



Erodibilidade de Solos em Taludes de Corte de Estrada Não Pavimentada Soil Erodibility on Cutting Slopes of Unpaved Roads

Danielle Lima Soares¹; Helena Polivanov¹; Emílio Velloso Barroso¹;
Laura Maria Goretta da Motta² & Cristiano Camacho de Souza¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia,
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco J0, 21.941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

²Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia,
Programa de Engenharia Civil, Laboratório de Geotecnia-Pavimentos, Av. Pedro Calmon, 50
Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21941-972, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

E-mails: dsoares.geologia@gmail.com; hpolivanov@gmail.com;

emilio.geologia@ufrj.br; lauragmotta@gmail.com; cristianocsouza@yahoo.com.br

Recebido em: 25/01/2018 Aprovado em: 12/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_179_193

Resumo

Estradas não pavimentadas possuem grande importância para uma parcela significativa da população brasileira, pois permitem o acesso da população rural à educação e à saúde, realizam as conexões entre as áreas rurais e os centros urbanos e é através delas que se escoam as produções agrícolas. Apesar da importância social e econômica dessas estradas, é possível observar a abertura das mesmas, sem estudos prévios adequados, com relação à erosão hídrica e à estabilidade dos solos presentes nos taludes de corte. Este fato resulta em prejuízos econômicos oriundos da restauração das vias e das interrupções ocasionadas por instabilidades dos taludes de corte. O propósito desta pesquisa é avaliar a erodibilidade de solos em taludes de estradas vicinais da cidade de Bom Jardim, na região serrana do estado do Rio de Janeiro, tendo em conta os processos erosivos já instalados, a vocação agrícola do município e a grande extensão da malha viária não pavimentada. O método de trabalho teve início com o levantamento de campo, de taludes de estradas com evidentes sinais de erosão, em uma microbacia subordinada ao Rio Grande. Após a descrição de campo das feições erosivas e dos perfis de solo presentes nestes taludes, coletaram-se os diversos horizontes para posterior caracterização física e mineralógica em laboratório. Avaliou-se a erodibilidade de cada horizonte de solo com base nos resultados das observações de campo, através dos índices de erodibilidade e dos Ensaios Inderbitzen Modificado, conduzidos considerando-se os declives médios regionais e regime de chuva intensa em simulador especialmente construído para este fim. Os resultados apontam para a maior erodibilidade dos horizontes C em relação aos demais horizontes do ARGISSOLO e LATOSSOLO estudados. Este fato explica o principal processo de instabilidade observado, erosão da base do talude e queda dos horizontes superiores. Conclui-se que os taludes de corte na região devem ser executados evitando-se a exposição do horizonte C ou da rocha alterada e, quando isto não for possível, é necessária adoção de medidas que evitem a erosão hídrica.

Palavras-chave: Estradas não Pavimentadas; Taludes de Corte; Erodibilidade; Ensaio Inderbitzen Modificado

Abstract

Unpaved roads have an expressive importance for a significant portion of the Brazilian population, since they allow rural population access to education and health, make connections between rural areas and urban centers, and through them the agricultural production flows. Despite the social and economic importance of these roads, it is possible to observe their construction without adequate previous studies, regarding hydric erosion and the stability of the soils present on the cutting slopes. This fact results in economic losses from the restoration of these roads and interruptions caused by instabilities in slopes. The purpose of this research is to evaluate the erodibility of soils in the unpaved road slopes at the Bom Jardim city in the mountain region of the state of Rio de Janeiro, considering the erosive processes already installed, the agricultural vocation of the municipality and the large extension of the unpaved road network. The working method began with the field survey, of road slopes with evident signs of erosion, in a micro basin subordinated to Rio Grande. After the field description of the erosive features and the soil profiles present in these slopes, the various horizons were collected for later physical and mineralogical characterization in the laboratory. The erodibility of each soil horizon was evaluated based on the results of the field observations, through the erodibility indices and the Modified Inderbitzen, conducted considering the regional average declivity and intense rainfall in a specially constructed rain simulator for this purpose. The results point to the highest erodibility of the C horizons in relation to the other horizons of the Oxisol and Ultisol studied. This fact explains the main process of observed instability, erosion at the toe of the slope and fall of the upper horizons. It is concluded that the road cutting slopes in the region should be executed avoiding the exposure of the C horizon or the altered rock, and when this is not possible, it is necessary to adopt measures that prevent water erosion.

Keywords: Unpaved Roads; Cutting Slopes; Erodibility; Modified Inderbitzen Test

1 Introdução

As estradas não pavimentadas, também conhecidas por estradas de chão, apresentam grandes extensões, possuem relevante importância econômica e social e constituem expressiva dimensão da rede viária brasileira, tornando-se o meio mais utilizado para o escoamento da produção agropecuária, conforme Oda *et al.* (2007). De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2014), o Brasil possui aproximadamente 1.721.000 km de estradas, das quais 80% não são pavimentadas.

Diante da importância dessas estradas, investigações específicas voltadas para o seu planejamento e uso adequado, e estudos mais aprofundados relacionados à dinâmica que provoca os impactos ambientais pela construção das mesmas devem ser desenvolvidos. É importante destacar que os altos custos das obras a fim de recuperar as áreas afetadas pela erosão nos taludes de corte, contrasta com o baixo investimento de introduzir medidas preventivas.

Além do mais, quando taludes são escavados sem técnicas adequadas para a construção dessas estradas, pode ocorrer progressiva intensificação do processo erosivo superficial, levando muitas vezes à geração de feições erosivas mais incisivas. As estradas construídas através de cortes profundos podem expor os horizontes menos estáveis (mais susceptíveis a erosão), provocando uma zona de instabilidade decorrente do material de transição formado entre o solo até a rocha (Griebeler, 2005). Bastos *et al.* (2000) afirmam que em cortes de perfis de solos residuais, em estradas não pavimentadas, a erosão hídrica tem provocado a instabilidade e a degradação dos taludes. Enfatiza-se que alguns horizontes de solos podem ser mais vulneráveis à erosão que outros quando expostos aos processos intempéris.

Dois elementos são considerados os principais responsáveis pelos processos erosivos, a erosividade da água, elemento ativo, e a erodibilidade do solo, elemento passivo.

A erosividade pode ser traduzida pela capacidade que a chuva possui de causar erosão, enquanto que a erodibilidade é uma propriedade do solo, que define a maior ou menor susceptibilidade de suas partículas de serem destacadas do meio e sofrer transporte por um agente erosivo (Bastos *et*

al., 2000). A erodibilidade pode causar ou acelerar o processo erosivo e é influenciada por fatores físicos, químicos, biológicos, mineralógicos e mecânicos, dos solos (Ávila, 2009).

No município de Bom Jardim - RJ, existem 266 km de estradas não pavimentadas, destas, 250,1 km apresentam-se com leito natural (COPPE/UFRJ, 2016), e com taludes de corte abertos sem intervenções adequadas de engenharia, expostas aos processos erosivos que podem evoluir para instabilidade de taludes, havendo possibilidade de interrupção do fluxo de veículos na estrada.

Bom Jardim apresenta intensa pluviosidade, e encostas com declividade acentuada e vocação agrícola. Aproximadamente 6% do PIB da região provém das atividades agropecuárias (IBGE, 2014), fazendo com que suas estradas sofram com tráfego de veículos, utilizados para o escoamento da produção. De acordo com Fu *et al.* (2010), a intensidade e duração das chuvas, a declividade, e a intensidade de tráfego, são alguns fatores que contribuem para a evolução dos processos erosivos.

Com o objetivo de dar subsídios aos órgãos competentes, busca-se neste trabalho identificar as diferenças de erodibilidade dos diversos horizontes de solos expostos nos taludes cortados para a construção das estradas, em uma região do município de Bom Jardim.

O presente trabalho tem por finalidade estudar a erodibilidade de dois perfis de solos em taludes de cortes de estradas não pavimentadas do município de Bom Jardim, no estado do Rio de Janeiro. No estudo foram considerados os processos erosivos já instalados nos taludes de corte, a vocação econômica do município e a grande extensão da malha viária não pavimentada. A erodibilidade é avaliada através de Índices de Erodibilidade e pela Metodologia Inderbitzen Modificada, sob chuva simulada e controlada, adotando-se declividades correspondentes às características geomorfológicas da área de estudo.

2 Área de Estudo

O município de Bom Jardim localiza-se na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, ocupa uma área aproximada de 38500 ha, a uma altitude média de 574 metros, e encontra-se à cerca de 154 km da capital (CEIVAP, 2013), conforme Figura 1.

