

POTENCIAL EROSIVO DE PERFIL DE SOLO DE TALUDE DE CORTE ATRAVÉS DE ENSAIOS DE INDERBITZEN.

EROSIVE POTENTIAL OF A CUT SLOPE SOIL PROFILE THROUGH INDERBITZEN TESTS

Rafael Ferro Moreira¹, Helena Polivanov¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio De janeiro, RJ, Brasil

Correspondência para: Rafael Ferro Moreira (rafaferro@oi.com.br)

doi: 10.12957/geouerj.2018.32158

Recebido em: 9 jan. 2018 | Aceito em: 27 jan. 2018



RESUMO

A sub-bacia do rio Sana apresenta feições erosivas indicativas de elevada susceptibilidade à erosão em caso de exposição dos solos, embora se encontre preservada por ser um local turístico e de pequena ocupação. Ao longo da sua estrada principal, taludes de corte expõem solos erodíveis que geram problemas de ordem social e econômica. Assim, este trabalho tem como objetivo a classificação da erodibilidade comparativa desses materiais através da consistência e da massa erodida pelo escoamento superficial e salpicamento, de forma a caracterizar suas erodibilidades. Foi selecionado um talude de corte com características que representam os solos da região e foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de horizontes pedológicos (B) e saprolíticos (C) para a realização de ensaios caracterização física e geotécnica, através de ensaios de Inderbitzen modificados. As análises mostraram que os horizontes saprolíticos são bem mais erodíveis que os pedológicos, portanto os cortes de taludes na região devem ser realizados levando em consideração essas diferenças de erodibilidade entre os horizontes de forma a reduzir os riscos de escorregamento e os custos com obras de contenção como também garantir a segurança da população.

Palavras-chave: sub-bacia, talude de corte, erodibilidade, consistência, inderbitzen

ABSTRACT

Sana river sub-basin shows erosive features which indicate high susceptibility to erosion in case of soil exposure, although it is preserved because it has been a tourist place and its occupation is relatively small. Along its main road, cut slopes expose erodible soils which generate problems of social and economic order. Thus, this work aims to classify the comparative erodibility of these materials through consistency and eroded mass by surface runoff and simulated rain drops, in order to characterize their erodibilities. A representative cut slope with exposing soils of this region was selected and disturbed and undisturbed samples of pedological (B) and saprolitic horizons (C) were collected to perform physical characterization and geotechnical tests, through modified Inderbitzen tests. Results showed that the saprolitic horizons are much more erodible than the pedological ones, therefore slope cuts in the region must be carried out taking into account these erodibility differences between the horizons in order to reduce landslide risks and costs with containment works as well as to guarantee the safety of local population.

Keywords: sub-basin, cut slope, erodibility, consistency, inderbitzen

INTRODUÇÃO

O processo erosivo em taludes tem preocupado as autoridades competentes uma vez que os já existentes naturalmente ou produzidos artificialmente, devido à execução de obras, podem sofrer

instabilização por meio da exposição de suas superfícies à chuva ou mesmo pela alteração das suas declividades.

A erodibilidade dos solos de um talude é influenciada por suas propriedades físicas e químicas bem como por alterações na geometria original e ação da chuva pelo gotejamento e escoamento superficial. Dessa forma, a utilização de ensaios que visem caracterizar a erodibilidade dos solos de áreas susceptíveis ao processo erosivo torna-se uma importante ferramenta para o estabelecimento de políticas de uso e ocupação adequadas.

Uma das maneiras de se obter um índice de erodibilidade é através do ensaio de Inderbitzen (1961), que inicialmente simulava o escoamento superficial, sofrendo diversas modificações ao longo do tempo, inclusive com a utilização de simuladores de chuva, embora não seja normatizado. Assim, essas novas abordagens refletem o efeito do gotejamento da chuva e do escoamento superficial hídrico sobre o talude.

A sub-bacia do Sana (Macaé, RJ) apresenta histórico de substituição da vegetação nativa nas regiões próximas aos vales em áreas de pastagens (MAYER & ARAÚJO, 2003), com desenvolvimento de terracetes de pisoteio de gado que podem evoluir para feições erosivas avançadas. Além disso, os cortes de estrada, expondo esses solos, podem agravar a situação.

