão associadas à declividade da vertente e as características morfológicas dos solos (Figura 2).

Nos Argissolos, a heterogeneidade entre os horizontes A, E e Bt, marcada pela diferenciação textural e estrutural favorecem a formação de processos erosivos. O incremento de argila no horizonte Bt pode promover o acúmulo de água nos horizontes superficiais A e E, que tende a escoar lateral e subsuperficialmente, favorecendo a geração e intensificação de processos erosivos. Essas condições já foram observadas por Cunha, Nóbrega e Castro (2008), em uma topossequência com Latossolos e Argissolos em Cidade Gaúcha-PR, encontrando como resultado a presença de fluxos hídricos laterais e em maior velocidade no horizonte A e E e no topo do Bt e menores abaixo, resultando em uma saturação rápida e a formação de fluxos hídricos laterais. Na área em estudo, soma-se a esses fatores a declividade da vertente, que varia de 8 a 20%, facilitando o escoamento hídrico superficial e subsuperficial.

Diversos estudos como da EMBRAPA (2009), Carvalho (1994) e Fasolo et al. (1988) confirmam a forte suscetibilidade aos processos erosivos dessa classe de solo, devido suas características texturais e estruturais. De acordo com Fasolo et al. (1988) a mudança textural e

estrutural entre os horizontes A e Bt e a transição abrupta, somado a classe de relevo em que esses solos são encontrados, tornando-os altamente suscetíveis à erosão.

Queiroz Neto (2002) analisando trabalhos que retratam a relação entre o funcionamento hídrico e a ocorrência de erosões em Marília, Bauru, São Pedro e Sorocaba do Sul-SC, destaca que as coberturas pedológicas que possuem horizonte Bt em transformação demonstram que a acumulação de água entre o E/Bt, a reduzida capacidade de infiltração do Bt e a presença de fluxos laterais concentrados em subsuperfície favorecem a formação de processos erosivos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As transformações observadas na cobertura pedológica da litossequência estudada estão relacionadas a circulação hídrica, por meio da remoção e transporte dos constituintes dos solos pela drenagem vertical e lateral ao longo da encosta, pela mudança litológica no sopé da vertente e pela formas de uso e manejo do solo ao longo da vertente.

Os Argissolos apresentaram um sistema de transformação de e-iluviação entre os horizontes A,E/Bt, com a perda de materiais finos (argila) nos horizontes A e E e acúmulo no Bt, devido a atuação dos fluxos hídricos verticais e laterais e a declividade da vertente.

Os resultados obtidos com a granulometria comprovaram a diferenciação textural entre o horizonte superficial e o subsuperficial, que somado aos resultados obtidos com a estabilidade de agregados demonstraram a elevada suscetibilidade a erosão desses solos. O elevado percentual de areia em superfície, o reduzido tamanho dos agregados e o impedimento encontrado pela água em subsuperfície, ao atingir o horizonte subsuperficial com acúmulo de argila, favorece a ação da água da chuva, carreando parte desse horizonte para os cursos d'água.

No Nitossolo Vermelho observou-se pouca variação no conteúdo de argila e no tamanho dos agregados entre os horizontes, com maior diferenciação no horizonte Bw. A redução do tamanho dos agregados no horizonte Bw não se relacionou ao tipo de uso do solo, mas sim a mudança morfológica dos agregados nesse horizonte, que passam de agregados subangulares, angulares e prismáticos no horizonte superior (B nítico), para agregados granulares no horizonte Bw. O tipo de uso e o manejo empregado não reduziu significativamente o tamanho dos agregados dos solos, demonstrando a importância de práticas conservacionistas na manutenção de agregados grandes e estáveis, minimizando os efeitos da ação da água da chuva sobre o solo.