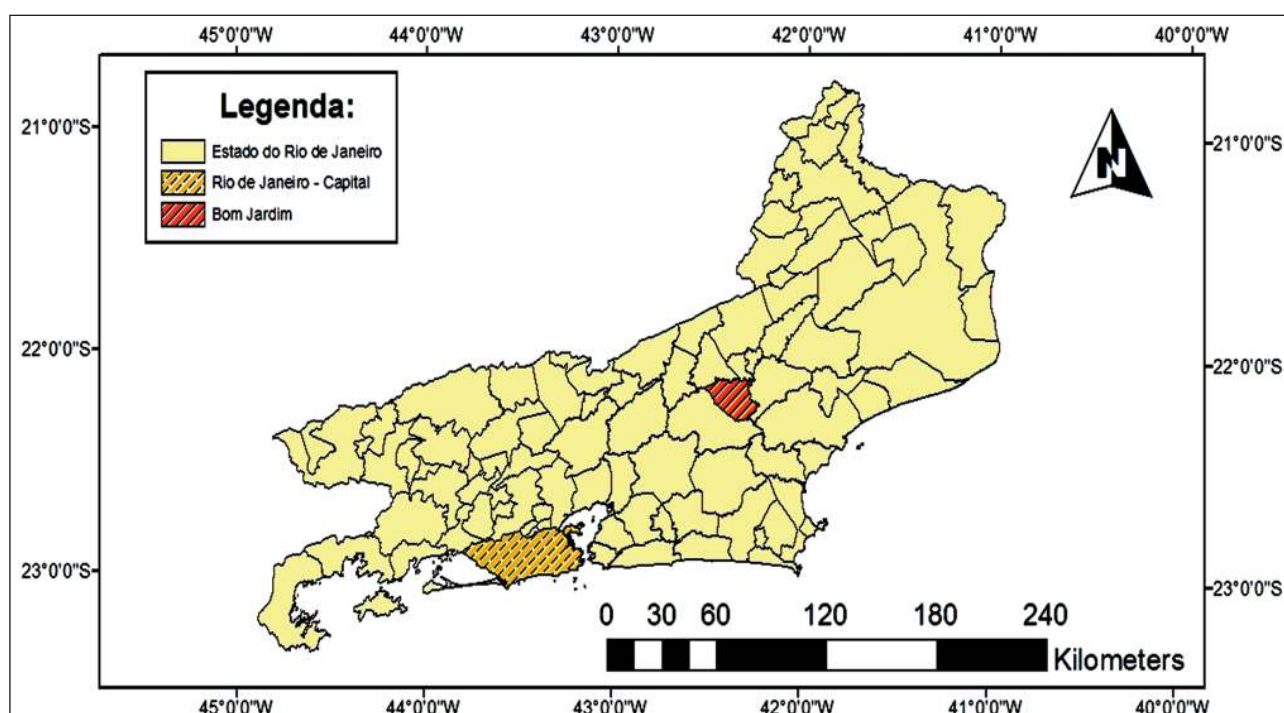


Figura 1 Localização do estado do Rio de Janeiro, município do Rio de Janeiro (capital) e município de Bom Jardim.

Apresenta como limites os municípios de Cordeiro, Nova Friburgo, Duas Barras e Trajano de Moraes e está inserido na unidade geomorfológica denominada “reverso das colinas e maciços costeiros do Planalto da Serra dos Órgãos” (Dantas, 2001; Calderano Filho *et al.*, 2013).

Essa unidade é definida pelo predomínio dos sistemas de Relevo Domínio de Morros Elevados e Domínio Montanhoso, com a ocorrência de alvéolos de relevo suave, subordinados ao domínio montanhoso. Suas classes de declividades das encostas variam entre 20-30% a 60-70% (Ross, 1996). As áreas cobertas por sedimentos Quaternários estão relacionadas com os menores declives (Dantas, 2001; Calderano Filho *et al.*, 2012).

A geologia da região é representada por ortognaisses e migmatitos do Complexo Rio Negro, ortognaisses granodioríticos do Batólito Serra dos Órgãos, leucognaisses e rochas metassedimentares do Grupo Paraíba do Sul, e rochas magmáticas graníticas a granodioríticas que intrudem estas unidades (Calderano Filho *et al.*, 2013).

As classes de solos principais que ocorrem no relevo elevado na região são: os latossolos, argissolos, cambissolos e neossolos litólicos. nas regiões de

baixo relevo ocorrem os cambissolos flúvicos, neossolos flúvicos e os gleissolos (Calderano Filho *et al.*, 2014).

O clima da região é subtropical, e as temperaturas médias variam entre abaixo de 18 graus no inverno e acima de 22 graus no verão. A precipitação anual média varia de 1.400 a 2.000 m, sendo os maiores índices pluviométricos concentrados no verão (CEIVAP, 2013).

O acesso a Bom Jardim é realizado através das rodovias RJ-116, RJ-144, RJ-146, e RJ-150 e a malha de estradas não pavimentadas existentes, permitem o acesso às áreas rurais.. Conforme Mendes *et al.* (2011) e Calderano Filho *et al.* (2009), essa região apresenta grande potencial de vulnerabilidade a eventos erosivos e movimentos de massa, atrelado à associação do alto gradiente do relevo montanhoso dominante, intenso regime pluviométrico e interferências antrópicas, como expansão de atividades econômicas, como agricultura e pecuária.

Na Figura 2 pode ser observado que há veículos e máquinas que trafegam por essas estradas vicinais que ligam a zona rural do município de Bom Jardim à sua sede e à malha rodoviária estadual, com o objetivo de escoamento da produção de hortifrutigranjeiros.



Figura 2 Placa informativa de tráfego (A) e veículo de carga trafegando na estrada vicinal. (B).

A microbacia hidrográfica estudada, possui uma área total de drenagem igual à aproximadamente 16 km², e é formada pelos rios tributários do Córrego Águas Claras, afluente do Rio Grande. Situa-se entre os paralelos 22°06'36" e 22°10'12" de latitude sul e os meridianos 42°24'36" e 42°22'12", de longitude oeste (Figura 3).

3 Material e Métodos

3.1 Seleção de Pontos de Coleta de Amostras

Para a escolha dos pontos alvo do estudo, inicialmente foi realizado trabalho de campo, com o objetivo de observar as feições erosivas que ocorrem na área estudada.

Foram analisados em campo as características tátil-visuais dos horizontes B (solo maduro) e C (solo residual jovem), de 27 perfis de solo originados de taludes de corte, com o objetivo de verificar variações morfológicas desses materiais. Para isso analisou-se cor, diferença de textura e estrutura entre os horizontes B e C de acordo com Lemos & Santos (1984). Após a análise de campo selecionou-se dois pontos de estudo para avaliar a erodibilidade dos horizontes B e C nesses taludes de corte (Figura 4).

Estabeleceram-se como critério de seleção, perfis de solos em taludes de corte com erosão superficial, com evidente possibilidade de evolução para problemas de instabilidade, classes de solos e relevo representativos da área.

Foram escolhidos dois taludes de corte, um representativo do Latossolo Vermelho-Amarelo, (Ponto 1), relevo ondulado (declividade 11°), coordenadas S22°09'01.91" e W42°23'54.51" e um do Argissolo (Ponto 2), relevo forte ondulado (declividade 20°), coordenadas S22°08'40.31" e W42°23'38.10", conforme mostra a Figura 5. Essas classes de solos foram identificadas por características morfológicas de campo e confirmadas pelo mapa de solos apresentado por Calderano Filho *et al.* (2013).

Os perfis selecionados foram escavados, limpos e delimitados os horizontes B (solo maduro) e C (solo residual jovem), onde foram coletadas 4 amostras deformadas em sacos plásticos de 15 kg cada e 4 amostras indeformadas em blocos de 40cmX40cmX40cm.

As amostras foram denominadas de latossolo - horizonte B (LAT.B), latossolo - horizonte C (LAT.C), argissolo - horizonte B (ARG.B) e argissolo - horizonte C (ARG.C).

