AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE UM CAMBISSOLO DE JUIZ DE FORA, MINAS GERAIS

Erodibility of an Inceptisol from Juiz de Fora, Minas Gerais

Letícia d'Agosto Miguel Fonseca* João Luiz Lani** Elpídio Inácio Fernandes Filho*** Eduardo Antonio Gomes Marques**** Williams Pinto Marques Ferreira****

RESUMO – O objetivo desse trabalho foi avaliar a erodibilidade de um Cambissolo existente na sub-bacia do Córrego do Yung, localizada em Juiz de Fora, mesorregião da Zona da Mata Mineira. Analisou-se o comportamento dos horizontes pedológicos B e C, e, a partir de ensaios geotécnicos, de caracterização mineralógica e de caracterização física dos materiais, foram estabelecidas correlações qualitativas com a sua erodibilidade. Assim, determinou-se a granulometria, os limites de liquidez e plasticidade, mineralogia (difração de raios-X), a erodibilidade (Inderbitzen) e a resistência ao cisalhamento direto. O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico. O ensaio de Inderbitzen apresentou maior perda de solo acumulado no horizonte C, em vista do menor teor de argila e ausência de estrutura, que condicionam grãos mais soltos. Também foi verificada menor resistência ao cisalhamento na condição inundada desse horizonte. Concluindo, na sub-bacia do Córrego do Yung as áreas com maior potencial de erosão são aquelas em que se expõe o horizonte C.

SYNOPSIS – The aim of this study was to evaluate the erodibility of an Incepitsol occurring in Córrego do Yung sub-basin, located in Juiz de Fora, Zona da Mata mesoregion, Minas Gerais State, Brazil. The behaviour of B and C soil horizons was analysed in relation to surface erosion, and, based on geotechnical, mineralogical and physical characterization of these materials, qualitative correlations with its erodibility were established. Soil texture, liquidity and plasticity limits, x-ray diffraction, erodibility (Inderbitzen) and direct shear strength tests were performed. The soil was classified as Cambisol Tb dystrophic latosolic. The Inderbitzen test has shown a greater soil loss from soil from the C horizon mainly because of its lower clay content and absence of soil structure, which provide looser grains. A lower shear resistance in saturated condition was also verified for this soil horizon. It has been concluded that the areas with higher erosion potential within the Yung sub-basin were those in which the C horizon is exposed.

PALAVRAS CHAVE - Erodibilidade, resistência, solo residual.

^{*} Aluna de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 12227-010, São José dos Campos/SP, Brasil. E-mail: leticiafonseca.geo@gmail.com

^{**} Professor Adjunto, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, DPS/Campus UFV, 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: lani@ufv.br

^{***} Professor Adjunto, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, DPS/Campus UFV, 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: elpidio@ufv.br

^{****} Professor Titular, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Viçosa, DPS/Campus UFV, 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: emarques@ufv.br

^{*****} Pesquisador, Embrapa Café, Villa Gianetti, Casa 46, Campus UFV, 36570-000, Viçosa/MG, Brasil. E-mail: williams.ferreira@embrapa.br

1 – INTRODUÇÃO

Deslizamentos de terra são eventos naturais de grande preocupação, especialmente no meio urbano e durante o período chuvoso. Ao longo dos últimos anos, esta preocupação tem aumentado em razão dos diversos acontecimentos ocorridos em várias regiões brasileiras, o que ocasionou inúmeras mortes, destacando-se os casos ocorridos na região Serrana e Angra dos Reis (2013) no Estado do Rio de Janeiro, e em diversas cidades de Santa Catarina (2008), entre outros.

A pedologia, através de procedimentos de caracterização, identificação, classificação e mapeamento dos solos, pode contribuir na solução de problemas envolvendo movimentos de massas de solo, erosão e, em especial, no caráter preditivo de identificação de áreas com maior suscetibilidade à ocorrência destes eventos. Isto pode facilitar o planejamento e melhor uso dos recursos naturais (Resende *et al.*, 2002; Pedron *et al.*, 2004).