Assim, esse trabalho estudou a erodibilidade de horizontes pedológicos e residuais de talude de corte com solos representativos da sub-bacia do Sana com o objetivo de investigar os materiais sob o aspecto erosivo do talude. Para tal, foi realizado ensaio Inderbitzen modificado para simular as condições de declividade e precipitação críticas para o processo erosivo na região de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área

A sub-bacia do rio Sana (Figura 1) se localiza no norte fluminense, na serra de Macaé e pertence ao domínio de escarpas serranas (DANTAS, 2001).

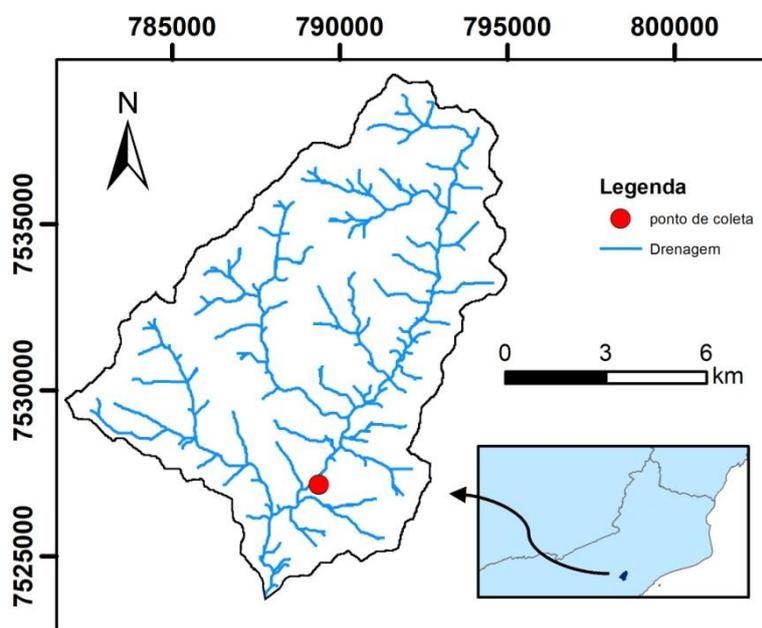


Figura 1. Localização da sub-bacia do Rio Sana e do ponto estudado.

A sub-bacia do rio Sana é geologicamente composta pelas unidades São Fidélis e Sana, formadas por gnaisses e granitos leucocráticos (GERALDES et al., 2012). Suas classes geomorfológicas predominantes são forte ondulado e montanhoso, segundo critério de EMBRAPA (2011), nos quais prevalecem as classes pedológicas Cambissolo e Neossolo Litólico..

Materiais

O talude de corte estudado (Figura 2), localizado na rua não pavimentada José de Jesus Junior, apresenta horizonte A de 10 cm, B de 1,5 a 2,5m e C de 2,0 a 3,0+ m e sua altura total varia entre 3,5 a 5,5 m. A inclinação do corte é de 80° e o mesmo foi escolhido por expor os solos que predominam na região. Os horizontes observados nesse corte, de orientação inclinada, foram denominados B amarelo, B vermelho, C amarelo e C vermelho. Conforme a carta de Munssel (1946) e Lemos & Santos (1996), os horizontes pedológicos B amarelo e B vermelho possuem cores bruno-amarelado e vermelho-amarelado, respectivamente, e textura franco argilo-arenosa; os horizontes saprolíticos C amarelo e C vermelho possuem cores amarelo-brunado e vermelho, respectivamente, e

textura franco-arenosa. Todos os horizontes possuem textura granular pequena e poros pequenos e comuns.

A região é caracterizada pelo desenvolvimento de feições erosivas do tipo sulcos, ravinas e até mesmo voçorocas quando os solos são expostos, devido ao processo de pisoteio de gado e à execução de cortes de talude. Aliado a isso, o relevo forte ondulado e montanhoso da área aumenta a intensidade dos processos erosivos, haja vista que a mesma recebe forte influência da Serra do Mar, com precipitações elevadas nos meses de verão.

Os materiais foram coletados conforme a norma NBR9604 (ABNT, 1986b) nas formas deformadas e indeformadas, com as primeiras armazenadas em sacos plásticos, e as últimas em caixas cúbicas de madeira de 40 cm³, num total de oito amostras, as quais foram retiradas nas profundidades de 1,4m, 2,8m, 3,3m e 3,9m, para os horizontes B amarelo, B vermelho, C amarelo e C vermelho, respectivamente.