3.2 Caracterização Física, Geotécnica e Mineralógica

As análises físicas e mineralógicas foram realizadas com o objetivo de caracterizar os horizontes de solo estudados. A análise granulométrica foi realizada pelo método do

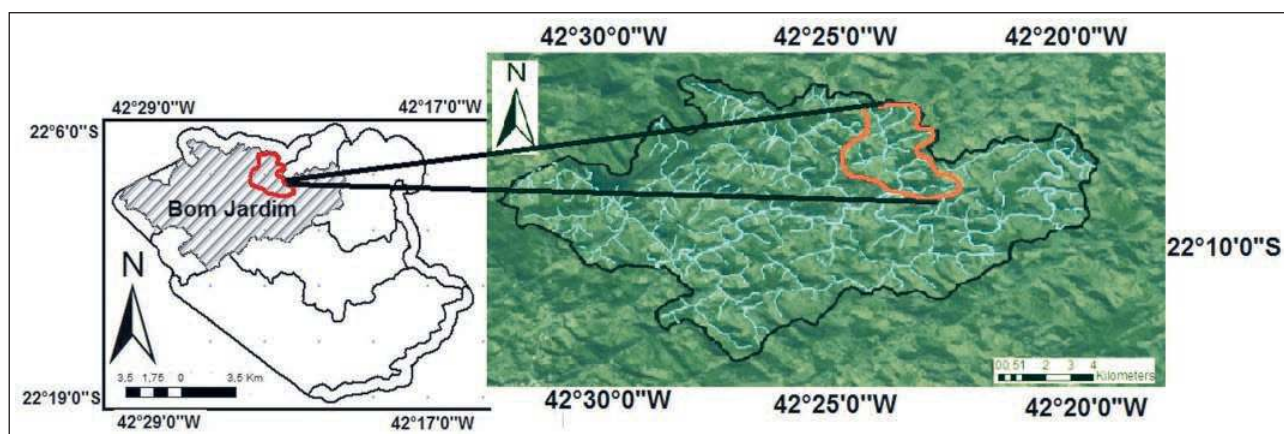


Figura 3 Localização do município Bom Jardim e da microbacia estudada .

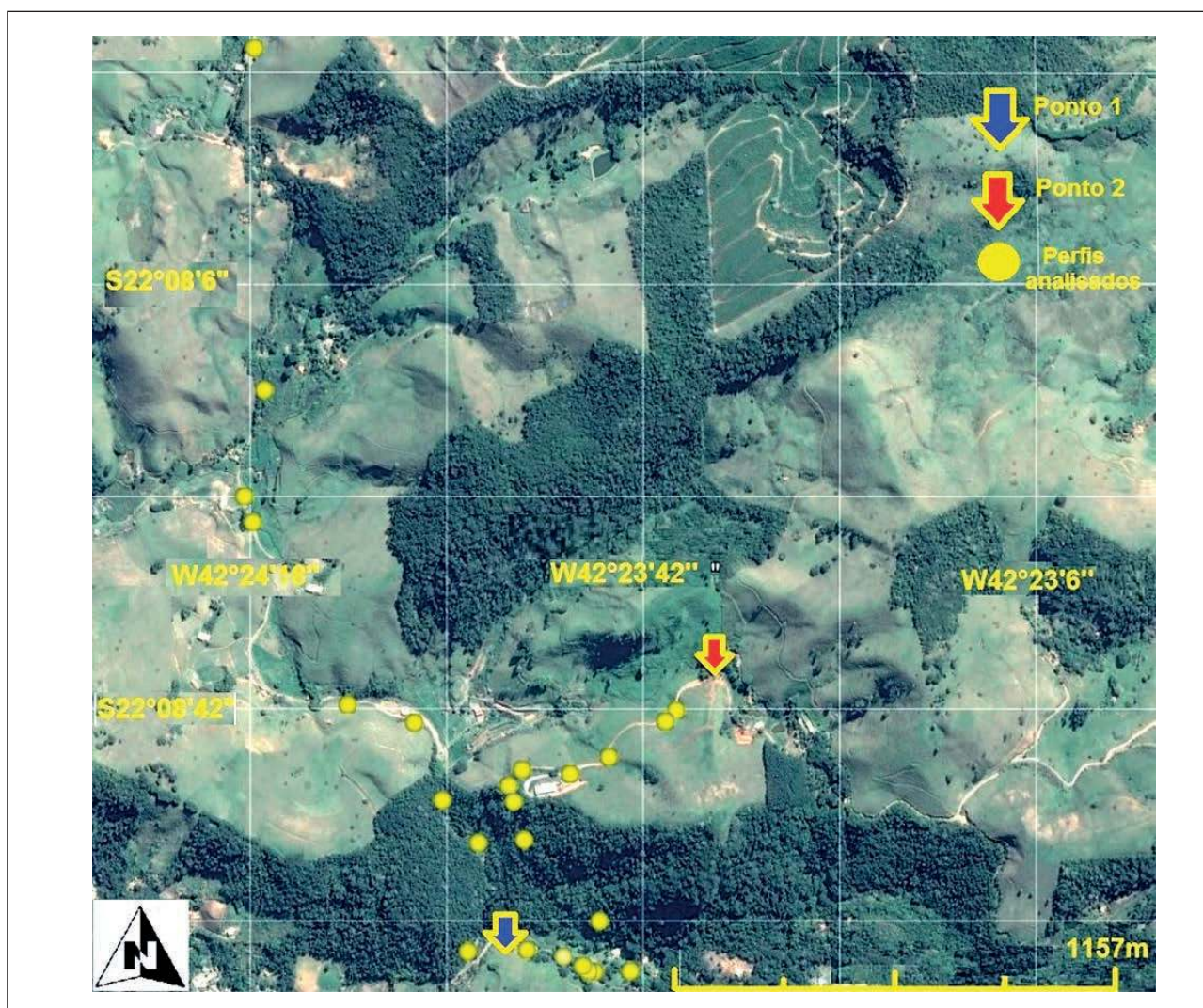


Figura 4 Localização dos perfis analisados e pontos de coleta (Pontos 1 e 2; fonte: Google Earth, 2017).

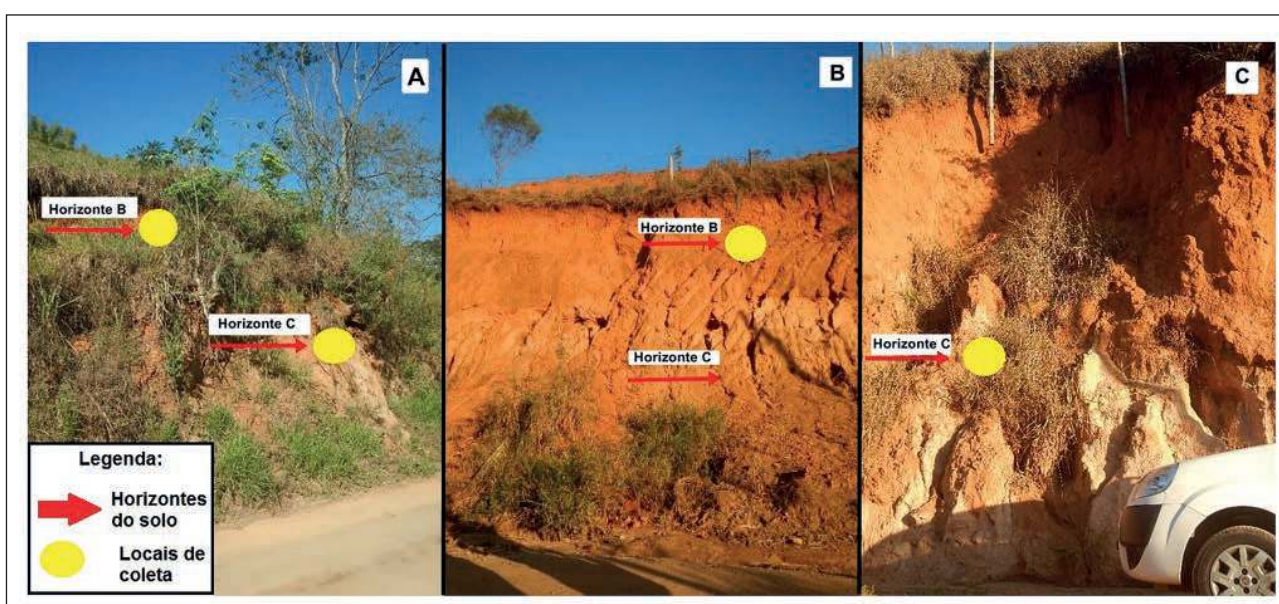


Figura 5 Talude no Latossolo (A), talude no Argissolo (B) e destaque para o horizonte C em talude no Argissolo (C).

peneiramento para fração grossa, conforme NBR 5734 (ABNT,1989) e sedimentação para os finos, pela NBR 7181 (ABNT,1984). A massa específica dos grãos foi determinada conforme NBR 6508 (ABNT, 1984). Os Limites de Atterberg, o de Limite de Liquidez (LL), segundo NBR 6459 (ABNT,1984) e o Limite de Plasticidade (LP) conforme NBR 7180 (ABNT,1984). Os valores do Índice de Plasticidade (IP) foram determinados pela diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP) e através deste índice foi possível classificar a plasticidade dos solos, de acordo com Burmister (1949). Com os dados da granulometria e do IP determinou-se o Índice de Atividade (Ia), pela relação entre o IP sobre o percentual de argila (fração < 2), conforme Skempton (1953). Com esses dados é possível classificar os solos segundo a plasticidade e o índice de atividade, conforme Tabela 1.