Os resultados indicaram ainda, que além da fragilidade natural dos Argissolos à ocorrência de processos erosivos, o tipo de uso e o manejo empregado potencializaram a degradação da estrutura do solo. Os efeitos do manejo foram observados principalmente no horizonte superficial

do Argissolo na média vertente, onde o pisoteio animal sobre os agregados tem provocado a sua destruição, facilitando a ação da água da chuva no carreamento das partículas do solo. Diante disso, o Argissolo necessita da aplicação de práticas de manejo que minimizem os efeitos causados à estrutura do solo.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, J.R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental**, v.6, n.1, p.136-141, 2002.
- AMARAL, A.J.; BERTOL, I.; COGO, N.P.; BARBOSA, F.T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo húmico da região do Planalto sul-catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.52, p.2145-2155, 2008.
- BIGARELLA, J. J. & MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão. III Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. Maringá, ABGE, ADEA, 332p., 1985.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie: 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 O.R.S.T.O.M.**, v.XIX, n.4, p.309-321, 1982.
- CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas, Fundação Cargill, 44p., 1983.
- 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**, v.19, p. 121 – 126, 1995.
- CARVALHO, A. P. **Solos do arenito Caiuá**. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Solos altamente suscetíveis à erosão. Jaboticabal, FCAV - UNESP/SBCS, p. 39 - 50, 1994.
- CASSOL, E.A.; LIMA, V.S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.117-124, 2003.
- COLOZZI FILHO, A.; TELLES, T.S.; MELLO, N.A. Governança e preservação do solo: a experiência do Paraná. In: **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, n.1, 2015.
- 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**, v.32, p.1837-1848, 2008.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS**. Rio de Janeiro, 1988, 68p.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de Análise de Solo**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2017. 573 p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 412p., 2009.

FASOLO, P. J.; CARDOSO, A.; HOCHMÜLLER, D. P.; RAUEN, M. J. & PÖTTER, R.O. **Erosão - Inventário de áreas críticas no Noroeste do Paraná**. Londrina. IAPAR, 1988, 20p. (Boletim Técnico n. 23).

GROHMANN, F. Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. I- Estudo de perfis com horizonte B textural e horizonte B latossólico. **Bragantia**, v.31, n.13, 1972.

IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná). **Cartas Climáticas do Paraná**, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/>> Acesso em: 09/10/2016.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36p.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I – Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1033-1044, 2004.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 3ª ed. Campinas, SBCS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 83p. 1996.

LEPSCH, I.F. Relação entre a matéria orgânica e textura de solos sob cultivo de algodão e cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.41, n.8, 1982.

MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R 1988. Geological and Magmatic Aspects of The Paraná Basin - an Introduction. In.: **The Mesozoic Flood Volcanism of The Paraná 59 Basin**. Petrogenetic and Geophysical Aspects, E.M. PICCIRILLO & A.J. MELFI, Eds., cap. I, 1-13, IAG-USP, São Paulo, Brasil.

MINEROPAR (Serviço Geológico do Paraná). **Altas Geomorfológico do Paraná**, 2006. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>> Acesso em: 01/10/2016.

NÓBREGA, M.T.; CUNHA, J.E. A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão. **Espaço Plural**, n.25, p. 63-72, 2011.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1777-1785, 2011.

QUEIROZ NETO, J.P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 15, p.77-90, 2002.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciências Solo**, v.5, p.49-134, 2007.

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, UFSM. v. 24, n. 1 (jan/jun) p. 75-92, 2002.

SANTOS, A.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BERNINI, T.A.; COOPER, M.; NUMMER, A.R.; FRANCELINO, M.R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 1297-1314, 2010.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 427-436, 2000.

SERRA, E. Noroeste do Paraná: o avanço das lavouras de cana e a nova dinâmica do uso do solo as zonas de contato arenito-basalto. **Campo e Território: revista de geografia agrária**, v.5, n.9, p.89-111, 2010.

SERRA, E.; NÓBREGA, M.T.; ANDRADE, J.A. Paisagem, estudo de caso no espaço agrário do noroeste do Paraná. **Revista da ANPEGE**, v.8, n.10, p.85-99, 2012.

SILVEIRA, H. **Modificações na estrutura e no comportamento hidrofísico de Latossolos provocadas pelo uso e manejo no município de Cidade Gaucha – Paraná**. 2001. 97f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio ambiente) – Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, 2001.

SOUZA, V. de. GASPARETTO, N. V. L. Avaliação da erodibilidade de algumas classes de solos do município de Maringá-PR por meio de análises físicas e geotécnicas. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 5-16, 2010.

YOUKER, R.E.; MCGUINNESS, J.L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils. **Soil Science**, v.83, p.291-294, 1956.

Trabalho enviado em 04/04/2018

Trabalho aceito em 22/05/2018