Figura 2. Talude de corte utilizado para retirada de amostras para ensaios.

Métodos

Os materiais foram submetidos à caracterização física com a determinação da granulometria, teor de umidade, massa específica dos grãos e limites de plasticidade e liquidez, consoante as normas NBR7181 (ABNT, 1984c), NBR6457 (ABNT, 1986a), ME 093 (DNER, 1994), NBR7180 (ABNT,

1984b) e NBR 6459 (ABNT, 1984a). Os horizontes de solo foram classificados pelo SUCS (CASAGRANDE, 1948), que leva em consideração a granulometria e os índices de consistência.

O ensaio de Inderbitzen modificado foi realizado através de uma estrutura de acrílico formada por uma rampa hidráulica com dimensões de 128cm de comprimento por 20 cm de largura, com abertura em forma paralelepípedica com base quadrada de 10 cm de lado e profundidade de 8cm (Figura 3) onde é acoplado o corpo de prova com amostrador de alumínio biselado na parte inferior e de dimensões da mesma ordem que o orifício da rampa, de forma que o nível superior da amostra de solo coincidissem com o nível da rampa, a fim de que o escoamento hídrico resultante da atuação do simulador de chuva, sobre a rampa atingisse a amostra de forma tangencial. A rampa possibilita inclinação com variação entre 0° e 60° , que pode ser definida com auxílio de transferidor acoplado (Figura 4).

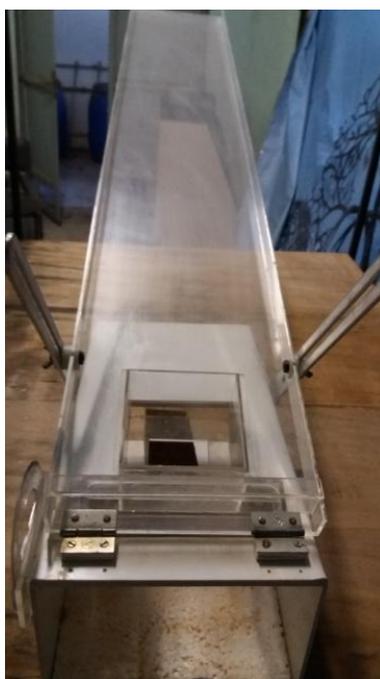


Figura 3. Equipamento de Inderbitzen modificado.



Figura 4. Definição da inclinação através de transferidor acoplado à rampa.

O simulador de chuva encontra-se conectado a um pressurizador que permite estabelecer pressões hídricas de entrada até 40 psi. No entanto, foi utilizada pressão de 25 psi, que de acordo com calibração aferida possibilita uma intensidade da ordem de 56 mm/h, que é correspondente às intensidades mais elevadas de chuva para a área do presente estudo. A inclinação adotada foi de 24° que é aproximadamente o limite superior da classe de relevo forte ondulado (IBGE, 2007), o qual predomina na sub-bacia de estudo. As amostras foram ensaiadas nas condições iniciais de umidade natural e inundada. Esta última condição foi obtida através da inserção do corpo de prova com amostrador metálico suportado na base por pedra porosa e papel filtro em recipiente com adição de água até próximo do topo da amostra, por um tempo de 24h de inundação, ao fim do qual todas as amostras apresentaram brilho no topo, indicando condições próximas da saturação.

Após a organização dos recipientes coletores (Figura 5), inclinação definida e introdução da amostra no orifício da rampa, e leve umidificação da rampa (a fim de diminuir a resistência ao fluxo de água pela rampa), a amostra e a rampa foram protegidas por lona plástica até a estabilização da vazão do simulador de chuva.



Figura 5. Recipientes de coleta de amostra desagregada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização física dos horizontes pedológicos (B) e saprolíticos (C) é apresentada na Tabela 1 e na Figura 6.