A erodibilidade de um solo pode ser influenciada por suas propriedades físicas e químicas, pelas características geométricas das encostas (forma, tamanho e declividade), pela cobertura vegetal e pelo regime de chuvas (Vestena e Kobiyama, 2014). Esses fatores combinados na dinâmica espacial podem interferir na energia cinética das chuvas sobre os solos (Aquino *et al.*, 2012), além de interferir na capacidade de infiltração e armazenagem de água no solo (Petschko *et al.*, 2014).

No domínio dos "Mares de Morros" o horizonte C tende a ser muito profundo e há uma desproporção da profundidade do *solum* e solo, caracterizando o processo de rejuvenescimento do processo pedogeo-morfológico deste domínio (Rezende e Resende, 1996). Ainda segundo estes autores, nas porções mais íngremes, geralmente com o horizonte C exposto, há maior dificuldade de recomposição da cobertura vegetal devido à deficiência de nutrientes e de água estacional, aumentando, assim, os processos erosivos.

A dinâmica da água no solo é regida pela infiltração, condutividade hidráulica, demanda matricial do solo, evaporação e escoamento superficial. O escoamento superficial tem início quando a intensidade da chuva torna-se maior que a taxa de infiltração (Sadeghi *et al.*, 2012).

A erosão hídrica pode então ser definida como o processo de desagregação e transporte das partículas do solo (Bezerra *et al.*, 2010). Ao correlacionar com a textura, experimentos mostraram que aqueles solos com elevada quantidade de silte apresentaram maior suscetibilidade à erosão frente aos argilosos e arenosos sob as mesmas condições (Fu *et al.*, 2011).

Os principais fatores relacionados à resistência do solo ao escoamento são a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento, a qual corresponde à força hidráulica requerida para iniciar o processo de desprendimento das partículas do solo (Griebeler *et al.*, 2005).

O ensaio de erodibilidade de Inderbitzen (1961) simula o escoamento superficial que ocorre no campo, por meio da retirada de uma amostra de solo indeformada que é fixada à base de uma rampa, de modo que a superficie da amostra coincida com a superficie da rampa. A inclinação desta rampa pode ser alterada, bem como a vazão de escoamento (Griebeler *et al.*, 2005).

Bastos (1999) ao analisar o problema de erosão por escoamento concluiu que a resistência ao movimento dos grãos por ação do fluxo de água é dada pela resistência ao cisalhamento entre as camadas de grão superficial e subjacente na superfície do solo.

Portanto, a erosão depende da coesão do solo na superfície do talude, que pode ser alterada se houver infiltração de água. Sendo assim, o potencial de erodibilidade deve ser relacionado com a variação da coesão (Δc) entre as envoltórias de resistência obtidas com amostras na umidade natural e amostras inundadas (Bastos, 1999).

Stephan (2010) adaptou um equipamento de Inderbitzen na Universidade Federal de Viçosa para o estudo de três taludes localizados em Juiz de Fora, Minas Gerais.

Os canais de erosão provocados por escoamento superficial têm início quando a resistência mecânica do solo é excedida (Vestena e Kobiyama, 2014). A resistência do solo à erosão é dependente das suas características, como granulometria, constituição mineralógica e química, estrutura e capacidade de infiltração do solo (Barbosa e Lima, 2012).

Neste contexto, analisou-se o comportamento dos horizontes pedológicos B e C de um Cambissolo na área urbana de Juiz de Fora (MG) frente à erosão superficial, a partir de ensaios geotécnicos e a caracterização física dos materiais, na tentativa de estabelecer correlações com a sua erodibilidade.