Esses índices são a base para as classificações geotécnicas dos solos que objetivam associar as propriedades físicas dos solos (granulometria e plasticidade) ao comportamento geotécnico. As classificações geotécnicas de solos utilizadas foram os sistemas SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) proposto por Casagrande (1948) e HRB (Highway Research Board), conforme DNER (1996).

Classificação da Plasticidade		Classificação de Índice de Atividade	
IP	Classificação	Ia- Índice de Atividade	Classificação
0	Não-plástico	Ia<0,75	Inativa (argila 1:1)
1-5	Ligeiramente Plástico		
5-10	Plasticidade baixa	1,23>Ia>0,75	Atividade normal
10-20	Plasticidade média		
20-40	Plasticidade alta	Ia>1,25	Ativa (2:1)
>40	Plasticidade muito alta		

Tabela 1 Classificação dos solos pela plasticidade (Burmister, 1949) e índice de atividade (Skempton, 1953).

As análises mineralógicas foram realizadas pela Difração de raios X. Após a obtenção das frações argila e silte pela sedimentação, foram preparadas lâminas orientadas para as análises difratométricas nas condições natural, glicolada e aquecida a 500°C, conforme Jackson (1969). A identificação mineralógica foi realizada pela análise

dos difratogramas e comparados com padrões de referência consultados em Moore (1997).

3.3 Índices de Erodibilidade

O estudo da erodibilidade de solos é um tema que vem sendo estudado intensamente e diversos autores propuseram índices de erodibilidade para classificar a susceptibilidade erosiva dos solos de maneira indireta, de acordo com suas propriedades geotécnicas.

Hênensal (1987) propõe a classificação da erodibilidade dos solos a partir do critério D50 (diâmetro médio), onde solos com máxima erodibilidade apresentam seus diâmetros médios entre 0,06 e 0,12 mm.

Bastos (1999) sugeriu uma classificação, baseada na granulometria e plasticidade dos solos. Para esse autor, solos que possuem menos que 35% de suas partículas passando pela peneira #200, são solos de média a alta erodibilidade. Com relação aos Índices de Plasticidade, solos com IP menor ou igual a 5% são potencialmente erodíveis, enquanto que solos com Índice de Plasticidade maior ou igual a 10% são solos de baixa erodibilidade.

Santos (2001) classifica os solos com IP maior que 15%, como solos com boa resistência a erosão, enquanto que solos que possuem IP menor que 6% são considerados solos com baixa resistência a erosão.

Utilizando-se a classificação de erodibilidade sugerida por Gray & Sotir (1996), que tem como base o grupamento SUCS, os solos são classificados do menos erodível para o mais erodível: GW<GP<SW<GM<CH<CL<OL<MH<SC<SM<ML.

3.4 Ensaio Inderbitzen

A Metodologia Inderbitzen (1961) foi introduzida no Brasil através da pesquisa “Estabilidade de Taludes” (IPR/COPPE/TRAFECON), desenvolvida entre 1975 e 1978 e foi proposta como ensaio geotécnico para analisar diretamente a erodibilidade de um solo, (Bastos *et al.*, 2000). O Ensaio Inderbitzen, também conhecido como “erosômetro”, é o mais utilizado no meio geotécnico, destacando-se, principalmente por sua simplicidade.

O Ensaio Inderbitzen tem como objetivo simular em laboratório a erosão de um solo por escoamento superficial e possibilita avaliar

a susceptibilidade erosiva de uma solo face a erosividade de chuva (Bastos *et al.*, 2000). Esse ensaio permite também determinar a influência de fatores como a declividade da rampa, a vazão e duração do fluxo no processo erosivo. Assim, nesse método a erosão é induzida por meio do fluxo de água contínuo e posteriormente o material desagregado é quantificado em intervalos de tempo pré-estabelecidos.

Ao término do experimento é realizada a medição para relacionar o peso seco da amostra desprendida relacionada com a área da amostra e o tempo de fluxo, conforme descrito em Inderbitzen (1961).

Entretanto, nesse ensaio não é considerado o efeito da erosão causada pelo impacto das gotas de chuva. Sendo assim, para estudar a erodibilidade dos solos contabilizando tanto o fluxo laminar, quanto o impacto da gota de chuva, Freire (2001), adaptou ao Ensaio Inderbitzen inicialmente proposto, a ação do impacto das gotas de chuva, desenvolvendo o ensaio Inderbitzen Modificado.

No presente trabalho utilizou-se o Ensaio Inderbitzen Modificado, e para a sua execução foi empregado um simulador de chuva desenvolvido por Souza (2012), com controle de vazão e intensidade de chuva (Figura 6A).

Para simular a chuva, calibrou-se o simulador de chuva, verificando-se alguns parâmetros descritos por Meyer & Harmon (1979), como a uniformidade na distribuição da chuva pela área do simulador, tamanho da gota semelhante à chuva natural, velocidade terminal de impacto da gota semelhante à chuva natural, aplicação da água de forma contínua ou, no mínimo com duas aplicações por segundo e área de aproximadamente 1,30 m² que permita o uso do aparelho Inderbitzen.

A uniformidade da distribuição da chuva pela área do simulador foi verificada através da metodologia proposta por Christiansen (1942), que consiste em analisar os volumes de chuva obtidos através da utilização de recipientes coletores distribuídos igualmente pela área útil do simulador.

A fim de se obter o tamanho da gota da chuva semelhante ao natural, foi realizado um teste onde verificou-se o diâmetro médio das gotas. O teste consistiu em utilizar três bandejas, preenchidas

por farinha de trigo e submetidas a 5 segundos de precipitação, segundo trabalho de Oliveira (1991). Os grânulos foram secos em estufa em 105°C/110°C por 24 horas e em seguida, através do método do peneiramento, os grânulos foram separados utilizando-se as peneiras 4, 2, 1, 0,5 e 0,25 mm e posteriormente pesados para obter a massa média dos mesmos.

O diâmetro das gotas foi obtido através da equação (1), onde, D é o diâmetro da gota em mm, m é a massa média da gota em mg e ρ é a massa específica da água em mg/cm³.

$$D = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\rho}} \quad (1)$$

A velocidade terminal da gota foi calculada através da equação (2) propostas por Stillmunkes & James (1982) que considera a resistência do ar atuando no seu deslocamento, onde, VT é a velocidade terminal da gota em (m/s) e d é o diâmetro da gota em mm.

$$VT = \sqrt{\frac{9,81}{0,4671d^{-0,9859}}} \quad (2)$$

A energia cinética da chuva foi obtida através da equação (3), onde Ec é a energia cinética em MJ/ha mm e I é a intensidade de cada segmento com intensidade constante em mm/h.

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \quad (3)$$

Além dos parâmetros citados, foi necessário utilizar um manômetro que aferisse a pressão da água no simulador e um pressurizador que possibilitasse atingir à pressão de 25 psi (polegada quadrada) ou 14.07 mca (metro por coluna de água).

O Ensaio Inderbitzen Modificado, geralmente utiliza um tempo máximo de chuva de 60 minutos, pois para a maioria dos autores, esse é o tempo necessário para que a perda de solo esteja estabilizada. No presente estudo, o ensaio prosseguiu até 120 minutos buscando verificar o comportamento dos solos quando expostos a um tempo maior de precipitação.

Aplicou-se neste estudo chuva representativa de intensidade muito forte de acordo com os crité-

rios pluviométricos utilizados pelo Sistema Alerta Rio (Sistema de Alerta de Chuvas Intensas e Deslizamentos, instituído em 25 de setembro de 1996 e gerenciado pela Fundação GEO-RIO), onde, chuva fraca (até 5 mm/h), chuva moderada (até 25 mm/h), chuva forte (até 50 mm/h) e chuva muito forte (acima de 50 mm/h). Para isso utilizou-se um pluviômetro digital aferindo precipitação média de 56,04 mm/h, conferindo o caráter de chuva de intensidade muito forte.

Após cumprir as etapas de calibração do simulador de chuva, foi realizado o Ensaio Inderbitzen Modificado. Esse equipamento foi construído com rampa articulada de acrílico de 33 cm de largura e 130 cm de comprimento, conforme proposto por Fácio (1991), com variação de inclinação entre 2° e 90°. A rampa tem uma abertura quadrada central de 10 cm², onde é acoplada a amostra de solo indeformada, de tal maneira que seu nível superior corresponda ao nível da superfície da rampa (Figura 6B).