Horizontes	Granulometria (%)						Índices Físicos		Limites de Atterberg (%)			SUCS
	A	S	AF	AM	AG	P	h (%)	s (g/cm ³)	LL	LP	IP	
B amarelo	22	17	16	29	13	3	20,7	2,61	49	36	13	SM
B vermelho	24	14	17	25	16	4	20,3	2,65	51	42	9	SM
C amarelo	12	16	26	36	9	1	10,3	2,60	34	30	4	SM
C vermelho	12	26	18	25	17	2	15,6	2,64	39	33	6	SM

Tabela 1. Caracterização Física. Argila (A), Silte (S), Areia Fina (AF), Areia Média (AM), Areia Grossa (AG), Pedregulho (P), unidade natural (h), Massa específica dos grãos (s), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

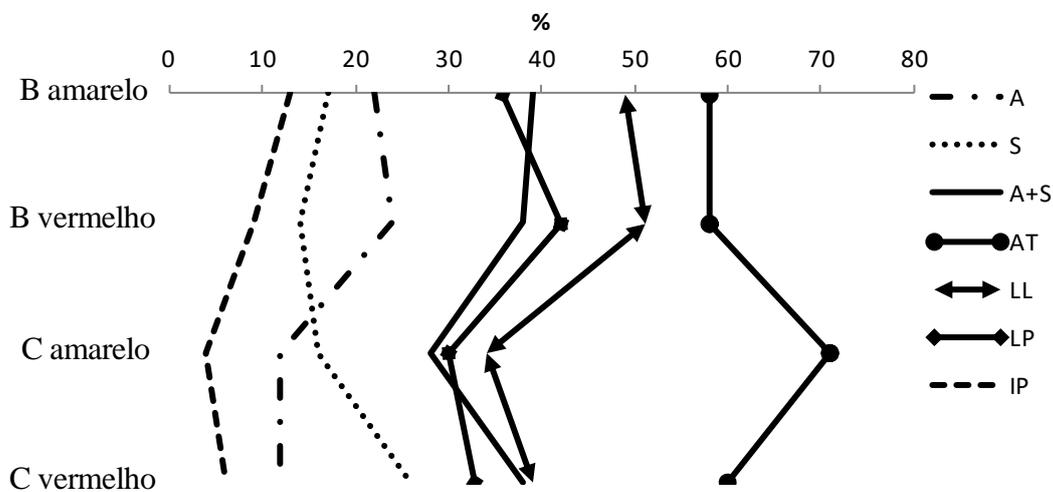


Figura 6. Variação das frações granulométricas e índices de consistência. Argila (A), Silte (S), A+S (Argila + Silte), Areia Total (AT), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP).

De acordo com a classificação SUCS, proposta por Casagrande (1948), todos os horizontes de solo são SM (areias siltosas). Pela classificação de Shepard (1954), os horizontes saprolíticos (C) são areias siltosas enquanto os pedológicos (B) são areias argilosas, de forma que a fração argilosa exerce nesses últimos uma maior agregação que contribui para sua menor erodibilidade frente aos horizontes C.

Os resultados mostram que os limites de liquidez (LL), plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP) diminuem à medida que os teores de argila ficam menores, enquanto as frações silte e areia total se comportam de maneira inversa. Assim, a faixa de umidade na qual os horizontes de solo pedológicos (B) deformam plasticamente em resposta às tensões cisalhantes é relativamente maior, em função dos maiores teores de argila, o que contribui para sua menor erodibilidade. As maiores porcentagens somadas de silte e areia fina nos horizontes saprolíticos (C), que são frações menores sem a

agregabilidade proporcionada pela fração argila, também cooperam para sua maior erodibilidade. Tais interpretações corroboram com a classificação de Jenkins (1947) para os horizontes de estudo, onde os horizontes pedológicos (B) são medianamente plásticos ($7\% < IP < 15\%$) enquanto os saprolíticos são fracamente plásticos ($1\% < IP < 7\%$).

Os resultados dos ensaios de Inderbitzen modificados foram expressos em massa erodida acumulada por área por tempo nas condições de umidade natural e inundada por 24h (Figura 7).