Nos últimos anos a cidade de Juiz de Fora tem apresentado expansão urbana significativa. A Defesa Civil vem registrando ocorrências de deslizamentos de terra em diversas regiões da cidade, principalmente em época de chuva. Dentre as regiões com maior número de ocorrências de movimentos de massa e desenvolvimento de processos erosivos encontra-se a região Leste, na qual se insere o bairro Três Moinhos, que compõe a área de estudo, e que caracteriza-se por apresentar moradias sem infraestrutura básica e distribuídas de maneira irregular. Estas informações ressaltam a importância do mapeamento prévio de áreas suscetíveis à erosão, como ferramenta do planeja-mento urbano.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na sub-bacia hidrográfica do córrego do Yung, bairro Três Moinhos em Juiz de Fora, na mesorregião da Zona da Mata Mineira. A sub-bacia do córrego do Yung localiza-se na região leste da cidade e apresenta área de 35 ha, em relevo montanhoso com vegetação rasteira degradada e solo exposto (Fig. 1).



Fig. 1 – Localização da sub-bacia hidrográfica do córrego do Yung no município de Juiz de Fora, Minas Gerais.

A presença de vales profundos associados a encostas com elevadas declividades, conhecidos como "Mares de Morros" (Ab'Saber, 1996), sujeitos a maiores precipitações pluviométricas, características do clima tropical de altitude, constituem os principais fatores que imprimem à região uma dinâmica superficial bastante intensa, comummente sujeita a enchentes e movimentos de massa (Juiz de Fora, 2004). Litologicamente, a área é composta por um biotita gnaisse bandado com intercalações de quartzito impuro, gnaisse quartzoso, rocha anfibolítica e, subordinadamente, granada-gnaisse e rocha calcissilicática (CODEMIG, 2013).

2.2 - Coleta de solos e preparo das amostras

O solo coletado encontra-se no terço médio da topossequência, em corte de estrada. Nas amostras dos horizontes A e B foram realizadas análises físicas (granulometria) e químicas (EMBRAPA, 1997) e classificação (EMBRAPA, 2013).

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos, posteriormente destorroado, seco ao ar e passado em peneira de 2 mm (TFSA). As amostras utilizadas nos ensaios geotécnicos foram retiradas no topo da encosta, onde se observou maior clareza na transição dos horizontes. No total foram retiradas quatro amostras indeformadas cilíndricas com 20 cm de diâmetro (Fig. 2), duas caracterizando o horizonte B, entre 10 a 30 cm de profundidade, e duas representativas do horizonte C, de 50 a 70 cm de profundidade. As amostras foram parafinadas e revestidas por plástico filme, com a finalidade de preservar a sua estrutura e a umidade natural do campo (NBR 9604, 1986).



Fig. 2 – a) Local de retirada das amostras indeformadas para ensaio geotécnico.
b) Detalhe do platô para retirada do cilindro de 20cm de diâmetro.

Foram realizados ensaios geotécnicos de erodibilidade (Inderbitzen), caracterização completa, e cisalhamento direto, sendo este último seguindo-se a norma ASTM D 3080 (2004). Por fim, foram realizados ensaios de caracterização mineralógica por difratometria de raios-X.

2.3 – Análises de laboratório

Foram determinados alguns índices físicos dos materiais dos horizontes B e C, sendo estes: peso específico dos grãos (γ_s) (NBR 6508, 1984), granulometria (NBR 7217, 1987), Limites de Liquidez (NBR 6459, 1984) e Plasticidade (NBR 7180, 1984). A classificação geotécnica de solos utilizada foi a do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), que se baseia nestas propriedades-índice do solo (ASTM D 2487, 1985).

O equipamento de Inderbitzen consiste em uma rampa de alumínio com 170,0 cm de comprimento e 22,0 cm de base com um orifício circular de 14,4 cm de diâmetro para a fixação do corpo de prova. O orifício encontra-se a 120 cm do início do escoamento (Fig. 3). Há um reservatório de água de 40 litros e um rotâmetro que mede a vazão, permitindo que a mesma seja mantida constante durante a realização do ensaio (Stephan, 2010).





- a) Moldagem do corpo de prova.
- b) Peso do amostrador fixado na base.
- c) Determinação da vazão.
- d) Realização do ensaio de Inderbitzen.
- e) Solo seco transferido para o conjunto de peneiras.
- f) Material erodido em repouso para sedimentação.