As amostras foram ensaiadas com umidade natural, submetidas a uma chuva de intensidade muito forte, e inclinação da rampa de 20% (11°) e 45% (20°) para o latossolo e o argissolo respectivamente, conforme características geomorfológicas onde os mesmos estão situados na área de estudo (Figura 6C).

O material desagregado foi recolhido junto com a água (Figura 6D) durante o ensaio, nos in-

tervalos de tempo de 1, 5, 10, 15, 20, 30, 60 e 120 minutos, e posteriormente levado à estufa a 110°C por 24 horas. Em seguida pesou-se o material desagregado em balança de precisão, e foi realizada a quantificação do material erodido em cada intervalo de tempo.

Os resultados foram expressos pela razão entre o peso seco desagregado da amostra e a área do corpo de prova (g/cm²) e discutidos de acordo com a proposta de Bastos (1999), conforme Tabela 2.

Valores de K	Erodibilidade
K < 0,001 g/cm ² /min	Baixa erodibilidade
0,001 < K < 0,1 g/cm ² /min	Mediana Erodibilidade
K > 0,1 g/cm ² /min	Alta erodibilidade

Tabela 2 Parâmetros de Erodibilidade conforme proposta de Bastos (1999)

4 Resultados e Discussão

Através de observações de campo, constatou-se processo erosivo em curso no horizonte C em ambos os perfis, LATOSSOLO e ARGISSOLO. No perfil do LATOSSOLO, observou-se que nos taludes de corte, os horizontes C apresentam indício de erosão em sulcos, apesar de se observar processo de revegetação de forma natural. Através da análise tátil-visual verificou-se que o horizonte B é coeso, possui textura argilosa, e é plástico, enquanto que o horizonte C é friável, textura areno siltosa e não plástico.

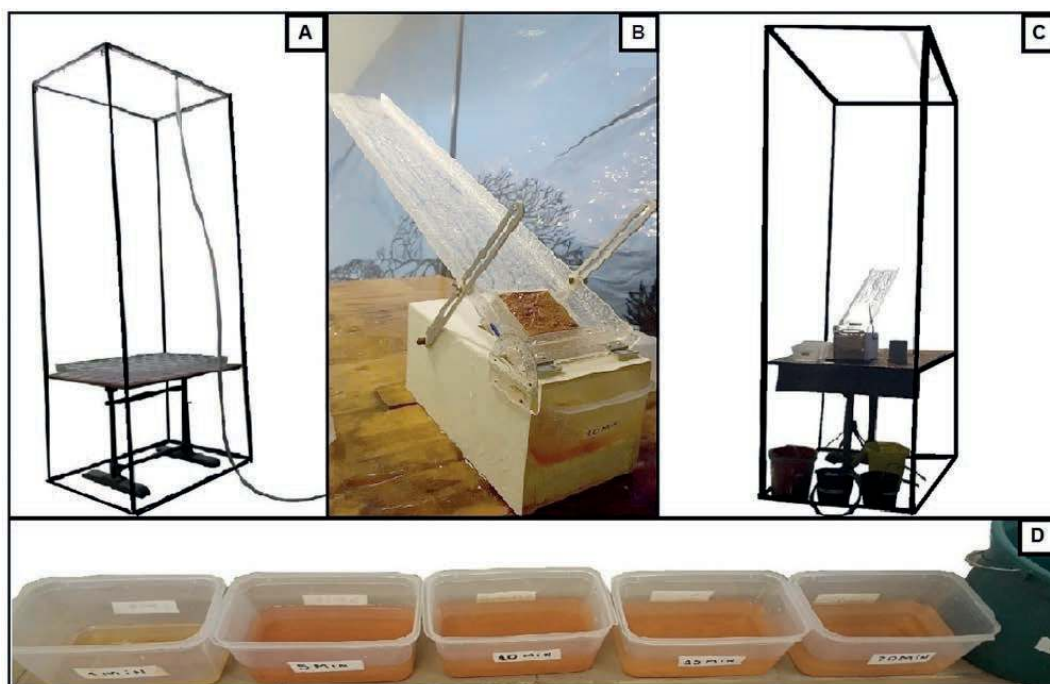


Figura 6 Simulador de chuva (A), Aparelho Inderbitzen (B), Conjunto Inderbitzen Modificado (C), e sistema de coletores (D).

No perfil do argissolo constatou-se erosão em sulcos profundo no horizonte C (Figura 7), que atinge o horizonte de transição BC. No campo, através de análise tátil-visual constatou-se que o horizonte B é coeso e muito plástico, enquanto que o horizonte C é friável e não plástico.

Em ambos os perfis estudados nos taludes de corte, as observações de campo demonstram que os horizontes C são friáveis, não plásticos enquanto os horizontes B são coesos e plásticos. Essas características de campo evidenciam fragilidade de erosão nos horizontes C.

4.1 Caracterização Física e Geotécnica

Os resultados da granulometria, massa específica dos grãos, Limites de Atterberg, relação silte/argila e classificação SUCS e HRB são apresenta-

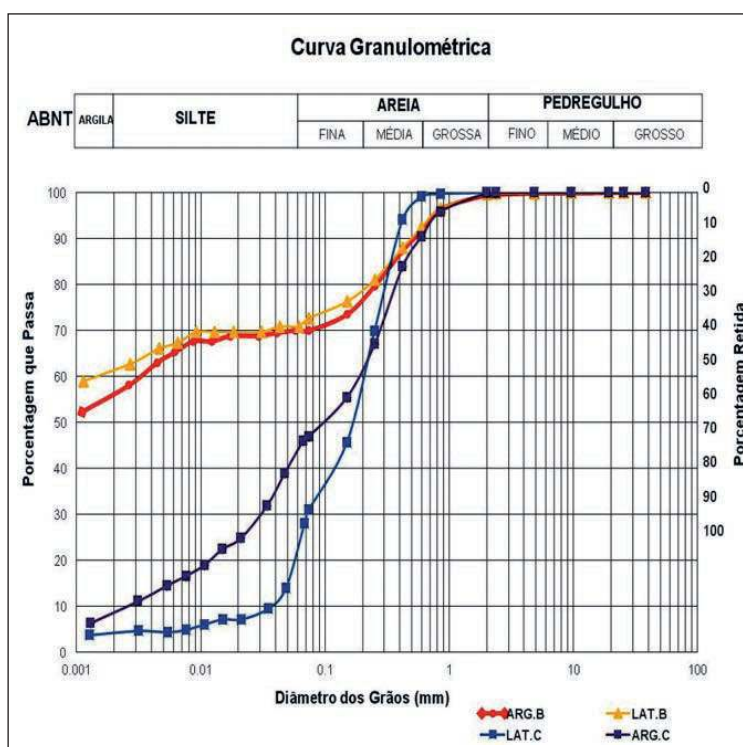
dos na Tabela 3. As curvas granulométricas são vistas na Figura 7.

As análises granulométricas apontam que os horizontes B, tanto do latossolo, quanto do argissolo, apresentam maiores percentuais de argila (61% e 58%) respectivamente, e os horizontes C (LAT.C e ARG.C) são os mais arenosos, com 69% e 52%, nessa ordem. Nota-se também que o horizonte ARG.C apresenta o menor percentual de argila e o maior percentual de silte (39%). Esses resultados permitem concluir que os horizontes B do latossolo e do argissolo são menos susceptíveis à erosão que os horizontes C de ambos os perfis estudados, pois a maior coesão devido à argila nos horizontes B dificultam o arraste de partículas, que são facilitadas nos materiais siltosos e arenosos (Wischmeyer & Mannering, 1969; Guerra, 1991, 2007), que se encontram em maiores proporções nos horizontes C.

Tabela 3 Caracterização física dos perfis de solos latossolo e argissolo e classificação nos sistemas SUCS e HRB; Legenda: A=argila; S=silte; F=finos (silte + argila); A.F=areia fina; A.M=areia média; A.G=areia grossa; A.T=areia total; ρ (g/cm^3)= massa específica dos grãos.

Amostra	Granulometria							ρ	Limites de Atterberg				Relação	Classificação	
	A	S	F	AF	AM	AG	AT		LL	LP	IP	IA		SUCS	HRB
LAT. B	61	12	73	08	12	7	27	2,67	76	44	31	0,5	0,2	CH	A7-5
LAT. C	4	27	31	29	38	2	69	2,73	NP	NP	NP	x	6,7	SM	A3
ARG. B	58	12	70	05	15	10	30	2,72	76	41	35	0,6	0,2	CH	A-7-5
ARG. C	9	39	48	12	30	10	52	2,72	68	25	43	4,7	4,3	SM	A-7-6

Figura 7 Curvas granulométricas dos horizontes de solos estudados.