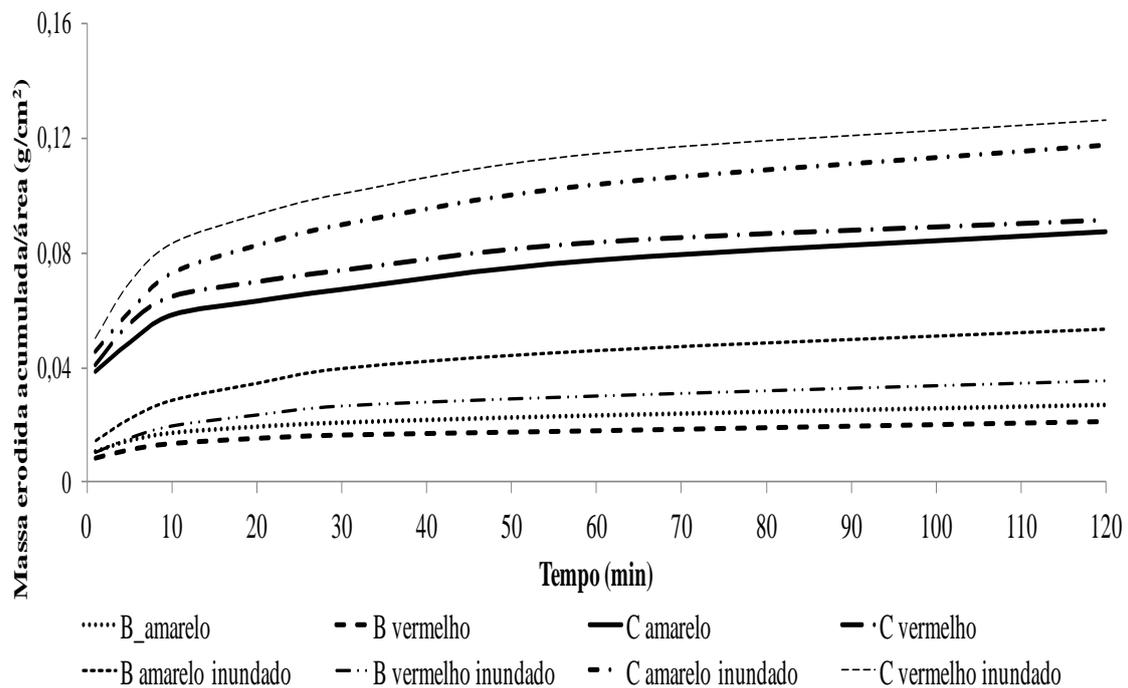


Figura 7. Massa erodida acumulada por unidade de área (g/cm^2) x tempo de ensaio (min) para amostras de solo na condição de umidade natural e inundada por 24h

Os horizontes B amarelo e B vermelho (pedológicos) apresentaram menores perdas totais pela erosão hídrica, em ambas as condições de umidade, em relação aos horizontes C amarelo e C vermelho (saprolíticos), o que indica maiores resistências ao arraste hídrico, que estão relacionadas aos seus maiores índices de plasticidade (IP) e teores de argila e menores teores de areia total, fato também observado por Grando et al. (2009). Além disso, ao se comparar as perdas de solo para um mesmo horizonte nas condições de umidade natural e inundada, para esta última todos os horizontes foram mais erodíveis, pois com o aumento do grau de saturação, houve uma diminuição da sucção matricial, resultando em menores coesões aparentes na condição inundada.

Os resultados também foram expressos em massa erodida por área por tempo nas condições de umidade natural e inundada por 24h, apresentados na Figura 8. As erodibilidade calculadas para o tempo de 10 minutos estão na Tabela 2.