Fig. 3 – Detalhe da realização do ensaio de Inderbitzen e da coleta e peneiramento do material erodido.

O cálculo da vazão utilizada no ensaio de Inderbitzen foi realizado por meio da fórmula da equação da continuidade (1).

$$Q = V.S \tag{1}$$

 $Q - vazão (m^3 s^{-1});$

V – velocidade do fluxo (m s⁻¹);

S – área da seção da rampa (m²);

em que:

$$V = i. A. c \tag{2}$$

c - coeficiente de *runoff*;

A - área de captação;

 i – intensidade média de chuva da região, dada pela Eq. 3 (as constantes foram obtidas pelo software Pluvio 2.1).

$$i = \frac{k T^a}{(t+b)^c} \tag{3}$$

i – intensidade média da precipitação intensa (mm h⁻¹);

T – período de retorno (anos);

t – duração da precipitação (min);

k, a, b, c - constantes.

O *software* Plúvio 2.1 foi elaborado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Este espacializa os dados de chuvas intensas pelo método do inverso da quinta potência da distância, fazendo com que as localidades mais próximas àquelas de interesse tenham maior peso na interpolação dos parâmetros da equação. Segundo os autores, o erro médio percentual encontrado em testes foi igual a 19,37%, valor considerado aceitável em se tratando de chuvas intensas (Cecílio e Pruski, 2003). Os valores determinados para os parâmetros de todas as equações estão disponíveis no banco de dados do Plúvio 2.1 (Pruski *et al.*, 2006). Sendo assim, é possível gerar a equação de chuva para qualquer cidade dos estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins.

Para a definição do tempo e da intensidade do escoamento superficial foi considerada a intensidade média de chuva de 25 anos com o tempo de duração de precipitação de 30 min. A vazão encontrada foi de 0,003 L min⁻¹. Devido à impossibilidade prática de utilizá-la, visto que o fluxo não se espalharia uniformemente pela rampa, adotou-se a vazão de 1,0 L min⁻¹ (16,7 ml s⁻¹). Em função deste aumento no fluxo a rampa foi ajustada a 10° de inclinação.

Foram realizadas duas repetições do ensaio de Inderbitzen para cada horizonte do solo. Para cada ensaio moldou-se o corpo de prova (Fig. 3a), e, em seguida este foi fixado no amostrador, pesado (Fig. 3b) e colocado na rampa, procedendo-se à calibração da vazão, durante a qual utilizou-se um plástico para a proteção da amostra (Fig. 3c). Após a calibração e estabilização da vazão no valor desejado iniciou-se o ensaio (Fig. 3d). O material carreado foi colocado em recipientes para sedimentação (Fig. 3f).

O material erodido foi transferido para cápsulas levadas para secar em estufa a 100°C por 24h. Após a secagem foi destorroado e transferido para um conjunto de peneiras (Fig. 3e), sendo pesado o material retido em cada peneira.

Para a determinação dos parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb, coesão (c) e ângulo de atrito (ϕ), foram realizados ensaios de cisalhamento direto cujos corpos de prova foram extraídos dos blocos de solo indeformados com o auxílio de um amostrador quadrado biselado com medida interna de 5 cm de lado e altura igual a 1,90 cm. Para cada horizonte foram ensaiados três corpos de prova com diferentes tensões normais: 50, 100 e 200 kPa, representativas das condições de campo. As velocidades adotadas foram de 0,100 mm min⁻¹ até o deslocamento máximo horizontal de 12 mm, previamente determinado com base no tempo estimado para ruptura de duas horas.

Após moldadas, as amostras foram colocadas em uma prensa de cisalhamento digital e os resultados foram obtidos por meio das leituras de deformação do corpo de prova até que as mesmas se estabilizassem.

