

Estudo da erodibilidade de solos em encostas no sudeste do Brasil

Stélio Maia Menezes

Eng. Civil (UNIFOR, 1985), Mestre em Eng. Civil (USP, 1990), Doutor em Eng. Civil (USP, 1997), Professor da Universidade Federal de Minas Gerais, Caixa Postal 3037 - DEG, 37.200-000, Lavras-MG, e-mail: stelio@ufla.br

David de Carvalho

Eng. Civil (USP, 1978), Mestre em Engenharia Civil (USP, 1982), Doutor em Engenharia Civil (USP, 1991), Professor da UNICAMP.

Paulo José Rocha de Albuquerque

Eng. Civil (UNICAMP, 1993), Mestre em Engenharia Civil (UNICAMP, 1996), Doutor em Engenharia Civil (USP, 2001), Professor da UNICAMP.

Resumo

A região Sudeste do Brasil tem ultimamente apresentado um grande número de processos acelerados de erosões, conhecidos como “voçorocas”. O fluxo superficial, de acordo com a forma de escoamento, produz formas de erosão diferenciadas, a saber: erosão laminar e erosão linear. O estudo da erodibilidade, utilizando ensaios de laboratório, tem se mostrado bastante eficiente na determinação dos processos atuantes na formação das voçorocas. Neste trabalho, será abordada a erodibilidade do solo, em relação ao processo de erosão laminar, procurando identificá-lo por meio da correlação de suas propriedades físicas, sendo este um parâmetro que influencia no desencadeamento das erosões. Para tanto, foram observadas algumas encostas da cidade de Lavras (sul de Minas Gerais) e retiradas diversas amostras de solo, com o intuito de realizarem-se ensaios de erodibilidade, buscando uma melhor verificação do mecanismo principal de evolução, o entubamento (“piping”). Com relação ao estudo de erodibilidade, os solos pesquisados apresentaram características, como a de serem levemente dispersivos, mostrando uma fácil desintegração de sua estrutura e grande perda de material no início do processo erosivo na encosta.

Palavras-chave: *Erosões. Voçorocas.*

Abstract

The southeast region of Brazil has lately presented a great number of quickly establishing linear erosion plots (gully). Laminar water flow, according to runoff type, causes diverse erosion forms, such as: laminar and linear erosion. Laboratorial trials for the study of erosion have proven to be very effective in determining the influential processes of gully formation. This research will focus on soil erodibility related to the laminar erosion processed, identifying it through its physical properties, since it is a parameter that influences erosion triggering. A few cliffs nearby the city of Lavras (Minas Gerais, Brazil) were sampled and used in erodibility trials to verify in detail the main erosion evolution mechanism, also known as “piping”. Regarding the study of erodibility, the soils researched presented characteristics as lightly dispersing, showing an easy disintegration of his structure and with great lose of soil in the beginning of the erosive in the slope.

Keywords: *Erosion. Gully.*

1 Introdução

A ocupação desordenada do meio físico, a concentração de chuvas em determinados meses do ano e as formações arenosas presentes em grandes áreas são fatores essenciais que têm contribuído para as diversas manifestações erosivas que ocorrem em grandes partes do solo. Além de áreas agrícolas, não são poucas as ocorrências induzidas por obras, como se verificam em algumas estradas, ou em loteamentos e expansões urbanas, pois não se tem dado a devida importância aos meios de prevenção do fenômeno.

A gênese do processo erosivo em superfícies desprotegidas de vegetação está no impacto direto das gotas de chuvas, que desagregam as partículas de solos. Após o destacamento, as partículas de solo podem ser transportadas pela ação do escoamento superficial, dando início ao sulcamento, que se desenvolverá até atingir a etapa de ravina e, posteriormente, o seu estágio final, que é a voçoroca. Esse estágio é o mais avançado do processo erosivo, pois é palco de diversos mecanismos erosivos, tais como: erosão superficial, solapamentos, escorregamentos, desmoronamento e a erosão interna ou subterrânea.

Fácio (1991) associa a desagregação de partículas de solo a suas características e propriedades físico-químicas: granulometria, plasticidade, índice de vazios, teor de matéria orgânica, entre outros. Já o transporte, está mais associado a características físicas: tamanho e forma das partículas.