De acordo com Burmister (1949), os horizontes B do latossolo e do argissolo são classificados de plasticidade alta, o horizonte C do latossolo, é classificado como não plástico, e o horizonte C do argissolo como plasticidade muito alta, conforme Tabela 4. Pode-se explicar a alta plasticidade do horizonte C do argissolo pela presença significativa de vermiculita nas frações argila e silte (Tabela 5). A vermiculita é um argilomineral que tem propriedades de superfície específicas tais como, uma grande capacidade de troca catiônica (100-150 cmolc/kg), carga superficial negativa, porosas, usadas como material absorvente. Sabe-se também que há relação direta entre a CTC e o Limite de Liquidez, devido as características citadas. Dessa forma pode-se explicar os resultados elevados de IP para este horizonte, mesmo tendo valores baixos de argila (9%), porém com 39% de silte. O somatório de finos de 48% e a presença de vermiculita em ambas as frações justificam esses valores de IP elevados. A análise dos resultados apresentados na tabela 4 permite concluir que segundo Bastos (1999), de acordo com a granulometria dos solos, as amostras LAT.B e ARG. B são consideradas solos com baixa erodibilidade, pois mais de 55% de suas partículas passam pela peneira # 200. E os horizontes LAT. C e ARG.C, são considerados solos de média a alta erodibilidade e de média a baixa erodibilidade, nesta ordem, pois possuem respectivamente menos de 35% de material que passa na peneira # 200 e de 35% a 55% de material que passa na peneira #200.

Com relação à plasticidade dos solos, de maneira geral, solos que possuem elevados IP, são solos mais plásticos (Bastos, 1999; Santos, 2001), portanto, possuem maior resistência a erosão. Assim, con-

forme esses parâmetros, todas as amostras estudadas com exceção da amostra LAT.C possuem boa resistência a erosão.

Hénensal (1987) propõe a classificação da erodibilidade dos solos a partir do critério D50 (diâmetro médio), onde solos com máxima erodibilidade apresentam seus diâmetros médios entre 0,06 e 0,12 mm. Enquadram-se nesse critério, as amostras LAT.C e ARG.C, apresentando máxima erodibilidade.

A relação silte/argila foi calculada através da análise granulométrica (Tabela 1) e constata-se que os horizontes B de ambos os perfis apresentam baixos valores em relação aos horizontes C, indicando que os solos residuais jovens são mais propícios a serem erodidos.

O Índice de Atividade das Argilas (Ia) indica a capacidade de expansão e contração de um solo, assim altos IA apontam para solos com maior probabilidade de se tornarem instáveis. As amostras LAT.B e ARG.B apresentaram Índices de Atividade inferiores a 0,75, conferindo a característica de argila inativa, em contrapartida a amostra ARG.C apresentou índice superiores a 1,25, sendo classificada como ativo. No LAT.C não foi possível determinar o índice de atividade pois este não apresentou plasticidade.

De acordo com a classificação pelo sistema SUCS, as amostras foram classificadas dentro dos grupos MH (LAT.B e ARG.B) e SM (LAT.C e ARG.C). Pela classificação HRB, as amostras foram classificadas nos grupos A-7-5 (LAT.B e ARG.B), A-7-6 (ARG.C) e A-3 (LAT.C). Esses dados permitem concluir que os horizontes B de ambos os per-

	Parâmetro Considerado	LAT.B	LAT.C	ARG.B	ARG.C
Bastos (1999)	Granulometria	Baixa erodibilidade	Média a alta erodibilidade	Baixa erodibilidade	Média a baixa erodibilidade
	Índice de Plasticidade	Baixa erodibilidade	Potencialmente erodível	Baixa erodibilidade	Baixa erodibilidade
Santos (2001)	Índice de Plasticidade	Boa resistência à erosão	Baixa resistência à erosão	Boa resistência à erosão	Boa resistência à erosão
Hénensal (1987)	Critério D50	Erodibilidade mínima	Máxima Erodibilidade	Erodibilidade mínima	Máxima erodibilidade
	Relação silte/argila	Baixa erodibilidade	Alta erodibilidade	Baixa erodibilidade	Alta erodibilidade

Tabela 4 Classificação dos materiais baseados nos índices de erodibilidade.

fis estudados (MH), são menos propensos a erodir quando comparados com os horizontes C (SM).

4.2 Caracterização Mineralógica

A composição mineralógica das frações argila e silte dos horizontes estudados, obtidas pelo DRX são expressas na Tabela 5. As frações argila do horizonte B do latossolo e do ARGISSOLO são compostos por caulinita e hidróxidos de ferro e alumínio, representados pela goethita e gibbsita, respectivamente.

Na fração silte, semelhante à fração argila, a caulinita está presente em todos os horizontes. Os argilominerais interestratificados, vermiculita e caulinita estão presentes nos horizontes B e C dos latossolos. No argissolo, a caulinita e a gibbsita estão presentes nos horizontes B e C, e a vermiculita só é observada no ARG. C. Esses dados mineralógicos justificam os resultados elevados do IP do ARG.C pela presença significativa da vermiculita.

Horizonte	Classe	Argila	Silte
LAT. B	LATOSSOLO	Caulinita, gibbsita e goethita	Interestratificado I-V: vermiculita, caulinita, gibbsita e quartzo
LAT. C	LATOSSOLO	Caulinita e illita	Interestratificado I-V: vermiculita, caulinita, illita e quartzo
ARG. B	ARGISSOLO	Caulinita, gibbsita e goethita	Caulinita, gibbsita e quartzo
ARG. C	ARGISSOLO	Vermiculita, caulinita, gibbsita	Vermiculita, caulinita e gibbsita

Tabela 5 Mineralogia do latossolo e do argissolo.

4.3 Ensaio Inderbitzen

A calibração completa do simulador de chuva pode ser visualizada na Tabela 6. O tamanho da gota de 1 mm de diâmetro, obteve a maior representatividade e através dele foi obtido o diâmetro da gota (2,28 mm), sendo possível então finalmente calcular a velocidade terminal da gota (6,8m/s). Essa velocidade é aceitável, pois uma precipitação simulada pode atingir no máximo 7m/s, de acordo com Meyer & Harmon (1979). A energia cinética pode ser calculada, através dos dados obtidos no ensaio de intensidade média de chuva.

Diâmetro da Gota	Velocidade Terminal da Gota	Energia Cinética da Gota
2,28mm	6,8 m/s	0,2716

Tabela 6 Calibração do simulador de chuva.

Os resultados obtidos através das simulações de chuva pelo Ensaio Inderbitzen Modificado nas inclinações de 11° e 20°, são apresentados na tabela 7 e na figura 8, onde são indicadas as perdas totais de solo de cada horizonte estudado, em gramas e em gramas/área.

Amostra/Inclinação da Rampa	Perda do Solo em Gramas (g)	Perda de Solo (g/cm ²)
LAT.B -11°	3,0637	0,0339
LAT.C -11°	4,1978	0,0465
ARG.B -20°	3,4942	0,0387
ARG.C -20°	4,6225	0,0512

Tabela 7 Índices de perda do solo de acordo com a inclinação da rampa.

A análise dos dados do Ensaio Inderbitzen, demonstrou que as menores perdas de material em gramas e perda de material por área, ocorreram no horizonte B do latossolo (3,0637g e 0,0339 g/cm²) e no horizonte B do argissolo (3,4942 g e 0,0387 g/cm²) e em menores massas nos horizontes C dos latossolos e argissolos. Esses dados acompanham os resultados encontrados nos índices determinados pelo D50, relação silte/argila e percentuais granulométricos. Sendo assim, conclui-se que os horizontes B de ambos os perfis apresentam menor grau de erodibilidade e justifica-se esses resultados pela maior maturidade pedogenética desses horizontes, observada pelas características morfológicas nos horizontes B, por não apresentar características texturais e estruturais do material de origem, pelo maior teor de argila.

Evidentemente, as maiores perdas de material por grama e as maiores perdas de material por área, ocorreram nos horizontes C, tanto do latossolo quanto do argissolo, pois esses horizontes são materiais de menor evolução genética, percentuais de argila reduzidas acarretando grãos mais suscetíveis ao arraste e provavelmente menor agregação do solo devido aos menores percentuais da fração argila.

Com relação às perdas de material com o tempo (Figura 8), pode-se notar que as maiores perdas

nos horizontes B do latossolo (LAT.B), B do argissolo (ARG.B), e C do argissolo (ARG.C) ocorreram nos cinco primeiros minutos e nos minutos finais (sessenta e cento e vinte minutos). Essa tendência também foi observada por Fácio (1991) e Mendes (2005). Esse último autor percebeu que posteriormente aos cinco primeiros minutos, geralmente ocorre uma estabilização e a retomada de perda em seguida, uma vez que no decorrer do ensaio, a frente de saturação progressiva do solo faz com que sua resistência seja superada e suas partículas carreadas.