Pelos resultados de ensaios de Inderbitzen realizados por Bastos (1999), observou-se que solos potencialmente erodíveis apresentaram elevadas variações de coesão com a inundação. Deste modo, este autor propôs a caracterização de solos com alta erodibilidade como sendo aqueles que apresentassem um fator de variação de coesão Δc dado pela Equação 4:

$$\Delta c = \frac{(c_{Nat} - c_{inu})}{c_{Nat}} \tag{4}$$

 Δc – variação da coesão;

c_{Nat} – coesão na condição natural (kPa);

c_{inu} - coesão na condição inundada (kPa).

Foram coletadas amostras dos horizontes B, C e Cr para a caracterização mineralógica por difratometria de raios-X. A fração argila obtida foi seca em estufa e preparada em lâmina de vidro sob a forma de películas orientadas, através da técnica do "esfregaço". Para a fração areia foram utilizadas lâminas escavadas. Os difratogramas de raios-X foram interpretados de acordo com Chen (1977), Brindley e Brown (1980) e Resende *et al.* (2011).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico (Fig. 4). O horizonte B incipiente apresentou características morfológicas similares às do horizonte B latossólico, diferindo por apresentar espessura menor que 50 cm (EMBRAPA, 2013).

O horizonte diagnóstico, identificado como B incipiente, apresentou estrutura fraca, em blocos, textura argilosa, argila de atividade baixa (4,27 cmolc kg⁻¹), V<50% e, a partir da determinação do pH em água e em solução salina (KCl), obteve-se Δ pH positivo, o que evidencia o seu avançado estágio de intemperismo (EMBRAPA, 2013).



Fig. 4 – a) Perfil do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico; b) Vista do relevo no ponto de coleta do perfil; c) Vista do relevo do ponto de coleta das amostras para ensaio geotécnico.

A declividade do local caracteriza-se como elevada, capaz de originar uma maior perda de material (Santos *et al.*, 2010). As características físicas, químicas e mineralógicas são apresentadas nos Quadros 1, 2 e 3.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia grossa (g kg ⁻¹)	Areia fina (g kg-1)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Classe textural	ADA (%)	Equivalente de umidade (kg kg ⁻¹)	Dp (g cm ⁻³)
А	0-20	310	160	70	460	Argilo- arenosa	11	0,231	2,67
В	20-40	210	140	100	550	Argila	2	0,284	2,62

Quadro 1 - Caracterização física dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

ADA - Argila dispersa em água; Dp - Densidade de partículas.

Horizonte	рН		Р	С	Ca ⁺²	Mg	K	Na	Al ⁺³	H + Al	SB	Т	V
	H ₂ O	KCI	mg dm-3	dag kg-1	cmolo	c dm ⁻³	mg	dm ⁻³		cm0	olc dm ⁻³ -		%
А	4,91	4,07	15,0	2,0	0,15	0,04	115		1,40	7,4	0,23	7,63	3,0
В	4,35	5,60	2,0	0,0	0,03	0,02	-		0,02	2,3	0,05	2,35	2,1

Quadro 2 - Caracterização química dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

Quadro 3 – Caracterização mineralógica dos horizontes B, C e Cr do Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico.

Horizonte	Profund (cm)	Fração						
Horizonte		Areia	Silte	Argila				
В	40	Quartzo	Caulinita, feldspato	Caulinita, goethita, gibbsita e hematita				
С	100	Quartzo	Caulinita	Caulinita, goethita e hematita				
Cr	200	Quartzo	Caulinita	Caulinita				

A mineralogia apresentou em sua composição essencialmente quartzo, caulinita e óxidos de ferro (hematita e goethita), o que evidenciou o seu alto grau de evolução pedogenética (intemperismo).

3.1 - Caracterização física

O horizonte B foi classificado como argila de alta compressibilidade e o horizonte C como silte de baixa compressibilidade de acordo com o SUCS (Quadro 4).

A amostra de solo do horizonte B foi classificada como argila de alta compressibilidade (CH), pois o limite de liquidez apresentou valor maior que 50%, e a amostra do horizonte C foi classificada como silte de baixa compressibilidade, LL<50%.