Nesta pesquisa, foram realizados ensaios de caracterização geotécnica e de erodibilidade em diferentes perfis de solos, existentes na região sul do estado de Minas Gerais, que apresentava intensas perdas de solos, desencadeadas pela ocupação humana (ação antrópica) associada à morfologia do terreno, envolvendo a conformidade da encosta, no que se refere, principalmente, à declividade e ao comprimento das encostas.

2 Material e Métodos

Foram escolhidos e caracterizados quatro perfis de solos da cidade de Lavras (sul de Minas Gerais), que se destacavam por acentuados processos erosivos. Buscou-se encontrar encostas de solo sérios problemas erosivos, envolvendo o solo saprolítico da região, principalmente onde obras de terraplenagem deixam exposto o solo de alteração. Dessa forma, as áreas escolhidas apresentavam inúmeras ravinas e voçorocas ao longo do seu eixo longitudinal. As encostas de solo estão situadas em localidades bastante diferenciadas para que fossem observadas diferentes formações de solo com processo erosivo. Essas encostas são, respectivamente, na Perimetral (encosta 1), no Shopping (encosta 2), no Rodovia (encosta 3) e na Vila São Francisco (encosta 4).

Realizaram-se ensaios em amostras deformadas e indeformadas para a determinação da caracterização do solo (granulometria, limites de consistência, massa específica do solo e massa específica dos sólidos) e testes específicos de erodibilidade (desagregação do solo, dispersão rápida, porcentagem de dispersão e ensaio de Inderbitzen). Para cada voçoroca estudada, foram coletadas amostras de solo em três profundidades diferentes: baixa (baixa encosta – trecho inferior do talude), média (média encosta – trecho intermediário da encosta) e alta (alta encosta – porção superior), representando horizontes de solo que pudessem melhor abranger as encostas (INDERBITZEN, 1961). Devido à baixa altura de talude, na quarta encosta analisada (Vila São Francisco), foi descartada a coleta de solo para a média encosta. Os ensaios de caracterização foram conduzidos segundo as normas da ABNT (massa específica dos sólidos - NBR6508/80, granulometria conjunta - NBR7181/82, limite de plasticidade - NBR7180/94 e limite de liquidez - NBR6459/84).

Para a avaliação dos processos erosivos, foram realizadas quatro modalidades de ensaios: desagregação do solo, dispersão rápida, porcentagem de dispersão e teste de Inderbitzen. A metodologia utilizada para os ensaios de erodibilidade foi seguida de acordo com a apostila “Métodos de ensaios de erodibilidade em solos”, do Laboratório Central de Engenharia Civil, da Companhia Energética de São Paulo (CESP, 1983).

Diferentemente dos ensaios rotineiros de erodibilidade, é destacada nesta pesquisa a execução do ensaio de porcentagem de dispersão. Nesta modalidade de ensaio, a amostra de solo é inicialmente passada na peneira 10. Todo o procedimento é análogo à realização de dois ensaios de sedimentação, um dos quais é realizado sem a adição do defloculante, enquanto o outro segue os padrões normais. Registram-se como diferenças quanto aos padrões estabelecidos nos ensaios de sedimentação, a utilização de apenas 25 g de amostra, em vez dos 60 g usuais, e o fato de o ensaio sem defloculante ser executado com a menor agitação possível. O valor determinado para a porcentagem de dispersão é dado com a relação entre os percentis inferiores a 0,005 mm no ensaio de sedimentação sem defloculante e no ensaio normal de sedimentação. Quanto aos outros dois ensaios de erodibilidade estudados neste trabalho (desagregação e dispersão rápida), o procedimento de execução é o de utilização mais comum encontrado na literatura relativa a ensaios de desagregação e dispersão rápida.

Já os ensaios de Inderbitzen, que consistem na passagem de um fluxo d'água sobre uma amostra indeformada de solo - simulando uma situação real de fluxo superficial, foram executados em equipamento (Figura 1) especialmente construído para a realização desta pesquisa. Este equipamento, feito conforme a concepção original de Inderbitzen (1961) e em experiências posteriores (FÁCIO, 1991), é constituído por uma rampa com inclinação de 80°, através da qual uma amostra de solo com 150mm de diâmetro, disposta rente ao fundo, é sujeita a um fluxo de água uniforme, dada uma vazão escolhida. Nesse ensaio, após a preparação da amostra de solo (com umidade natural), procede-se à sua colocação no equipamento e ao posterior controle da vazão, para se dar início ao ensaio. Esse avança com a passagem de um fluxo uniforme e contínuo sobre a superfície do solo. A coleta dos sedimentos carreados é feita em intervalos prédefinidos (5, 10, 30, 60 e 120 minutos), visando obter bases para a confecção de gráficos para o cálculo do fator de erodibilidade do solo. É medida, então, a perda em peso de solo seco erodido com relação à área da amostra e ao tempo de fluxo. De acordo com o DNER (1979), o valor tomado como sendo a erodibilidade do solo representa a quantidade de perda do solo registrada nos 5 (cinco) minutos iniciais do ensaio.