Sendo assim, é de grande importância realizar o experimento em tempo superior a sessenta minutos, pois de acordo com Fácio (1991), geralmente no sexagésimo minuto a perda de solo já está estabilizada e esse fato não vem sendo determinado por grande parte dos pesquisadores que realizam esse ensaio.

Considerando-se os valores estabelecidos de erodibilidade, através do Ensaio Inderbitzen por Bastos (1999), todos os horizontes estudados, apresentam mediana erodibilidade (Tabela 8). A aplicação dos intervalos propostos por Bastos op. Cit., não são inteiramente compatíveis com as observações

de campo. No entanto, o Ensaio Inderbitzen, mostra claramente que os horizontes residuais jovens são mais propensos a sofrerem erosão hídrica.

Amostra	Taxa de Erodibilidade (g/cm ²)	Critério de Erodibilidade
LAT.B	0,0339	Mediana Erodibilidade
LAT.C	0,0465	Mediana Erodibilidade
ARG.B	0,0387	Mediana Erodibilidade
ARG.C	0,0512	Mediana Erodibilidade

Tabela 8 Critérios de erodibilidade, de acordo com Bastos (1999).

5 Conclusão

Os resultados permitiram concluir que os perfis de solos analisados nos cortes de taludes, apresentam comportamento geotécnico compatível com as observações de campo, já que o Ensaio Inderbitzen mostrou perdas de solo maiores nos horizontes residuais jovens. As observações de campo mostram que a erosão se inicia nos horizontes dos solos residuais jovens e desestabilizam os horizontes B e A.

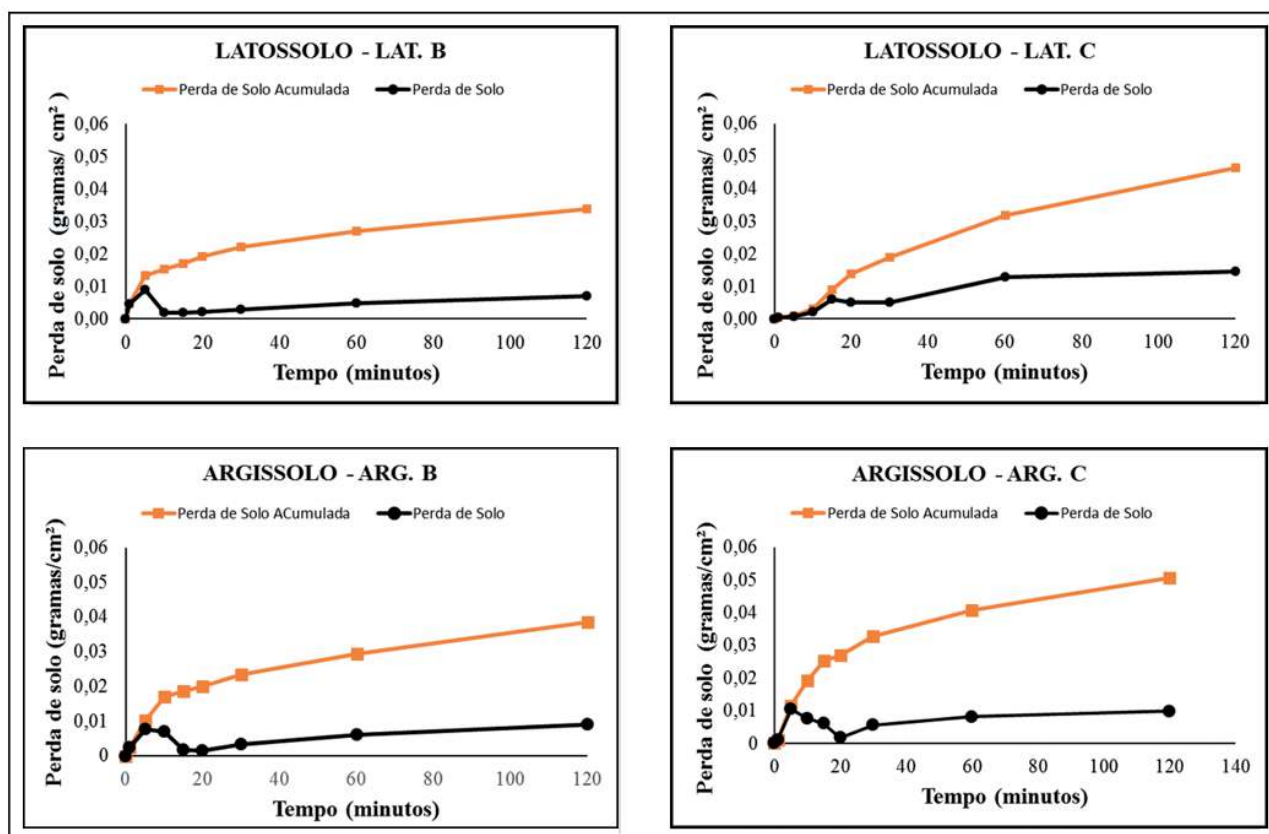


Figura 8 Gráficos de perda de solo (g/cm²) pelo tempo (minutos).

A granulometria, o parâmetro D50, a relação silte/argila e a classificação pelo sistema SUCS revelam que os horizontes B do latossolo e do argissolo, possuem menor susceptibilidade à erosão quando comparado aos horizontes C.

A relação silte/argila, o critério D50 demonstraram ser índices compatível com as observações de campo, onde verificou-se que os horizontes dos solos residuais jovens apresentaram valores significativamente mais elevados que os horizontes B de ambos os perfis analisados. Ressalta-se também a facilidade em obtenção desses índices.

O Critério que utiliza o índice de plasticidade isolado, não demonstrou ser um índice eficiente. Pode-se justificar a não aplicabilidade deste índice isolado, pois ele reflete não somente os percentuais de argila, como também a mineralogia dos solos. Pode-se constatar essa discrepância de resultado em material com baixo percentual de argila, porém com percentuais de finos significativa e presença expressiva de vermiculita em ambas as frações. Pelas características próprias desse argilomineral, de grande poder absorvivo de água, os valores dos índices de Atterberg apresentam-se elevados mesmo com baixos percentuais de argila.

Constatou-se que no talude no latossolo, a erodibilidade do horizonte C é 1,4 vezes maior que o horizonte B, e no talude no argissolo, a erodibilidade no horizonte C é 1,3 vezes maior que o horizonte B, embora os resultados obtidos pelo Ensaio Inderbitzen, situem os quatro horizontes na mesma classe de erodibilidade.

Os limites adotados para classificar a erosão pelo Ensaio Inderbitzen devem ser analisados em função das áreas estudadas. No entanto, fica evidente que o solo residual jovem é bem mais propenso a sofrer erosão hídrica que o horizonte maduro, sendo assim o Ensaio Inderbitzen é importante para analisar erosão hídrica.

De maneira geral, independente dos critérios utilizados, todos os horizontes B (latossolo e argissolo), possuem boa resistência à erosão. Em contrapartida, existem variações relacionadas ao grau de erodibilidade dos horizontes C (latossolo e argissolo), uma vez que esses solos podem ser classificados como solos de máxima erodibilidade a solos de baixa erodibilidade, conforme os critérios utilizados.

Ressalta-se que esses critérios devem ser utilizados para cada área de estudo e devem ser comparativos entre os horizontes analisados, pois ainda não há dados suficientes no Brasil para que seja estabelecido critérios rígidos de classes de erodibilidade em função do Ensaio Inderbitzen.

Através do presente estudo, com análises laboratoriais e observações de campo, fica claro que os cortes de taludes devem obedecer alguns critérios referentes às características geotécnicas dos solos e deve-se evitar que os cortes atinjam os solos residuais jovens ou, caso seja necessário, estas faces não devem ficar expostas, pois os processos de erosão iniciam-se nestes horizontes e progredem para os horizontes superiores, ocasionando áreas instáveis e erodidas.

O Ensaio Inderbitzen Modificado alcançou os objetivos esperados, uma vez que houve correspondência entre os dados investigados em campo e os resultados obtidos através dos ensaios comparando os diferentes horizontes de solos analisados em um perfil de solo.

Os resultados indicam que todos os horizontes estudados sofrem de alguma forma com os processos erosivos, porém os horizontes C por ainda serem jovens e conseqüentemente com baixa coesão e maior facilidade ao araste de partículas, estão mais vulneráveis a esse tipo de problema.