Horizonte	Limite	s de consistênc	cia (%)	Gra	Classifianaño		
	LL	LP	IP	Areia	Silte	Argila	Classificação
В	58	35	23	290	400	670	СН
С	49	38	11	380	440	180	ML

Quadro 4 – Limites de consistência, granulometria e classificação dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

LL - Limite de liquidez; LP - Limite de plasticidade; IP - Índice de plasticidade; CH - Argila de alta compressibilidade; ML - Silte de baixa compressibilidade.

A composição granulométrica do horizonte C (38% de areia, 44% de silte e 18% de argila) é semelhante à encontrada por Stephan (2010) (46% de areia, 34% de silte e 20% de argila), para solos semelhantes também coletados na bacia do Yung, ou seja, na mesma região. O solo foi considerado como altamente erodível, pois apresentou baixo teor de argila e elevados teores de silte e areia (Fragassi, 2001).

Um dos critérios adotados por Stephan (2010) foi a correlação com os limites de Atterberg; propôs-se então que LL<50% e IP próximo a 20% caracterizavam solos com potencial de erosão. Os resultados do horizonte C obtidos no presente estudo também atendem a este critério.

O critério proposto por Bastos (1999) para a correlação entre a granulometria e erodibilidade propõe que menos de 55% das partículas passem na peneira #200. Com base nesse critério, nenhum dos dois horizontes avaliados no presente estudo seriam considerados como erodíveis.

3.2 - Caracterização geotécnica

Os resultados de resistência ao cisalhamento direto foram obtidos nas condições natural e inundada (Quadro 5).

Hanizanta		Condição natural	Condição inundada			
Horizonte	W (%)	C (kPa)	φ (°)	C (kPa)	φ (°)	
В	33,5	20	29	4	33	
С	21,0	30	29	1	29	

Quadro 5 – Variáveis de resistência dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

W - teor de umidade; C - coesão; ϕ - ângulo de atrito.

Obteve-se o fator de variação da coesão (Δc) para os horizontes B e C, respectivamente, igual a 81% e 97%. Como, de acordo com o critério proposto por Bastos (1999), solos com elevada erodibilidade apresentam $\Delta c \ge 85\%$, conclui-se que este é o caso do horizonte C.

O material carreado pelo fluxo superficial foi plotado através da abertura da peneira em relação ao peso de solo seco por unidade de área, de acordo com Santos *et al.* (2002). O resultado foi obtido pela divisão do peso de solo retido em cada peneira pela área da amostra, em duas repetições para cada horizonte pedológico. Para fins de melhor entendimento e apresentação os dados foram convertidos de g cm⁻² para kg ha⁻¹ (Fig. 5). As peneiras utilizadas foram de 2 mm (#10); 1,18 mm (#16); 0,425 mm (#40); 0,25 mm (#60); 0,15 mm (#100) e 0,075 mm (#200).



Fig. 5 – Resultado da perda de solo seco acumulado por área, por abertura da peneira, considerando-se duas repetições para cada horizonte pedológico.

A perda de solo evidenciou pequena variabilidade nos resultados encontrados para os mesmos tipos de solo. Isto se deve às pequenas variações texturais naturais observadas nos perfis em campo, e até mesmo a perdas associadas ao ensaio. Entretanto, os resultados foram satisfatórios, pois evidenciaram a correlação da composição textural do horizonte do solo com a erodibilidade.

O horizonte C apresentou maior perda de solo acumulado, em vista do menor teor de argila e ausência de estrutura, que condicionam grãos mais soltos, portanto mais erodíveis. Também apresentou maior distribuição de tamanho de partículas erodidas, sendo aproximadamente 75% e 90% do material erodido em cada amostra, retidos na peneira de 0,075 mm.