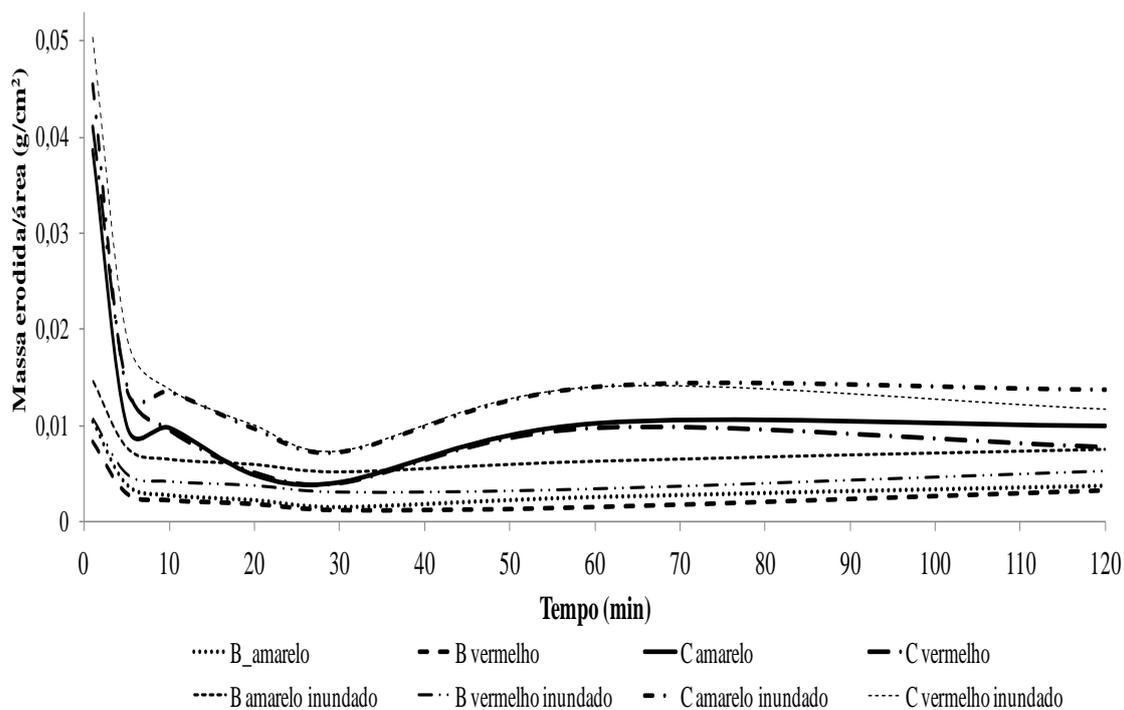


Figura 8. Massa erodida por unidade de área (g/cm^2) x tempo de ensaio (min) para amostras de solo na condição de umidade natural e inundada por 24h.

Horizonte	Condição de umidade	Erodibilidade em $t=10\text{min}$ ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)
B amarelo	natural	0,003
	inundada	0,007
B vermelho	natural	0,002
	inundada	0,004
C amarelo	natural	0,010
	inundada	0,014
C vermelho	natural	0,010
	inundada	0,014

Tabela 2. Erodibilidade dos horizontes estudados nas condições de umidade natural e inundada, expressa em $\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$.

Ao se considerar o critério de Bastos (1999), a partir do qual a erodibilidade é a massa erodida por área no tempo de 10 min, uma vez que a primeira frente de fluxo tende a superestimar a erodibilidade (o que é corroborado pelas maiores perdas nos 5 primeiros minutos) e tempos muito mais longos de ensaio tendem a descaracterizar as amostras, com criação de depressões ou geração de colapsos em função da saturação das amostras, fato observado por Ramidan (2003), Grandó et al. (2009) e Silva & Guerra (2015), os horizontes saprolíticos (C) foram os que apresentaram maiores valores de perda no tempo de 10 min, tanto na condição de umidade natural quanto na condição inundada por 24h, o que ratifica suas menores resistências ao arraste hídrico, em função de suas menores plasticidades e teores de argila, resultando em menor agregabilidade e estabilidade durante o processo erosivo. Também é possível observar que para cada horizonte, a erodibilidade no tempo de 10 minutos foi maior na condição inundada, pois com o aumento do grau de saturação, houve redução da sucção e, conseqüentemente, menor resistência ao arraste hídrico em função da perda de coesão aparente, fato também observado por Campos & Rodrigues (2015).

Ao se considerar o critério classificatório de Bastos (1999), no qual solos de elevada erodibilidade apresentam perdas superiores a 0,1 g/cm²/min, solos de intermediária erodibilidade apresentam perdas entre 0,1 e 0,001 g/cm²/min e solos de baixa erodibilidade apresentam perdas menores que 0,001 g/cm²/min, todos os horizontes de solo são classificados como de erodibilidades intermediárias. Contudo, ao se observar os valores da tabela 2, nota-se uma clara distinção entre a erodibilidade dos horizontes saprolíticos, mais erodíveis, em relação aos pedológicos, ao se considerar tanto a condição de umidade natural quanto a condição inundada, fato que é reflexo da menor resistência ao arraste hídrico dos horizontes saprolíticos, em função de sua menor agregabilidade, pois possuem menores teores de argila, que é um dos agentes responsáveis por conferir maior coesão e plasticidade aos horizontes de solo.