Dessa forma, esses taludes de corte não devem atingir o horizonte C, pois a perda de material na base do talude resulta em falta de suporte nos horizontes superficiais, podendo ocasionar sérios problemas nessas estradas, tais como impedimento de sua funcionalidade adequada, no entanto, caso seja necessário aprofundar o corte, estudos geológicos e geotécnicos devem ser levados em consideração no projeto dos cortes dos taludes.

A avaliação da erodibilidade dos diversos horizontes dos solos expostos pelo corte de talude é importante para medidas norteadoras de prevenção à erosão hídrica em taludes de corte.

6 Agradecimentos

A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado, ao Pro-

grama de Pós-graduação em Geologia pelo auxílio com recursos do PROAP para a realização dos trabalhos de campo, e as sugestões do revisor do artigo.

7 Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1989. NBR 5734: Solo: Análise Granulométrica por peneiramento: Método de Ensaio. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. NBR 6459: Solo: Determinação do Limite de Liquidez: Método de Ensaio. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm: Determinação da massa específica dos grãos. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. NBR 7180: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. NBR 7181: Solo: Análise Granulométrica por sedimentação. Rio de Janeiro.
- Ávila, L.O. 2009. *Erosão na microbacia do Arroio Sarandi: voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria/RS*. Programa de Pós-graduação em Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 114p.
- Bastos, C.A.B. 1999. *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 303p.
- Bastos, C.A.B; Milititsky, J. & Gehling, W. 2000. Avaliação Geotécnica da Erodibilidade dos Solos. In: SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 2, Porto Alegre, 2000, p. 203-211.
- Burmister, D.M. 1949. Principles and Techniques of soil Identification. In: ANNUAL HIGHWAY RESEARCH BOARD MEETING, *Proceedings*, National Research Council, Washington D.C., p. 402-434.
- Calderano Filho, B; Polivanov, H.; Barroso, E.V.; Guerra, A.J.T.; Chagas, C.S.; Carvalho Júnior, W. & Calderano, S.B. 2013. Cartografia Geoambiental no Médio Alto Curso do Rio Grande (RJ): Subsídios ao Planejamento de Paisagens Rurais Montanhosas da Serra do Mar. *Geociências*, 32(3): 560-576.
- Calderano Filho, B; Polivanov, H; Calderano, S.B; Barroso, E.V; Chagas, C.S.; Guerra, A.J.T.; S; Carvalho Junior, W. & Donagemma, G.K. 2013. Interpretação pedogeotécnica em paisagens montanhosas do Médio Alto Curso do Rio Grande, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, RJ. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos*, 227: 1-55.
- Calderano Filho, B.; Polivanov, H.; Calderano, S.B.; Guerra, A.J.T.; Chagas, C. S.; Carvalho Júnior, W.; Bhering, S.B. & Donagemma, G.K. 2012. Avaliação da aptidão agrícola das terras do médio alto curso do Rio Grande (RJ): Solos do médio alto curso do Rio Grande (RJ): subsídios ao planejamento de paisagens rurais montanhosas da serra do mar. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos*, 209: 1-41.
- Calderano Filho, B.; Polivanov, H.; Chagas, C.S.; Carvalho Júnior, W.; Barroso, E.V.; Guerra, A.J.T. & Calderano, S.B. 2014. Artificial neural networks applied for soil class prediction in mountainous landscape of the Serra do Mar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38: 1681-1693.
- Calderano Filho, B; Polivanov, H.; Carvalho Júnior, W.; Guerra, A.J.T.; Chagas, C.S. & Calderano, S.B. 2009. Caracterização dos solos do município de Bom Jardim - RJ, com suporte de MDE e variáveis morfométricas, como subsídios ao planejamento de paisagens rurais montanhosas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22, Fortaleza, *Trabalhos*, 2009, p.1-4.
- Casagrande, A. 1948. Classification and identification of soils. *Transactions ASCE*, 113: 901-930.
- CEIVAP, Geotecnologia e Consultoria. 2013. Plano Municipal de Saneamento Básico: plano regional de saneamento com base municipalizada nas modalidades água, esgoto e drenagem urbana. Produto 4 - Diagnóstico Setorial, Bom Jardim - RJ. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/saneamento/bomjardim>>. Acesso em 05 de Julho de 2017.
- Christiansen, J.P. 1942. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley, University of California, 124p.
- COPPE/UFRJ. Programa Estadual de Investimentos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - RJ. Governo do Estado do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://www.hidro.ufrj.br/COPPE/UFRJ/>>. Acesso em 01 de setembro de 2016.
- Dantas, M.E. 2001. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 1 CD-ROM.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1996. *Manual de pavimentação*. 2ª edição. Rio de Janeiro - RJ, 320p.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2015. Planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria>>. Acesso em: 05 de agosto de 2017
- Fácio, J.A. 1991. *Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal*. Programa de Pós-graduação em Geotecnica, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 107p.
- Freire, E.P. 2001. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 7 Goiânia, *Meio Digital*, 2011, p. 1-8.
- Fu, B.; Newham, L.T.H. & Ramos-Scharron, C.E. 2010. A Review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. *Environmental Modelling & Software*, 25: 1-14.
- Gray, D.H. & Sotir, R.B. 1996. *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization - A practical guide for erosion control*. New York, Wiley, 337p.
- Griebleler, N.P. 2005. *Modelo para dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de águas em estradas não pavimentadas*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Tese de Doutorado, 121p.
- Guerra, A.J.T. 1991. Avaliação da influência das propriedades do solo na erosão com base em experimentos utilizando um simulador de chuvas. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA

- FÍSICA APLICADA*, Porto Alegre, *Anais*, p. 260-266.
- Guerra, A.J.T. 2007. Processos erosivos nas encostas. *In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (Orgs.), Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 149-209.
- Hénensal, P. 1987. Le rique d'érosion hidrique des sols. *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées*. France, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 129p.
- Highway Research Board, 1955. The waasho road test – Part 2: Test data, analyses, findings. Special Report 22: U.S.A.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. Cidades: Bom Jardim. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330050>>. Acesso em 01 Julho 2017.
- Inderbitzen, A.P.L. 1961. An erosion test for soils. *Materials Research and Standards*, 1: 553-554.
- Jackson, M.L. 1969. *Soil chemical analysis-advanced course*. Madison, University of Wisconsin, 134p.
- Lemos, R.C. & Santos, R.D. 1984. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 46p.
- Mendes, C.A.R. 2005. *Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim – RJ*. Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 237p.
- Mendes, C.A.R.; Mahler, C.F. & Andrade, A.G. 2011. Erosão superficial em argissolo amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: 1387-1396.
- Meyer, L.D. & Harmon, W.C. 1979. Interrill runoff and erosion: Effects of row-sideslope shape, rain energy, and rain intensity. *Transactions of the ASAE*, 35(4): 1199-1203.
- Moore, D.M. & Reynolds Jr., D.C. 1997. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. New York, Oxford University Press, 378p.
- Oda, S.; Júnior, F.L.J. & Sória, M.H.A. 2007. *Caracterização de estradas não-pavimentadas visando a implementação de um sistema de gerência de vias*. São Paulo, Departamento de transporte-EESC-USP, Universidade de São Paulo, 15p.
- Oliveira, R.A. 1991. *Distribuição de gotas por tamanho e perfil de precipitação de um aspersor fixo*. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Viçosa, Dissertação de Mestrado, 103p.
- Ross, J.L.S. 1996. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. *In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (Org.), Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 291-336.
- Santos, C.A. & Merschmann, M.A.C. 2001. Ensaio de erodibilidade como parâmetro no estudo de ravinas e voçorocas, na região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto – MG. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO*, 7, Goiânia, *Meio Digital*, 2001, p.1-8.
- Silva, C.F. 2015. *Estudo da erosão de dois solos localizados em topossequência em estrada rural no município de Bom Jardim - RJ*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 126p.
- Sistema Alerta Rio da prefeitura do Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <<http://www.sistema-alerta-rio.com.br/previsao-do-tempo/termosmet/>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.
- Skempton, A.W. 1953. The Colloidal Activity of Clays, *In: ICSMFE*, 3, Zurich, 1953, *Proceedings*, p. 57- 61.
- Souza, C.C. 2012. *Avaliação experimental da erosão hídrica do horizonte B de um LATOSSOLO em laboratório*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 89p.
- Stillmunkes, R.T. & James, L.G. 1982. Impact energy of water droplets from irrigation sprinklers. *Transactions of the ASAE*, 25(1): 130-133.
- Wischmeier, W.H. & Mannering, J.V. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Proceedings of Soil Science Society of America*, 33: 133-137.