Apesar da granulometria fina do horizonte B, foi observada maior retenção de material nas peneiras 0,425 mm e 0,15 mm. Entretanto, este resultado deve-se à estrutura do solo, pois quando a amostra foi submetida a um fluxo constante de água, esta manteve os agregados coesos, impedindo maior perda de solo.

Os dados de perda de solo por área, evidenciam que apesar da pequena diferença entre as repetições, os valores encontrados para o horizonte C foram maiores quando comparados com o horizonte B, fato que também pode ser explicado pela composição mineralógica, já que o horizonte C apresentou maior teor de areia, tendo sido constatado que esta fração é composta basicamente por quartzo. Já o horizonte B, devido ao maior teor de argila, apresenta óxidos de ferro e caulinita, que proporcionam uma maior estruturação dos agregados de partículas.

O solo foi pouco erodido quando comparado com os resultados encontrados por Stephan (2010) na mesma região, utilizando o mesmo amostrador circular. Essa diferença deve-se a diferenças no teor de areia (46% em Stephan, 2010) enquanto a amostra do horizonte C do presente estudo é composta por 38%.

O Horizonte B pode ser considerado resistente à erosão, de acordo com a proposta de Fragassi (2001), segundo o qual um solo que erode 0,02 g cm⁻² pode ser assim classificado.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na sub-bacia do Córrego do Yung as áreas com maior potencial de erosão são as que expõem o horizonte C. Entretanto, em vista do relevo movimentado, no horizonte B ocorrem constantes processos de erosão por solapamento, apesar desse apresentar maior resistência.

Os resultados da caracterização geotécnica dos horizontes pedológicos evidenciaram maior resistência à erodibilidade do horizonte B em relação ao horizonte C.

O cisalhamento direto mostrou que a resistência em ambos os horizontes é praticamente a mesma. Entretanto, ao ser saturado, o horizonte C apresenta menor resistência, o que também é evidenciado pelo fator de variação da coesão proposto por Bastos (1999).

Considerando a vazão de 1 L min⁻¹ em 30 min de duração do ensaio, a perda de solo seria de 8 842 kg ha⁻¹ e 3 027 kg ha⁻¹ para o horizonte C e B, respetivamente. Considerando a área total de 35 ha da sub-bacia, a exposição do horizonte C apresentaria uma perda de solo de aproximadamente 300 toneladas. Caso o solo exposto fosse o horizonte B, seriam erodidas 105 toneladas. Ou seja, quanto maior a exposição do horizonte C, maior a quantidade de sedimentos produzidos.

5 – AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e à CAPES, pela bolsa que permitiu a realização do estudo.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A. (1996). Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. V.V.H. Alvarez et al. (Eds.). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, pp. 1-18.
- Aquino, R.F.; Silva, L.M.N.; Freitas, D.A.F.; Curi, N.; Avanzi, J.C. (2012). Soil losses from Typic Cambisols and Red Latosol as related to three erosive rainfall patterns. R. Bras. Ci. Solo, 37: 213-220.
- ASTM D 2487 (1985). Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System).
- ASTM D 3080 (2004). Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions.
- Barbosa, M.C.R.; Lima, H.M. (2012). Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados com capim vetiver. R. Bras. Ci. Solo, 37: 113-120.
- Bastos, C.A.B. (1999). *Estudos geotécnicos sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Tese de Doutorado, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 251p.
- Bezerra, S.A.; Cantalice, J.R.B.; Cunha Filho, M.; Souza, W.L.S. (2010). Características hidráulicas da erosão em sulcos em Cambissolo do semiárido do Brasil. R. Bras. Ci. Solo. 34: 1325-1332.
- Brindley, G.W.; Brown, G. (1980). Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. London: Mineralogical Society, 495p.
- Cecílio, R.A.; Pruski, F.F.(2003). Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.3, pp. 501-504.
- Chen, P-Y. (1977). *Table of key lines in x-ray powder diffraction patterns of mineral in clays and associated rocks*. Indiana: Bloomington, 65p. (Dep. of Natural Resources Geological Survey Occasional Paper 21).
- CODEMIG (2013). *Mapeamento geológico Projeto Sul de Minas, Minas Gerais*. Disponível em http://www.codemig.com.br/. Acesso em Janeiro 2014.
- EMBRAPA (1997). *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 212p.
- EMBRAPA (2013). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Ver. ampl. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília, DF. 353p.
- Fragassi, P.F.M. (2001). Estudo da erodibilidade dos solos residuais de gnaisse da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG). Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 119p.
- Fu, Zhiyong; Li, Zhaoxia; Cai, Chongfa; Shi, Qinxue; Wang, Xiaoyan (2011). Soil thickness effect on hydrological and erosion characteristics under sloping lands: A hydropedological perspective. Geoderma, 167-168, pp. 41-53.