3 Resultados

Os ensaios de caracterização simples do solo indicaram bastante desuniformidade nas propriedades granulométricas e de plasticidade para todas as encostas. A classificação textural das encostas especificidades, apresentou classificações variando de areia argilosa a argila arenosa, e os valores do Índice de Plasticidade (IP) oscilando de 7 a 16%. Esses resultados são vistos na Tabela 1. Com relação aos ensaios de erodibilidade do solo, estes estão dispostos, resumidamente, nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

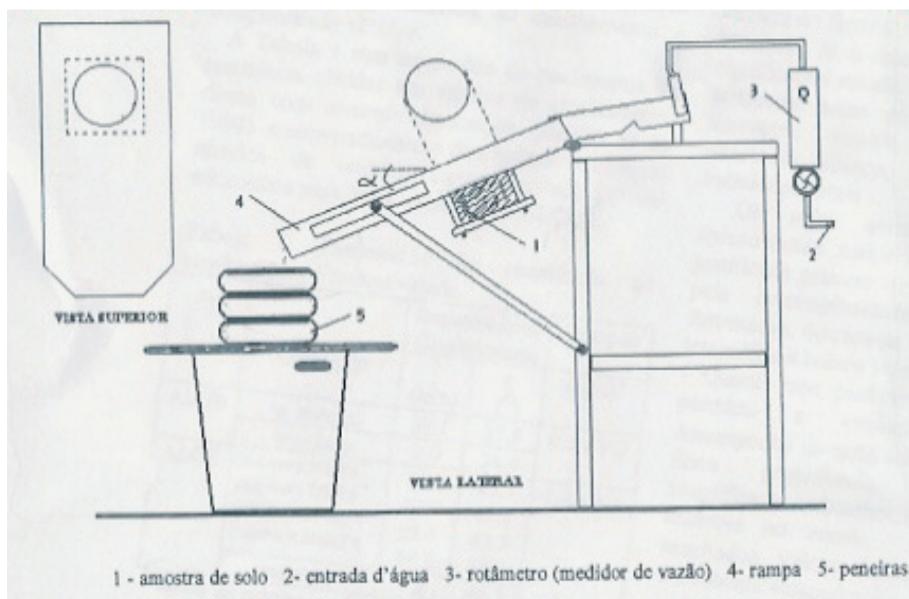


Figura 1: Protótipo do equipamento construído para o ensaio de Inderbitzen

Tabela 1: Resultados de ensaios de caracterização simples do solo pesquisado

ENCOSTAS DE SOLO	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL	PLASTICIDA DE LL (%)	LP (%)	W (%)	□ (g/cm ³)	□ s(g/cm ³)
ENCOSTA 1(BAIXA ENCOSTA)	Argila arenosa	41,7	35,0	10,7	1,43	2,65
ENCOSTA 1(MÉDIA ENCOSTA)	Argila arenosa	45,3	34,8	14,4	1,55	2,40
ENCOSTA 1(ALTA ENCOSTA)	Argila arenosa	42,9	34,3	15,1	1,32	2,52
ENCOSTA 2(BAIXA ENCOSTA)	Argila arenosa	47,1	41,7	20,3	1,55	2,41
ENCOSTA 2(MÉDIA ENCOSTA)	Argila arenosa	43,6	38,3	17,3	1,95	2,53
ENCOSTA 2(ALTA ENCOSTA)	Argila arenosa	43,8	36,1	20,8	1,57	2,21
ENCOSTA 3(BAIXA ENCOSTA)	Areia argilosa	39,9	31,1	18,2	1,54	2,61
ENCOSTA 3(MÉDIA ENCOSTA)	Areia argilosa	43,1	40,0	13,7	1,47	2,58
ENCOSTA 3(ALTA ENCOSTA)	Areia argilosa	39,2	34,7	21,3	1,54	2,95
ENCOSTA 4(BAIXA ENCOSTA)	Areia argilosa	46,1	32,9	14,7	1,54	2,52
ENCOSTA 4(ALTA ENCOSTA)	Areia argilosa	53,1	41,3	17,6	1,56	2,70