CONCLUSÕES

Na sub-bacia do rio Sana, os horizontes de solo que apresentam maior potencial de erosão são os saprolíticos (C) comparativamente aos horizontes pedológicos (B), embora o pisoteio de gado gerando

terracetes seja uma feição desencadeadora de processos erosivos mais intensos nas duas variedades. Este aspecto aponta que cortes de estradas realizados nesses materiais devem ser feitos com estudos geotécnicos apropriados, pois os mesmos ao expor o solo residual jovem com a abertura do corte, principalmente em locais onde o pisoteio de gado é intenso, tendem a desencadear instabilidade nos taludes, levando ao início desse processo nos horizontes saprolíticos, que evolui até os horizontes pedológicos.

O ensaio de Inderbitzen Modificado, com simulador de chuva, possibilitou retratar em laboratório as condições críticas de precipitação e declividade observadas em campo através da medição direta da massa erodida, ao comprovar que os horizontes saprolíticos (C) são mais erodíveis que os pedológicos (B), em função da menor agregabilidade, explicada por menores teores de argila e índices de plasticidade, que refletem menores coesões aparentes e, conseqüentemente, resistências ao processo erosivo.

O critério proposto por Bastos para classificação da erodibilidade com base em ensaios de Inderbitzen foi definido para solos de uma forma geral, com a ressalva de que os ensaios apresentassem especificações próximas às do referido autor. Apesar do ensaio desse estudo ter sido realizado com a simulação de chuva ao invés de fluxo com vazão constante, os limites de classificação se adequaram à erodibilidade relativa aos horizontes de solo estudados, embora se deva salientar que tais limites possam sofrer variações em decorrência de mudanças de condições de ensaio e das propriedades dos materiais de cada área.

O trabalho contribui para estudos de planejamento de cortes de taludes ao apontar que há diferenças de potencial de erodibilidade superficial nos distintos horizontes de perfis de solos.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela bolsa de estudos de pós-graduação

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984a.

_____. NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984b.

_____. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984c.

_____. NBR 6457: Amostras de Solo - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986a.

_____. NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas: procedimento. Rio de Janeiro, 1986b.

BASTOS, C.A.B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. 1999. 298f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

CAMPOS, C. J. M. & RODRIGUES, R. A. Análise da erodibilidade de um solo arenoso por meio de ensaios de Inderbitzen e cisalhamento direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: ABGE, 2015. 8p.

CASAGRANDE, A. Classification and identification of soils. Am. Soc. Civil Eng., Virgínia, v. 113, p. 901-930. 1948.

DANTAS, M. E. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro. In: SILVA, L. C. & CUNHA, H. V. S. (Eds.). Geologia do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CPRM, 2001, 63p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 093: Solos - determinação da densidade real: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de métodos de análises de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

GERALDES, M. C. [et al]. Geologia e recursos minerais da folha Casimiro de Abreu, SF.23-Z-B-I, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000. Belo Horizonte: CPRM, 2012. CD-ROM.

GRANDO, A. [et al]. Erodibilidade do solo de uma microbacia experimental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. Anais... Campo Grande: SBRH, 2009. 19p.

INDERBITZEN, A.L. An erosion test for soils. Materials Research & Standards, Philadelphia, v. 1, p. 553-554. 1961.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 316 p.

JENKINS, H. T. The Physical Properties of Soils. Madison: Comstock Publishing Company, 1947. 108p.

LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas: SBCS, 1996. 84p.

MAYER, J.M. & ARAÚJO, J. R. Teia serrana: formação histórica de Nova Friburgo. Rio de Janeiro: ALT, 2003. 318p.

MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell Color Soil Charts. Baltimore: Kollmorgen Corporation, 1946. 22p.

RAMIDAN, M.A.S. Estudo de um processo de voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara-GO. 2003. 242f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, v. 24, p. 151-158. 1954.

SILVA, L. F. T. C. & GUERRA, A. J. T. Avaliação da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha) através da análise das propriedades físico-químicas dos solos. *Revista Geonorte, Amazonas*, v. 6, p.1-23. 2