- Griebeler, N.P.; Pruski, F.F.; Mehl, H.U.; Silva, D.D.; Oliveira, L.F.C. (2005). Equipamento para determinação da erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo em canais de estradas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.9, n.2, pp. 166-170.
- Inderbitzen, A.L. (1961). An erosion tests for soils. Material Research & Standards. I (7): 553-554.
- Juiz de Fora (2004). *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano*. Prefeitura Municipal de Juiz de Fora. Juiz de Fora: FUNALFA Edições, 394p.
- NBR 6459 (1984). *Determinação do Limite de Liquidez*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, 6p.
- NBR 6508 (1984). Grãos soltos que passam na peneira de 4,8mm Determinação da massa específica. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, 8p.
- NBR 7180 (1984). *Determinação do Limite de Plasticidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, 3p.
- NBR 7217 (1987). Agregados Determinação de composição granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro. 3p.
- NBR 9604 (1986). Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, 9p.
- Pedron, F.A.; Dalmoli, R.S.D.; Azevedo, A.C.; Kaminsk, J. (2004). Solos Urbanos. Ciência Rural. Santa Maria. v. 34, n. 5, pp. 1647-1653.
- Petschko, H.; Brenning, A.; Bell, R.; Goetz, J.; Glade, T. (2014). Assessing the quality of landslide susceptibility maps – case study Lower Austria. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 14, pp. 95-118.
- Pruski, F.F.; Teixeira, A.F.; Silva, D.D.; Cecílio, R.A.; Silva, J.M.A. (2006). *Plúvio 2.1: Chuvas intensas para o Brasil*. In: HIDROS. Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas. F.F. Pruski et al. (Eds.). Viçosa-MG: Editora UFV, pp. 15-25.
- Resende, M.; Curi, N; Ker, J.C.; Rezende, S.B. (2011). *Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações*. 2^a. ed. Lavras: UFLA, 206 p.
- Resende, M.; Lani, J.J.; Rezende, S.B. (2002). Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. Rev. Árvore, v.26, n.3, Viçosa.
- Rezende, S.B.; Resende, M. (1996). Solos dos Mares de Morros: Ocupação e uso. In: Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável V.V.H. Alvarez et al. (Eds.). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, pp. 261-289.
- Sadeghi, S.H.; Moosavi, V.; Karami, A.; Behnia, N. (2012). Soil erosion assessment and prioritization of affecting factors at plot scale using the Taguchi method. Journal of Hydrology, 448, pp. 174-180.
- Santos, A.C.; Pereira, M.G.; Anjos, L.H.C.; Bernini, T.A.; Cooper, M.; Nummer, A.R.; Francelino, M.R. (2010). Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de Mar de Morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. R. Bras. Ci. Solo, 34: 1297-1314.
- Santos, C.A.; Sobreira, F.G.; Netto, A.L.C. (2002). Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto - MG. R. Esc. Minas. Ouro Preto. n.55, pp. 285-290.

- Stephan, A.M. (2010). Estudo geotécnico de processos erosivos em três encostas em Juiz de Fora/MG. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 148p.
- Vestena, L.R.; Kobiyama, M. (2014). Identificação e mapeamento dos processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Caeté, no município de Alfredo Wagner/SC. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.15, n.1, pp. 23-33.