A **tabela 2:** apresenta a porcentagem de dispersão obtida através da expressão:

$$PR = (SSD / SCD) \times 100 \quad (1)$$

onde:

PR = Porcentagem de dispersão

SSD = % < 0,005mm no ensaio de sedimentação do solo sem defloculante

SCD = % < 0,005mm no ensaio de sedimentação do solo com defloculante

Tabela 2: Porcentagem de dispersão para as encostas estudadas

ENCOSTASDE SOLO	PORCENTAGEMDE DISPERSÃO
ENCOSTA 1 (BAIXA ENCOSTA)	21,9
ENCOSTA 1 (MÉDIA ENCOSTA)	13,7
ENCOSTA 1 (ALTA ENCOSTA)	28,3
ENCOSTA 2 (BAIXA ENCOSTA)	0,0
ENCOSTA 2 (MÉDIA ENCOSTA)	0,0
ENCOSTA 2 (ALTA ENCOSTA)	4,8
ENCOSTA 3 (BAIXA ENCOSTA)	10,6
ENCOSTA 3 (MÉDIA ENCOSTA)	0,0
ENCOSTA 3 (ALTA ENCOSTA)	0,6
ENCOSTA 4 (BAIXA ENCOSTA)	7,2
ENCOSTA 4 (ALTA ENCOSTA)	13,4

Tabela 3: Dispersão rápida para o solo estudado

ENCOSTASDE SOLO	DISPERSÃO RÁPIDA
ENCOSTA 1 (BAIXA ENCOSTA)	Levemente dispersivo *
ENCOSTA 1 (MÉDIA ENCOSTA)	Levemente dispersivo*
ENCOSTA 1 (ALTA ENCOSTA)	Levemente dispersivo*
ENCOSTA 2 (BAIXA ENCOSTA)	Não dispersivo**
ENCOSTA 2 (MÉDIA ENCOSTA)	Não dispersivo**
ENCOSTA 2 (ALTA ENCOSTA)	Não dispersivo**
ENCOSTA 3 (BAIXA ENCOSTA)	Não dispersivo**
ENCOSTA 3 (MÉDIA ENCOSTA)	Não dispersivo**
ENCOSTA 3 (ALTA ENCOSTA)	Não dispersivo**
ENCOSTA 4 (BAIXA ENCOSTA)	Levemente dispersivo*
ENCOSTA 4 (ALTA ENCOSTA)	Levemente dispersivo*

Nota:

* Levemente dispersivo (quando surge o aparecimento de turvação na superfície do torrão de solo ensaiado).

** Não dispersivo (o torrão de solo pode espalhar-se no fundo do *becker*, porém não se observa sinal de turvação causada por colóide em suspensão).

Tabela 4: Valores do ensaio de desagregação e os respectivos comentários

ENCOSTAS DE SOLO	ENSAIO DE DESAGREGAÇÃO (OBSERVAÇÕES APÓS 24 HORAS)*
ENCOSTA 1 (BAIXA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado.
ENCOSTA 1 (MÉDIA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado.
ENCOSTA 1 (ALTA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desintegrado.
ENCOSTA 2 (BAIXA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado.
ENCOSTA 2 (MÉDIA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado.
ENCOSTA 2 (ALTA ENCOSTA)	Dispersão: as paredes da amostra se tornaram difusas com o surgimento de uma “nuvem” coloidal.
ENCOSTA 3 (BAIXA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado.
ENCOSTA 3 (MÉDIA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado.
ENCOSTA 3 (ALTA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado.
ENCOSTA 4 (BAIXA ENCOSTA)	Abatimento (slumping): a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado.
ENCOSTA 4 (ALTA ENCOSTA)	Fratramento: a amostra se quebrou em fragmentos, mantendo a forma original das faces externas.

* Com base no trabalho de Holmgren e Flanagan (1977).

4 Conclusões

Os ensaios de caracterização apresentaram resultados (Tabela 1) que nos permitiram uma melhor avaliação das propriedades dos solos pesquisados e a influência destas na resistência à ação erosiva da água. Já os ensaios de erodibilidade nos permitiram confrontar as diferentes encostas estudadas e os tipos de solo sujeitos à susceptibilidade da erosão.

Na determinação da porcentagem de dispersão (Tabela 2) objetivou-se conhecer a facilidade com que os solos naturais se dispersam, sem agitação mecânica e sem a utilização de defloculantes químicos. Para essa modalidade de ensaio, quanto maior o valor numérico encontrado como resultado, maior será a probabilidade de o solo analisado apresentar problemas de dispersividade, ou, em outras palavras, maior é a facilidade de o do solo entrar em suspensão (deflocular), mesmo sem a presença de um agente químico defloculante. Para as encostas de solo analisadas, apenas a “encosta 1” apresentou um valor médio, na porcentagem de dispersão acima de 20% (solo com potencial de erodibilidade), enquanto as encostas 2 e 3 mostraram resultados médios inferiores a 5% (solo não erodível).

Nos ensaios de dispersão rápida (Tabela 3), apenas as encostas 1 e 4 apresentaram características de solo “levemente dispersivo”. A metodologia desse ensaio foi proposta por Sherard et al. (1972), para verificar o grau de dispersão de solos argilosos para uso em barragens.

Na análise para os ensaios de desagregação, feita com base no estudo desenvolvido por Holmgren e Flanagan (1977), verificamos reações dos solos quando estes estiveram inundados. Os resultados (Tabela 4) mostram que houve uma predominância de “abatimento” na estrutura do solo, isto é, a amostra se desintegrou, formando uma pilha de material desestruturado. Para essa situação, os mecanismos primários responsáveis são a hidratação e a desaeração, que atuam gerando pressões positivas que desagregam o solo.

Os ensaios de Inderbitzen se destacam como uma importante ferramenta para auxiliar a compreensão do processo de erosão nos solos. Nos resultados desse ensaio para o solo estudado, verificou-se que a maior quantidade de perda de

solo ocorreu nos cinco minutos iniciais. Conclui-se que esse fato foi influenciado pela alta inclinação (80°) da rampa do equipamento de Inderbitzen, uma vez que na sua construção procurou-se representar a inclinação real das encostas analisadas em campo.

Referências

- COMPANHIA HIDRELÉTRICA DE SÃO PAULO. *Métodos de ensaios de erodibilidade em solos: pinhole test, porcentagem de dispersão e ensaios de turbidez*. Ilha Solteira, SP: Laboratório Central de Engenharia Civil da CESP, 1983. 34 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. *Pesquisa de estabilidade de taludes: recomendações para proteção de taludes contra erosão*. Rio de Janeiro, 1979. 56 p.
- FÁCIO, J. A. Proposição de uma metodologia de estudo de erodibilidade dos solos do Distrito Federal. 1991. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 1991.
- HOLMGREN, G. G. S; FLANAGAN, C. P. Factors affecting spontaneous dispersion of soil materials as evidenced by the crumb test: related piping and erosion in geotechnical projects. *ASTM Special Technical Publication*, New York, n. 623, p. 218-239, 1977.
- INDERBITZEN, A. L. An erosion test for soils. *Materials Research & Standards*, Philadelphia, v.1, n.1, p. 553-554, 1961.
- SHERARD, J. L.; DECKER, R. S.; RYKER, N. L. Piping in earth dams of dispersive clay. In: _____. *Embankment dams: piping in earth dams of dispersive clay*. Reston: ASCE, 1972. p. 55-93.

SOBRE OS AUTORES

Stélio Maia Menezes

Engenheiro Civil (UNIFOR, 1985); Mestre em Engenharia Civil (USP, 1990); Doutor em Engenharia Civil (USP, 1997); Professor Adjunto da UFMG

David de Carvalho

Engenheiro Civil (USP, 1978); Mestre em Engenharia Civil (USP, 1982); Doutor em Engenharia Civil (USP, 1991); Professor Titular da UNICAMP

Paulo José Rocha de Albuquerque

Engenheiro Civil (UNICAMP, 1993); Mestre em Engenharia Civil (UNICAMP, 1996); Doutor em Engenharia Civil (USP, 2001); Professor Assistente da UNICAMP